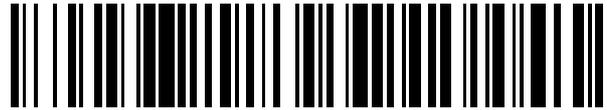


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 472 543**

51 Int. Cl.:

H02J 3/18

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.04.2012 E 12166232 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.04.2014 EP 2521237**

54 Título: **Sistemas, procedimientos y aparato para el control integrado de voltaje / VAR en redes de distribución de energía**

30 Prioridad:

03.05.2011 US 201113100015

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

01.07.2014

73 Titular/es:

**GENERAL ELECTRIC COMPANY (100.0%)
1 River Road
Schenectady, NY 12345, US**

72 Inventor/es:

**KROK, MICHAEL JOSEPH;
REN, WEI y
GENC, SAHIKA**

74 Agente/Representante:

CARPINTERO LÓPEZ, Mario

ES 2 472 543 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 aparato para el control integrado de voltaje / VAR en redes de distribución de energía

Antecedentes de la invención

5 Esta invención se refiere, en general, a redes de distribución de energía y, en particular, a sistemas, procedimientos y aparatos para el control integrado de voltaje / VAR en redes de distribución de energía.

10 Las redes nacionales de distribución eléctrica (incluyendo las micro-redes) son habitualmente operadas con un cierto número de restricciones que permiten el suministro de energía en un cierto nivel de calidad y fiabilidad. Un objetivo asociado a la operación de una red de distribución de energía, por ejemplo, es establecer condiciones aceptables de voltaje para todos los clientes, suministrando a la vez energía tan eficazmente como sea posible. En muchas redes de distribución de energía, el perfil de voltaje a lo largo del alimentador de distribución y el flujo de energía reactiva (también conocidos como VAR) sobre el alimentador son habitualmente mantenidos por una combinación de reguladores de voltaje y baterías de condensadores conmutados, instaladas en diversas ubicaciones en el alimentador y en su subestación asociada.

15 Los grandes sistemas de distribución pueden incluir micro-redes y ramas no de micro-redes. Una micro-red incluye habitualmente agrupaciones localizadas de cargas, fuentes de generación y dispositivos de almacenamiento que están conectados con una red nacional centralizada tradicional, o macro-red. La optimización de una red alimentadora entera, incluyendo las micro-redes, y la coordinación del control de voltaje y el reactivo a voltios y amperios (VAR) puede ser una tarea formidable, en particular, cuando cambian las condiciones de la red. Tradicionalmente, los reguladores de voltaje del alimentador y las baterías de condensadores conmutados son operados como dispositivos independientes, sin ninguna coordinación directa entre los controladores individuales. Un enfoque de ese tipo puede ser efectivo para mantener un flujo aceptable de voltaje y de energía reactiva cerca de los controladores, pero habitualmente no produce resultados óptimos para el alimentador entero.

20

Breve resumen de la invención

25 Algunas de, o todas, las necesidades precedentes pueden ser abordadas por ciertas realizaciones de la invención. Ciertas realizaciones de la invención pueden incluir sistemas, procedimientos y aparatos para el control integrado de voltaje / VAR en redes de distribución de energía.

30 De acuerdo a una realización de ejemplo de la invención, se proporciona un procedimiento para controlar el voltaje y la energía reactiva en una red de distribución. El procedimiento incluye estimar al menos un estado actual asociado a una red de distribución; asignar una o más zonas de carga en la red de distribución; predecir perfiles de carga de cada zona para un periodo de tiempo predeterminado; determinar planificaciones de conmutación de baterías de condensadores para un periodo de tiempo predeterminado, en base, al menos en parte, a dicho al menos un estado actual y a los perfiles de carga previstos; conmutar las baterías de condensadores de acuerdo a las planificaciones de conmutación de baterías de condensadores; ejecutar un algoritmo de flujo de energía para determinar los voltajes previstos sobre todos los nodos en una zona, en base, al menos en parte, a los perfiles de carga previstos; determinar un conjunto inicial de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje que allane el voltaje promedio previsto de todos los nodos en una zona durante un periodo de tiempo dado, en base, al menos en parte, a una relación lineal entre las razones de tomas y los voltajes; determinar un conjunto final de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje, en base a un algoritmo de programación dinámica; determinar programas de conmutación de reguladores de voltaje en base, al menos en parte, a una o más de las configuraciones iniciales o finales de las tomas reguladoras de voltaje; y conmutar las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje de acuerdo a las planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje.

35

40

45 De acuerdo a otra realización de ejemplo, se proporciona un sistema. El sistema incluye al menos una red de distribución de energía que comprende una o más baterías de condensadores conmutables y uno o más reguladores ajustables de voltaje. El sistema también incluye al menos una memoria para almacenar datos e instrucciones ejecutables por ordenador; y al menos un procesador configurado para acceder a dicha al menos una memoria, y adicionalmente configurado para ejecutar las instrucciones ejecutables por ordenador, para controlar el voltaje y la energía reactiva (VAR) en la red de distribución: estimando al menos un estado actual asociado a una red de distribución; asignar una o más zonas de carga en la red de distribución; predecir perfiles de carga de cada zona para un periodo de tiempo predeterminado; determinar planificaciones de conmutación de baterías de condensadores para un periodo de tiempo predeterminado, en base, al menos en parte, a dicho al menos un estado actual y a los perfiles de carga previstos; conmutar las baterías de condensadores de acuerdo a las planificaciones de conmutación de baterías de condensadores; ejecutar un algoritmo de flujo de energía para determinar los voltajes previstos sobre todos los nodos en una zona, en base, al menos en parte, a los perfiles de carga previstos; determinar un conjunto inicial de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje que allane el voltaje promedio previsto de todos los nodos en una zona por un periodo de tiempo dado, en base, al menos en parte, a una relación lineal entre las razones de tomas y los

50

55

5 voltajes; determinar un conjunto final de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje en base a un algoritmo de programación dinámica; determinar planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje en base, al menos en parte, a una o más de las configuraciones iniciales o finales de tomas reguladoras de voltaje; y conmutar las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje de acuerdo a las planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje.

10 De acuerdo a otra realización de ejemplo, se proporciona un aparato. El aparato incluye al menos una memoria para almacenar datos e instrucciones ejecutables por ordenador; y al menos un procesador configurado para acceder a dicha al menos una memoria, y adicionalmente configurado para ejecutar las instrucciones ejecutables por ordenador, para controlar el voltaje y la energía reactiva (VAR) en la red de distribución: estimando al menos un estado actual asociado a una red de distribución; asignando una o más zonas de carga en la red de distribución; prediciendo perfiles de carga de cada zona para un periodo de tiempo predeterminado; determinando planificaciones de conmutación de baterías de condensadores para un periodo de tiempo predeterminado, en base, al menos en parte, a dicho al menos un estado actual y a los perfiles de carga previstos; conmutando las baterías de condensadores de acuerdo a las planificaciones de conmutación de baterías de condensadores; ejecutando un algoritmo de flujo de energía para determinar los voltajes previstos sobre todos los nodos en una zona, en base, al menos en parte, a los perfiles de carga previstos; determinando un conjunto inicial de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje que allane el voltaje promedio previsto de todos los nodos en una zona por un periodo de tiempo dado, en base, al menos en parte, a una relación lineal entre las razones de las tomas y los voltajes; determinando un conjunto final de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje en base a un algoritmo de programación dinámica; determinando planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje en base, al menos en parte, a una o más de las conmutaciones iniciales o finales de tomas reguladoras de voltaje; y conmutando las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje de acuerdo a las planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje.

