

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 772 831**

51 Int. Cl.:

H02M 7/49 (2007.01)

H02K 3/28 (2006.01)

H02M 7/48 (2007.01)

H02P 9/04 (2006.01)

H02P 1/50 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **22.02.2016 PCT/JP2016/055119**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.09.2016 WO16136682**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **22.02.2016 E 16755428 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.12.2019 EP 3264583**

54 Título: **Dispositivo generador-motor de velocidad variable y sistema generador-motor de velocidad variable**

30 Prioridad:

25.02.2015 JP 2015035772

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

08.07.2020

73 Titular/es:

**HITACHI MITSUBISHI HYDRO CORPORATION
(100.0%)
Tamachi Nikko Bldg. 29-14 Shiba 5-chome
Minato-kuTokyo108-0014, JP**

72 Inventor/es:

**BANDO, AKIRA y
NAGURA, OSAMU**

74 Agente/Representante:

LINAGE GONZÁLEZ, Rafael

ES 2 772 831 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

Dispositivo generador-motor de velocidad variable y sistema generador-motor de velocidad variable

5 Campo

La presente invención se refiere a un aparato generador-motor de velocidad variable en el que un convertidor de potencia PWM multinivel modular (en lo sucesivo denominado "convertidor MMC" en la presente invención) está conectado a una máquina eléctrica rotativa de CA y a un sistema generador-motor de velocidad variable que incluye el aparato generador-motor de velocidad variable.

Antecedentes

Un circuito convertidor MMC se compone de convertidores de unidades que generan una tensión deseada controlando el factor de modulación de un convertidor PWM que utiliza un elemento de almacenamiento de energía con las características de fuente de tensión, tal como un condensador o una batería de almacenamiento, como fuente de tensión. La tensión del elemento de almacenamiento de energía para el convertidor de la unidad fluctúa de acuerdo con la carga y la descarga realizada con un período determinado por la frecuencia de CA. Los convertidores de la unidad están conectados en serie para formar un brazo de dos terminales. Los primeros terminales de los brazos de dos terminales están conectados a los terminales para las fases respectivas de una fuente de alimentación de CA y los segundos terminales conectados en estrella están conectados al terminal de una fuente de alimentación de CC.

Con esta configuración, el brazo conectado a cada fase genera una tensión con una frecuencia de CA deseada para controlar la corriente alterna y al mismo tiempo superpone la corriente continua para realizar la conversión de energía con la fuente de alimentación de CC.

El control asociado con el convertidor MMC incluye el control de corriente para ajustar una corriente de brazo de acuerdo con un comando de CA y un comando de CC desde una fuente externa (dicho control se denominará en adelante "control de corriente del convertidor" en la presente invención); una función de mantener la tensión promedio del elemento de almacenamiento de energía en equilibrio entre los convertidores de la unidad mediante el ajuste mutuo de los factores de modulación de los convertidores PWM proporcionados en los convertidores de la unidad dentro de los brazos (en adelante, dicha función se denominará "control entre etapas" en la presente invención); y una función de mantener la cantidad total de energía almacenada en el elemento de almacenamiento de energía en el brazo en equilibrio entre los brazos (en adelante, dicha función se denominará "control de equilibrio de interfase" en la presente invención). La implementación del control de equilibrio entre fases requiere un elemento de circuito para reducir la corriente que circula entre los brazos.

La literatura de patente 1 divulga una tecnología en la que se proporciona un reactor de control de corriente circulante entre el primer terminal del brazo para cada fase y el terminal de la fuente de alimentación de CA (esto se denominará un "convertidor DSMMC" en la presente invención).

La literatura de patente 2 divulga un procedimiento en el que se proporciona un transformador que incluye devanados secundarios y terciarios dobles conectados en estrella para cancelar la fuerza magnetomotriz de CC generada en el núcleo del transformador debido a la corriente de circulación mientras se usa la reactancia de fuga de los devanados secundario y terciario como un elemento de circuito de control de corriente (en adelante se denominará "convertidor DIMMC" en la presente invención).

