

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 615 928**

51 Int. Cl.:

**H02J 13/00** (2006.01)

**H02J 3/00** (2006.01)

**H01R 31/08** (2006.01)

**H02G 7/16** (2006.01)

**H02G 7/20** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.07.2011 PCT/CA2011/000850**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.01.2013 WO2013013282**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.07.2011 E 11869942 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.11.2016 EP 2735081**

54 Título: **Aparato de conmutación, sistema de control y método para variar una impedancia de una línea de fase**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**08.06.2017**

73 Titular/es:  
**HYDRO-QUÉBEC (100.0%)**  
**75 boulevard René-Lévesque Ouest**  
**Montréal QC H2Z 1A4, CA**

72 Inventor/es:  
**COUTURE, PIERRE**

74 Agente/Representante:  
**PONS ARIÑO, Ángel**

ES 2 615 928 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**

Aparato de conmutación, sistema de control y método para variar una impedancia de una línea de fase

**5 Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un aparato, un sistema de control y a un método para variar la impedancia de una línea de fase de un segmento de una línea de energía eléctrica. La línea de fase comprende n conductores aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados entre sí en los dos extremos del segmento.

10

**Descripción de la técnica anterior**

Conocida en la técnica, existe la patente US 6.396.172, concedida el 28 de mayo de 2002. Esta patente describe un aparato de conmutación hecho para ser utilizado con una sección de una línea de transmisión de energía eléctrica que tiene varias líneas de fase. Cada una de las líneas de fase tiene varios conductores aislados eléctricamente entre sí y conectados en paralelo. Los conductores de cada línea de fase están cortocircuitados entre sí en dos extremos de la sección. El aparato comprende pares de interruptores conectados en paralelo, para abrir y cerrar selectivamente los conductores de cada línea de fase, medios de detección para detectar las condiciones operativas actuales de la sección y medios para controlar pares de interruptores de acuerdo con las condiciones operativas actuales de la sección de control.

15

20

La patente US 6.486.569 B2, concedida el 26 de noviembre de 2002, describe un método de gestión de un flujo de energía en una red de energía eléctrica. El método comprende las etapas de proporcionar unidades de conmutación que están montadas en porciones aisladas de pilones de líneas de energía eléctrica para la conmutación de la corriente de al menos un conductor de una pluralidad de conductores de fase que están aislados eléctricamente entre sí, permitiendo dicha conmutación de los conductores un cambio de impedancia que modula el flujo de energía. El método también comprende una etapa de administrar el flujo de energía en los segmentos de la línea de energía eléctrica, cambiando la impedancia en serie de la línea mediante el control de las unidades de conmutación.

25

30

La solicitud de patente CA 2441241 describe un método para aumentar la capacidad de tránsito de líneas eléctricas de alta tensión, particularmente útil en la región sujeta a tormentas de hielo.

En el documento titulado "Switching Modules for the Extraction/Injection of Power (Without Ground or Phase Reference) from a Bundled HV Line"<sup>1</sup> de Pierre Couture, inventor de la presente invención, se describen dispositivos para sistemas de transmisión de CA flexibles (FACTS) para líneas eléctricas de alta tensión con conductores agrupados. Los dispositivos FACTS se basan en módulos de conmutación montados en porciones aisladas de las torres de transmisión en las proximidades de los conductores de la línea. Los módulos de conmutación incluyen <sup>1</sup> IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.19, N.º 3, julio de 2004 interruptores electromecánicos y electrónicos de potencia, y pueden acoplarse a otros componentes pasivos. Los módulos de conmutación permiten conectar y desconectar uno o más subconductores de un haz de fase de la línea eléctrica en numerosos segmentos de línea en la red. El flujo de energía se gestiona en un segmento de línea al cambiar la impedancia en serie del segmento de línea con el módulo de conmutación. La gestión del flujo de energía se consigue mediante el uso de módulos de conmutación en serie distribuidos a lo largo de las líneas de transmisión de la red. Este documento describe módulos de conmutación que se comunican entre sí entre los diferentes segmentos de línea a través de un portador de línea eléctrica, o entre fases en cada torre a través de radiofrecuencia (RF) de corto alcance o enlace de infrarrojos.

35

40

45

La patente US 7.235.900 B1 (Couture), concedida el 26 de junio de 2007, que describe un aparato de conmutación y un método para variar la impedancia de una línea de fase de un segmento de una línea de energía eléctrica, incluyendo la línea de fase n conductores. El aparato incluye, para cada uno de los conductores, un componente pasivo y un par de interruptores electromecánicos y electrónicos, pudiendo el par de interruptores conectar y desconectar de manera selectiva el componente pasivo en serie con el conductor correspondiente, siendo los interruptores de cada par controlable de manera independiente. El aparato también incluye un dispositivo de detección para detectar las condiciones operativas actuales de la línea de fase, y un dispositivo de control para controlar cada par de interruptores de acuerdo con las condiciones operativas actuales. El documento PCT/CA2008/001185 (Couture), publicada como WO/2008/154749, describe un aparato y un método para la monitorización de una línea de fase de una parte de una línea de transmisión de energía eléctrica. El aparato comprende un dispositivo de monitorización de un parámetro de una línea de fase. El parámetro es representativo de las condiciones operativas actuales de la línea de fase y tiene una velocidad de propagación conocida. El aparato también comprende un dispositivo para generar una señal de detección de un evento cada vez que un parámetro tiene un valor superior a un umbral, y para almacenar un tiempo de recepción cuando se genera la señal de detección. El aparato también tiene un dispositivo para transmitir una señal representativa de una ubicación geográfica de la extremidad de la sección y un dispositivo para localizar geográficamente el evento una vez que dos señales de detección consecutivas se generan a partir de la señal representativa de la ubicación geográfica, y en los tiempos de recepción asociados con dos señales de detección.

50

55

60

65

El documento US 7.639.460 (Couture) describe un aparato de conmutación que incluye un interruptor de vacío conectado en serie con uno de los conductores en una línea de fase de una línea de energía. Un motor controlable permite abrir y cerrar el interruptor de vacío de forma selectiva. Un detector permite la detección de un parámetro representativo de las condiciones operativas actuales de la línea de fase; y un controlador permite controlar el motor controlable de acuerdo con el parámetro detectado por el detector.

En el documento titulado "Power Flow and Stability Control Using an Integrated HV Bundle-Controlled Line-Impedance Modulator"<sup>2</sup> de Pierre Couture, inventor de la presente invención, se describe un modulador de línea de impedancia de haz controlado para la gestión del flujo de energía bajo un estado estacionario y condiciones dinámicas.

<sup>2</sup> P. Couture, J. Brochu, G. Sybille, P. Giroux, A.O. Barry, "Power Flow and Stability Control Using an Integrated HV Bundle-Controlled Line-Impedance Modulator", IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 25, n.º 4, páginas, Oct. 2010.

El documento titulado "Smart Power Line and Photonic de-icer concepts for transmission-line capacity and reliability improvement"<sup>3</sup> introduce el concepto de Smart Power Line (SPL) y explica cómo SPL puede abordar tres necesidades importantes: línea de deshielo, línea de modulación de impedancia y monitorización de la línea.

<sup>3</sup> Couture P., "Smart Power Line and Photonic de-icer concepts for transmission-line capacity and reliability improvement", Cold Regions Science and Technology, Volumen 65, n.º 1, enero de 2011

Los documentos US 6.018.152 (ALLAIRE) y US 2009/0250449 (PETRENKO) describen otros métodos y unos aparatos para el deshielo de conductores de líneas eléctricas. Más específicamente, el documento US 2009/0250449 (PETRENKO) describe interruptores previstos en cada extremo de una sección para el acoplamiento de conductores juntos en paralelo en un "modo normal" y para la colocación de algunos de los conductores en serie en un modo de "anti-formación de hielo".

El documento titulado "The Method and Test of De-icing on Four Bundled-conductors by Leading Running Current into Various Sub-Conductors Combinations"<sup>4</sup> de Zhang Zhijin, explica cómo se verificó el deshielo de conductores atados y probados llevando la corriente que se desplaza en varias combinaciones de subconductores.

<sup>4</sup> Zhang Zhijin, Bi Moqiang, Jiang Xingliang, Huang Haizhou, Hu Jianlin, Sun Ciixin, "The Method and Test of De-icing on Four Bundled-conductors by Leading Running Current into Various Sub-Conductors Combinations", 14º Taller Internacional de estructuras de formación de hielo atmosféricas, Chongqing, China, 8-13 de mayo de 2011.

El documento titulado "Novel Deicing Approach of Overhead Bundled Conductors of EHV Transmission Systems"<sup>5</sup>, de Chang Guanghui, describe un método para el deshielo de líneas eléctricas mediante la reconfiguración de conductores agrupados a partir de una conexión en paralelo a conexión en serie, para aumentar el flujo de corriente a través de los conductores.

El documento titulado "Distributed FACTS - A New Concept for Realizing Grid Power Flow Control"<sup>6</sup> de Deepak Divan introduce el concepto de dispositivos de sistemas de transmisión de CA flexible distribuidos (FACTS) para realizar el control de flujo de potencia. Series de impedancia distribuida y series de compensadores estáticos distribuidos se fijan en una línea eléctrica existente para cambiar la impedancia de la línea para controlar el flujo de potencia.

Una línea eléctrica inteligente (SPL) es una línea eléctrica agrupada convencional provista de aparatos de conmutación y sistemas de monitorización de línea, que permite realizar la monitorización de línea, el deshielo y el control del flujo de energía de la línea. Por ejemplo, una SPL puede ser una línea eléctrica de 735 kV, formada por varios segmentos de 30 km de subconductores de línea de fase aislados, y en el que los módulos de conmutación de espalda con espalda están enganchados, en general, cada 60 km en torres de extremo muerto, que también se conocen como torres de anclaje. Una torre de anclaje provista de aparatos de conmutación inteligentes y sistemas de protección a bordo en cada fase se conoce generalmente como una mini subestación. Una mini subestación también puede

<sup>5</sup> Chang Guanghui, Su Sheng, Li Mingming y Chao Daifeng, "Novel Deicing Approach of Overhead Bundled Conductors of EHV Transmission Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 24, n.º 3, páginas, julio de 2009.

<sup>6</sup> Deepak Divan, Harjeet Johal, "Distributed FACTS - A New Concept for Realizing Grid Power Flow Control", IEEE 2005.

incluir varias torres de anclaje provistas de aparatos de conmutación inteligentes, estando las torres situadas dentro de un entorno inmediato entre sí.

Una SPL de 735 kV está provista normalmente de mini-subestaciones cada 60 km y con subestaciones situadas cada una a cada 300 km más o menos, a lo largo de la línea. Una subestación incluye diferentes tipos de dispositivos, tal como interruptores, seccionadores, transformadores, instrumentos de medición y similares.

Una SPL también incluye generalmente al menos un cable de tierra, tal como un cable de tierra óptico, por ejemplo. Un cable de tierra óptico tiene la doble función de 1) proteger la línea de energía eléctrica contra la caída de rayos a través de cables metálicos que rodean las fibras ópticas, y 2) permitir la transmisión de datos, a través de las fibras. La información transmitida puede incluir la protección y control de datos de la línea eléctrica o de la red, o datos de voz. Las fibras ópticas situadas en el cable de tierra están eventualmente conectadas a subestaciones de la línea, y en última instancia a una sala de control remoto de la red de transmisión. Un enlace de comunicación de banda baja, del tipo de portador de línea eléctrica PLC, se puede utilizar para permitir una redundancia de comunicación limitada.

Con referencia a las figuras 1 y 2, se muestra una mini subestación 10. En el caso ilustrado, la mini subestación 10 incluye una torre de anclaje 12 provista de aparatos de conmutación inteligente 14 y sistemas de protección de a bordo 16 situados en cada fase. Cada línea de fase A, B, C, está provista de un par de aparatos de conmutación 14, montados espalda con espalda. Los pares aparatos de conmutación 14 están situadas en la misma torre 12, estando cada aparato 14 a un potencial diferente, siendo este potencial uno de la línea de fase A, B o C al que el aparato 14 está enganchado.

Los aparatos de conmutación 14 se comunican entre sí mediante dispositivos de comunicación por radiofrecuencia (RF), situados dentro de los módulos de conmutación. Estos dispositivos inalámbricos permiten que los aparatos 14 se comuniquen entre sí, aunque operan a diferentes tensiones. Una conexión de los módulos con hilo galvánico no es posible, precisamente porque los módulos están cada uno a una tensión diferente).

Un convertidor de RF a óptica y de óptica a RF, situado cerca de los hilos de tierra 18 se utiliza para convertir las señales de RF de los módulos a señales ópticas, para permitir la transmisión de datos entre los aparatos de conmutación 14 y las fibras ópticas de los hilos de tierra 18. Los dispositivos de RF, junto con el convertidor de RF a óptica, forman un sistema de comunicación. Este sistema de comunicación también se puede utilizar para permitir la comunicación entre los aparatos 14 y otros aparatos de conmutación de una segunda o tercera línea de transmisión situada en el mismo corredor, en un entorno inmediato de la torre de anclaje 12, o con aparatos de torres pertenecientes a la misma mini subestación. Además, los transceptores de RF de los aparatos de conmutación también se pueden utilizar para comunicarse con sensores situados a lo largo de la línea de segmento asociada.

Los métodos y los dispositivos descritos en las referencias anteriores y el sistema mostrado en las figuras 1 y 2 permiten variar la impedancia de los conductores de la línea eléctrica, con el fin de monitorizar la línea, controlar el flujo de energía dentro de la línea o de deshelar los conductores.

Se cree que hay una necesidad de aparatos de conmutación, sistemas de control y métodos para variar la impedancia de una línea de fase que sean más fiables que los aparatos, sistemas y métodos de la técnica anterior.

### Sumario de la invención

Un objeto de la presente invención es proporcionar un aparato y un método que aborde las necesidades mencionadas.

La presente invención proporciona un aparato de conmutación para variar una impedancia de una línea de fase de un segmento de una primera línea de energía eléctrica. La línea de fase incluye n conductores aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento. El aparato comprende:

- al menos un dispositivo de conmutación controlable para su conexión con al menos uno de los conductores; y
- un controlador para realizar un control del al menos un dispositivo de conmutación controlable, teniendo el controlador al menos un puerto óptico para recibir unas primeras señales ópticas en las que se basa dicho control, y para enviar unas segundas señales ópticas a aparatos de conmutación adyacentes, incluyendo dichas segundas señales ópticas información de estado de dicho un aparato de conmutación, en las que se basa un control de aparatos de conmutación adyacentes.

La invención también se refiere a un sistema de variación de impedancia de una línea de energía eléctrica, teniendo la línea de energía eléctrica varios segmentos conectados en serie, teniendo cada segmento al menos una línea de fase, incluyendo cada línea de fase n conductores aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento. El sistema comprende varios aparatos de conmutación, estando asociado cada aparato con uno de los segmentos. Cada aparato comprende:

- un dispositivo de conmutación controlable para su conexión con al menos uno de los conductores del segmento;
- un controlador para realizar un control del al menos un dispositivo de conmutación controlable, teniendo el controlador al menos un puerto óptico:
  - o para recibir primeras señales ópticas desde aparatos de conmutación adyacentes conectados a los segmentos que son adyacentes al segmento; y
  - o para enviar segundas señales ópticas a los aparatos de conmutación adyacentes.

El controlador es para el cálculo de valores sobre la base de dichas primeras señales ópticas recibidas. Las segundas señales ópticas incluyen dichos valores, sobre los cuales se basa el control de los dispositivos de conmutación controlables de los aparatos de conmutación adyacentes.

5 La presente invención también proporciona un método para variar una impedancia de una línea de fase de un segmento de una primera línea de energía eléctrica, incluyendo la línea de fase n conductores aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento, comprendiendo el método las etapas de:

- 10 a) recibir unas primeras señales ópticas en un aparato de conmutación asociado con el segmento, incluyendo el aparato de conmutación un dispositivo de conmutación controlable conectado con al menos uno de los conductores;
- b) realizar un control del dispositivo de conmutación basado en dichas primeras señales ópticas; y
- 15 c) enviar unas segundas señales ópticas desde el aparato de conmutación a aparatos de conmutación adyacentes, incluyendo dichas segundas señales ópticas información de estado de dicho un aparato de conmutación, en las que se basa un control de los aparatos de conmutación adyacentes.

También se proporciona un método de variación de impedancia de una línea de energía eléctrica, teniendo la línea de energía eléctrica varios segmentos conectados en serie, teniendo cada segmento al menos una línea de fase, incluyendo cada línea de fase n conductores aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento, comprendiendo el método las etapas de:

- 20 a) recibir unas primeras señales ópticas en aparatos de conmutación asociados con los segmentos, incluyendo cada aparato de conmutación un dispositivo de conmutación controlable conectado con al menos uno de los conductores;
- 25 b) calcular los valores en base a dicha primeras señales ópticas en uno de dichos aparatos de conmutación; y
- c) enviar unas segundas señales ópticas desde dicho un aparato de conmutación a aparatos de conmutación adyacentes, incluyendo dichas segundas señales ópticas dichos valores, en los que se basa un control de los aparatos de conmutación adyacentes.

30 La invención se entenderá mejor a partir de la lectura de la descripción no restrictiva que sigue de una realización preferida de la misma, y al referirse a los dibujos adjuntos.

### Breve descripción de los dibujos

35 La figura 1 es una vista en perspectiva de una torre de anclaje, provista de módulos de conmutación espalda con espalda, de acuerdo con la técnica anterior.

40 La figura 2 es una vista ampliada de la porción superior de la figura 1.

La figura 3 es una vista esquemática de un aparato de conmutación de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

45 La figura 4 es una vista esquemática de un sistema con dos aparatos de conmutación de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

La figura 5 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida, en su entorno.

50 La figura 6 es una vista esquemática de un sistema de espalda con espalda, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

La figura 7 es una vista lateral de dos aparatos de conmutación de espalda con espalda, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

55 La figura 8 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

La figura 9 es una vista lateral en perspectiva de un sistema de conmutación de espalda con espalda, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

60 La figura 10 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

65 La figura 11 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

La figura 12 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

5 La figura 13 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

La figura 14 es una vista ampliada de una porción del sistema mostrado en la figura 13.

10 La figura 15 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

La figura 16 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

15 La figura 17 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

20 La figura 18 es una vista esquemática de un sistema, de acuerdo con una realización preferida de la invención, en su entorno.

La figura 19A es una vista esquemática de algunos elementos de un aparato de conmutación y un enrutador, de acuerdo con una realización preferida de la presente invención.