15 Otras realizaciones y aspectos de la invención están descritos en detalle en la presente memoria y son considerados como una parte de las invenciones reivindicadas. Otras realizaciones y aspectos pueden ser entendidos con referencia a la siguiente descripción detallada, los dibujos adjuntos y las reivindicaciones.

25 **Breve descripción de las figuras**

Se hará ahora referencia a las tablas y dibujos adjuntos, que no necesariamente están trazados a escala, y en los cuales:

30 la FIG. 1 es un diagrama de bloques de un motor ilustrativo de estimación de estado y de control integrado de voltaje / VAR, de acuerdo a una realización de ejemplo de la invención.

La FIG. 2 es un diagrama de bloques de una red de ejemplo ilustrativa, de acuerdo a una realización de ejemplo de la invención.

La FIG. 3 es un diagrama de bloques de un sistema de ejemplo ilustrativo, de acuerdo a una realización de ejemplo de la invención.

35 La FIG. 4 es un diagrama de flujo de un procedimiento de ejemplo de acuerdo a una realización de ejemplo de la invención.

La FIG. 5 es un diagrama de flujo de otro procedimiento de ejemplo de acuerdo a una realización de ejemplo de la invención.

Descripción detallada de realizaciones de la invención

40 En muchas redes de distribución de energía, el perfil de voltaje a lo largo del alimentador de distribución y el flujo de energía reactiva (también conocida como VAR) sobre el alimentador han sido tradicionalmente mantenidos por una combinación de reguladores de voltaje, baterías de condensadores conmutados y cambiadores de tomas de carga, instalados en diversas ubicaciones en el alimentador y su subestación asociada. Tales dispositivos han utilizado tradicionalmente planificaciones operativas fijas, por ejemplo, basadas en la hora del día u otros parámetros locales. 45 Las operaciones resultantes han estado disjuntas entre sí, dando como resultado una reducida efectividad global de operación. Realizaciones de ejemplo de esta invención presentan un enfoque para realizar un control y operación integrados de estos dispositivos. Las realizaciones de ejemplo de la invención pueden habilitar una mejor operación de la red nacional de distribución, con un tiempo de cálculo mucho más rápido para determinar una solución al problema de optimización. Las realizaciones de ejemplo pueden utilizar múltiples algoritmos para determinar las planificaciones de conmutación, la regulación y la coordinación óptimas de los diversos reguladores de voltaje, baterías de condensadores conmutados y / o cambiadores de tomas de carga asociados al sistema de distribución de energía. 50

De acuerdo a una realización de ejemplo, la optimización del voltaje y la reactiva a voltios y amperios (VAR) comienza con la estimación de estado de distribución y la asignación de carga a diferentes zonas / nodos de la red. En una

realización de ejemplo, un modelo de pronóstico de carga, basado en datos pertinentes del sistema y en el conocimiento del sistema de distribución, es usado luego para predecir la carga para las siguientes N horas del periodo de tiempo. De acuerdo a una realización de ejemplo, un motor de control integrado de voltaje / VAR (IVVC) puede ser utilizado para resolver un problema de "Mochila" para utilizar información acerca de los actuales estados del sistema y la carga reactiva pronosticada, para desarrollar planificaciones para configuraciones y estados de conmutación para los dispositivos durante un periodo de tiempo predeterminado. El problema de la Mochila puede ser definido de la siguiente manera: supongamos que un autoestopista tiene que llenar su mochila (energía reactiva en la subestación) seleccionando entre un número finito de objetos (baterías de condensadores). Cada objeto tiene peso o tamaño y valor (VAR). El autoestopista quiere maximizar (minimizar) el valor global de los objetos (la pérdida de energía del sistema) en la mochila manteniendo a la vez el peso global por debajo (por encima) de un cierto nivel (soporte reactivo requerido).

En una realización de ejemplo, el hallazgo de una solución óptima para el problema de la Mochila puede ser utilizado como una nueva planificación de la conmutación de baterías de condensadores, y puede proporcionar datos de entrada a la parte reguladora de voltaje del motor de IVVC. De acuerdo a una realización de ejemplo, las restricciones sobre el número de operaciones de dispositivos, límites de voltaje / corriente, etc., pueden ser respetadas al formular los estados de conmutación de los dispositivos de control reguladores de voltaje.

En una realización de ejemplo, un conjunto inicial de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje, que allana el voltaje promedio previsto sobre todos los nodos en una zona, durante un periodo de tiempo dado (es decir, 24 horas), puede ser determinado suponiendo una relación lineal entre razones de tomas y voltajes, y aprovechando la estructura arbolada de las redes de distribución. Por ejemplo, los cambios en el regulador pueden propagarse a los nodos hijos y pueden cambiar eventualmente el voltaje promedio sobre todos los nodos. De acuerdo a una realización de ejemplo, el término "allanamiento", según se usa en la presente memoria, se refiere al cambio de voltaje variable en el tiempo de la red, que está relacionado con el cambio en la carga. Por ejemplo, la forma de la curva de carga durante un día puede tener la apariencia de una montaña que culmina alrededor del mediodía y, con corriente constante, la carga aumentada puede reducir el voltaje, de modo que la curva de voltaje parezca un valle. En una realización de ejemplo de la invención, la razón de tomas puede ser cambiada para "allanar" el valle del voltaje y proporcionar un voltaje promedio más estable, incluso cuando aumenta la carga.

De acuerdo a realizaciones de ejemplo de la invención, el control óptimo del flujo de energía reactiva para obtener mejoras en los perfiles de voltaje, y para la minimización real de la pérdida de energía, puede utilizar la planificación en tiempo real de las configuraciones de dispositivos. De acuerdo a una realización de ejemplo, la degradación de la vida útil que ocurre cuando los dispositivos son conmutados frecuentemente puede ser tenida en cuenta. En una realización de ejemplo, una planificación diaria puede requerir ejecutar algoritmos de optimización según se requiera para ajustar configuraciones futuras en base a errores en el pronóstico de carga; sin embargo, la vida útil de un condensador o un regulador de voltaje puede depender del número de operaciones de conmutación realizadas. Por ejemplo, una batería de condensadores está habitualmente diseñado de modo que pueda resistir entre 40.000 y 50.000 ciclos de conmutación de encendido / apagado, lo que equivale a una vida útil de 20 años, pero si los controles para la batería de condensadores permiten que este número de operaciones de conmutación ocurra durante un periodo de seis años, entonces la vida útil será reducida de forma correspondiente. De acuerdo a una realización de ejemplo, es probable que sean descartados los algoritmos de control local o global que den como resultado la conmutación frecuente de configuraciones de dispositivos, en un intento de impedir el fallo prematuro de dispositivos. En una realización de ejemplo, el IVVC puede minimizar el número de ciclos de conmutación, mejorando a la vez el factor de energía y / o minimizando las pérdidas.