La literatura de patente 3 divulga un procedimiento en el que se proporciona un transformador que incluye devanados secundarios y terciarios conectados en zigzag para cancelar la fuerza magnetomotriz de CC generada en el núcleo del transformador debido a la corriente de circulación mientras se usa la reactancia de fuga de los devanados secundario y terciario como un elemento de circuito de control de corriente (en adelante se denominará "convertidor ZCMMC" en la presente invención).

La literatura no de patente 1 divulga un procedimiento para conectar los terminales de CC de dos convertidores DSMMC de forma consecutiva como un procedimiento para conectar los terminales de CC de dos convertidores de MMC de forma consecutiva para ser una fuente de alimentación de frecuencia variable, así como conectar un terminal de CA a un sistema de CA y conectar el otro terminal de CA a una máquina eléctrica rotativa de CA para formar un aparato motor generador de velocidad variable.

Con este procedimiento, la corriente continua no se superpone en la máquina eléctrica rotativa de CA conectada al convertidor MMC. Por lo tanto, este procedimiento es adecuado para variar la velocidad de la máquina eléctrica rotativa de CA que está conectada directamente al sistema de CA y que opera a una frecuencia fija.

La literatura de patente 4 divulga un procedimiento para conectar el convertidor ZCMMC al lado de la máquina eléctrica rotativa de CA. Se argumenta que, con dicho procedimiento, se puede implementar un sistema eléctrico de CA sin incluir el reactor de control de corriente circulante.

- 5 La literatura de patente 5 divulga un procedimiento para medir los vectores de señales de tensión/corriente de frecuencia variable de la máquina eléctrica rotativa de CA.

La literatura de patente 6 divulga un sistema de conversión de energía eléctrica y mecánica que comprende una máquina eléctrica trifásica con un cable neutro, un convertidor modular multinivel MMC para generar tensiones arbitrarias y un inductor con un devanado en zigzag y terminales para tres fases y neutro.

Lista de citas

Literatura de Patente

15 Literatura de Patente 1: Patente japonesa n.º 5189105

Literatura de Patente 2: Publicación internacional WO 2009/135523

20 Literatura de Patente 3: Patente japonesa n.º 5268739

Literatura de Patente 4: Publicación de patente japonesa abierta al público n.º 2013-162735

Literatura de Patente 5: Patente japonesa n.º 5537095

25 Literatura de Patente 6: Patente US n.º US2015008859

Literatura no de Patente

30 Literatura no de Patente 1: Makoto Hagiwara, Kazutoshi Nishimura y Hirofumi Akagi, "A Medium-Voltage Motor Drive with a Modular Multilevel PWM Inverter: Part I. Experimental Verification by a 400-V, 15-kW Downscaled Model [Un motor de media tensión con un inversor PWM multinivel modular: Parte I. Verificación experimental mediante un modelo reducido de 400 V y 15 kW ", Las transacciones del Instituto de Ingenieros Eléctricos de Japón. D, 130 (4), páginas 544-551, abril de 2010

35 Literatura no de Patente 2: Philip L. Alger, "Induction Machines [Máquinas de inducción]", segunda edición, abril de 1969

Sumario

40 Problema técnico

Los convertidores de potencia estáticos que utilizan dispositivos de conmutación de semiconductores de potencia (en lo sucesivo denominados "dispositivos de conmutación" en la presente invención) pueden clasificarse aproximadamente como un convertidor de fuente de corriente conmutada en línea (en lo sucesivo denominado "convertidor LCC" en la presente invención) que utiliza un dispositivo de conmutación sin una función de autoextinción, tal como un tiristor, y un convertidor de fuente de tensión autoconmutado (en lo sucesivo denominado "convertidor VSC" en la presente invención) que utiliza un dispositivo de conmutación con una función de autoextinción, tal como un IGBT.

50 Con el convertidor VSC en particular, la tasa de cambio temporal de la tensión de la bobina de una máquina eléctrica rotativa aumenta a medida que aumenta la tensión del dispositivo de conmutación y, a medida que se mejoran las características de conmutación, la frecuencia PWM aumenta para suprimir la corriente armónica, que provoca un aumento en la corriente de fuga de la bobina.

55 Este es un cuello de botella, particularmente en un caso donde la velocidad varía de la máquina eléctrica rotativa de CA que se instala bajo el supuesto de que hay una fuente de alimentación de frecuencia de CA comercial.