25 La figura 19B es una vista esquemática de un controlador de un aparato de conmutación, de acuerdo con una realización preferida de la invención.

La figura 20 es un diagrama de bloques que muestra las etapas de un método de acuerdo con una realización de la invención.

30 La figura 21 es un diagrama de bloques que muestra las etapas de otro método de acuerdo con una realización de la invención.

### Descripción detallada de los dibujos

35 A pesar de que el sistema de comunicación descrito en la sección de antecedentes permite el intercambio de información entre aparatos de conmutación que tienen diferentes potenciales, hay varios inconvenientes asociados con dicho sistema.

40 En primer lugar, sería muy deseable si los aparatos de conmutación pudieran realizar localmente una porción de las funciones generalmente realizadas en el sistema de control remoto centralizado. Para lograr el control en tiempo real de la red, sería más eficiente si algo del control de las mini subestaciones y de la red se realizan localmente mediante los aparatos de conmutación, en lugar de tener que esperar para obtener instrucciones desde el sistema de control remoto.

45 En segundo lugar, se sabe que los cálculos necesarios para la monitorización, la gestión y el control de las redes eléctricas de alta tensión son considerables. Por consiguiente, sería muy ventajoso el uso de la potencia de procesamiento de los aparatos de conmutación para realizar al menos una parte de estos cálculos.

50 Los sistemas de comunicación utilizados en la actualidad en los aparatos de conmutación no permiten una distribución de las funciones de control, monitorización, cálculo y protección entre varios módulos de conmutación. La posibilidad de transferir algunas de las funciones de control y cálculo directamente en los aparatos de conmutación no se consideró, principalmente debido a que las señales de RF se ven afectadas por las perturbaciones electromagnéticas, tal como tormentas solares, y también porque están sujetas a intrusiones malintencionadas. Por razones obvias, las redes eléctricas deben ser extremadamente fiables, y una porción de las  
55 funciones de control, monitorización y protección no pueden ser transferidas desde un sistema de control centralizado a los aparatos de conmutación si estos pueden verse afectados por perturbaciones electromagnéticas o por intrusiones no autorizadas, y si la capacidad de cálculo es insuficiente. Los módulos de conmutación existentes actualmente no poseen suficiente potencia de cálculo para permitir la distribución adecuada del control y la protección de la red y la banda de RF es demasiado pequeña para ser utilizada para transmitir datos voluminosos.  
60 Por otra parte, GPS, al igual que las señales de RF, puede verse afectado por tormentas solares e intrusiones no autorizadas. Los aparatos de conmutación existentes dependen de GPS para fines de temporización y, por lo tanto, pueden verse afectados por un mal funcionamiento del GPS.

65 Con el fin de transferir parte del control de la red eléctrica desde el sistema de control remoto a los aparatos de conmutación, las comunicaciones entre los aparatos vecinos deben ser tan robusta como sea posible, especialmente durante tormentas solares o de hielo, y en tiempos de duras condiciones meteorológicas.

En la siguiente descripción, las características similares en los dibujos se les han dado números de referencia similares. Para preservar la claridad, ciertos elementos pueden no estar identificados en algunas figuras si ya están identificados en una figura anterior.

5 Haciendo referencia a la figura 3, se muestra un segmento 20 de una línea de energía eléctrica 21 que tiene tres fases A, B y C. Cada línea de fase 22 incluye cuatro conductores 24 que están eléctricamente aislados entre sí, y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento 20. Un segmento 20 corresponde típicamente a una porción de la línea eléctrica. En una red de energía de 735 kV, los segmentos están generalmente separados entre sí unos 30 km, y las mini subestaciones están separadas unos 60 km.

10 Un aparato de conmutación 26, a veces denominado módulo de conmutación, está vinculado a uno de los conductores 24 de línea de fase A. Este aparato de conmutación 26 es para variar la impedancia de la línea de fase A. Incluye un dispositivo de conmutación controlable 28 conectado al conductor 24, y un controlador 30 para realizar un control del dispositivo de conmutación 28. El dispositivo de conmutación permite la modificación del flujo de corriente dentro del conductor, 24 para fines tales como el deshielo. El dispositivo de conmutación controlable 28 es cualquier dispositivo que sea capaz de modificar el flujo de corriente dentro de un conductor, e incluye al menos uno de un conmutador mecánico, un conmutador electromecánico, un interruptor de vacío y un conmutador electrónico, o cualquier combinación de los mismos.

20 Aunque la línea de energía eléctrica 21 ilustrada es una línea trifásica A, B, C, el aparato de conmutación 26 de la presente invención también se puede utilizar en una línea de corriente continua de alta tensión (HVDC). También vale la pena mencionar que cada línea de fase 22 puede incluir un número diferente de conductores 24, que típicamente varía entre 1 y 12. Además, aunque el aparato de conmutación 26 que se muestra está conectado a solamente uno de los conductores 24, el aparato de conmutación está conectado preferentemente a cada conductor 24 de la línea de fase 22, tal como el ejemplo mostrado en la figura 1, por ejemplo. Por supuesto, en este caso, el módulo de conmutación incluye un dispositivo de conmutación controlable 28 para cada conductor.

30 Todavía en referencia a la figura 3, el controlador 30 tiene al menos un puerto óptico 32. El controlador 30 es preferiblemente un procesador, que incluye una CPU y una memoria, y se accede directamente a través del puerto óptico. Aunque es preferible incluir el puerto óptico 32 directamente en el procesador, también se puede considerar usar un procesador con interconexiones eléctricas, y utilizar una interfaz eléctrica-óptica para recibir y enviar señales ópticas a/desde el procesador.

35 El puerto óptico 32 permite una transmisión bidireccional de datos, para recibir unas primeras señales ópticas y para enviar unas segundas señales ópticas. Las primeras señales ópticas recibidas incluyen información sobre las que se basa el control del dispositivo de conmutación 28. Este control puede ser, por ejemplo, para dejar el dispositivo de conmutación en su estado actual, para abrirlo o para cerrarlo. Las segundas señales ópticas incluyen información del estado del aparato de conmutación 26, en las que se puede basar un control de aparatos de conmutación adyacentes.

40 Mediante aparatos de conmutación adyacentes se entiende no solo los aparatos de conmutación que están conectados directamente entre sí, sino también aparatos que se encuentran en un entorno cercano entre sí. Vale la pena señalar que, en la escala de una red de energía eléctrica, un aparato de conmutación puede estar a varios kilómetros de distancia de otro aparato de conmutación adyacente.

45 El uso de un puerto óptico 32 en el controlador permite ventajosamente acceder directamente al procesador, sin ser afectado por interferencias electromagnéticas, que de otro modo afectarían al correcto funcionamiento de un aparato de la técnica anterior provisto de un dispositivo de comunicación de infrarrojos o RF. El puerto óptico 32 también permite aumentar la velocidad a la que los datos transitan desde un aparato a otro.

50 Ventajosamente, al tener un aparato de conmutación que incluye un controlador, por sí mismo provista de al menos un puerto óptico, permite conectar dos aparatos de conmutación a través de una fibra óptica, incluso si están a diferentes potenciales. Las conexiones del aparato de conmutación a través de fibras ópticas también son robustas al ruido electromagnético, así como a las intrusiones no autorizadas en el sistema.

55 Con referencia a la figura 4, se muestra otro segmento 34 de la línea de energía eléctrica 21. Las dos líneas de fase A y B están cada una formada por cuatro conductores 24, y cada línea de fase 22 está provista de un aparato de conmutación 26 como se describe anteriormente. El primer aparato de conmutación 26a puede variar la impedancia de la línea de fase A, mientras que el segundo aparato de conmutación 26b puede variar la impedancia de la línea de fase B. El puerto óptico 32a del primer aparato de conmutación 26a está conectado al puerto óptico 32b del segundo aparato de conmutación 26b a través de una primera fibra óptica 36. Esta configuración permite ventajosamente que ambos aparatos de conmutación 26a, 26b intercambien señales ópticas entre sí. Por supuesto, cuando está en uso, al menos uno, y preferiblemente ambos aparatos de conmutación 26a, 26b están vinculados a un sistema de control externo, y a otros aparatos de conmutación adyacentes.

65

Haciendo referencia a la figura 5, el sistema representado es similar al que se muestra en la figura 4, con la diferencia de que el primer y segundo aparatos de conmutación 26a, 26b se comunican entre sí a través de un enrutador 38. Los puertos ópticos 32a, 32b de los aparatos de conmutación 26a, 26b están conectados al enrutador 38 a través de unas primera y segunda fibras ópticas 40, 42, respectivamente. Aunque no se muestra, el enrutador 38 es para su conexión a otros aparatos de conmutación, y, eventualmente, a un sistema de control remoto, que puede estar situado en una subestación estándar o en una estación remota centralizada. El enrutador 38 puede ser un enrutador provisto de puertos ópticos o puede ser una caja de conexiones de fibras ópticas. El enrutador puede incluir circuitos ópticos o electro-ópticos.

Con referencia a la figura 6, se muestra un sistema de espalda con espalda 44. Este sistema de espalda con espalda 44 incluye dos aparatos de conmutación 260, 262, siendo cada uno similar al que se muestra en la figura 3, estando los dos aparatos 260, 262 en una configuración de espalda con espalda. Cada aparato, 260 o 262, está situado en el primero y segundo segmentos 200, 202 de la misma línea de fase 22, en este caso la línea de fase A. Aunque no se muestra, una torre de anclaje generalmente permite la conexión del primer y segundo segmentos 200, 202, de manera similar a la configuración mostrada en la figura 1. Todavía con referencia a la figura 6, el segundo aparato 262 está situado en un extremo del segundo segmento 202, directamente adyacente al extremo del primer segmento 200, donde está situado el primer aparato 260. Los puertos ópticos 320, 322 del primer y segundo aparatos de conmutación 260, 262 están conectados entre sí con una primera fibra óptica 360. Aunque no se muestra, cuando está en uso, al menos uno de los aparatos 260, 262 está conectado además a un sistema de comunicación externo. Ventajosamente, suponiendo un segmento 200 o 202 de aproximadamente 30 km; esta configuración permite ventajosamente la colocación de los aparatos de espalda con espalda 260, 262 solo cada 60 km, facilitando las operaciones de instalación y mantenimiento de los sistemas 44.

Con referencia a la figura 7, se muestran dos aparatos espalda con espalda 260, 262, con la cubierta de protección retirada para ver mejor a los componentes en su interior. En esta realización, los aparatos de conmutación espalda con espalda 260, 262 comparten la misma placa de entrada 46, sin tener que utilizar varillas de conexión entre los aparatos. En el extremo exterior del primer aparato de conmutación 260 están situados cuatro conductores 48, cada uno para su conexión a uno de los conductores de una línea de fase. Cada conductor 48 del aparato de conmutación está conectado a un dispositivo de conmutación controlable 28, en este caso un interruptor de vacío 50 situado en un primer compartimento 52. Cada interruptor de vacío 50 está a su vez conectado a un motor controlable 54, situado en un segundo compartimento 56, para cerrar o abrir el interruptor 50. En un tercer compartimento 58 está situado un controlador 300, y está conectado con los dispositivos de conmutación controlables 280. El segundo aparato de conmutación 262 tiene la misma configuración que la del primer aparato 260. Ambos controladores 300, 302, que en este caso consisten en cuatro procesadores 60 montados en un único sustrato, están provistos de dos puertos ópticos 320, 322. Un primer puerto óptico 320 del primer aparato de conmutación 260 es para su conexión a la primera fibra óptica 320 del segundo aparato de conmutación 262 a través de una primera fibra 360. Cada controlador 300, 302 está provisto además de un segundo puerto óptico 322, para su conexión a un dispositivo o sistema externo a los aparatos de conmutación 260, 262. Una segunda fibra óptica 362 se conecta en el segundo puerto 322 del primer aparato de conmutación 260, y una tercera fibra óptica 364 se conecta en el segundo puerto 322 del segundo aparato de conmutación 262. En el presente caso, la segunda y tercera fibras ópticas 362, 364 salen del sistema de conmutación doble 44 a través de la misma cadena aislante 62. Sin embargo, para aumentar la fiabilidad del sistema 44, se puede considerar que tiene la segunda y tercera fibras 362, 364 a través de diferentes cadenas de aisladores. De esta manera, la fiabilidad del sistema 44 se incrementaría, ya que las fibras 362, 364 utilizan una trayectoria diferente. También hay que señalar que en otras configuraciones de sistemas de espalda con espalda 44, los dos aparatos de conmutación 260, 262 podrían compartir un único controlador.

Haciendo referencia a las figuras 7 y 19A, el controlador de los aparatos de conmutación está conectado preferentemente a por lo menos un detector, tal como un detector de corriente, un detector de tensión y un detector de posición. La bahía de alimentación y control 108 también puede incluir un transceptor de RF. Los parámetros detectados por un detector 64 y el indicador de tensión situado a lo largo del segmento a través del transceptor de RF se pueden enviar al controlador para el cálculo de parámetros de red.

La bahía de alimentación y control 108 incluye también módulos de alimentación 66. En el caso de un sistema de espalda con espalda 44, los módulos de alimentación 66 de los aparatos 260, 262 están conectados preferiblemente junto con un hilo eléctrico. Esta configuración aumenta la redundancia de la fuente de alimentación de los aparatos 260, 262, y es posible en una configuración de espalda con espalda, ya que ambos módulos están en el mismo potencial.

Volviendo a la figura 7, cada uno de los controladores 300, 302 incluye tres procesadores 60 que operan en paralelo y están conectados entre sí. Los cálculos se realizan simultáneamente y en paralelo dentro de cada procesador 60, y los procesadores 60 comparan entre sí sus resultados. Si uno de los valores calculados por un procesador 60 es diferente de los valores calculados por los otros dos procesadores 60, el procesador 60 que calcula el valor erróneo se descarta, para garantizar que los cálculos del controlador 30 siempre son fiables. Para lograr esto, cada procesador 60 incluye medios para la comparación de tres valores de un parámetro dado y medios para descartar uno de dichos valores cuando dicho un valor es incoherente con los dos valores restantes.

Haciendo ahora referencia a la figura 19B, un controlador 30 comprende además un procesador de espera 68. Este procesador de espera 68 está conectado a cada uno de los tres procesadores descritos anteriormente, y se activa, o se utiliza, cuando uno de los tres valores se descarta, en sustitución del procesador 60 que ha calculado el valor erróneo. El controlador 30 puede incluir además al menos un procesador adicional 70, para la realización de cálculos específicos de los parámetros de la línea de energía eléctrica. Por supuesto, todos los procesadores 60, 68, 70 están todos conectados entre sí. Las conexiones entre los procesadores no se muestran para preservar la claridad de esta figura 19B.

Con referencia ahora a las figuras 8 y 9, se muestra un sistema de espalda con espalda 44 en combinación con un enrutador 38. Una primera fibra 360 conecta un primer puerto óptico 320 del primer aparato 260 con un primer puerto óptico 320 del segundo aparato 262. La segunda y tercera fibras ópticas 362, 364 conectan los segundos puertos 322 del primer y segundo aparatos de conmutación 260, 262 al enrutador 38, pasando la segunda y tercera fibras 362, 364 a través de una cadena de aisladores. El sistema de espalda con espalda 44 es para conexión de dos segmentos adyacentes 200, 202 de una fase A.

En la figura 9, se muestran la segunda y tercera fibras 362, 364 de un segundo sistema de espalda con espalda (que no aparece en la figura 9), sin conectar. En uso, las tres fases A, B, C están conectadas a sistemas de espalda con espalda 44, como se describirá más detalladamente con referencia a la figura 11. Cabe señalar que, en otras realizaciones de la invención, se puede considerar incluir el enrutador 38 integrado en el controlador. En este caso, las capacidades de enrutamiento se realizarían mediante el controlador, y el controlador incluiría más puertos ópticos para conectarse directamente con otros controladores que tienen capacidades de enrutamiento, con otros enrutadores, o con una fibra óptica que se extiende en el hilo de tierra.

Como se muestra en las figuras 11 y 12, el enrutador 38 ventajosamente permite interactuar con los controladores 300a, 302a del par de aparatos de conmutación de espalda con espalda 260a, 262a enganchado a la fase A con los otros dos sistemas de espalda con espalda 260b, 262b, 260c, 262c conectados a las líneas B y C, pero también a una fibra óptica principal 72 que está conectada en última instancia al siguiente enrutador de la línea eléctrica, o a una estación de control remoto (no mostrada). Las conexiones similares se realizan en los aparatos de conmutación de espalda con espalda de las fases B y C. Una caja de conexiones o enrutador de la fibra óptica se utiliza para conectar las seis fibras ópticas de los procesadores de los seis módulos de conmutación de las tres fases ABC a los otros enrutadores de la misma mini subestación de las otras líneas de transmisión en el mismo corredor. También permite que se conecten a los demás enrutadores de las otras mini subestaciones de la línea de transmisión y con el centro de control del sistema con la ayuda del hilo de tierra de fibra óptica u otras fibras ópticas de una manera que es redundantemente segura y fiable. El enrutador puede estar compuesta de circuitos ópticos o circuitos electro-ópticos. Un enrutador puede estar provisto de puertos ópticos o puede ser una caja de conexiones de fibras ópticas. El enrutador puede incluir circuitos ópticos o electro-ópticos. Más específicamente, cada uno de los aparatos 260, 262 está provisto de un primer y segundo puertos ópticos 320, 322. Para cada par de primer y segundo aparatos 260, 262, el primer puerto óptico 320 del primer aparato 260 está conectado al primer puerto óptico 320 del segundo aparato 262 a través de la primera fibra óptica 360; y los segundos puertos ópticos 322 del primer y segundo aparatos 260, 262 están conectados al enrutador 38 a través de segunda y tercera fibras ópticas 362, 364. Como se puede apreciar, los controladores de los seis aparatos de conmutación 260a, 260b, 260c y 262a, 262b, 262c son capaces de enviar y recibir dichas primera y segunda señales ópticas a través del enrutador 38. Con esta configuración, el controlador de un aparato de conmutación está siempre provisto de dos conexiones, proporcionando al sistema un aumento de la redundancia y de fiabilidad.

Todavía con referencia a las figuras 11 y 12, la fibra óptica principal 72 es un enlace óptico reenviado desde un enrutador 38 al siguiente, que generalmente está situado en el hilo de tierra (no mostrado) que se extiende a lo largo del primer y segundo segmentos 200, 202. El cable óptico principal 72 en última instancia se conecta a un sistema remoto de control (no mostrado), que monitoriza y controla la operación de la red eléctrica de alta tensión. Por supuesto, la fibra óptica principal no está necesariamente situada en el hilo de tierra.