De acuerdo a una realización de ejemplo de la invención, el pronóstico puede ser aplicado para minimizar los ciclos de conmutación de condensadores. De acuerdo a una realización de ejemplo, un modelo de la red de distribución puede ser aplicado para estimar el comportamiento de la red, como si fuera controlada por la carga pronosticada. En una realización de ejemplo, el impacto de las no linealidades puede ser estimado, y puede ser usado para predecir el comportamiento de las variables dependientes (es decir, los datos de salida: voltajes de nodos y pérdidas) de la red modelada de distribución dinámica con respecto a los cambios en las variables independientes (es decir, las configuraciones de dispositivos de control).

De acuerdo a una realización de ejemplo, el algoritmo para la planificación puede ejecutarse lo bastante rápido como para proporcionar actualizaciones entre unos 5 y unos 15 minutos para grandes redes de distribución radial. En una realización de ejemplo, puede ser utilizado un algoritmo optimizado y coordinado de IVVC que sea eficaz en términos de cálculo, a costa de la optimización global (una solución aproximada al coste mínimo de la función objetivo) para grandes redes de distribución radial (p. ej., aquellas que contienen miles de nodos, decenas de baterías de condensadores y decenas de cambiadores de tomas de carga, o reguladores de voltaje).

Varios factores pueden contribuir a la eficacia aumentada del enfoque de ejemplo, en comparación con la programación dinámica o los algoritmos genéticos. En primer lugar, de acuerdo a una realización de ejemplo, la

optimización de los condensadores discretos y la de los reguladores de voltaje pueden ser consideradas como problemas distintos, pero dependientes. De acuerdo a una realización de ejemplo, la modularidad de los algoritmos para distintos tipos de dispositivos de control puede ser aplicada para proporcionar flexibilidad y para permitir la integración con otros algoritmos óptimos, pero menos eficaces. En una realización de ejemplo, el algoritmo integrado puede proporcionar una planificación diaria óptima para baterías de condensadores, en base a la minimización de los controles VAR totales en la cabecera de la subestación de distribución. De acuerdo a una realización de ejemplo, las configuraciones de las baterías de condensadores pueden ser usadas para determinar configuraciones de tomas, en base a la nivelación del voltaje promedio, y para establecer el voltaje promedio a fin de lograr algún nivel de minimización de coste de la función objetivo, dentro de secciones adecuadas de la red de distribución.

5 Las realizaciones de la invención serán descritas más completamente a continuación en la presente memoria, con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales se muestran realizaciones de la invención. Esta invención, sin embargo, puede ser realizada de muchas formas distintas y no debería ser interpretada como limitada a las realizaciones expuestas en la presente memoria; antes bien, estas realizaciones se proporcionan a fin de que esta revelación sea exhaustiva y completa, y que transmita completamente el ámbito de la invención a los expertos en la técnica. Los números iguales se refieren a elementos iguales en toda su extensión.

15 La FIG. 1 ilustra un sistema de ejemplo 100 para optimizar la conmutación de las baterías 132 de condensadores y para configurar las tomas 134 reguladoras de voltaje. De acuerdo a una realización de ejemplo, un estimador 102 de estado puede ser utilizado para determinar condiciones asociadas a la red de distribución de energía. De acuerdo a una realización de ejemplo, la información tal como la impedancia 104 de línea, las configuraciones 108 de control, el voltaje 110 de subestación, la topología 112, las cargas 114 y / o el voltaje 116 de fin de línea puede ser utilizada por el bloque de estimación de estado para determinar el estado de la red. En una realización de ejemplo, el estimador 102 de estado puede comunicarse directamente con el motor 124 de IVVC, o mediante bloques intermedios adicionales. Por ejemplo, un bloque 118 de asignación de zona y / o un bloque 122 de pronóstico pueden ser utilizados para personalizar la información de estimación de estado para ciertas regiones o zonas de la red y / o ciertos periodos en el futuro.

20 De acuerdo a una realización de ejemplo, el sistema 100 puede incluir un motor 124 de IVVC, que puede utilizar un algoritmo 126 de conmutación de baterías de condensadores, un algoritmo 128 de nivelación o allanamiento del voltaje promedio y / o un algoritmo 130 de programación dinámica (DP). De acuerdo a una realización de ejemplo, el motor 124 de IVVC, junto con los bloques asociados, puede ser utilizado para optimizar la conmutación de las baterías 132 de condensadores y para configurar las tomas reguladoras de voltaje.

25 La FIG. 2 ilustra una red 200 de distribución de ejemplo, de acuerdo a una realización de ejemplo de la invención. De acuerdo a una realización de ejemplo, la red 200 puede incluir varias micro-redes, 202, 204, 206 y 208. En una realización de ejemplo, las micro-redes pueden estar asociadas al resto de la red, y adosadas con reguladores de voltaje.

35 La FIG. 3 ilustra un sistema de ejemplo 300 de procesamiento de reducción, de acuerdo a una realización de ejemplo de la invención. Por ejemplo, el sistema 200 puede incluir un controlador 302. En una realización de ejemplo, el controlador 302 puede incluir una memoria 303, uno o más procesadores 306, una o más interfaces 308 de entrada / salida, y una o más interfaces 310 de red. En una realización de ejemplo, la memoria puede incluir un sistema operativo 312, datos 314 y un módulo 318 de motor de IVVC (como en 124 de la FIG. 1). De acuerdo a una realización de ejemplo, el sistema 300 puede incluir una base 320 de datos y / o una estación de trabajo o visor local 322, operable para la comunicación con el controlador 302. En una realización de ejemplo, el controlador 302 puede comunicarse con un sistema 330 de distribución de energía mediante una red 324 de comunicaciones. De acuerdo a una realización de ejemplo, el sistema 330 de distribución de energía puede incluir los dispositivos 332, tales como baterías de condensadores, reguladores de voltaje, etc. En una realización de ejemplo, el sistema 330 de distribución de energía puede incluir partes de la red 334, incluyendo alimentadores radiales. En una realización de ejemplo, una estación remota, o visor, remoto puede estar en comunicación con el sistema 330 de distribución de energía y / o el controlador 302.