Un convertidor MMC se clasifica como un convertidor VSC equipado con control PWM. A diferencia de un convertidor PWM convencional, el convertidor MMC incluye N etapas de convertidores de unidades conectadas en serie para poder suprimir el ancho de la pulsación de tensión debido al control PWM a 1/N sin usar una conexión compleja en el cableado de un reactor y un transformador y suprimir el componente armónico de la tensión aplicada a la máquina eléctrica rotativa de CA. La adopción del convertidor MMC permite el uso de la máquina eléctrica rotativa sin reforzar el aislamiento de la bobina del mismo y es particularmente adecuado para variar la velocidad de la máquina eléctrica rotativa de CA que se instala bajo el supuesto de una frecuencia constante de un sistema de suministro de energía de CA.

Además, un convertidor MMC permite que el número de convertidores de unidades conectadas en serie tenga redundancia para poder aumentar la disponibilidad haciendo un cortocircuito en el terminal de salida de un convertidor de unidades con fallo. Por lo tanto, el convertidor MMC es adecuado para variar la velocidad de una máquina eléctrica rotativa de CA de alta capacidad que requiere una gran cantidad de convertidores de unidades.

La literatura no de patente 1 describe una tecnología adecuada para realizar tales características. En la literatura de patente 4 se argumenta que el aparato generador-motor de velocidad variable puede implementarse conectando el convertidor ZCMMC.

Sin embargo, las dos publicaciones mencionadas anteriormente no divulgan ningún problema y solución a los problemas que surgen inevitablemente cuando se varía la velocidad de la máquina eléctrica rotativa de CA utilizando el convertidor MMC.

Un primer problema proviene de la característica de que la capacidad de corriente de salida del convertidor MMC es proporcional a la frecuencia. La capacidad de corriente disminuye en una región de salida de baja frecuencia, causando así un problema porque el par de arranque de la máquina eléctrica rotativa de CA no puede garantizarse porque, en principio, el par de salida de la máquina es proporcional a la corriente. Existe el problema de que dicho convertidor no puede aplicarse al arranque de máquinas síncronas que conforman la mayoría de las máquinas eléctricas rotativas de alta capacidad que son particularmente adecuadas para usar las características del convertidor MMC. Este problema es común a todos los convertidores DSMMC, DIMMC y ZCMMC conectados a la máquina eléctrica rotativa de CA; sin embargo, no se describen problemas y soluciones de los mismos en la literatura no de patente 1 y la literatura de patente 4.

Un segundo problema proviene de la superposición intencional de corriente continua en un devanado de la máquina eléctrica rotativa.

La literatura no de patente 2 señala en la página 356 que "incluso el desequilibrio en la atracción magnética debido a un flujo de fuga en zigzag causado por una combinación de un estator y el número de ranuras centrales de un rotor de una máquina de inducción se convierte en un problema".

Además, cuando la corriente continua se superpone intencionalmente como con el convertidor DIMMC y el convertidor ZCMMC, el requisito mínimo es la cancelación de la fuerza magnetomotriz CC generada por la corriente de la bobina dentro de la ranura del núcleo. Este problema es común en los casos en que una máquina síncrona y una máquina de inducción se adoptan como la máquina eléctrica rotativa de CA.

Por otro lado, se argumenta en la literatura de patente 4 que "cuando se alimenta corriente continua triseccionada a cada uno de los devanados trifásicos, el campo magnético generado por una corriente de fase cero se convierte en cero".

La literatura no de patente 2 presenta tres tipos de devanados de armadura desde la página 76 hasta la página 79. La misma literatura introduce un devanado formado a partir de una bobina de una sola capa en la figura 3.5, un devanado con una zona de fase de 60 grados formada a partir de una bobina de doble capa en la figura 3.6, y un devanado con una zona de fase de 120 grados formada a partir de una bobina de doble capa en la figura 3.7. Entre estos, el argumento en la literatura de patente 4 es válido solo en la configuración de zona de fase de 120 grados formada a partir de la bobina de doble capa ilustrada en la figura 3.7, donde el argumento establece que "cuando la corriente continua triseccionada se alimenta a cada uno de los devanados trifásicos, la fuerza magnetomotriz dentro de una ranura se cancela para causar que el campo magnético generado por la corriente de fase cero sea cero". Ahora se describirán los tres tipos de bobinados.