Haciendo referencia a la figura 12, cada controlador 300, 302 está provisto de buses de entrada y salida 74, además de los puertos ópticos 320, 322, para recibir y enviar información desde/a otros tipos de dispositivos (no mostrados), tal como sensores, actuadores de conmutación y transceptor de RF, por ejemplo. Tales dispositivos están situados dentro del aparato de conmutación, para proporcionar información al aparato con relación a la corriente, la tensión o la carga de hielo del conductor. En esta configuración del sistema, la segunda y tercera fibras ópticas 362, 364 pasan a través de la misma cadena de aisladores 62. Sin embargo, para aumentar la redundancia, puede ser preferible tener estas fibras que pasan a través de diferentes cadenas de aisladores.

Volviendo ahora a la figura 10, se muestra otro tipo de sistema distribuido. En esta configuración, los aparatos de conmutación 26a, 26b y 26c no están en una configuración de espalda con espalda. Para el aparato 26a, el primer puerto óptico 324 está conectado a un puerto óptico del aparato de conmutación 26c por medio de una fibra óptica 370, y su segundo puerto óptico 326 está conectado al puerto óptico del aparato de conmutación 26b. Los mismos tipos de conexiones se realizan para los aparatos 26b y 26c. En este sistema distribuido, los controladores 30 de los tres aparatos de conmutación son capaces de comunicarse entre sí a través de las fibras ópticas 370. Por supuesto, en operación, al menos uno de los aparatos de conmutación 26a, 26b o 26c también se pueden conectar a un

dispositivo externo, para comunicarse con otros aparatos de conmutación de torres adyacentes, y con el sistema de control remoto. Este sistema distribuido también proporciona la redundancia y la fiabilidad requeridas para transferir algunas de las funciones de control, cálculo y monitorización del sistema de control remoto de forma local, directamente en los aparatos de conmutación.

5 Haciendo referencia a la figura 13, se muestra un sistema distribuido para variar una impedancia de los diferentes segmentos 200, 202 de una línea de energía eléctrica 21. Los segmentos ilustrados representan segmentos desde una sección media de una línea de alimentación eléctrica 21, emparejado en el primero y segundo segmentos 200, 10 202, y en el que los aparatos de conmutación de espalda con espalda 260, 262 se enganchan en la unión del primer y segundo segmentos 200, 202. Por supuesto, se requiere una torre de anclaje en la unión de los segmentos 200 y 202, pero no se ilustra, para evitar sobrecargar la figura. Un enrutador 38 está conectado a cada uno de los aparatos de los sistemas de espalda con espalda 44, con la misma configuración que los sistemas ilustrados en las figuras 11 y 12. Los enrutadores 38 están conectados en serie con las fibras ópticas de enrutador a enrutador 74, que se extienden a lo largo de la longitud de los segmentos 200, 202.

15 En referencia a la figura 14, se muestran mejor las conexiones de un sistema de espalda con espalda 44 con el primer y segundo segmentos 200, 202. En el primer segmento 200, cada uno de los cuatro conductores 24 está conectado a un dispositivo de conmutación controlable 280 situado dentro del aparato de conmutación 260. Los dispositivos de conmutación controlables 280 están a su vez conectados al controlador 300. Las mismas conexiones se realizan en el segundo segmento 202. Ambos controladores 300, 302 están conectados entre sí a través de una primera fibra óptica 360. Cada controlador 300, 302 también está conectado al enrutador 38. Otros tres pares de 20 fibras ópticas se muestran parcialmente, siendo dos de los pares para la conexión a los sistemas de espalda con espalda de las otras dos líneas de fase, y siendo el tercer par para la conexión a los enrutadores de segmentos adyacentes.

25 Haciendo referencia a la figura 15, se muestran cinco enrutadores 38, cada uno parte de una mini subestación 104, estando los tres enrutadores medios asociados con pares de primer y segundo segmentos, respectivamente (los segmentos no se muestran para aligerar esta figura 15), y los dos enrutadores exteriores 38 están asociados con los segmentos exteriores de la porción de la línea de energía eléctrica que se extiende entre dos subestaciones. En esta configuración del sistema distribuido, cada uno de los tres enrutadores medios 38 está provisto de diez puertos ópticos 33 (solamente se identifica un puerto 33 en el enrutador más a la izquierda 38). De estos diez puertos, tres pares de puertos (que se muestran sin conectar) son para la conexión a los tres aparatos de conmutación de 30 espalda con espalda 260, 262 enganchado en cada línea de fase 22, tal como se muestra en la figura 11. Otros dos puertos son para la conexión con los enrutadores adyacentes 38 de los segmentos o de una de la subestación 78, a través de fibras de enrutador a enrutador 76. Por último, los dos últimos puertos son para la conexión a los segundos enrutadores adyacentes, en la línea de transmisión o de las subestaciones, a través de otras dos fibras ópticas de enrutador a enrutador 76. Los dos enrutadores 38 en el extremo de la línea solamente están provistos de nueve puertos, ya que son directamente adyacentes a la subestación. Una de las subestaciones 78 está conectada a un sistema de control remoto 80. Como se puede apreciar, esta configuración mejora aún más la fiabilidad y la 40 redundancia del sistema distribuido. Por ejemplo, si fallara todo el sistema situado en una torre de anclaje, (un sistema que consiste en tres aparatos de conmutación y enrutadores), los sistemas restantes en la línea eléctrica pueden seguir funcionando con normalidad, y la comunicación a las subestaciones o al sistema de control remoto no se vería afectada por dicho fallo.

45 Con referencia ahora a las figuras 16 y 17, se ilustra un sistema de puente que incluye un primero y un segundo aparatos de conmutación 2600, 2602. La figura 16 representa un tipo de mini subestación 104, que incluye los enrutadores y los aparatos de conmutación de dos líneas eléctricas 21, 23, mientras que en la figura 17, se muestran cinco mini subestaciones 104 (solo una se identifica mediante líneas de trazos). Un sistema de puente consiste en un puente entre dos aparatos de conmutación 2600, 2602, cada uno situado en una línea de energía eléctrica independiente, paralela y adyacente 21, 23. Como se sabe en la técnica, no es raro que las redes eléctricas de alta tensión tengan dos líneas eléctricas distintas que se extienden en el mismo corredor. El primer y segundo aparatos 2600, 2602 son, por lo tanto, para variar la impedancia, respectivamente, de los segmentos situados en dos líneas de energía eléctrica distintas 21, 23. El primer y segundo enrutadores 380, 382 están conectados respectivamente con el primer y segundo aparatos de conmutación 2600, 2602 a través de fibras ópticas 362, 364 y 50 otra fibra óptica 76 se conectan junto con el primer y el segundo enrutadores 380, 382. Como se muestra mejor en la figura 16, el enrutador 380 asociado con la primera línea de energía eléctrica 21 actúa como un enrutador principal, y está además conectado a una fibra óptica principal 72, que permite la conexión del enrutador 380 a un sistema de control remoto 80 (que se muestra en la figura 17), siendo el enrutador 382 asociado con la segunda línea eléctrica 23 un enrutador esclavo. En otras palabras, cada enrutador 380, 382 se utiliza para conectar las fibras ópticas de los procesadores de los seis módulos de conmutación de las tres fases A B C a los demás enrutadores de la misma mini subestación de la otra línea de transmisión en el mismo corredor. Cada enrutador también se puede conectar a los demás enrutadores de las otras mini subestaciones de la misma línea de transmisión y con el centro de control del sistema con la ayuda del hilo de tierra de fibra óptica u otras fibras ópticas de una manera que es redundantemente segura y fiable. En el sistema de puente ilustrado en las figuras 16 y 17, solo una de la línea eléctrica 21 tiene un enlace óptico principal 72 que se extiende a lo largo de la misma. Este enlace óptico principal 65 72 se transmite desde un enrutador 38 al siguiente.

Con referencia ahora a la figura 18, se muestra un sistema de puente que tiene dos fibras ópticas principales 72, una en cada línea eléctrica 21, 23. En esta realización del sistema de puente, los aparatos de las dos líneas eléctricas están conectados, a través de los enrutadores 38, a las fibras ópticas principales 72. Esta configuración todavía aumenta más el número de trayectorias de comunicación, aumentando así la redundancia y la fiabilidad de todo el sistema, aunque falle incluso una porción entera de una de la línea de energía eléctrica, los aparatos de conmutación restantes todavía estarían operativos y conectados a la estación de control remoto.

Con referencia ahora a la figura 19A, se muestra el sistema de fuente de alimentación y control de un aparato de conmutación. La conexión de este sistema con los dispositivos de conmutación controlables 28 (uno para cada conductor de una línea de fase), también se muestran los sensores 64 y un enrutador 38. Los bloques funcionales representan elementos que se incluyen preferiblemente en este sistema. La bahía de alimentación y control 108 comprende un controlador 30, módulos de alimentación de energía 66. Los módulos de alimentación 66 incluyen un transformador de alimentación de energía capacitivo 82, una fuente de alimentación capacitiva 84, una fuente de alimentación inductiva 86, una caja de condensadores 88, una caja de distribución de energía 90. El controlador incluye al menos dos puertos ópticos 32, uno para su conexión al otro aparato del sistema de espalda con espalda (que se muestra sin conectar), y uno para la conexión al enrutador 38. La bahía de control 108 incluye también un módulo GPS 98, una caja negra 100, un dispositivo emisor-receptor PLC 102, y un dispositivo emisor/receptor de RF 106 para comunicarse con los sensores situados a lo largo de los segmentos

El enrutador 38 incluye una fuente de alimentación 92, un módulo de enrutamiento 94, y un módulo WDM 96. El módulo WDM 96 es para multiplexar las segundas señales ópticas recibidas desde los tres aparatos de conmutación en otra fibra óptica. Por supuesto, el módulo WDM es opcional y puede ser suficiente utilizar diferentes bandas, o colores, del espectro de luz para transmitir las señales ópticas a través de las fibras. El enrutador 38 incluye una fuente de alimentación 92 para alimentar al enrutador, siendo la fuente de alimentación una fuente de alimentación de origen solar. Alternativamente, un dispositivo de acoplamiento capacitivo se puede considerar como una fuente de alimentación. También descrito anteriormente, en otras variantes del sistema, se puede considerar incluir el enrutador dentro de los aparatos de conmutación, en un compartimento adicional, o por medio de un procesador adicional.

Haciendo referencia a la figura 19B, se muestra una realización preferida de un controlador 30. El controlador 30 incluye, preferiblemente, seis procesadores 60, 68, 70. Los tres procesadores 60 operan en paralelo y están conectados entre sí. Cada procesador 60 incluye medios para comparar tres valores de un parámetro dado, calculándose cada valor mediante uno de los procesadores. Cada procesador 60 incluye también medios para descartar uno de los valores cuando el valor es incoherente con los dos valores restantes. Los tres procesadores 60 se utilizan para calcular valores diferentes de la red eléctrica y también para controlar los dispositivos de conmutación controlables. Los procesadores 60 realizan los cálculos de forma simultánea, para asegurarse de que el valor resultante es fiable. Cuando uno de los valores es diferente de los otros dos, esta situación puede indicar que uno de los procesadores tiene fallos, y este procesador se descarta.

El controlador 30 incluye además un procesador de espera 68, estando el procesador de espera 68 conectado a cada uno de los tres procesadores 60 y se activa cuando uno de los tres valores se descarta, en sustitución del procesador que ha calculado dicho valor. En otras palabras, un cuarto procesador 68, que se mantiene como soporte, se puede activar entonces para reemplazar el procesador que ha fallado.

Por último, un quinto y un sexto procesadores 70, es decir, procesadores adicionales, se pueden utilizar para realizar cálculos específicos de la red.

Por supuesto, el número de procesadores adicionales 70 puede variar. Los procesadores 60, 68, 70 están provistos cada uno de buses de entrada/salida galvánicos 74, además de los puertos ópticos 32. Los buses de entrada eléctrica/salida 74 permiten la conexión a otros tipos de dispositivos, tal como sensores y receptores, para reunir información sobre el estado de los conductores y, por lo tanto, de la línea de fase.

Haciendo referencia a la figura 20, la invención también se refiere a un método para variar la impedancia de una línea de fase de un segmento de una línea de energía eléctrica. La línea de fase incluye n conductores aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento. El método incluye las etapas 5, 7 y 9, de:

- a) recibir unas primeras señales ópticas en un aparato de conmutación asociado con el segmento, incluyendo el aparato de conmutación un dispositivo de conmutación controlable conectado con al menos uno de los conductores;
- b) realizar un control del dispositivo de conmutación basado en las primeras señales ópticas; y
- c) enviar unas segundas señales ópticas desde el aparato de conmutación a aparatos de conmutación adyacentes, incluyendo las segundas señales ópticas información de estado del aparato de conmutación, en las que se basa un control de los aparatos de conmutación adyacentes.

De acuerdo con este método, que se produce en un aparato de conmutación, se reciben unas primeras señales ópticas en el puerto óptico del aparato de conmutación. Estas primeras señales ópticas incluyen instrucciones para controlar el dispositivo de conmutación del aparato de conmutación. Las señales ópticas pueden ser transmitidas por el sistema de control remoto, o desde aparatos de conmutación adyacentes. El aparato puede a su vez enviar señales ópticas secundarias a aparatos de conmutación adyacentes, incluyendo información de estado del aparato de conmutación. Aparatos de conmutación adyacentes pueden así también controlar sus respectivos dispositivos de conmutación en base a estas segundas señales ópticas.

Haciendo referencia a la figura 21, la invención también se refiere a un método para variar la impedancia de una línea de energía eléctrica. El método incluye las etapas 11, 13, 15 de:

- a) recibir unas primeras señales ópticas en aparatos de conmutación asociados con los segmentos, incluyendo cada aparato de conmutación un dispositivo de conmutación controlable conectado con al menos uno de los conductores;
- b) calcular los valores en base a las primeras señales ópticas en uno del aparato de conmutación; y
- c) enviar unas segundas señales ópticas desde el aparato de conmutación a aparatos de conmutación adyacentes, incluyendo las segundas señales ópticas los valores de la etapa b), en los que se basa un control de los aparatos de conmutación adyacentes.

Este método permite la distribución de cálculos relacionados con parámetros de la red eléctrica entre los controladores de los aparatos de conmutación de una línea eléctrica. En este caso, un controlador recibe unas primeras señales ópticas de aparatos de conmutación adyacentes y calcula los valores en base a las primeras señales ópticas recibidas. Las primeras señales ópticas pueden incluir, por ejemplo, información de estado de los aparatos de conmutación adyacentes. Los valores calculados se basarían entonces en la información de estado de los aparatos de conmutación adyacentes, y están relacionados con parámetros de la red eléctrica, tal como cálculos de fasor, por ejemplo. Entonces, el controlador puede enviar unas segundas señales ópticas, a través de su puerto óptico, incluyendo los valores calculados. Los valores pueden ser enviados de vuelta al sistema de control remoto, o a aparatos de conmutación adyacentes, para realizar un control del dispositivo de conmutación, solo si es necesario. Por supuesto, las primeras señales ópticas también pueden incluir otra información, desde el sistema de control remoto, por ejemplo, o de otros aparatos de conmutación que no son necesariamente adyacentes al aparato de conmutación. Las señales ópticas también pueden incluir información de otras líneas de energía eléctrica de la red, lo que permite distribuir verdaderamente cálculos entre los aparatos de conmutación de la red.

En resumen, un sistema de transmisión inteligente consiste en un conjunto de líneas de transmisión convencionales inteligentes compuestas de conmutadores integrados en las fases de los segmentos de línea para que ópticamente conecten los procesadores de control o de cálculo de los módulos de conmutación de las tres fases A, B y C entre sí con los mismos situados a lo largo de la línea de transmisión y con el centro de control del sistema de transmisión con la ayuda de un enlace óptico. Este sistema de transmisión inteligente permite la distribución de las funciones de control y protección del sistema a lo largo de las líneas de transmisión, el aumento de potencia de cálculo en el sistema de transmisión, la reducción en el tiempo de comunicación, el simple aumento de la redundancia en los procesadores de cálculo y de control, el aumento de la redundancia en los sistemas de medición, el aumento de la redundancia en los sistemas de comunicación, el aumento de la robustez en el sistema de las perturbaciones electromagnéticas, el aumento de la robustez en el sistema de las intrusiones no deseadas, el simple aumento de la redundancia en el GPS, el aumento de la robustez en el sistema de las perturbaciones al GPS, el simple aumento de la redundancia en los transceptores para comunicarse con los sensores situados a lo largo del segmento de línea mediante la utilización del software adecuado.

Para los corredores de líneas de transmisión con más de una línea por cada corredor (por ejemplo: dos o tres líneas) podemos conectar ópticamente los otros módulos de conmutación al conectar ópticamente los enrutadores situados en torres de anclaje de la segunda o tercera línea en el entorno inmediato de la misma mini subestación con los de la línea principal con el hilo de tierra de fibra óptica u otros. Si las otras líneas en el mismo corredor poseen su propio hilo de tierra de fibra óptica, el enlace óptico entre los enrutadores de la misma mini subestación aumenta la redundancia en el sistema de comunicación.

Como se puede apreciar, la presente invención permite la resolución de al menos algunos de los inconvenientes explicados anteriormente, mediante la obtención de un sistema de transmisión distribuida en el que el control y los cálculos básicos necesarios para el control del sistema se pueden ejecutar en el nivel de los módulos de conmutación distribuidos en las fases a lo largo de la línea y los resultados después de un primer procesamiento con el software apropiado se comparten entre los módulos de conmutación y la sala de control. Esto reduce la cantidad de información que debe ser compartida y reduce el tiempo de comunicación, a la vez que tiene un tiempo de respuesta rápido, seguro y fiable. La distribución de control y cálculo se puede hacer debido a la utilización de fibras ópticas, que son seguras, fiables y menos propensas a ser manipuladas, y porque tienen un ancho de banda más grande que la banda de RF.

Ventajosamente, la presente invención permite distribuir el procesamiento de la información, que es necesario para controlar un sistema eléctrico. También permite la distribución de la protección de las líneas de transmisión en las

mini subestaciones situadas a lo largo de las líneas de transmisión.

Otra ventaja de la invención es el aumento de la redundancia y la potencia de cálculo del sistema de procesamiento y el control de la línea y el sistema de transmisión inteligente.