40 La FIG. 4 muestra un diagrama de flujo de ejemplo de un procedimiento 400, de acuerdo a una realización de ejemplo de la invención. El procedimiento 400 comienza en el bloque 402 y, de acuerdo a una realización de ejemplo, incluye estimar al menos un estado actual asociado a una red de distribución. En el bloque 404, el procedimiento 400 incluye asignar una o más zonas de carga en la red de distribución. En el bloque 406, el procedimiento 400 incluye predecir perfiles de carga de cada zona para un periodo de tiempo predeterminado. En el bloque 408, el procedimiento 400 incluye determinar planificaciones de conmutación de baterías de condensadores para un periodo de tiempo predeterminado, en base, al menos en parte, a dicho al menos un estado actual y a los perfiles de carga previstos. En el bloque 410, el procedimiento 400 incluye conmutar las baterías de condensadores de acuerdo a las planificaciones de conmutación de baterías de condensadores. En el bloque 412, el procedimiento 400 incluye ejecutar un algoritmo de flujo de energía para determinar los voltajes previstos sobre todos los nodos en una zona, en base, al menos en

parte, a los perfiles de carga previstos. En el bloque 414, el procedimiento 400 incluye determinar un conjunto inicial de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje, que allana el voltaje promedio previsto de todos los nodos en una zona durante un periodo de tiempo dado, en base, al menos en parte, a una relación lineal entre las razones de tomas y los voltajes. En el bloque 416, el procedimiento 400 incluye determinar un conjunto final de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje en base a un algoritmo de programación dinámica. En el bloque 418, el procedimiento 400 incluye determinar planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje en base, al menos en parte, a una o más de las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje, iniciales o finales. En el bloque 420, el procedimiento 400 incluye conmutar las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje de acuerdo a las planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje. El procedimiento 400 termina después del bloque 420.

5
10
15

La FIG. 5 ilustra un uso de ejemplo de un algoritmo de programación dinámica (DP) para controlar dispositivos en la red. De acuerdo a una realización de ejemplo, las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje pueden ser establecidas usando un algoritmo de DP. En una realización de ejemplo, la DP es un procedimiento de optimización que puede ser usado para la confirmación de unidades de generación. Por ejemplo, la confirmación de unidades puede implicar la planificación de unidades de generación disponibles (por ejemplo, cuáles ubicaciones deberían estar recibiendo energía y cuáles ubicaciones no) en un sistema de energía para las siguientes N horas (por ejemplo, 8 horas) tanto para satisfacer los requisitos de carga como para lograr el mínimo coste operativo total.

De acuerdo a una realización de ejemplo, la programación dinámica puede ser descrita de la siguiente manera: para la K-ésima hora, hay un número limitado de combinaciones de unidades, y se desea calcular un coste mínimo hasta esta hora, desde la 1ª hora. Puede utilizarse la siguiente ecuación:

20

$$\mathbf{Fcoste(K,I) = \min[Pcoste(K,I) + Scoste(K-1,L;K,I) + Fcoste(K-1,L)],}$$

25

donde “K” es el número de hora, “I” y “L” representan dos combinaciones distintas de unidades, Fcoste(K,I) representa el coste total acumulado en la K-ésima hora cuando se usa la combinación “I” en esta hora, Fcoste(K-1,L) representa el coste total acumulado durante la hora anterior (K-1) cuando se usó la combinación “L”, Scoste(K-1,L;K,I) representa el coste asociado a la transición desde la combinación “L” en la nueva combinación “I” y Pcoste(K,I) significa el coste que tendrá lugar en esta K-ésima hora debido a la operación con la combinación “I”. En una realización de ejemplo, para cada posible combinación “I”, se evalúa su coste acumulado asociado Fcoste(K,I), dado que Fcoste(K-1,L) ya está disponible. De acuerdo a una realización de ejemplo, esta evaluación continúa hasta que se llega a la hora final.

30
35
40

De acuerdo a una realización de ejemplo que implica la optimización del IVVC, un proceso similar de DP, según lo descrito anteriormente, puede ser utilizado para la planificación de todas las unidades disponibles (p. ej., baterías de condensadores y reguladores de voltaje) para las siguientes N Horas, para lograr la prestación óptima del sistema (p. ej., la mínima pérdida de energía total). De acuerdo a una realización de ejemplo, en cada hora hay un cierto número de posibles combinaciones de planificación. En una realización de ejemplo, pueden ser utilizadas versiones del algoritmo de DP para abordar ciertas características especiales del problema del IVVC. Por ejemplo, el algoritmo 500 del IVVC, según se muestra en la FIG. 5, puede incluir la DP para hallar una solución óptima. De acuerdo a una realización de ejemplo, el algoritmo 500 puede comenzar en el bloque 502 a partir de una configuración de control de referencia. Un bucle externo puede luego incluir a los bloques 504, 506, 508 y 510, con un bucle interno que incluye los bloques 506 y 508. Por ejemplo, el bucle externo puede iterar sobre “i”: el número máximo de iteración para el algoritmo, y el bucle interno puede iterar sobre “j”: el número de dispositivos controlables. En una realización de ejemplo, en 508, la DP puede ser usada para ajustar el j-ésimo dispositivo para todas las ranuras temporales, a fin de alcanzar los óptimos bloqueando a la vez todos los otros N-1 dispositivos. Luego, en el bloque 510, y de acuerdo a una realización de ejemplo, puede ser evaluado el beneficio incremental de la i-ésima iteración a partir de la iteración anterior y, si es menor que un umbral predeterminado, entonces el algoritmo 500 puede detenerse y emitir una solución óptima en el bloque 512.

45
50

De acuerdo a realizaciones de ejemplo de la invención, el conocimiento experto puede ser usado en el procedimiento de DP para limitar el número de estados a buscar en cada etapa. Por ejemplo, las posiciones de toma de un cambiador de tomas pueden ser confinadas a 9 posiciones alrededor de la posición “que debe ser”, en base a la condición actual de carga (mientras que el número total de estados para cada cambiador de toma puede ser 33 en otro caso). De acuerdo a una realización de ejemplo, puede determinarse un flujo de carga antes de cada DP para adquirir una idea básica de la posición de toma “que debe ser”. Por ejemplo, una posición de toma demasiado lejos de la posición “que debe ser” puede dar como resultado violaciones de voltaje, y puede no ser preferida. De acuerdo a una realización de ejemplo, un tamaño de memoria de 6 puede proporcionar un uso óptimo del espacio de memoria. De acuerdo a una realización de ejemplo, en cada iteración puede ser aleatoriamente generado el orden de los dispositivos de ajuste, para evitar quedar atrapado en un ciclo límite.

55

En consecuencia, las realizaciones de ejemplo de la invención pueden proporcionar los efectos técnicos de crear el control integrado de voltaje / VAR en redes de distribución de energía que pueden minimizar las pérdidas de línea. Las realizaciones de ejemplo de la invención también pueden proporcionar los efectos técnicos de crear ciertos sistemas, procedimientos y aparatos que pueden minimizar la carga mediante la reducción del voltaje de conservación. Las

realizaciones de ejemplo de la invención también pueden proporcionar los efectos técnicos de crear ciertos sistemas, procedimientos y aparatos que pueden aumentar el factor de energía en más de alrededor 0,98 y allanar / ajustar el voltaje hasta la configuración deseada.

5 En realizaciones de ejemplo de la invención, el sistema integrado 100 de control de voltaje / VAR y el sistema 300 de procesamiento de reducción pueden incluir cualquier número de aplicaciones de hardware y / o software que sean ejecutadas para facilitar cualquiera de las operaciones.