En cuanto a la bobina de capa única, la corriente de la bobina dentro de la ranura es monofásica; por lo tanto, la fuerza magnetomotriz no puede cancelarse en principio.

La figura 21 ilustra un ejemplo de una zona de fase de 60 grados formada a partir de una bobina de doble capa con el devanado de armadura de un motor de dos polos alojado en 18 ranuras.

La figura 21 ilustra una distribución de fuerza magnetomotriz y una distribución de campo magnético cuando la corriente continua triseccionada se alimenta a cada fase de los devanados trifásicos conectados en estrella en la figura 3.6 obtenida desarrollando la figura 3.3 en la literatura no de patente 2 sobre la circunferencia de un círculo. Debe tenerse en cuenta que en la figura 21, una línea continua indica una bobina superior de la bobina de doble capa y una línea discontinua indica una bobina inferior de la misma.

Aquí, el diagrama ilustra la distribución de la fuerza magnetomotriz generada por el devanado de cada fase cuando se alimenta una corriente continua ICC/3 triseccionada desde el terminal N a cada uno de los terminales trifásicos (RST), y la distribución de fuerza magnetomotriz y la distribución del campo magnético debido a las tres

fases sumadas. Como se ilustra en la figura 21, la corriente continua genera una distribución de flujo de campo magnético de onda casi sinusoidal y, por lo tanto, no es práctica.

A continuación, la figura 7 ilustra un ejemplo de una zona de fase de 120 grados formada a partir de la bobina de doble capa con el devanado de armadura del motor de dos polos alojado en 18 ranuras.

La figura 7 ilustra una distribución de fuerza magnetomotriz y una distribución de campo magnético cuando la corriente continua triseccionada se alimenta a cada fase de los devanados trifásicos conectados en estrella en la figura 3.7 de la literatura no de patente 2 al cambiar el devanado de un devanado de paso corto (con un paso de bobina de 8/9) a un devanado de paso completo. Debe tenerse en cuenta que en la figura 7, una línea continua indica una bobina superior de la bobina de doble capa y una línea discontinua indica una bobina inferior de la misma.

Aquí, el diagrama ilustra la distribución de la fuerza magnetomotriz generada por el devanado de cada fase cuando se alimenta la corriente continua ICC/3 triseccionada desde el terminal N a cada uno de los terminales trifásicos (RST), y la distribución de fuerza magnetomotriz y la distribución del campo magnético debido a las tres fases sumadas. Como se ilustra en la figura 7, la fuerza magnetomotriz generada por la superposición de la corriente continua se cancela dentro de cada ranura y no contribuye a la distribución del campo magnético.

Por lo tanto, cuando el convertidor ZCMMC y la máquina eléctrica rotativa de CA están conectados para formar el aparato motor generador de velocidad variable, es necesario "superponer la corriente continua triseccionada en cada fase del devanado de armadura en la zona de fase de 120 grados formada a partir de la bobina de doble capa" de la máquina eléctrica rotativa de CA.

Sin embargo, cuando se va a variar la velocidad de una máquina eléctrica rotativa de CA existente, en muchos casos se da prioridad al factor de devanado y al componente armónico y no hay necesariamente una serie de casos en los que se aplique la zona de fase de 120 grados. En consecuencia, el procedimiento en la literatura de patente 4 puede aplicarse para variar la velocidad de una máquina existente en solo un número limitado de casos.

Por otro lado, en cuanto al devanado de armadura con la zona de fase de 60 grados formada a partir de la bobina de doble capa, el procedimiento ilustrado en la figura 4 puede cancelar la fuerza magnetomotriz generada por la superposición de la corriente continua triseccionada dentro de cada ranura para que la fuerza magnetomotriz no contribuya a la distribución del campo magnético.