5 Sin embargo, otra ventaja es el aumento de la robustez de la línea inteligente y del sistema inteligente a las perturbaciones electromagnéticas y posibles perturbaciones del sistema GPS.

Todavía otra ventaja es la robustez de la comunicación a través del sistema.

10 Con referencia a las figuras 7, 9, 16, 17 y 18, una realización preferida del sistema incluye segmentos de línea agrupados (por ejemplo: línea de 735 kV con segmentos de 30 km) con subconductores aislados entre los mismos, módulos de conmutación en cada fase, uno o más procesadores de control con acopladores ópticos en cada aparato de conmutación de una cadena de aisladores con ópticas de fibra en cada una de las fases A, B y C, para compartir el procesador de control de soporte y los procesadores adicionales. La adición de un enrutador permite la coordinación de la comunicación entre los procesadores de los módulos de conmutación de las fases A, B, C con los demás enrutadores de las otras mini subestaciones de la misma línea a través del hilo de tierra de fibra óptica. El enrutador también puede coordinar la comunicación con otros enrutadores de las otras líneas del mismo corredor y las mismas subestaciones.

20 Los procesadores de control y cálculo de los módulos de conmutación se comunican con los otros procesadores de control y cálculo de los otros módulos de conmutación con la ayuda de la fibra óptica. Estos procesadores de control se comunican con la ayuda de un bus de salida y entrada con los subsistemas del módulo de conmutación, tal como los conmutadores mecánicos de cambio y/o los conmutadores electrónicos, los motores lineales, los sensores de tensión, la corriente, la posición, el GPS, las alimentaciones inductivas y capacitivas, el PLC, emisor-receptor, etc. Este bus de entrada y salida puede ser óptico o galvánico, tal como se muestra en la figura 16.

25 La fuente de alimentación del enrutador se puede hacer con la ayuda de un panel solar y/o una fuente de alimentación capacitiva.

30 Una forma preferida para conectar dos módulos de conmutación de espalda con espalda se muestra en las figuras 7 y 9. La redundancia de las fuentes de alimentación de los módulos de conmutación montados espalda con espalda los conecta electrónicamente, ya que tienen el mismo potencial.

35 En el módulo de conmutación, los tres procesadores de procesamiento de tareas en paralelo con un cuarto procesador de soporte de espera y los procesadores adicionales para completar tareas específicas puede o no puede instalarse en el mismo chip. Además, pueden estar conectados entre sí mediante conexiones galvánicas u ópticas.

40 La invención permite la distribución de procesamiento de la información necesaria para controlar el sistema y la protección de las líneas de transmisión en mini subestaciones colocadas a lo largo de las líneas de transmisión. Esta nueva tecnología conecta cada módulo de conmutación con al menos una fibra óptica, uno procedente de un enrutador y el otro desde el segundo módulo de conmutación situado en la parte posterior del primer módulo en lugar de una conexión de RF simple. Este enlace óptico puede ser una gran banda > 10 GHz y con múltiples canales (diferentes longitudes de onda). Este enlace óptico redundante permite la reagrupación de los procesadores de los dos módulos de conmutación de cada fase de espalda con espalda y las tres fases A, B y C de la misma subestación entre los mismos con la ayuda de un enrutador. Los enrutadores de las mini subestaciones de una misma línea están conectados entre sí y con el centro de control del sistema con la ayuda de fibras ópticas. Esto aumenta:

50 1. La redundancia y la potencia de cálculo del sistema de procesamiento y el control de la línea y el sistema de transmisión inteligente. Preferiblemente, cada uno de los módulos de conmutación incluye tres procesadores que realizan el procesamiento de la tarea en paralelo con un cuarto procesador en espera para hacerse cargo en el caso de mal funcionamiento. Un cierto número de procesadores se puede añadir para llevar a cabo tareas adicionales. Todos estos procesadores agrupados con los de otras fases con diferentes potenciales actúan como un súper procesador y los procesadores de soporte y los procesadores adicionales pueden compartirse.

55 2. La redundancia y la potencia de cálculo del sistema de procesamiento y el control de la línea y el sistema de transmisión inteligente. Al conectar ópticamente los procesadores, los procesadores de soporte, y los procesadores adicionales de líneas situadas en el mismo corredor a diferentes potenciales y en las mismas mini subestaciones.

60 3. La robustez de la línea inteligente y el sistema inteligente a las perturbaciones electromagnéticas (por ejemplo: tormentas solares, pulsos electromagnéticos y ruido electromagnético). Solo los sensores de señal situados a lo largo del segmento 30 km están conectados por un enlace de comunicación de RF al módulo de conmutación correspondiente. Estas señales no son críticas para la operación y la protección del sistema de transmisión.

65

4. Fácilmente la redundancia en el nivel de GPS, del portador de línea de alimentación PLC y de los transeceptores para comunicarse con los sensores situados a lo largo del segmento asociado con los módulos de conmutación.
- 5 5. La robustez del sistema de transmisión a las potenciales perturbaciones en el sistema (GPS). Debido a que una señal de referencia temporal se envía a cada módulo de conmutación mediante fibra óptica con un indicador de la trayectoria tomada. Esta referencia de tiempo se calibra con la ayuda de GPS para diferentes trayectorias.
- 10 6. La robustez del sistema de transmisión a intrusiones no deseadas mediante la utilización de protocolos de comunicación apropiados y de cifrado en un entorno relativamente seguro de un sistema de fibra óptica aislado.
7. La robustez de la comunicación mediante el aumento de la redundancia en los canales y las fibras de comunicación.
- 15 La arquitectura del sistema de transmisión inteligente permite la medición de sincrofasores redundantes distribuidos a lo largo de las líneas, la protección de las líneas, el control de la red con un control de la compensación y el flujo de energía, un control de estabilidad, un aumento en la capacidad de tránsito, la gestión en tiempo real del sistema, el deshielo de las líneas, la vigilancia en tiempo real de las líneas y de los módulos de conmutación, la planificación del mantenimiento en función de las necesidades y el establecimiento de bases de datos del sistema de transmisión para su uso futuro. Estas bases de datos pueden, por supuesto, estar situadas de forma remota.
- 20 La vigilancia de las líneas implica una vigilancia de los eventos eléctricos (por ejemplo: flameo causado por sobretensiones estáticas), eventos mecánicos (por ejemplo: galope, vibraciones de viento), eventos meteorológicos (por ejemplo: hielo, rayos).
- 25 Además, esta arquitectura permite la visión en tiempo real del flujo de energía en el sistema, la creación de bases de datos de eventos experimentados por la línea y la red eléctrica y la deducción de una serie de acciones a ejecutar en tiempo real o en retraso en el tiempo para garantizar el uso y el mantenimiento óptimo del sistema de transmisión. Esta tecnología altamente redundante permite la obtención de un sistema de transmisión inteligente fiable y seguro.
- 30 Cada módulo de conmutación incluye, preferiblemente, interruptores mecánicos de cambio y/o conmutadores electrónicos, actuadores o motores lineales, sensores de corriente, tensión, y posición, y un transeceptor para comunicarse con los sensores situados a lo largo del segmento asociado con este módulo de conmutación.
- 35 La redundancia en las fuentes de alimentación de los aparatos de conmutación se puede aumentar mediante la conexión electrónica entre los dos módulos montados espalda con espalda en la misma fase, de un modo en el que comparten la fuente de alimentación.
- 40 Otra ventaja de la presente invención es que, con los datos obtenidos de todos los aparatos de conmutación de la red de energía eléctrica, y desde el control de estos aparatos, el comportamiento y la fiabilidad de la red se pueden aumentar, utilizando aplicaciones de software apropiadas y sistemas expertos.
- 45 Por supuesto, varias modificaciones se pueden hacer al aparato y al procedimiento descrito anteriormente sin apartarse del alcance de la presente invención. Se entiende que los componentes y configuraciones que no son esenciales para la invención y no deben interpretarse en un sentido restringido para limitar el alcance de la presente invención.

## REIVINDICACIONES

- 5 1. Un aparato de conmutación (26) para variar una impedancia de una línea de fase (22, A) de un segmento (20) de una primera línea eléctrica de alimentación (21), incluyendo la línea de fase (22) n conductores (24) aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento (20), comprendiendo el aparato:
- al menos un dispositivo de conmutación controlable (28) para su conexión con al menos uno de los conductores (24); y
  - un controlador (30) para realizar un control del al menos un dispositivo de conmutación controlable (28),
- 10 **caracterizado por que** el controlador tiene al menos un puerto óptico (32) para recibir primeras señales ópticas en que se basa dicho control, y para enviar segundas señales ópticas a aparatos de conmutación adyacentes, incluyendo dichas segundas señales ópticas información sobre el estado de dicho un aparato de conmutación (28), en las que se basa un control de aparatos de conmutación adyacentes.
- 15 2. Un sistema que comprende un primer y segundo aparato de conmutación (26a, 26b), siendo cada aparato como se reivindica en la reivindicación 1, incluyendo el segmento (34) otra línea de fase (B), siendo el primer aparato de conmutación (26a) para variar la impedancia de dicha línea de fase (A) y siendo el segundo aparato de conmutación (26b) para variar la impedancia de dicha otra línea de fase (B), en el que:
- dicho al menos un puerto óptico (32a) de dicho primer aparato de conmutación (26a) está conectado a dicho al menos un puerto óptico (32b) de dicho segundo aparato de conmutación (26b) a través de una primera fibra óptica (36).
- 20 3. Un sistema que comprende un primer y segundo aparato de conmutación, siendo cada aparato como se reivindica en la reivindicación 1, incluyendo el segmento (34) otra línea de fase (B), siendo el primer aparato de conmutación (26a) para variar la impedancia de dicha línea de fase (A) y siendo el segundo aparato de conmutación (26b) para variar la impedancia de dicha otra línea de fase (B), comprendiendo además dicho sistema un enrutador (38), en el que:
- dicho al menos un puerto óptico (32a, 32b) de dicho primer y segundo aparato de conmutación (26a, 26b) están conectados a dicho enrutador (38) a través de una primera y segunda fibra óptica (40, 42), respectivamente.
- 25 4. Un sistema de espalda con espalda que comprende un primer y segundo aparato de conmutación (260, 262), siendo cada aparato como se reivindica en la reivindicación 1, siendo dicho primer aparato (260) para variar la impedancia de la línea de fase (22) del segmento (200), que es un primer segmento, siendo dicho segundo aparato (262) para variar una impedancia de dicha línea de fase (22) de un segundo segmento (202) adyacente al primer segmento (200), siendo dicho segundo aparato (262) para su ubicación en un extremo del segundo segmento (202), directamente adyacente al extremo del primer segmento (200) donde está situado el primer aparato (260), y en el que un puerto óptico (320) de dicho al menos un puerto óptico del primer aparato (260) está conectado a un puerto óptico (322) de dicho al menos un puerto óptico del segundo aparato (262) a través de una primera fibra óptica (360).
- 30 5. Un sistema de acuerdo con la reivindicación 4, que comprende además un enrutador (38), en el que:
- el al menos un puerto óptico del primer aparato tiene un primer y segundo puerto óptico (320, 322);
  - el al menos un puerto óptico del segundo aparato tiene un primer y segundo puerto óptico (320, 322);
  - el primer puerto óptico (320) del primer aparato (260) está conectado al primer puerto óptico (320) del segundo aparato (262) a través de dicha primera fibra óptica (360);
  - el segundo puerto óptico (322) del primer aparato (260) está conectado al enrutador (38) a través de una segunda fibra óptica (362); y
  - el segundo puerto óptico (322) del segundo aparato (262) está conectado al enrutador (38) a través de una tercera fibra óptica (364).
- 35 6. Un sistema que comprende tres aparatos de conmutación (26a, 26b, 26c), siendo cada aparato como se reivindica en la reivindicación 1, siendo los tres aparatos de conmutación para la variación de la impedancia del segmento (20) de dicha primera línea de energía eléctrica que tiene tres líneas de fase (A, B, C), estando los tres aparatos de conmutación asociados respectivamente con dichas tres líneas de fase, en el que, para cada uno de los tres aparatos de conmutación:
- el al menos un puerto óptico comprende un primer y segundo puerto óptico (324, 326);
  - dicho primer puerto óptico (324) está conectado a uno de los puertos ópticos de uno (26b) de los otros dos aparatos de conmutación mediante una fibra óptica (370);
  - dicho segundo puerto óptico (326) está conectado a uno de los puertos ópticos del otro (26c) de los dos aparatos de conmutación mediante otra fibra óptica (370);
- 40 45 50 55 60 65

con lo cual los controladores de los tres aparatos de conmutación son capaces de comunicarse entre sí a través de las fibras ópticas (370).

5 7. Un sistema que comprende tres sistemas de espalda con espalda, cada uno de acuerdo con la reivindicación 4, teniendo dicha primera línea de energía eléctrica (22) tres líneas de fase (A, B, C), estando los tres sistemas de espalda con espalda asociados respectivamente con dichas tres líneas de fase, comprendiendo además dicho sistema un enrutador (38), y en el que, para cada sistema de espalda con espalda:

- 10 - el al menos un puerto óptico del primer aparato (260a, 260b, 260c) tiene un primer y segundo puerto óptico (320, 322);  
 - el al menos un puerto óptico del segundo aparato (262a, 262b, 262c) tiene un primer y segundo puerto óptico;  
 - el primer puerto óptico (320) del primer aparato (260a) está conectado al primer puerto óptico del segundo aparato (262a) a través de dicha primera fibra óptica (360); y  
 15 - los segundos puertos ópticos (322) del primer y segundo aparato (260a, 262a) están conectados al enrutador (38) a través de una segunda y tercera fibra óptica (362, 364),

con lo cual los controladores de dichos aparatos de conmutación son capaces de enviar y recibir dicha primera y segunda señal óptica a través del enrutador.

20 8. El sistema de acuerdo con la reivindicación 7, que comprende además al menos una fibra óptica para la conexión de dicho enrutador (38) a una fibra óptica principal (72) que se extiende a lo largo de dicho primer y segundo segmento (200, 202).

25 9. El sistema de acuerdo con la reivindicación 8, en combinación con dicha fibra óptica principal (72) que está conectada a un sistema de control remoto.

30 10. Un sistema distribuido para variar una impedancia de diferentes segmentos de dicha primera línea de energía eléctrica (21), comprendiendo el sistema distribuido varios sistemas (44), cada uno como se reivindica en la reivindicación 7 u 8, donde dicho primer y segundo segmento (200, 202) asociados con dichos de varios sistemas forman dichos diferentes segmentos, en el que:

- los enrutadores (38) están conectados en serie con las fibras ópticas de enrutador a enrutador (76).

35 11. El sistema de acuerdo con la reivindicación 9, en el que al menos uno de los enrutadores (38) está conectado además a los segundos enrutadores adyacentes a través de otras dos fibras ópticas de enrutador a enrutador (76), respectivamente.

40 12. Un sistema de puente que comprende un primer y segundo aparato de conmutación (2600, 2602), siendo cada aparato tal como se reivindica en la reivindicación 1, siendo el primer y segundo aparato de conmutación para la variación de la impedancia de los segmentos situados en líneas de energía eléctrica (21, 23) independientes, paralelas y adyacentes, incluyendo cada uno de los segmentos tres líneas de fase, comprendiendo además el sistema:

- 45 - un primer y segundo enrutador (380, 382) conectados respectivamente con el primer y segundo aparato de conmutación (2600, 2602) a través de fibras ópticas (362, 364); y  
 - otra fibra óptica (76) para conectar entre sí dicho primer y segundo enrutador (380, 382).

50 13. Un sistema de puente que comprende dos sistemas, cada uno como se reivindica en la reivindicación 7, siendo los dos sistemas para variar la impedancia de dos líneas de energía eléctrica (21, 23) que son independientes, paralelas y adyacentes, comprendiendo además el sistema de puente:

- 55 - una fibra óptica de enrutador a enrutador (76) para conectar entre sí dos enrutadores adyacentes (38) de dichos dos sistemas;  
 - una fibra óptica principal (72) proporcionada a lo largo de una longitud de uno de los segmentos; y  
 - al menos una fibra óptica para la conexión de uno de los enrutadores (38) a la fibra óptica principal (72).

60 14. El aparato de conmutación de acuerdo con la reivindicación 2, en el que el enrutador (38) comprende una fuente de alimentación (92) para suministrar energía al enrutador, siendo la fuente de alimentación una fuente de alimentación basada en energía solar o un dispositivo de acoplamiento capacitivo.

65 15. El aparato de conmutación de acuerdo con la reivindicación 7, en el que el primer enrutador (38) comprende un multiplexor de longitud de onda por división, para multiplexar dichas segundas señales ópticas recibidas desde dichos tres aparatos de conmutación (260a, 260b, 260C) en dicha otra fibra óptica (362).

16. El aparato de conmutación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el dispositivo de conmutación controlable (28) incluye al menos uno de: un conmutador mecánico, un conmutador electromecánico, un interruptor

de vacío y un conmutador electrónico.

5 17. El aparato de conmutación de acuerdo con la reivindicación 1, que comprende además al menos un detector (64) seleccionado en el grupo que comprende un detector de corriente, un detector de tensión, un detector de posición y un indicador de tensión, estando dicho al menos un detector conectado al controlador (30).

18. El aparato de conmutación de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el controlador (30, 300, 302) comprende tres procesadores (60) que operan en paralelo y están conectados entre sí, incluyendo cada procesador:

- 10
- medios para comparar tres valores de un parámetro dado, cada valor calculado mediante uno de los procesadores (60);
  - medios para descartar uno de dichos valores cuando dicho valor es incoherente con los dos valores restantes.

15 19. El aparato de conmutación de acuerdo con la reivindicación 18, en el que el controlador (30) comprende además un procesador de espera (68), estando dicho procesador de espera conectado a cada uno de los tres procesadores (60) y se activa cuando uno de dichos tres valores se descarta, en sustitución del procesador que ha calculado dicho valor.

20 20. El aparato de conmutación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 18 o 19, en el que el controlador (30) comprende además un procesador adicional (70), para la realización de cálculos específicos de parámetros de la línea de alimentación eléctrica.

25 21. El sistema de acuerdo con la reivindicación 3, en el que dicho primer y segundo aparato de conmutación (26a, 26b; 260, 262) comprenden un módulo de alimentación (66), estando dichos módulos de alimentación conectados entre sí con un cable eléctrico.