10 En realizaciones de ejemplo, una o más interfaces de Entrada / Salida pueden facilitar la comunicación entre el sistema 100 de control integrado de voltaje / VAR y el sistema 300 de procesamiento de reducción, y uno o más dispositivos de entrada / salida. Por ejemplo, un puerto del bus universal en serie, un puerto en serie, un controlador de disco, un controlador de CD-ROM y / o uno o más dispositivos de interfaz de usuario, tales como un visor, teclado, panel de teclas, ratón, panel de control, visor de pantalla táctil, micrófono, etc., pueden facilitar la interacción del usuario con el sistema 100 de control integrado de voltaje / VAR y el sistema 300 de procesamiento de reducción. Dichas una o más interfaces de Entrada / Salida pueden ser utilizadas para recibir o recoger datos y / o instrucciones de usuario desde una amplia variedad de dispositivos de entrada. Los datos recibidos pueden ser procesados por uno o más procesadores de ordenador según se desee, en diversas realizaciones de la invención, y / o almacenados en uno o más dispositivos de memoria.

20 Una o más interfaces de red pueden facilitar la conexión del sistema 100 de control integrado de voltaje / VAR y las entradas y salidas del sistema 300 de procesamiento de reducción con una o más redes y / o conexiones adecuadas; por ejemplo, las conexiones que faciliten la comunicación con cualquier número de sensores asociados al sistema. Dichas una o más interfaces de red pueden facilitar además la conexión con una o más redes adecuadas; por ejemplo, una red de área local, una red de área amplia, Internet, una red celular, una red de frecuencia de radio, una red habilitada para Bluetooth™ (de propiedad de Telefonaktiebolaget LM Ericsson), una red habilitada para Wi-Fi™ (de propiedad de Wi-Fi Alliance), una red basada en satélites, cualquier red cableada, cualquier red inalámbrica, etc., para la comunicación con dispositivos y / o sistemas externos.

25 Según se desee, las realizaciones de la invención pueden incluir el sistema 100 de control integrado de voltaje / VAR y el sistema 300 de procesamiento de reducción, con más o menos de los componentes ilustrados en las FIGs. 1 y 3.

30 Ciertas realizaciones de la invención están descritas anteriormente con referencia a diagramas de bloques y de flujo de sistemas, procedimientos, aparatos y / o productos de programa de ordenador, de acuerdo a realizaciones de ejemplo de la invención. Se entenderá que uno o más bloques de los diagramas de bloques y los diagramas de flujo, y las combinaciones de bloques en los diagramas de bloques y los diagramas de flujo, respectivamente, pueden ser implementados por instrucciones de programa ejecutables por ordenador. Análogamente, algunos bloques de los diagramas de bloques y los diagramas de flujo pueden no requerir necesariamente ser realizados en el orden presentado, o pueden no requerir necesariamente ser realizados en absoluto, de acuerdo a algunas realizaciones de la invención.

35 Estas instrucciones de programa ejecutables por ordenador pueden ser cargadas en un ordenador de propósito general, un ordenador de propósito especial, un procesador u otro aparato de procesamiento programable de datos, para producir una máquina específica, de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador, procesador u otro aparato programable de procesamiento de datos creen medios para implementar una o más funciones especificadas en el bloque, o los bloques, del diagrama de flujo. Estas instrucciones de programa de ordenador también pueden ser almacenadas en una memoria legible por ordenador, que pueda instruir a un ordenador, u otro aparato programable de procesamiento de datos, para funcionar de una manera determinada, de modo que las instrucciones almacenadas en la memoria legible por ordenador produzcan un artículo de fabricación que incluya medios de instrucción que implementen una o más funciones especificadas en el bloque, o los bloques, del diagrama de flujo. Como ejemplo, las realizaciones de la invención pueden proporcionar un producto de programa de ordenador, que comprende un medio utilizable por ordenador, con un código de programa, o instrucciones de programa, legibles por ordenador, realizadas en el mismo, estando adaptado dicho código de programa legible por ordenador para ser ejecutado para implementar una o más funciones especificadas en el bloque, o los bloques, del diagrama de flujo. Las instrucciones del programa de ordenador también pueden ser cargadas en un ordenador u otro aparato programable de procesamiento de datos, para hacer que una serie de elementos o etapas operativas sea realizada en el ordenador, u otro aparato programable, para producir un proceso implementado por ordenador, de modo que las instrucciones que se ejecutan en el ordenador, o en otro aparato programable, proporcionen elementos o etapas para implementar las funciones especificadas en el bloque, o bloques, del diagrama de flujo.

55 En consecuencia, los bloques de los diagramas de bloques y los diagramas de flujo prestan soporte a combinaciones de medios para realizar las funciones especificadas, combinaciones de elementos o etapas para realizar las funciones especificadas y medios de instrucción de programas para realizar las funciones especificadas. También se entenderá que cada bloque de los diagramas de bloques y los diagramas de flujo, y las combinaciones de bloques en los diagramas de bloques y los diagramas de flujo, pueden ser implementados por sistemas de ordenador de propósito

especial, basados en hardware, que realizan las funciones, elementos o etapas especificadas, o combinaciones de hardware de propósito especial e instrucciones de ordenador.

5 Si bien ciertas realizaciones de la invención han sido descritas con relación a lo que se considera actualmente que son las realizaciones más prácticas y diversas, ha de entenderse que la invención no ha de limitarse a las realizaciones reveladas, sino que, por el contrario, está concebida para abarcar diversas modificaciones y disposiciones equivalentes incluidas dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas. Aunque se emplean términos específicos en la presente memoria, están usados solamente en un sentido genérico y descriptivo, y no con fines de limitación.

10 Esta descripción escrita usa ejemplos para revelar ciertas realizaciones de la invención, incluyendo la mejor modalidad, y también para permitir a cualquier persona experta en la técnica poner en práctica ciertas realizaciones de la invención, incluso hacer y usar dispositivos o sistemas cualesquiera, y realizar procedimientos incorporados cualesquiera. El alcance patentable de ciertas realizaciones de la invención está definido en las reivindicaciones, y puede incluir otros ejemplos que se les ocurran a los expertos en la técnica. Tales otros ejemplos están concebidos para quedar dentro del alcance de las reivindicaciones si tienen elementos estructurales que no difieren del lenguaje literal de las reivindicaciones, o si incluyen elementos estructurales equivalentes con diferencias insignificantes con respecto al lenguaje literal de las reivindicaciones.