En la figura 4, el terminal trifásico de la figura 21 se divide para cada uno de los polos magnéticos generados por las bobinas trifásicas, y luego la corriente continua que se superpondrá en cada uno del primer conjunto de terminales trifásicos (RP, SP, TP) y el segundo conjunto de tres terminales de fase (RN, SN, TN) se dividen en tres partes iguales para superponer la corriente continua inversa en polaridad entre sí.

La figura 4 ilustra la distribución de la fuerza magnetomotriz generada en este momento por el devanado de cada fase, y la distribución de la fuerza magnetomotriz y la distribución del campo magnético debido a las tres fases sumadas. Como se ilustra en la figura 4, la fuerza magnetomotriz generada por la superposición de la corriente continua se cancela dentro de cada ranura para no poder contribuir a la distribución del campo magnético. Sin embargo, hay un problema con el convertidor ZCMMC porque la corriente continua con una polaridad opuesta no se puede superponer.

Un objeto de la presente invención es resolver los problemas mencionados anteriormente y proporcionar un aparato generador-motor de velocidad variable que use un motor generador de CA grande y proporcionar un sistema generador-motor de velocidad variable.

Solución al problema

Este objeto se resuelve con las características de la reivindicación 1 del dispositivo. La reivindicación dependiente 2 cita un modo de realización ventajoso de la invención.

Efectos ventajosos de la invención

De acuerdo con la presente invención, la máquina eléctrica rotativa de CA puede variarse en velocidad simplemente haciendo un cambio en los extremos de la bobina del devanado de armadura de la máquina eléctrica rotativa de CA que se instala asumiendo que se opera con una frecuencia fija mediante un sistema de CA. En particular, es posible variar rápidamente la velocidad de las máquinas eléctricas rotativas de CA en plantas de energía hidráulica y plantas de almacenamiento de bombeo que son efectivas para suprimir las fluctuaciones de los sistemas de energía que acompañan el crecimiento en el uso de energía renovable generada por los sistemas de generación de energía solar, sistemas de generación de energía eólica y similares.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama de circuito que ilustra un primer modo de realización de la presente invención.

5 La figura 2 es un diagrama de circuito de un convertidor de unidad de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

La figura 3 es un diagrama de circuito de otro convertidor de unidad de acuerdo con un modo de realización de la presente invención.

10 La figura 4 es un diagrama que ilustra un devanado de armadura de una máquina eléctrica rotativa de CA de acuerdo con el primer modo de realización de la presente invención.

15 La figura 5 es un diagrama de bloque de control que ilustra el primer modo de realización de la presente invención.

La figura 6 es un diagrama de circuito que ilustra un segundo modo de realización de la presente invención.

20 La figura 7 es un diagrama que ilustra un devanado de armadura de una máquina eléctrica rotativa de CA de acuerdo con el segundo modo de realización de la presente invención.

La figura 8 es un diagrama de bloque de control que ilustra el segundo modo de realización de la presente invención.

25 La figura 9 es un diagrama de circuito que ilustra un tercer modo de realización de la presente invención.

La figura 10 es un diagrama de circuito de una fuente de alimentación de CC de acuerdo con el tercer modo de realización de la presente invención.

30 La figura 11 es un diagrama de circuito de otra fuente de alimentación de CC de acuerdo con el tercer modo de realización de la presente invención.

La figura 12 es un diagrama que ilustra un devanado de armadura de una máquina eléctrica rotativa de CA de acuerdo con el tercer modo de realización de la presente invención.

35 La figura 13 es un diagrama de bloque de control que ilustra el tercer modo de realización de la presente invención.

40 La figura 14 es un diagrama de secuencia de operación que ilustra el tercer modo de realización de la presente invención.

La figura 15 es un diagrama de circuito que ilustra un cuarto modo de realización de la presente invención.

45 La figura 16 es un diagrama de circuito de una fuente de alimentación de CC de acuerdo con el cuarto modo de realización de la presente invención.

La figura 17 es un diagrama que ilustra un devanado de armadura de una máquina eléctrica rotativa de CA de acuerdo con el cuarto modo de realización de la presente invención.

50 La figura 18 es un diagrama de bloque de control que ilustra el cuarto modo de realización de la presente invención.

La figura 19 es un diagrama de bloque de control que ilustra un quinto modo de realización de la presente invención.