30 22. Un sistema para variar una impedancia de una línea de energía eléctrica, teniendo la línea de energía eléctrica varios segmentos conectados en serie, teniendo cada segmento al menos una línea de fase, incluyendo cada línea de fase n conductores aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento, comprendiendo el sistema varios aparatos de conmutación, estando cada aparato asociado con uno de los segmentos y siendo como se reivindica en la reivindicación 1,

- 35
- o las primeras señales ópticas se reciben desde aparatos de conmutación adyacentes conectados a dichos segmentos que son adyacentes a dicho un segmento; y
  - o siendo dicho controlador para el cálculo de valores basados en dichas primeras señales ópticas recibidas, incluyendo dichas segundas señales ópticas dichos valores, sobre los cuales se basa un control de los dispositivos de conmutación controlables de aparatos de conmutación adyacentes.

40 23. Un método para variar una impedancia de una línea de fase de un segmento (20) de una primera línea de energía eléctrica (21), incluyendo la línea de fase n conductores (24) aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento (20), estando el método **caracterizado por que** comprende las etapas de:

- 45
- a) recibir unas primeras señales ópticas (5) en un aparato de conmutación (26; 26a; 260) asociado con el segmento (20), incluyendo el aparato de conmutación un dispositivo de conmutación controlable (28) conectado con al menos uno de los conductores (24);
  - b) realizar un control (7) del dispositivo de conmutación (28) basado en dichas primeras señales ópticas; y
  - c) enviar unas segundas señales ópticas (6) desde el aparato de conmutación (26; 26a; 260) a aparatos de conmutación adyacentes (26b; 262), incluyendo dichas segundas señales ópticas información de estado de dicho
- 50 un aparato de conmutación (26; 26a; 260), en las que se basa un control de los aparatos de conmutación adyacentes.

55 24. Un método de acuerdo con la reivindicación 23, para la variación de impedancia de una línea de energía eléctrica, teniendo la línea de energía eléctrica varios segmentos (200, 202) conectados en serie, teniendo cada segmento al menos una línea de fase (22), incluyendo cada línea de fase n conductores (24) aislados eléctricamente entre sí y cortocircuitados juntos en dos extremos del segmento, comprendiendo el método las etapas de:

- 60
- a) recibir unas primeras señales ópticas (11) en los aparatos de conmutación (260; 262) asociados con los segmentos (200, 202), incluyendo cada aparato de conmutación un dispositivo de conmutación controlable conectado con al menos uno de los conductores;
  - b) calcular los valores (13) basándose en dicha primeras señales ópticas en uno de dichos aparatos de conmutación; y
  - c) enviar unas segundas señales ópticas (15) desde dicho un aparato de conmutación a aparatos de conmutación adyacentes, incluyendo dichas segundas señales ópticas dichos valores, en los que se basa un
- 65 control de los aparatos de conmutación adyacentes.

25. El método de acuerdo con la reivindicación 23 o 24, en el que:

5 en la etapa a), dichas primeras señales ópticas incluyen información de estado de dichos aparatos de conmutación adyacentes;

la etapa b) incluye, además, una subetapa i) de cálculo de valores basados en la información de estado recibida en la etapa a); y

en la etapa c), dichas segundas señales ópticas incluyen además los valores calculados en la subetapa i),

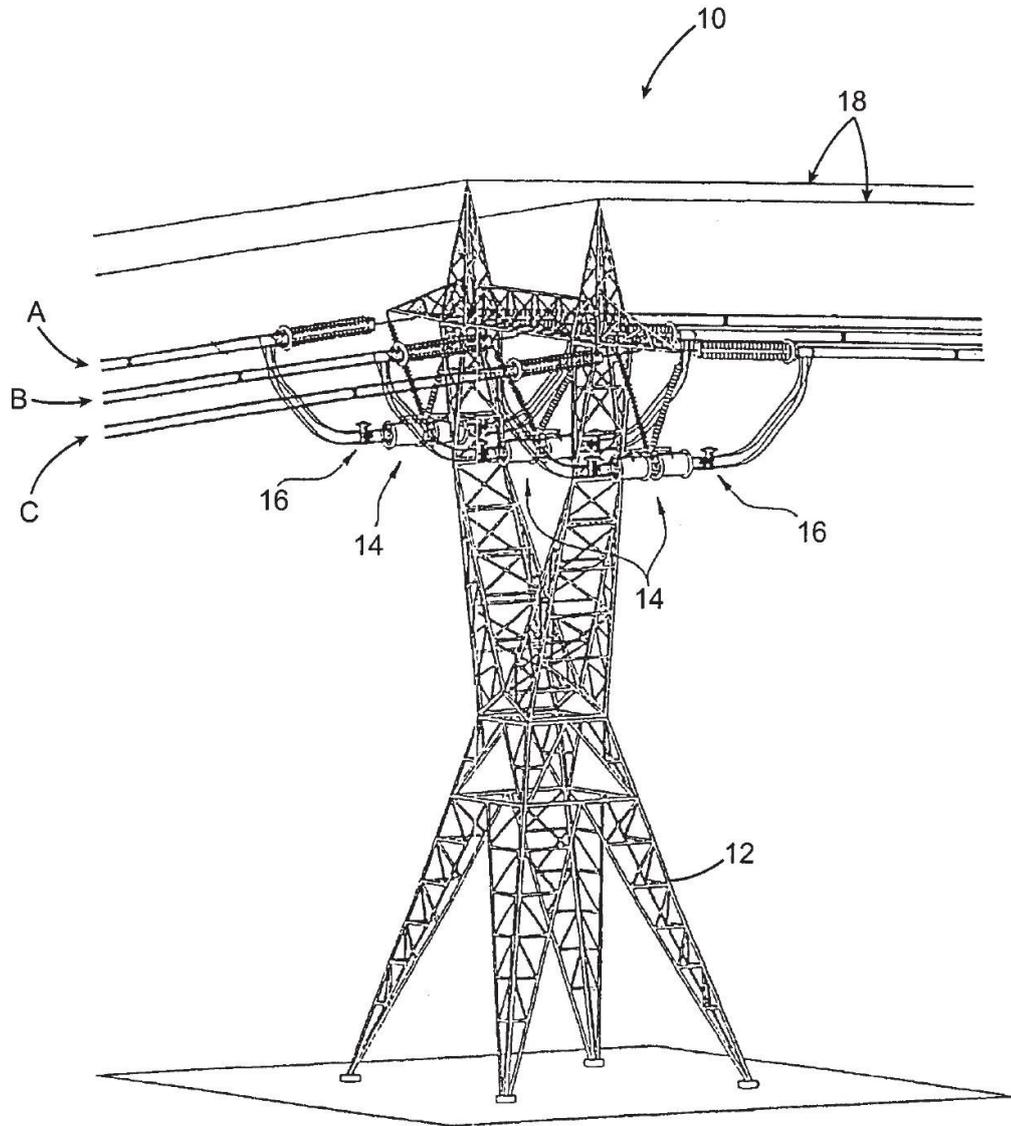
10 permitiendo así el método distribuir el cálculo entre los aparatos de conmutación de los segmentos.

26. El método de acuerdo con la reivindicación 25, en el que:

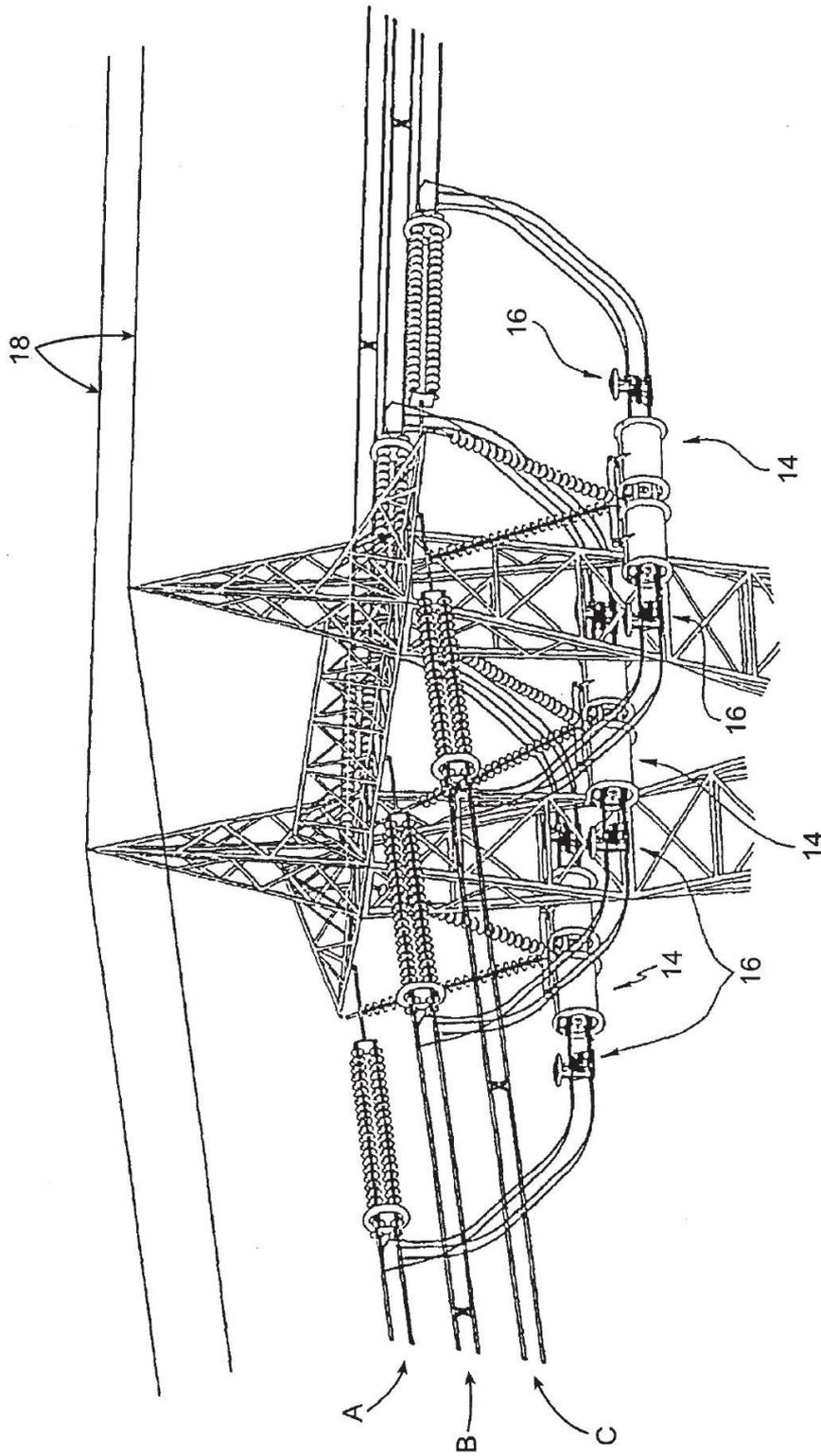
15 en la etapa a), dichas primeras señales ópticas incluyen además información de estado de otros aparatos de conmutación de dicha línea de fase, e información de un sistema de control remoto.

27. El método de acuerdo con la reivindicación 26, en el que:

20 en la etapa a), dichas primeras señales ópticas incluyen además información de estado de al menos otra línea de energía eléctrica.