15

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para controlar el voltaje y la energía reactiva en una red de distribución, comprendiendo el procedimiento:
- estimar al menos un estado actual asociado a una red (330) de distribución;
- 5 asignar una o más zonas de carga en la red (330) de distribución;
- predecir perfiles de carga de cada zona para un periodo de tiempo predeterminado;
- determinar planificaciones de conmutación de la batería (332) de condensadores para un periodo de tiempo predeterminado, en base, al menos en parte, a dicho al menos un estado actual y a los perfiles de carga previstos;
- 10 conmutar las baterías (332) de condensadores de acuerdo a las planificaciones de conmutación de baterías de condensadores;
- ejecutar un algoritmo de flujo de energía para determinar los voltajes previstos sobre todos los nodos en una zona, en base, al menos en parte, a los perfiles de carga previstos;
- determinar un conjunto inicial de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje, que allana el voltaje promedio previsto de todos los nodos en una zona durante un periodo de tiempo dado, en base, al menos en parte, a una
- 15 relación lineal entre las razones de tomas y los voltajes;
- determinar un conjunto final de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje en base a un algoritmo de programación dinámica;
- determinar planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje, en base, al menos en parte, a una o más de las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje, iniciales o finales; y
- 20 conmutar las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje de acuerdo a las planificaciones de conmutación de reguladores de voltajes.
2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el cual la estimación de dicho al menos un estado actual comprende estimar al menos uno entre el voltaje, el factor de energía o las cargas reactivas en nodos de la red (330) de distribución.
- 25 3. El procedimiento de la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en el cual la asignación de una o más zonas de carga comprende agrupar nodos por sub-sistemas de control.
4. El procedimiento de la reivindicación 1, 2 o 3, en el cual dichas una o más zonas de carga son tratadas como nodos para predecir perfiles de carga.
- 30 5. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el cual la predicción de los perfiles de carga de cada zona se basa, al menos en parte, en un modelo de pronóstico de carga.
6. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende adicionalmente:
- actualizar estimaciones de dicho al menos un estado actual;
- actualizar planificaciones de conmutación de la batería (332) de condensadores; y
- actualizar planificaciones de conmutación de configuraciones de tomas de voltaje.
- 35 7. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual la determinación de planificaciones de conmutación de la batería (332) de condensadores está adicionalmente basada, al menos en parte, en uno entre la frecuencia de operación del dispositivo, los controles reactivos de voltios-amperios (VAR) del dispositivo, los límites de voltaje de la red y el déficit de control VAR de la red.
- 40 8. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual la determinación de planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje está adicionalmente basada, al menos en parte, en un algoritmo de programación dinámica y uno o más entre la frecuencia de operación del dispositivo, los límites de voltaje de la red y la nivelación del nivel de voltaje promedio en dicho al menos un sub-sistema de control.
9. Un aparato que comprende:
- al menos una memoria (303) para almacenar datos e instrucciones ejecutables por ordenador; y

al menos un procesador (306) configurado para acceder a dicha al menos una memoria (303) y adicionalmente configurado para ejecutar las instrucciones ejecutables por ordenador, para realizar el procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes.

10. Un sistema que comprende:

- 5 al menos una red (330) de distribución de energía que comprende una o más baterías de condensadores conmutables y uno o más reguladores (332) de voltaje ajustables; y

- 10 al menos una memoria (303) para almacenar datos e instrucciones ejecutables por ordenador; y al menos un procesador (306) configurado para acceder a dicha al menos una memoria (303), y adicionalmente configurado para ejecutar las instrucciones ejecutables por ordenador, para controlar el voltaje y la energía reactiva (VAR) en la red (330) de distribución, mediante:

estimando al menos un estado actual asociado a una red (330) de distribución;

asignando una o más zonas de carga en la red (330) de distribución;

prediciendo perfiles de carga de cada zona para un periodo de tiempo predeterminado;

- 15 determinando planificaciones de conmutación de la batería (332) de condensadores para un periodo de tiempo predeterminado, en base, al menos en parte, a dicho al menos un estado actual y a los perfiles de carga previstos;

conmutando las baterías (332) de condensadores de acuerdo a las planificaciones de conmutación de baterías de condensadores;

ejecutando un algoritmo de flujo de energía para determinar los voltajes previstos sobre todos los nodos en una zona, en base, al menos en parte, a los perfiles de carga previstos;

- 20 determinando un conjunto inicial de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje que allana el voltaje promedio previsto de todos los nodos en una zona durante un periodo de tiempo dado, en base, al menos en parte, a una relación lineal entre las razones de tomas y los voltajes que determinan un conjunto final de configuraciones de tomas reguladoras de voltaje, en base a un algoritmo de programación dinámica;

- 25 determinando planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje, en base, al menos en parte, a una o más de las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje, iniciales o finales; y

conmutando las configuraciones de tomas reguladoras de voltaje de acuerdo a las planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje.

11. El sistema de la reivindicación 10, en el cual la estimación de dicho al menos un estado actual comprende estimar al menos uno entre el voltaje, el factor de energía y las cargas reactivas en los nodos de la red (330) de distribución.

- 30 12. El sistema de la reivindicación 10 o la reivindicación 11, en el cual la asignación de una o más zonas de carga comprende agrupar nodos por sub-sistemas de control.

13. El sistema de la reivindicación 10, 11 o 12, en el cual dichas una o más zonas de carga son tratadas como nodos para predecir los perfiles de carga, y / o en el cual la predicción de los perfiles de carga está basada, al menos en parte, en un modelo de pronóstico de carga.

- 35 14. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 13, que comprende adicionalmente actualizar estimaciones de dicho al menos un estado actual y actualizar planificaciones de conmutación de baterías de condensadores.

- 40 15. El sistema de una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en el cual la determinación de las planificaciones de conmutación de baterías de condensadores está adicionalmente basada, al menos en parte, en uno o más entre la frecuencia de operación del dispositivo, el control reactivo de voltios-amperios (VAR) del dispositivo, los límites de voltaje de la red y el déficit de control VAR de la red, y / o en el cual la determinación de las planificaciones de conmutación de reguladores de voltaje está adicionalmente basada, al menos en parte, en un algoritmo de programación dinámica y en uno o más entre la frecuencia de operación del dispositivo, los límites de voltaje de la red y la nivelación del nivel de voltaje promedio en dicho al menos un sub-sistema de control.