55 La figura 20 es un diagrama de secuencia de operación que ilustra el quinto modo de realización de la presente invención.

60 La figura 21 es un diagrama que ilustra un devanado de armadura de una máquina eléctrica rotativa de CA convencional (una sola zona de fase de 60 grados conectada por estrella).

La figura 22 es un diagrama que ilustra un devanado de armadura de una máquina eléctrica rotativa de CA convencional (una doble zona de fase de 60 grados conectada por estrella).

65 La figura 23 es un diagrama que ilustra un devanado de armadura de una máquina eléctrica rotativa de CA convencional (una doble zona de fase de 120 grados conectada por estrella).

Descripción de modos de realización

5 Modos de realización de un aparato generador-motor de velocidad variable y un sistema generador-motor de velocidad variable según la presente invención se describirán ahora en detalle con referencia a los dibujos. Debe tenerse en cuenta que la presente invención no está limitada por los modos de realización.

(Primer modo de realización)

10 La figura 1 es un diagrama de circuito que ilustra un primer modo de realización de la presente invención.

Hay una fuente de alimentación de CC 101A y una máquina eléctrica rotativa de CA 102A. La máquina eléctrica rotativa de CA 102A incluye dos conjuntos de conexiones en estrella y está provista de terminales trifásicos (RP, SP, TP) y terminales trifásicos (RN, SN, TN), donde los puntos neutros de los dos conjuntos de conexiones en
15 estrella están unidas entre sí para que se extiendan al terminal N y se conecten a tierra a través de una alta resistencia. Hay seis brazos (104RP, 104SP, 104TP, 104RN, 104SN, 104TN), cada uno de los cuales incluye dos terminales (a, b) y está formado por N etapas de terminales de salida conectadas en serie (x, y) de convertidores de unidades 103 de un convertidor MMC, donde los terminales b de los tres brazos (104RP, 104SP, 104TP) están conectados en estrella al primer terminal (P) de la fuente de alimentación de CC 101A y los
20 terminales a de los brazos están conectados a los tres terminales de fase (RP, SP, TP) de la máquina eléctrica rotativa de CA 102A. Los terminales a de los tres brazos restantes (104RN, 104SN, 104TN) están conectados en estrella al segundo terminal (N) de la fuente de alimentación de CC 101A y los terminales b de los brazos están conectados a los terminales trifásicos (RN, SN, TN) de la máquina eléctrica rotativa de CA 102A.

25 Un dispositivo de control 105A recibe una señal de cada uno de los transformadores de corriente CC 106 que mide la corriente de salida de los seis brazos, un transformador de tensión CC 107A que mide la tensión de línea a través de los terminales trifásicos (RP, SP, TP), un transformador de tensión CC 107B mide la tensión de línea a través de los terminales trifásicos (RN, SN, TN) y un detector de fase 108 que mide la fase rotacional θ expresada en grados eléctricos, y luego realiza una operación de control para emitir señales de puerta (PuertaP*, PuertaN*) a los convertidores de la unidad 103. Unos seccionadores 109A y 109B están cerrados durante la
30 operación normal y están abiertos durante el mantenimiento. El detector de fase 108 también puede estimar la fase rotacional θ realizando una operación vectorial sobre la base de las tensiones de línea medidas por los transformadores de tensión CC 107A y 107B y las señales de corriente de los transformadores de corriente CC 106.

35 La literatura de patente 5 divulga un procedimiento para realizar una operación vectorial en una señal de CA que cambia con la velocidad/frecuencia de rotación, así como un procedimiento para calcular la fase de la tensión inducida interna correspondiente a la fase de rotación θ en base a una señal de tensión y una señal de corriente.