**FIG. 1**  
(TÉCNICA ANTERIOR)



**FIG. 2**  
(TÉCNICA ANTERIOR)

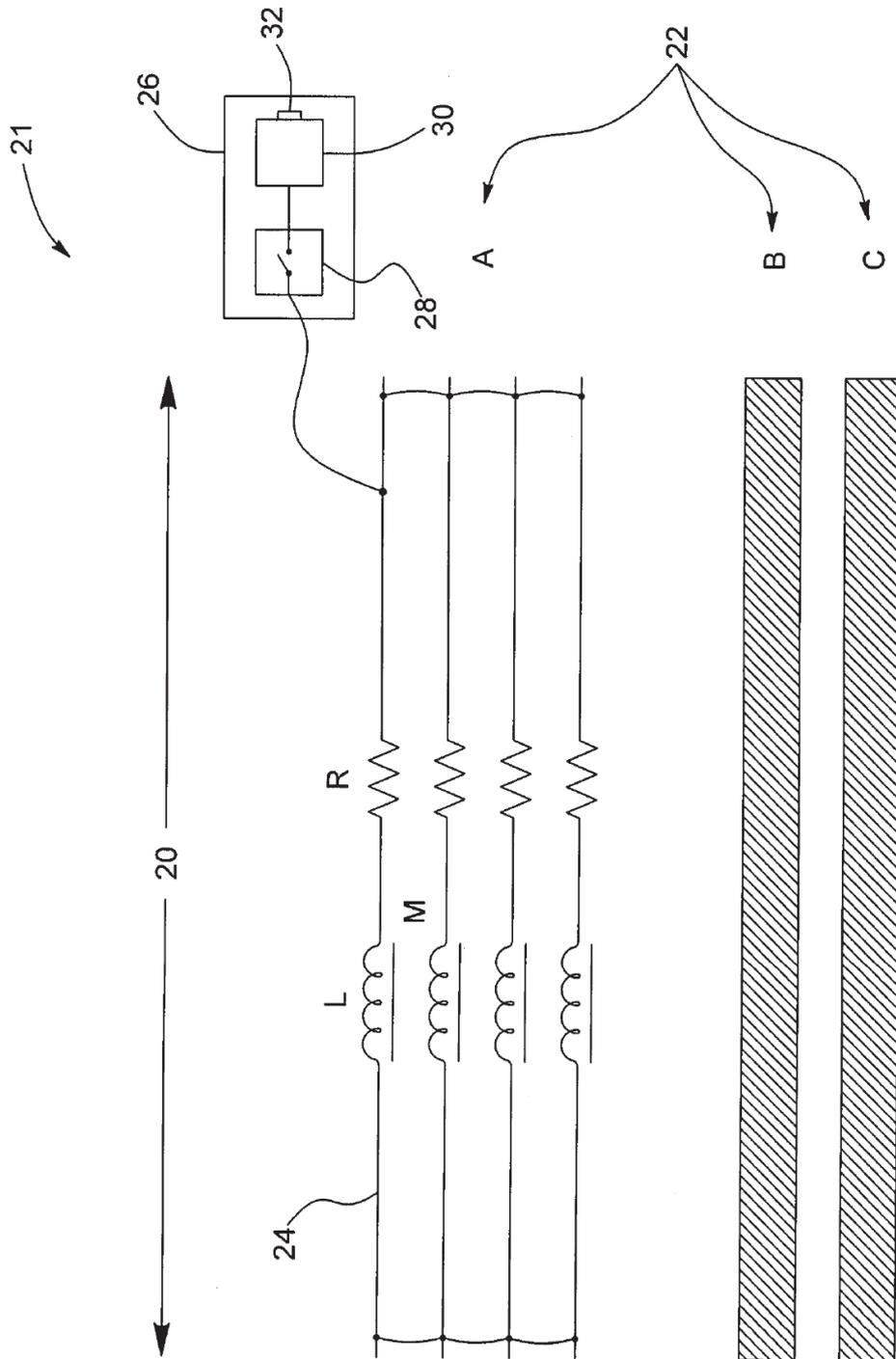


FIG. 3

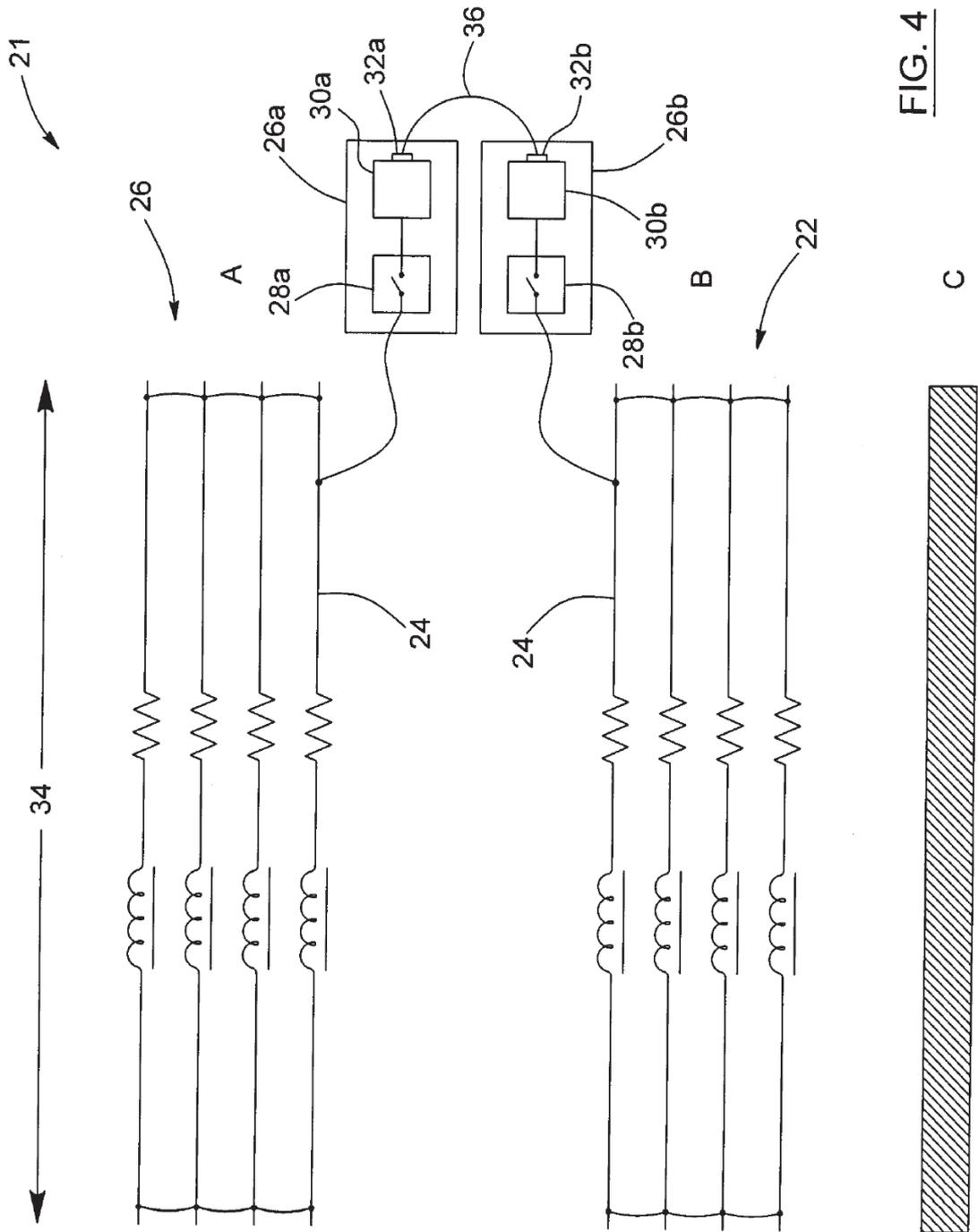


FIG. 4

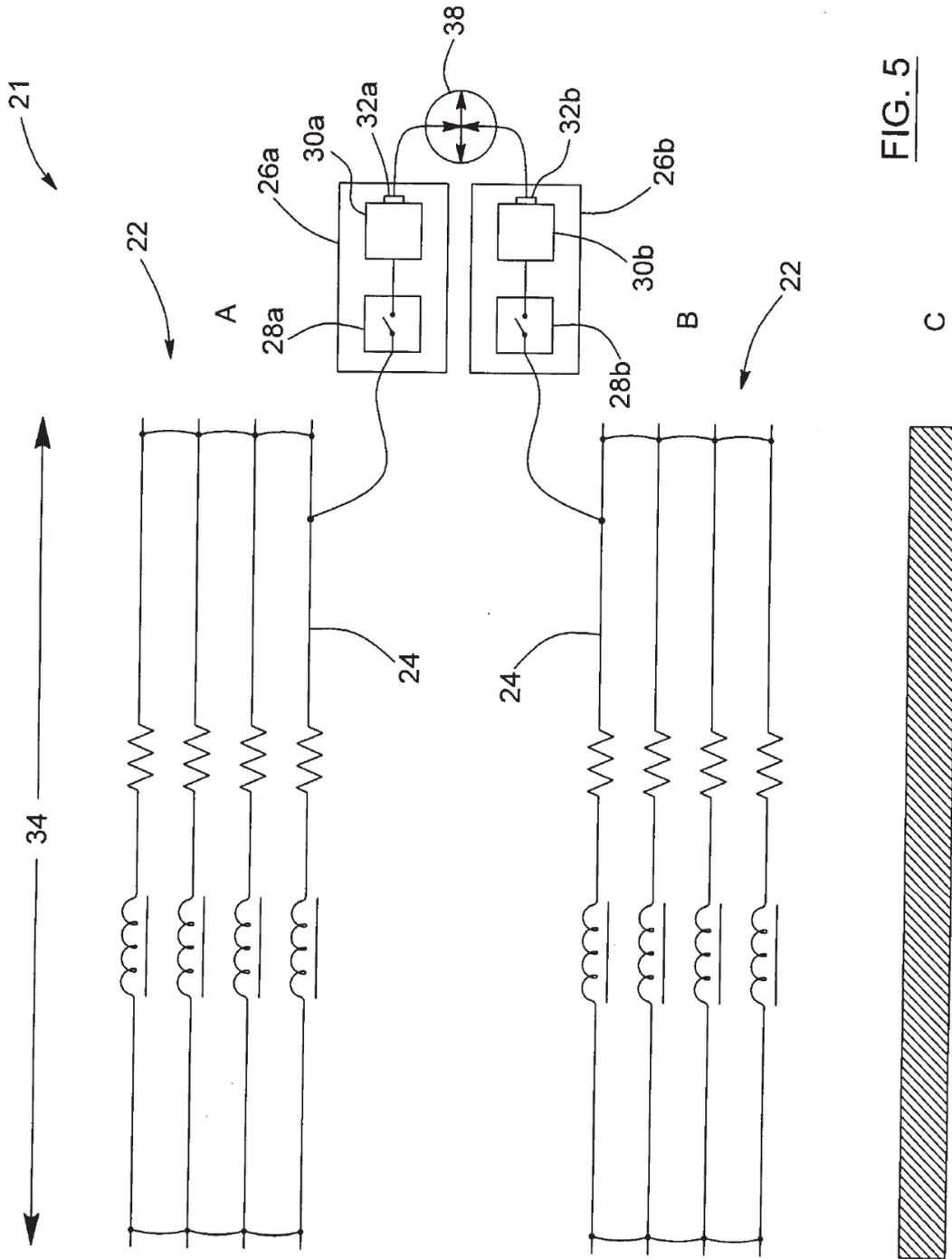


FIG. 5

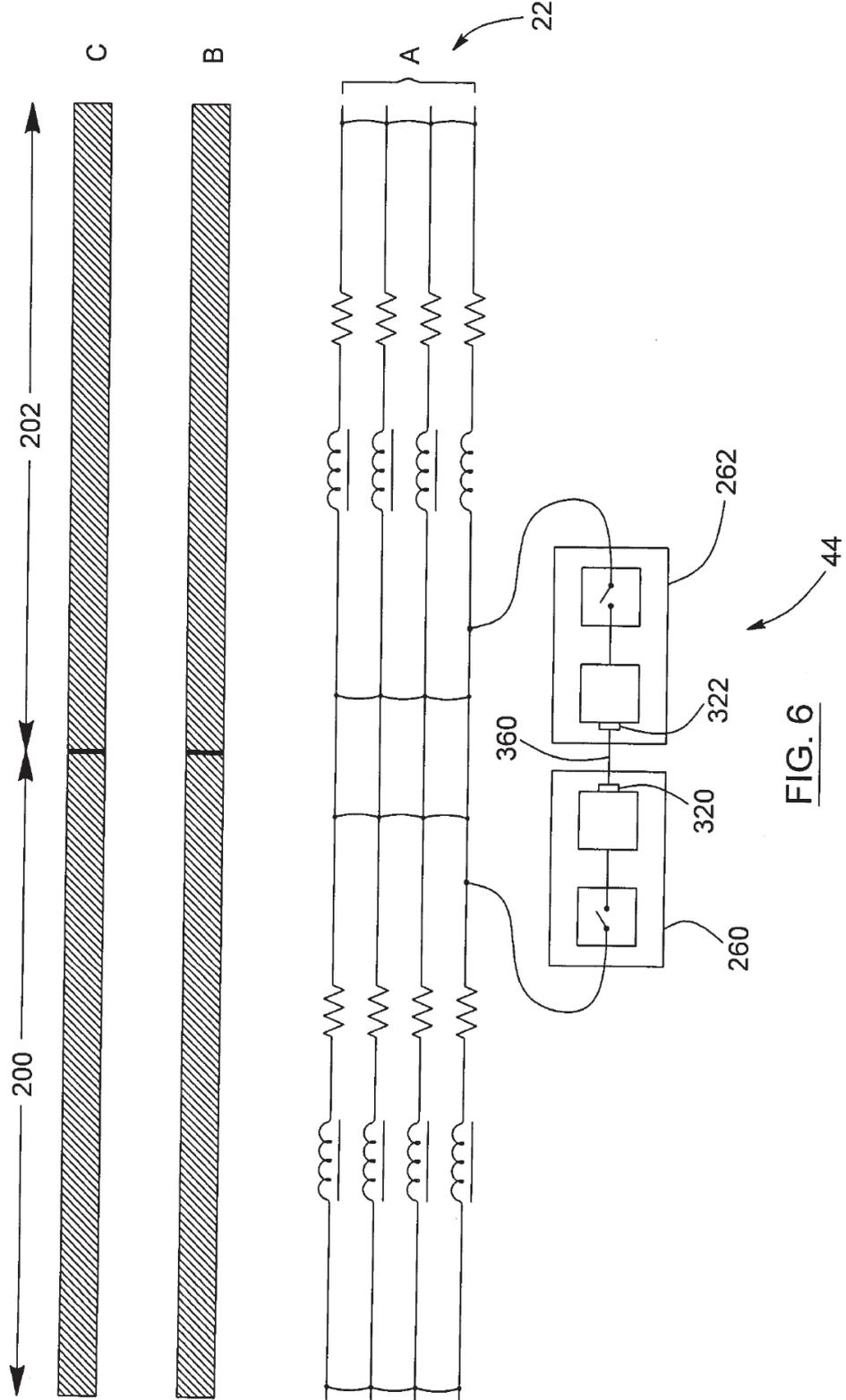


FIG. 6

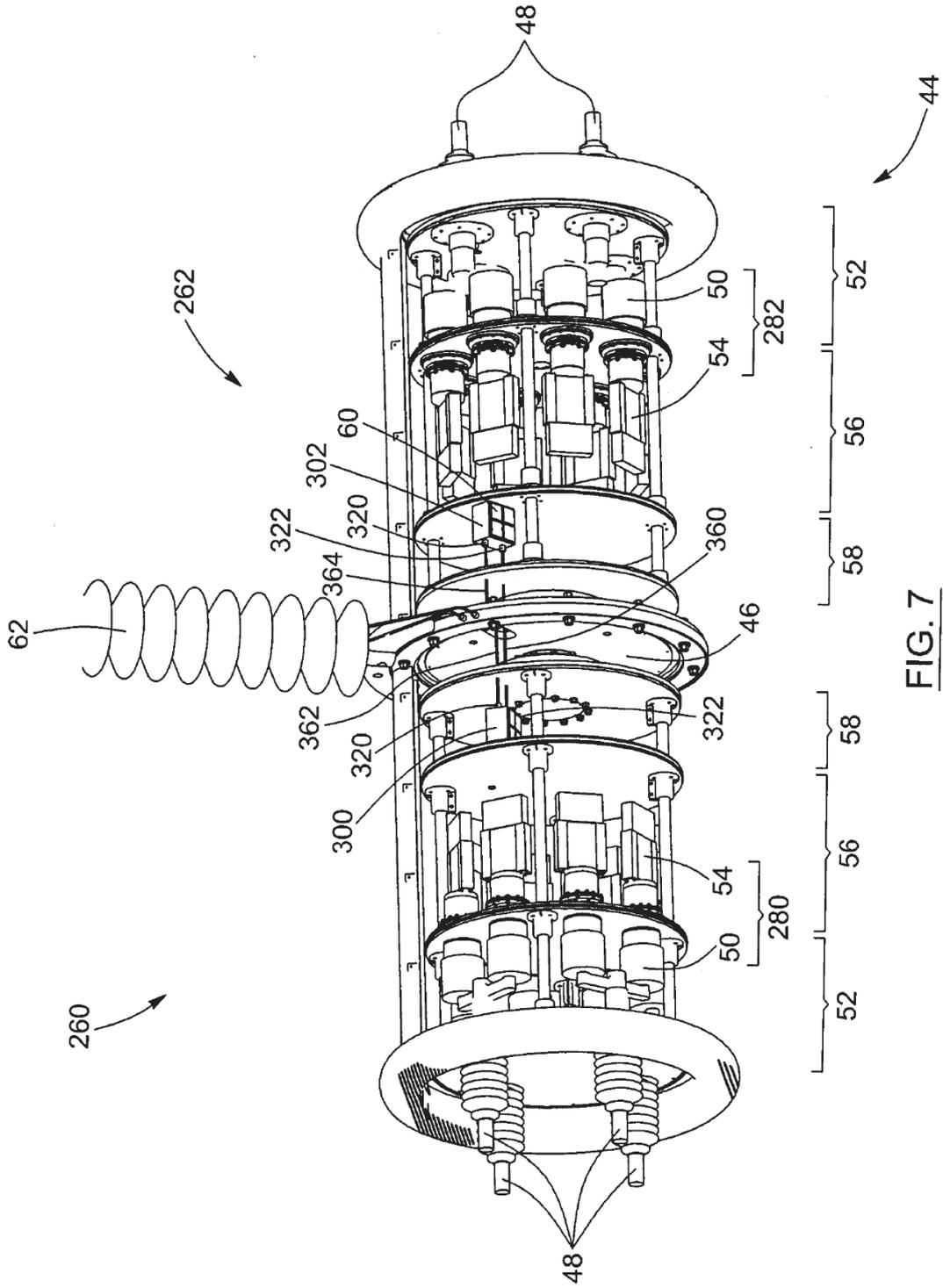


FIG. 7

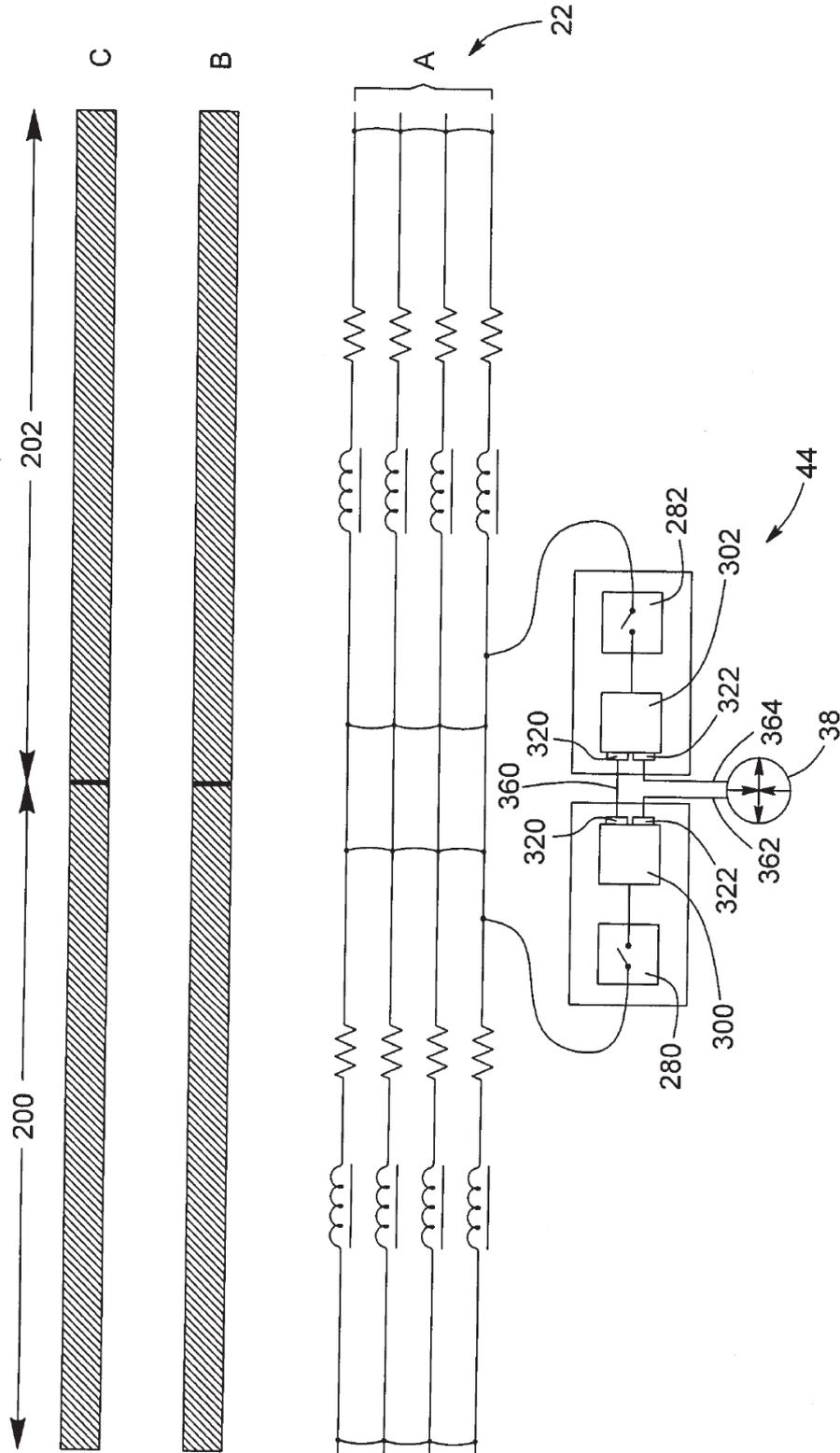