45

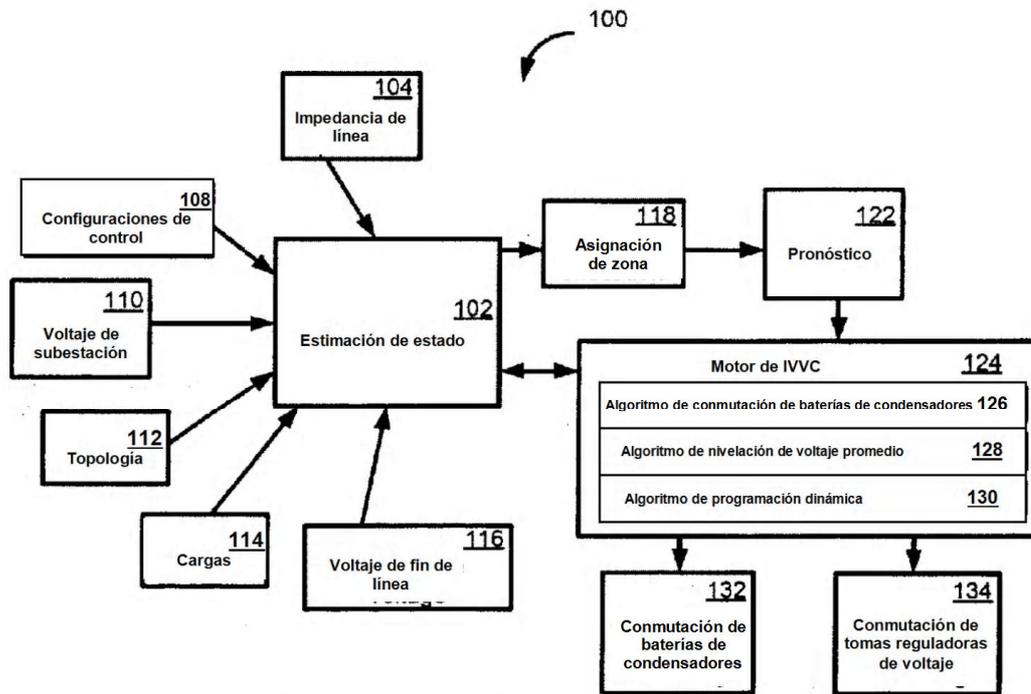


FIG. 1

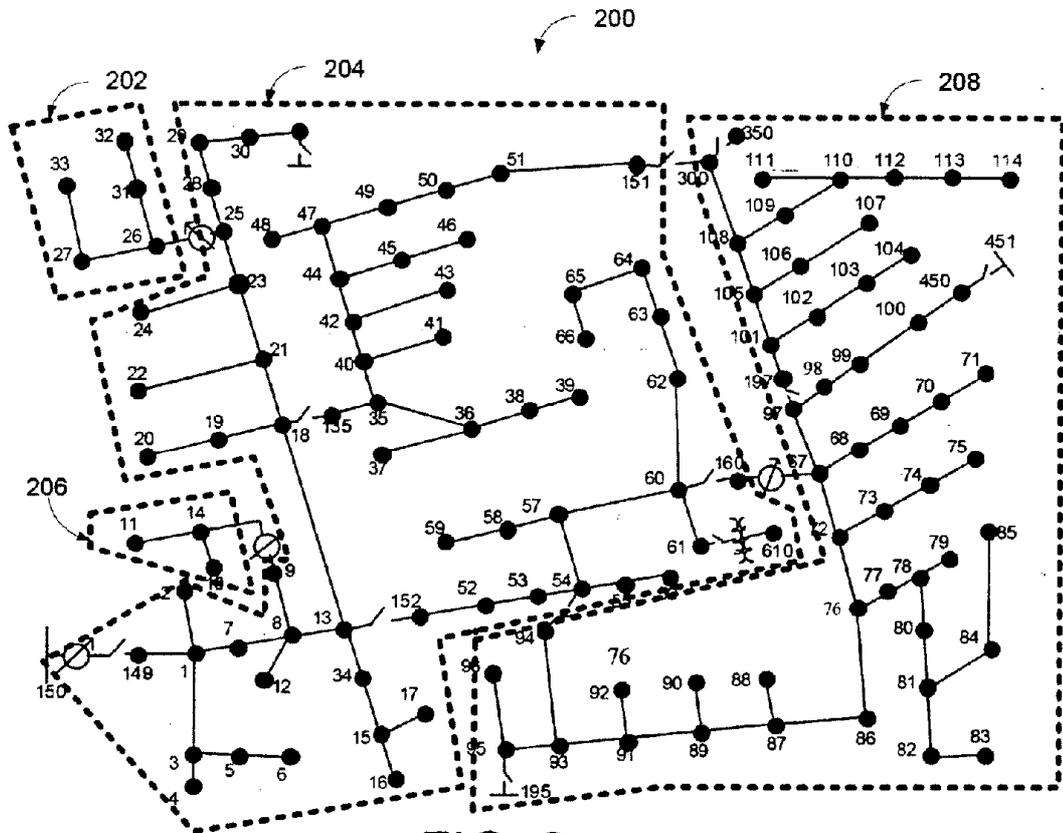


FIG. 2

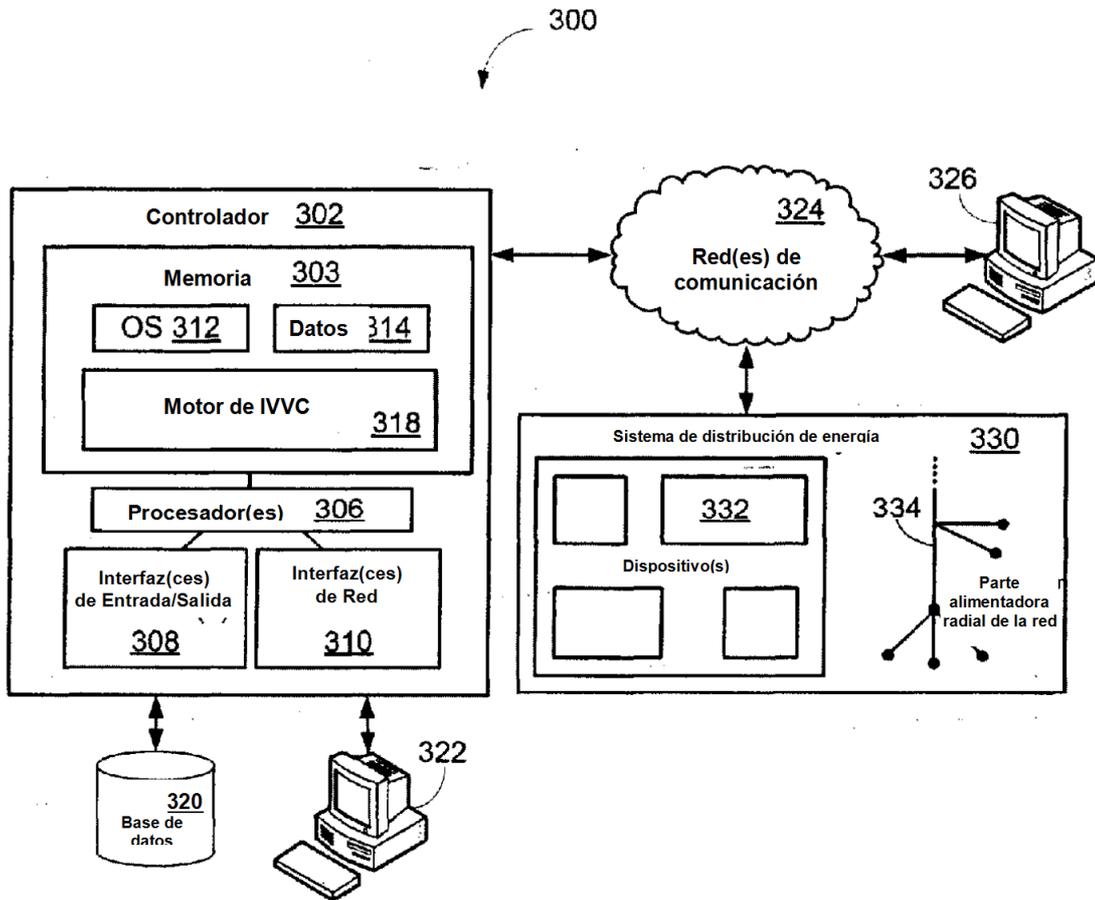