40 La figura 2 es un diagrama de circuito del convertidor de unidad 103 de acuerdo con el primer modo de realización. El convertidor de unidad 103 está configurado de tal manera que un dispositivo de conmutación 201 y un dispositivo de conmutación 202 que forman un circuito de interruptor bidireccional están conectados a un condensador 203, que funciona como un elemento de almacenamiento de energía que tiene características de
45 fuente de tensión. El convertidor de unidad 103 realiza el control PWM con una señal de puerta de entrada, desde un cable de fibra óptica 204A conectado al dispositivo de control 105A, a un controlador de puerta 207A para los dispositivos de conmutación 201 y 202 a través de un elemento de conversión fotoeléctrica 205A y un circuito de conversión serie-paralelo 206A y luego ajusta la tensión promedio a través de los dos terminales (x, y) entre cero y una tensión de condensador VC. Por otro lado, la tensión de condensador VC alimenta una señal analógica emitida por un transformador de tensión CC 208 al dispositivo de control 105A a través del cable de
50 fibra óptica 204A a través de un convertidor analógico-digital 209, un convertidor serie-paralelo 210 y un elemento de conversión electroóptico 211. Con esta configuración, la corriente fluye a través de cualquiera de los dispositivos de conmutación 201 y 202; por lo tanto, la pérdida puede minimizarse.

La figura 3 es un diagrama de circuito de otra forma del convertidor de unidad 103 de acuerdo con el primer
55 modo de realización. Un convertidor de unidad 103B incluye dispositivos de conmutación 212, 213, 214 y 215 que forman un circuito puente completo en lugar del circuito de interruptor bidireccional ilustrado en la figura 2. Con esta configuración, con la tensión del condensador como VC, la tensión promedio en los terminales (x, y) se puede ajustar entre $-VC$ y $+VC$.

60 La figura 4 ilustra un ejemplo de un devanado de armadura de la máquina eléctrica rotativa de CA y la conexión de terminal de acuerdo con el primer modo de realización. Por motivos de simplicidad, la figura ilustra un ejemplo de un motor de dos polos con 18 ranuras, que está cerca de una configuración mínima. Además, una máquina síncrona de polo destacado ilustrada en este caso para facilitar la comprensión de una relación con un sistema de campo puede ser una máquina síncrona cilíndrica o una máquina de inducción.

65

A continuación se describe que el devanado y la configuración del terminal en la figura 4 puede implementarse cambiando las conexiones de los extremos de la bobina y extrayendo terminales sobre la base de la configuración del devanado y los terminales ilustrados en la figura 21.

Las figuras 21 y 4 tienen una configuración de zona de fase de 60 grados formada por una bobina de doble capa y no hay cambio en las porciones de la bobina que pasan a través de las ranuras. En la figura 21, que ilustra la configuración antes de la alteración, tiene una conexión de estrella única normal de terminales trifásicos (R, S, T), donde las bobinas que generan un campo magnético de polaridad positiva/inversa en un espacio están conectadas en serie. En la figura 4, que ilustra la configuración después de la alteración, tiene dos conjuntos de terminales trifásicos (RP, SP, TP) y (RN, SN, TN).

Como se describió anteriormente, la alteración implica un cambio en las conexiones de los extremos de la bobina del devanado de armadura y una extracción adicional de los tres terminales. El cambio en las conexiones reduce a la mitad el número de vueltas de los devanados trifásicos, por lo que la tensión de la línea es igual a la mitad del valor antes de la alteración. La capacidad actual de la bobina de la armadura no cambia debido a la alteración. Sin embargo, la forma en que se usa la capacidad de corriente cambia debido a la alteración.

A continuación se describe un caso en el que se utiliza una máquina síncrona como máquina eléctrica rotativa de CA. La frecuencia de la corriente antes de la alteración corresponde a la frecuencia del sistema de CA, donde el valor efectivo de la corriente es igual al cuadrado de la suma de raíces del componente de potencia activa y el componente de potencia reactiva. La corriente después de la alteración es igual al cuadrado de la suma de raíces del valor efectivo del componente de frecuencia de salida de un convertidor de potencia y el valor promedio de la corriente continua. En principio, las tensiones de fase de los dos conjuntos de terminales trifásicos están en fase y tienen el mismo valor efectivo. Donde los signos de las corrientes alternas (IRP_AC, ISP_AC, ITP_AC) y (IRN_AC, ISN_AC, ITN_AC) que fluyen a través de dos conjuntos de devanados se definen en la figura 1, las corrientes están en fases opuestas y tienen un valor efectivo igual. El factor de potencia de la corriente alterna se controla de manera que se convierta en unidad. Aquí, se supone que VCA indica la tensión de fase CA del convertidor de potencia, ICA indica el valor efectivo de la corriente e ICC denota la corriente continua que se triseca para los devanados de las fases respectivas. Con VCC que indica la tensión de salida de la fuente de alimentación de CC 101A, la relación con una capacidad de salida P se convierte en ($P = 6 \times VCA \times ICA = VCC \times ICC$), en la cual la pérdida de la máquina eléctrica rotativa de CA y el convertidor de potencia es ignorado. La relación de (ICC/3) a ICA varía dependiendo de las capacidades de los condensadores 203 de los convertidores de unidad 103 y del procedimiento de operación en el momento del fallo de alimentación y también de cuál de los convertidores de unidad en las figuras 2 y 3 se usa.