FIG. 8

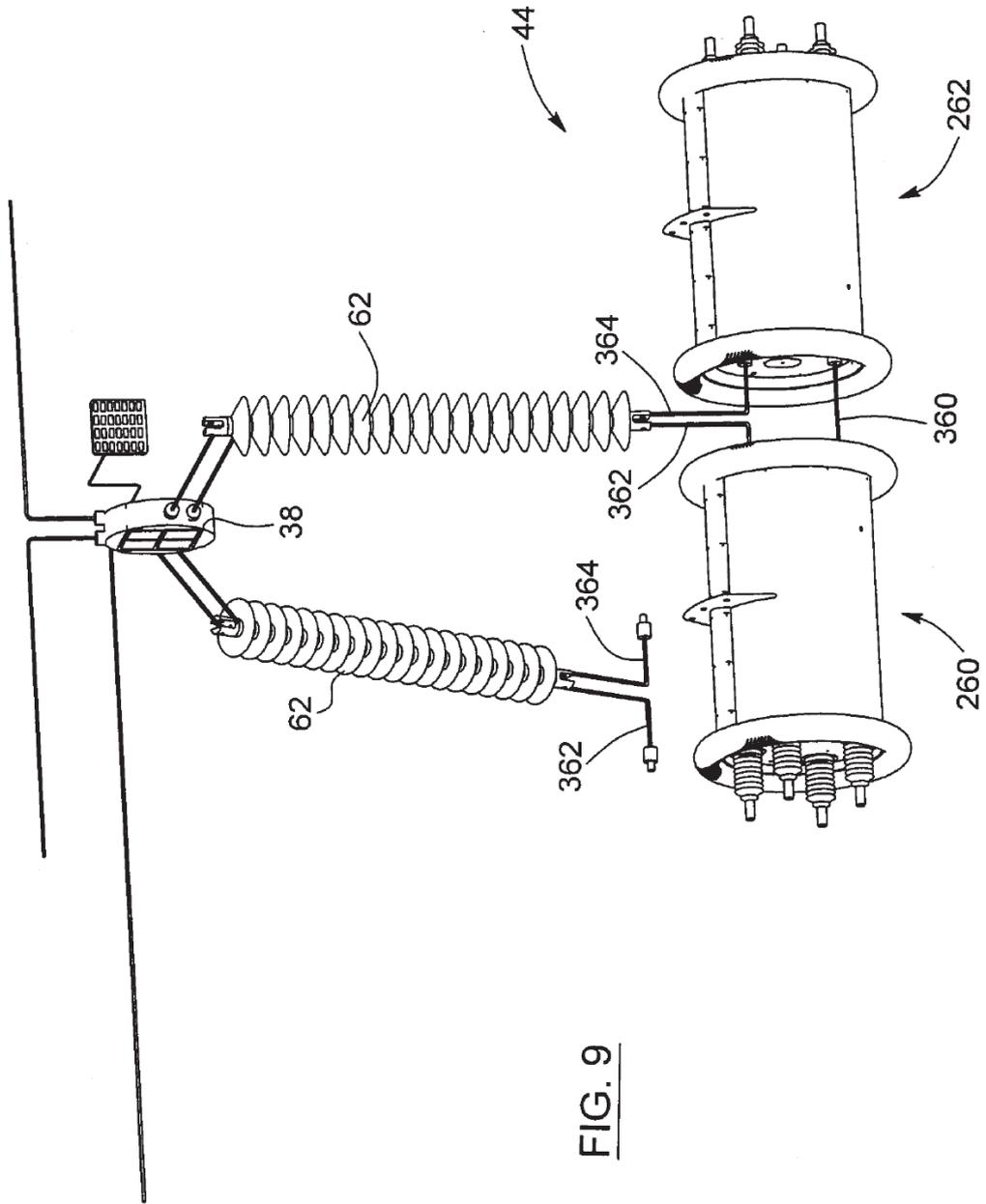


FIG. 9

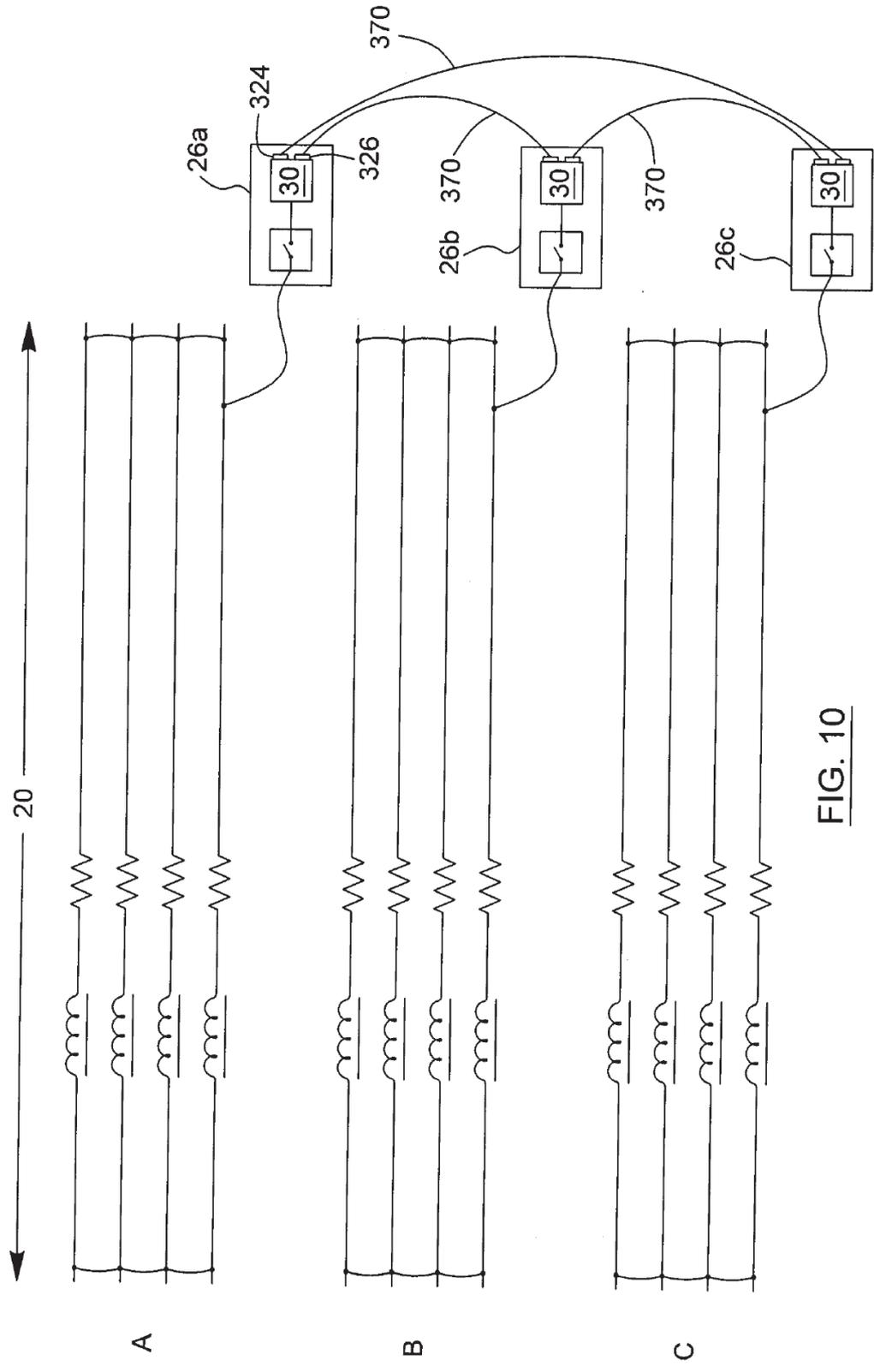


FIG. 10

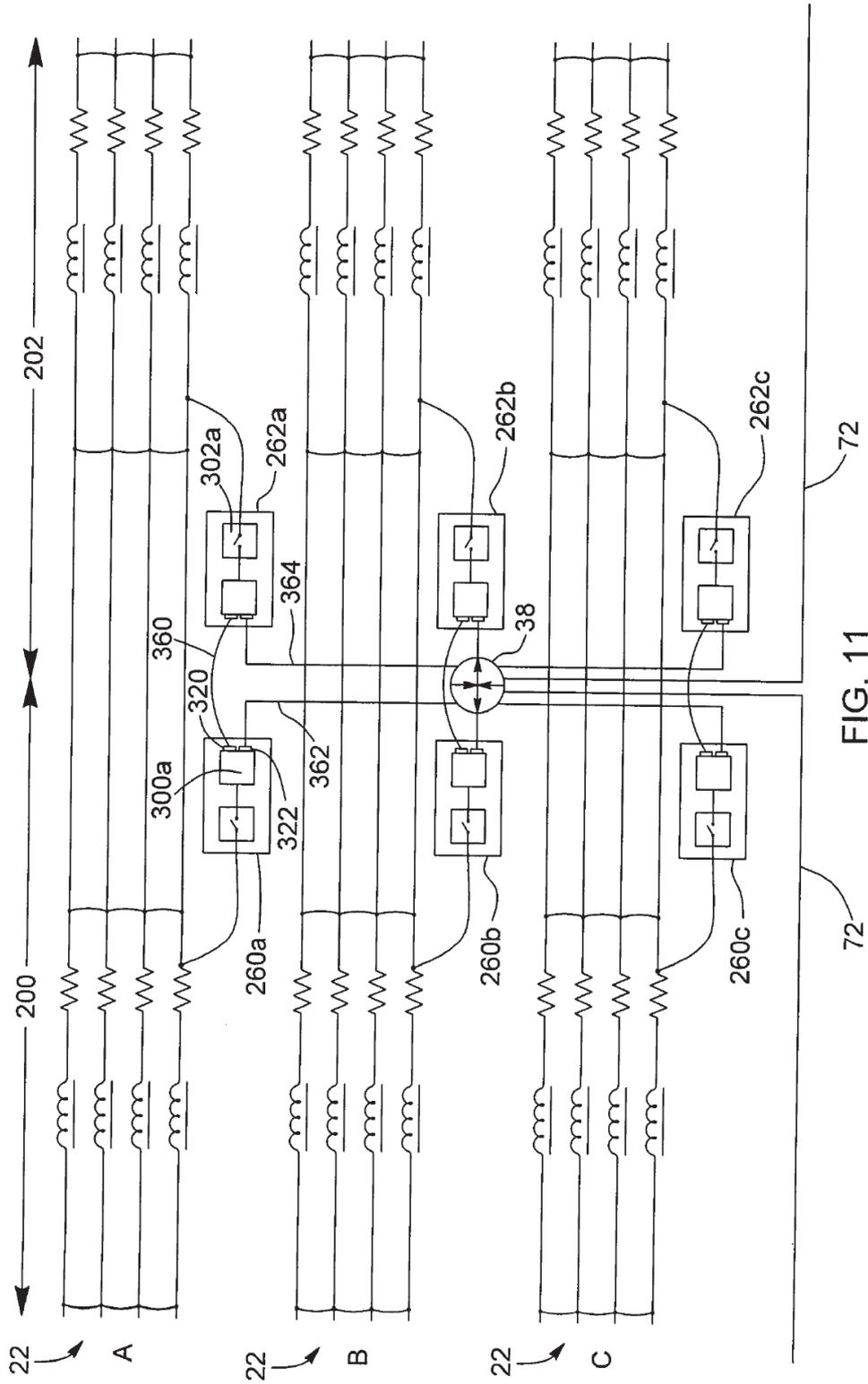


FIG. 11



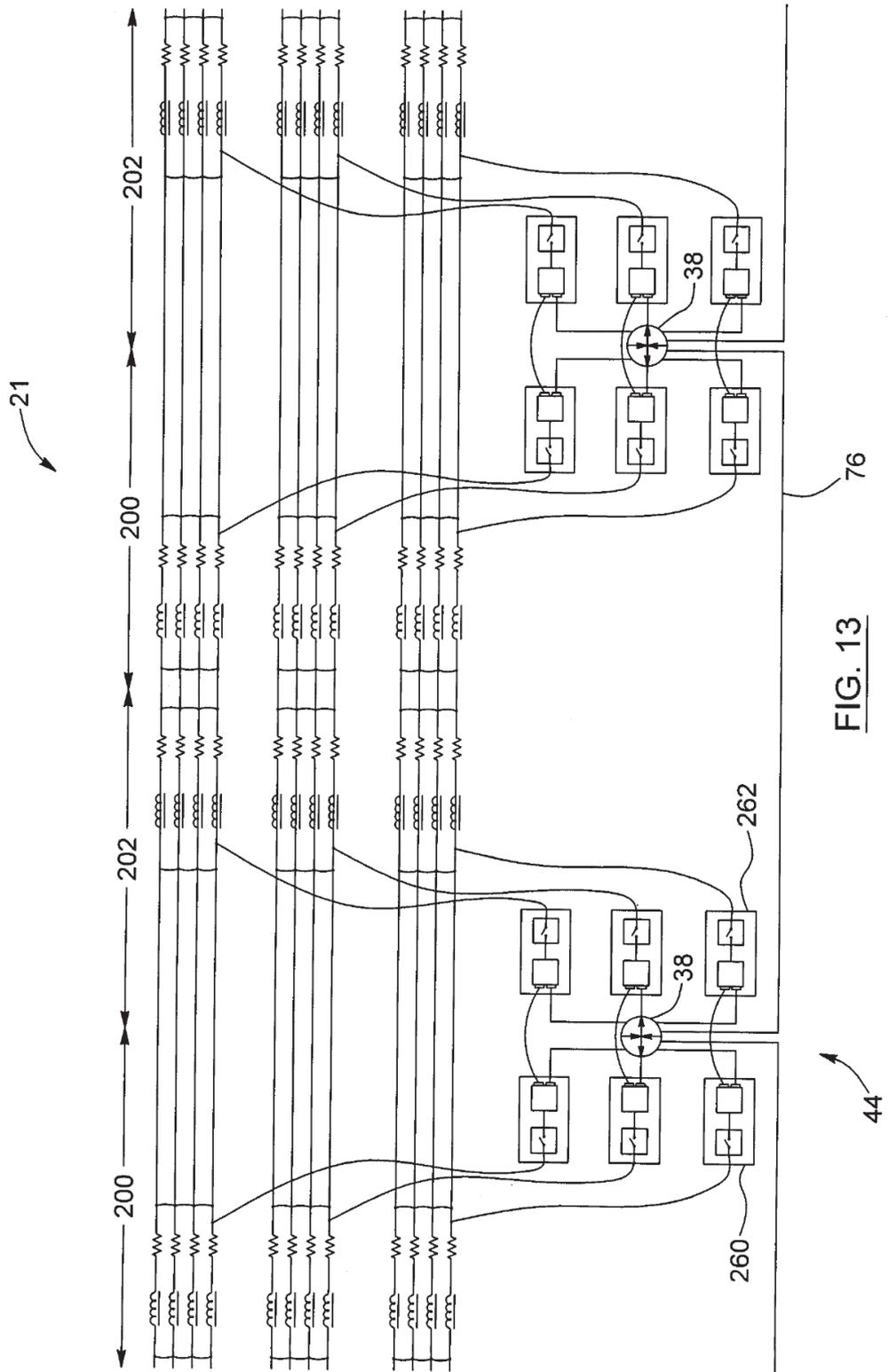


FIG. 13

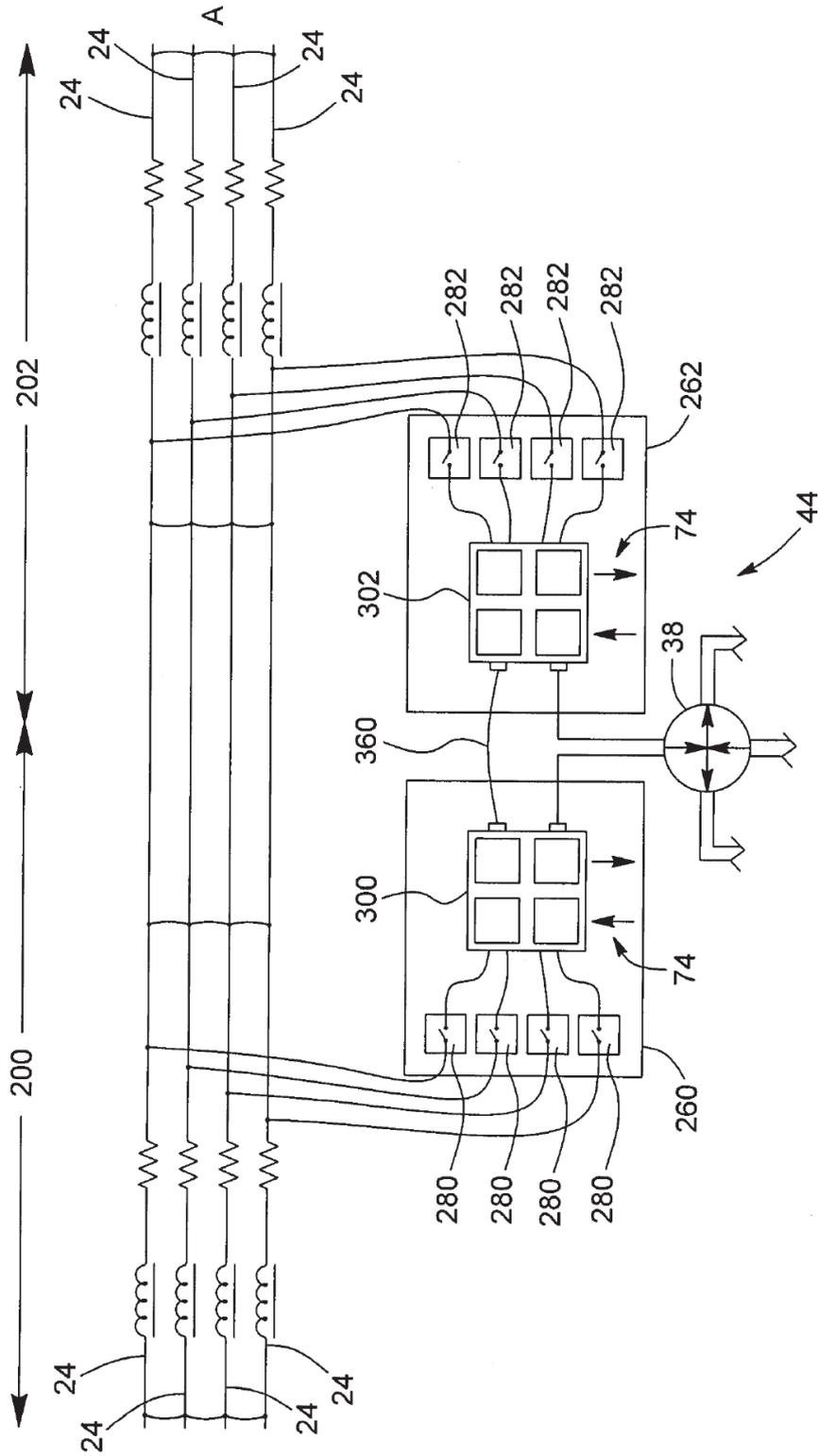


FIG. 14

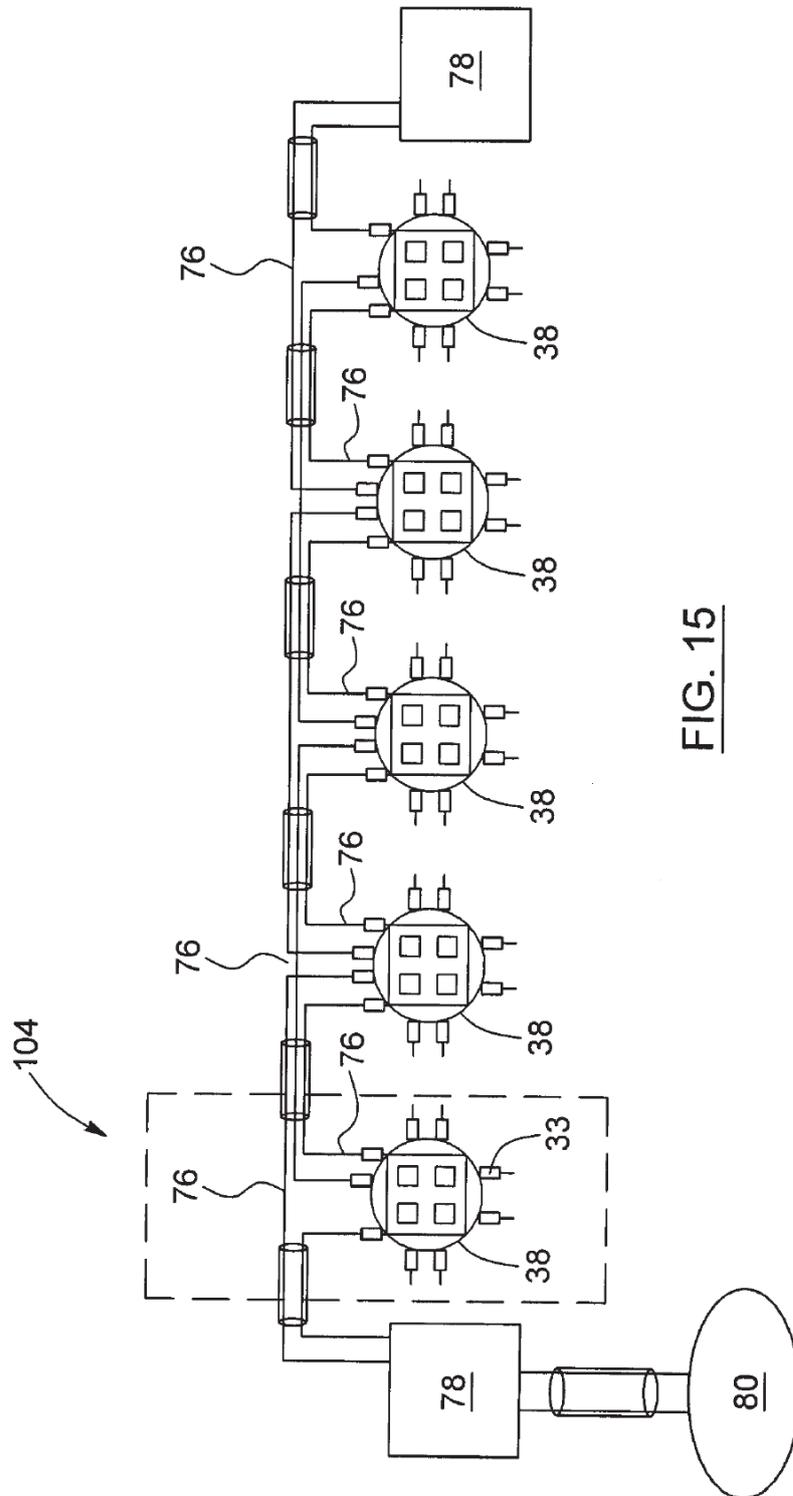


FIG. 15