FIG. 3

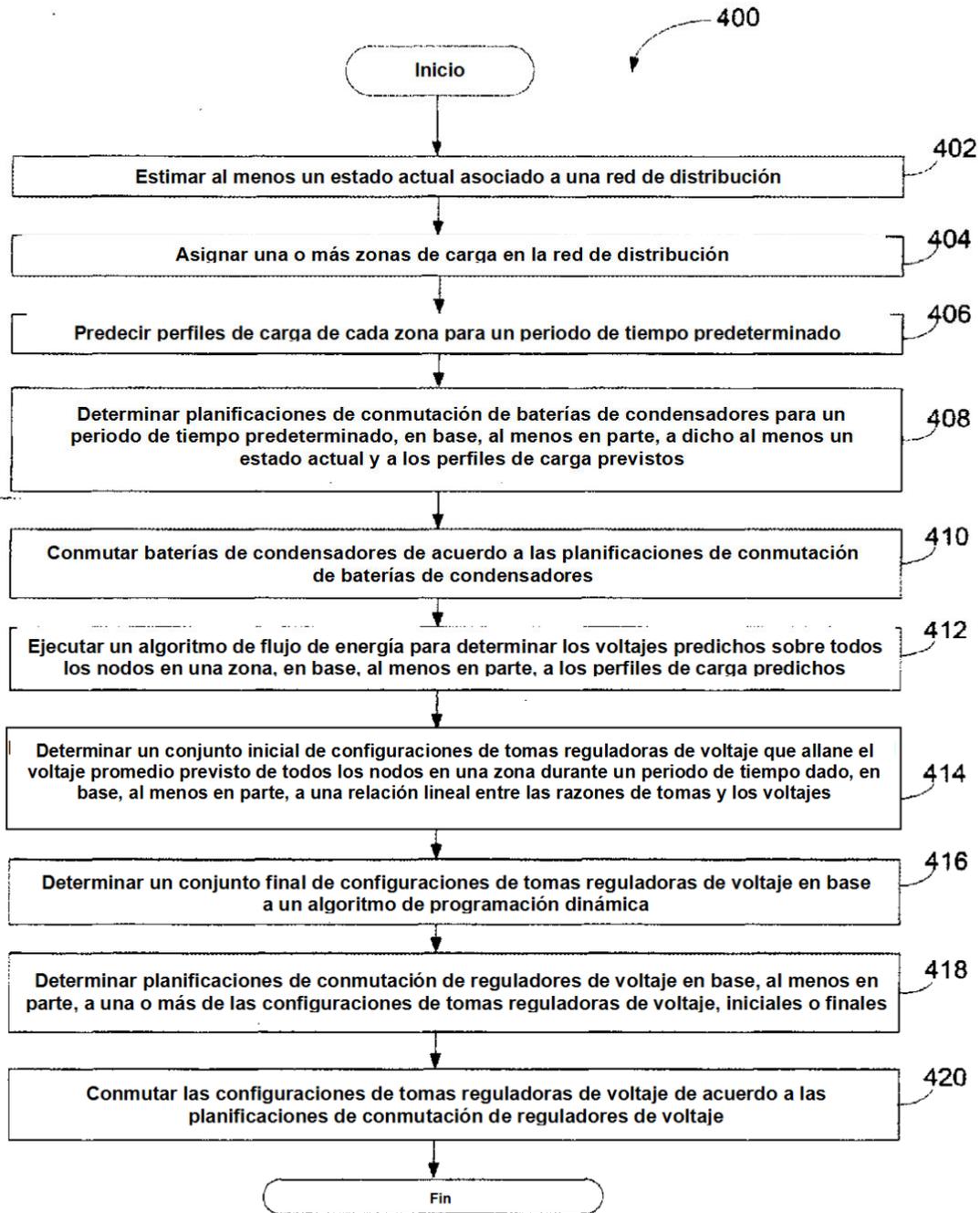


FIG. 4

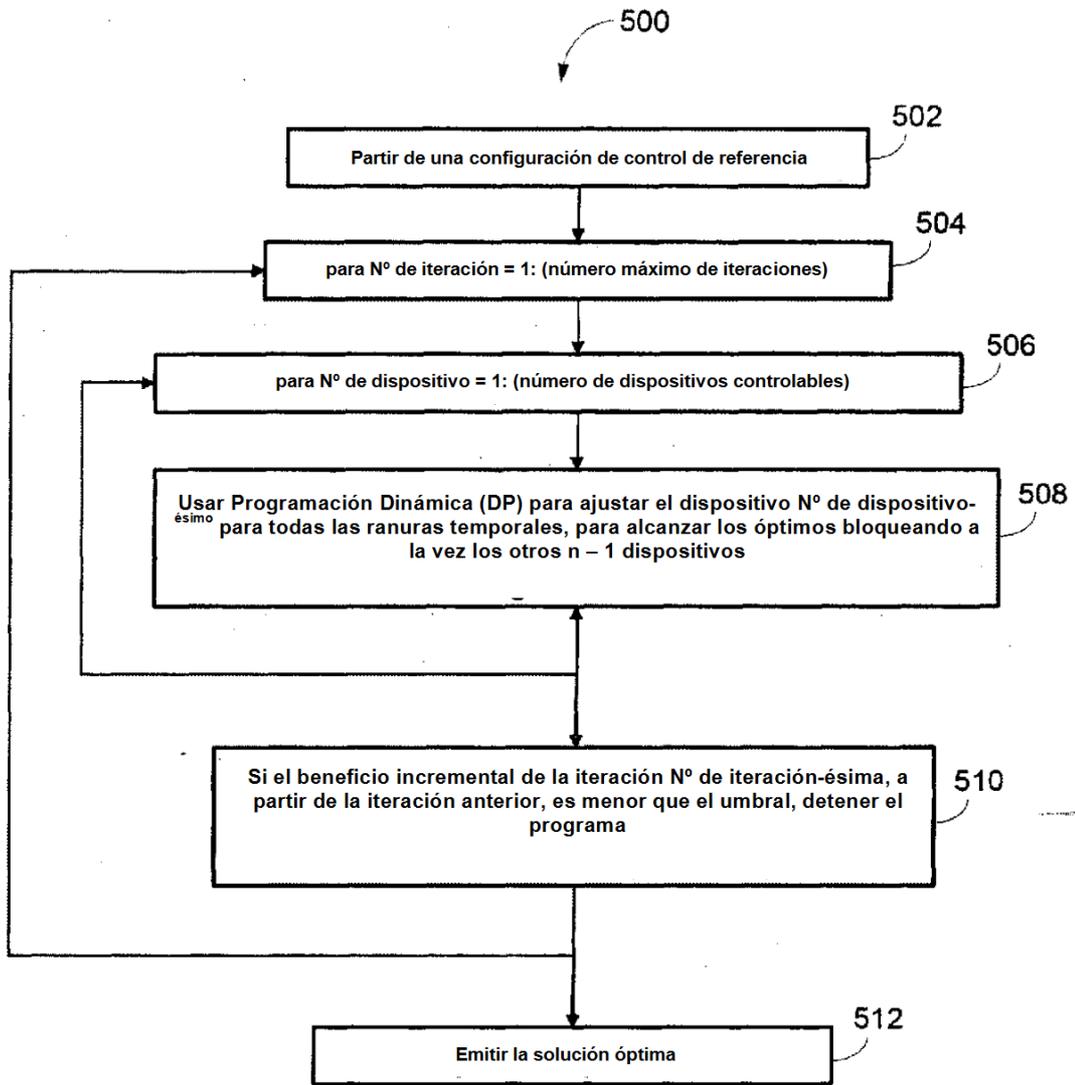


FIG. 5