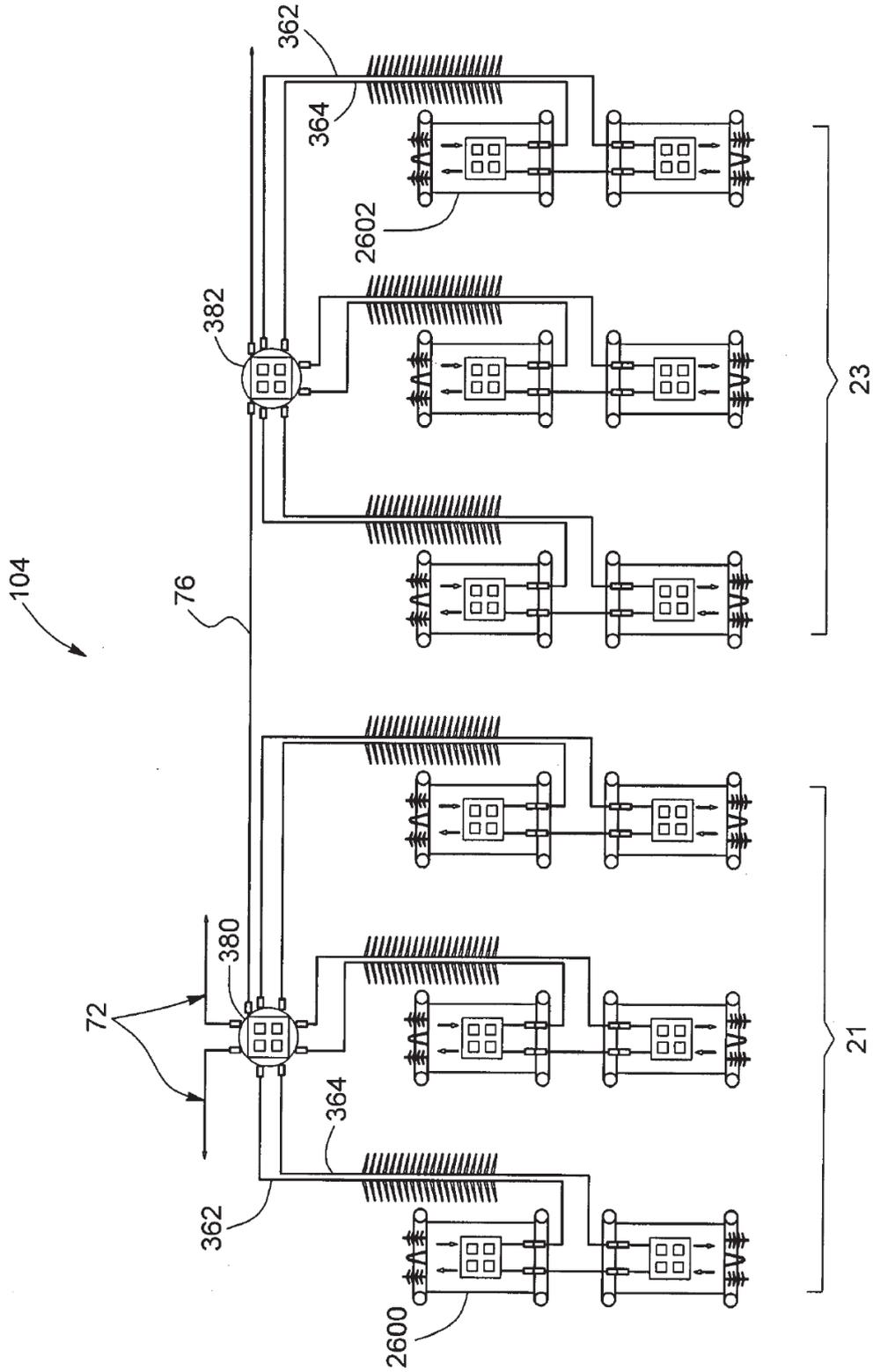


FIG. 16

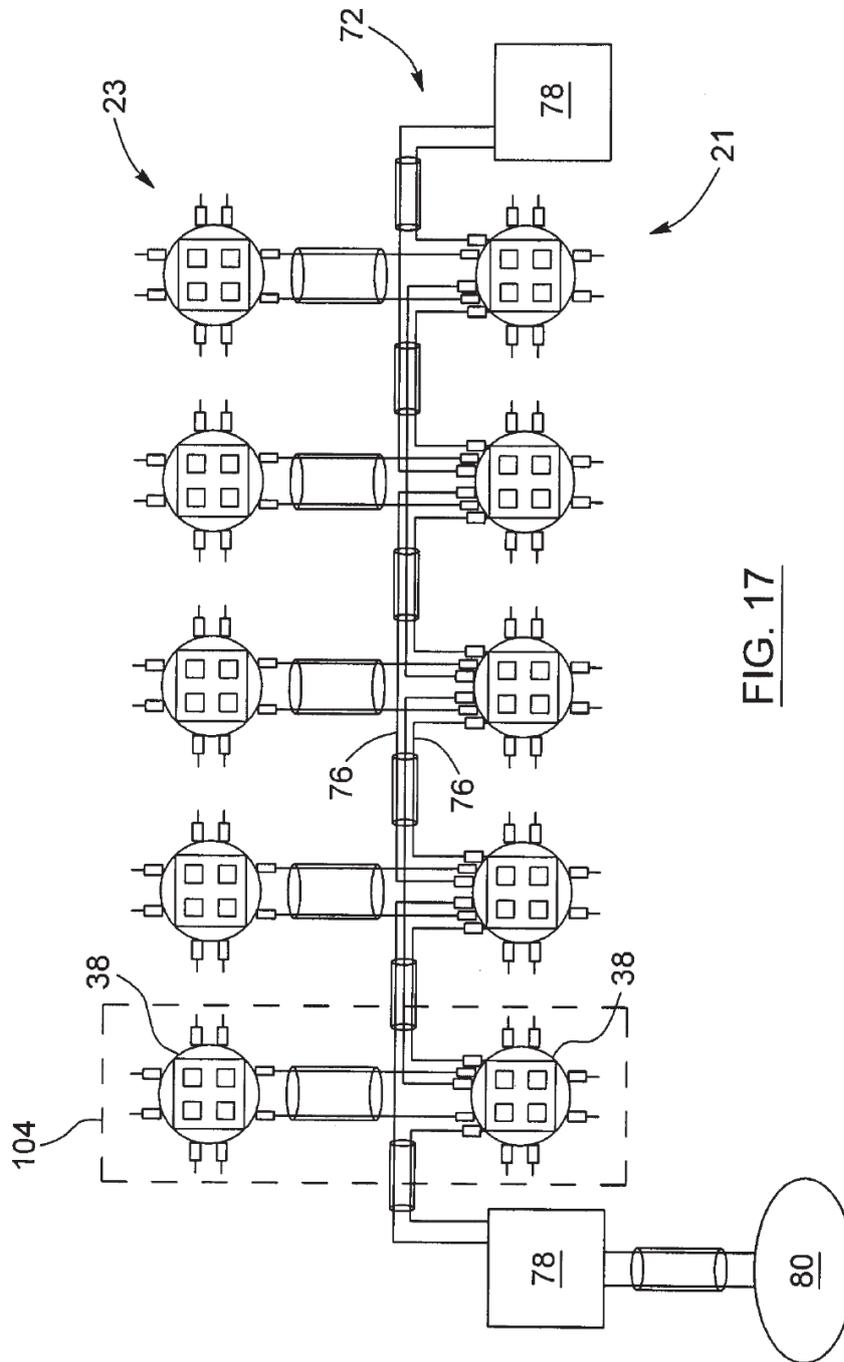


FIG. 17

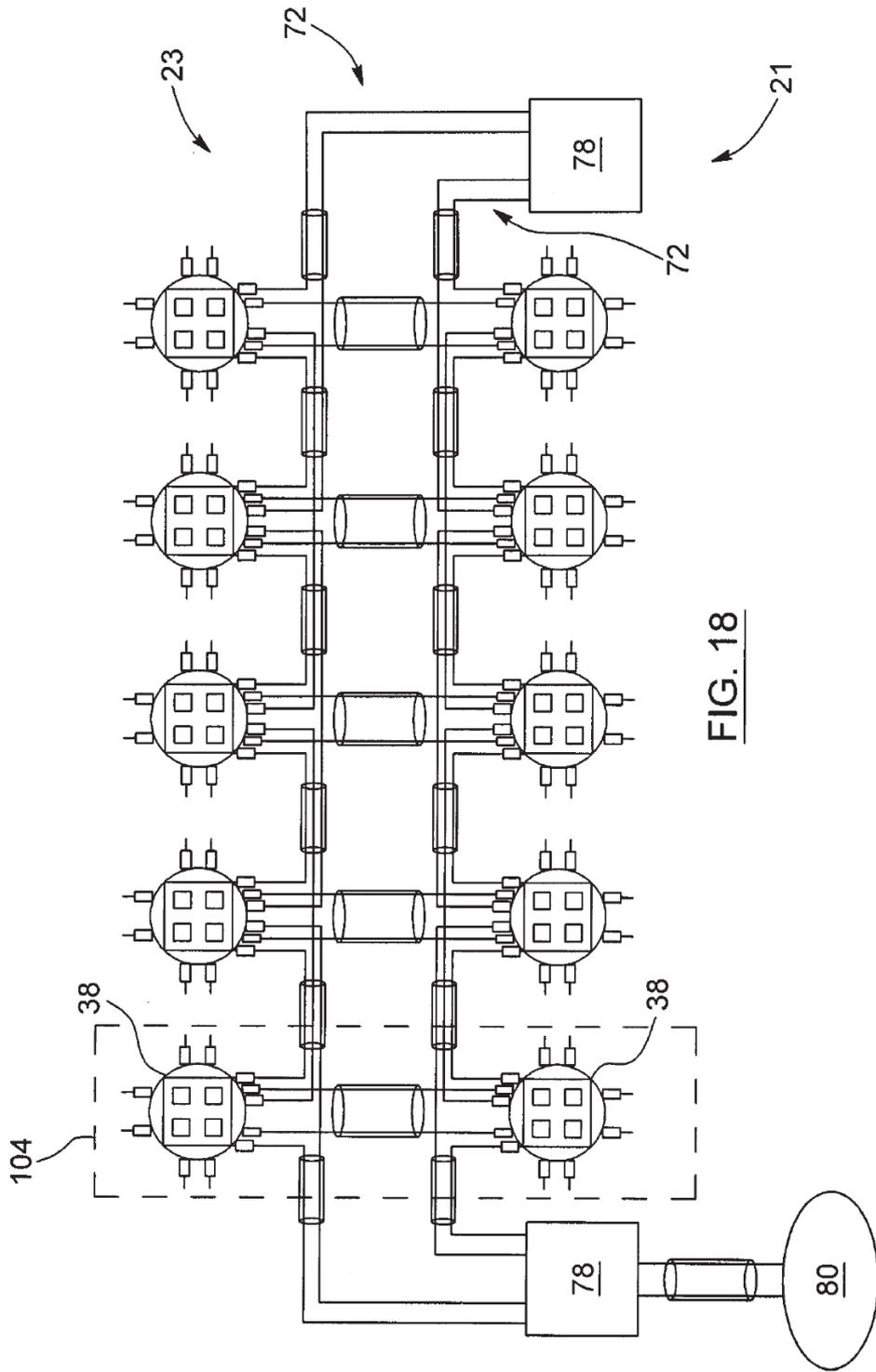


FIG. 18

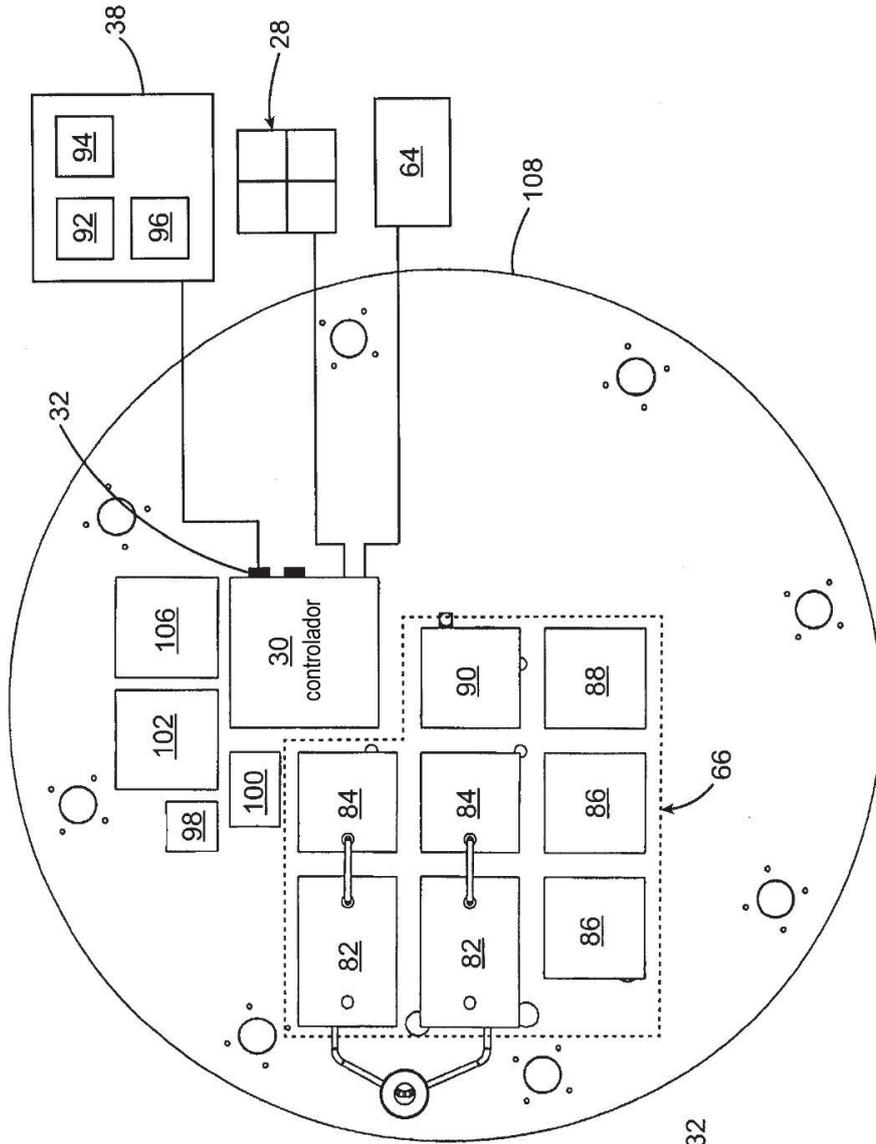


FIG. 19A

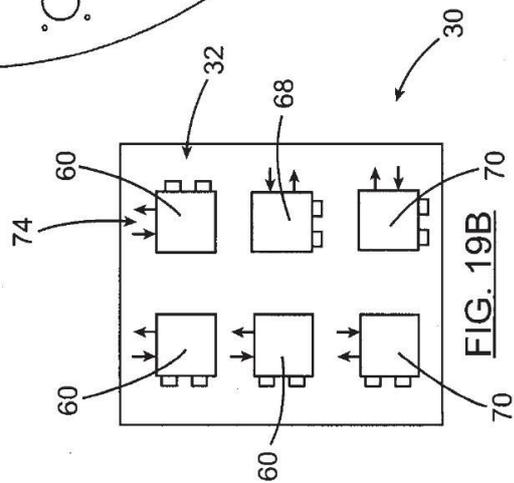


FIG. 19B

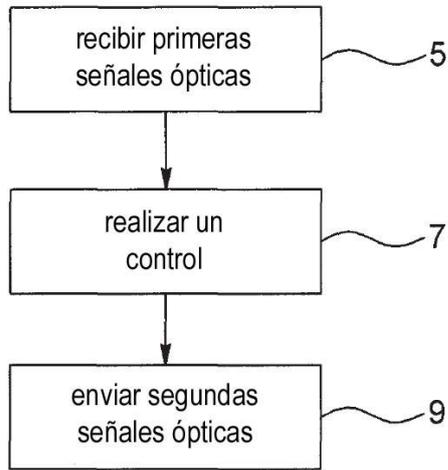


FIG. 20

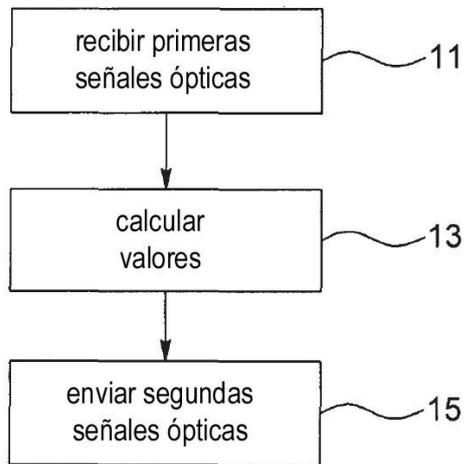


FIG. 21