En general, la relación de (ICC/3) aumenta y un factor de potencia equivalente disminuye cuando se reduce la capacidad del condensador 203, el factor de utilización de la tensión del condensador VC se reduce al reducir los límites superior e inferior del factor de modulación PWM del convertidor de la unidad para aumentar la disponibilidad (continuidad de operación) en el momento de fallo de energía, y el circuito de interruptor bidireccional en la figura 2 se utiliza como el convertidor de la unidad con importancia dada en la eficiencia del convertidor de potencia. Cuando la proporción de (ICC/3) está diseñada para ser alta, la proporción es aproximadamente igual a $(ICC/3)/ICA = 0,5$. Como resultado, el factor de potencia equivalente se reduce a aproximadamente 0,9 con ICA como componente activo de la capacidad actual que contribuye a la salida y CC superpuesta (ICC/3) como componente reactivo. Este valor no implica un esquema del convertidor MMC.

Como resultado, cuando el factor de potencia nominal de la máquina síncrona antes de la alteración es igual a 0,9 o menos, se puede garantizar la misma potencia de salida activa después de la alteración. El factor de potencia no se puede ajustar cuando se usa una máquina de inducción como la máquina eléctrica rotativa de CA, en cuyo caso la salida de potencia activa después de la alteración se reduce a un valor multiplicado por el factor de potencia equivalente del convertidor MMC.

La figura 5 es un diagrama de bloques de control del dispositivo de control 105A de acuerdo con el primer modo de realización.

Una unidad de cálculo de tensión de fase 501A calcula la señal de tensión de fase a partir de dos conjuntos de señales de detección de tensión de línea trifásica. Una unidad de cálculo de velocidad 502 calcula una frecuencia de velocidad de rotación ω en base al valor actual de la fase de rotación θ y el número de muestras N_p de una señal en fase en un período anterior. Aquí, donde Δt indica un período de muestreo, existe una relación $\omega = 2 \times \pi / (N_p \times \Delta t)$.

Una unidad de cálculo de promedio móvil 503A calcula el ICC de corriente continua encontrando el promedio móvil de la suma de la corriente alterna trifásica (IRP, ISP, ITP) N_p veces. Un convertidor d-q 504P realiza un cálculo de acuerdo con la expresión 1, y un convertidor d-q 504N realiza un cálculo de acuerdo con la expresión 2. Debe tenerse en cuenta que la secuencia de fases es RST en este caso.

[Expresión 1]

$$\begin{bmatrix} \text{IQP} \\ \text{IDP} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin \theta & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{IRP} \\ \text{ISP} \\ \text{ITP} \end{bmatrix}$$

... (expresión 1)

[Expresión 2]

$$\begin{bmatrix} \text{IQN} \\ \text{IDN} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin \theta & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{IRN} \\ \text{ISN} \\ \text{ITN} \end{bmatrix}$$

... (expresión 2)

Una unidad de cálculo de potencia 505A emplea un procedimiento de coordenadas simétricas instantáneas para calcular la potencia activa P y la potencia reactiva Q a partir de una señal de fase rotacional, una señal de tensión de fase y una señal de corriente alterna.

Una unidad de ajuste de potencia activa 506A y una unidad de ajuste de potencia reactiva 507A emiten comandos de corriente ID* e IQ*, de modo que los valores de comando P* y Q* se corresponden con los valores calculados P y Q, respectivamente. Una unidad de ajuste de corriente alterna 508A realiza una operación de control de tal manera que uno de los valores de comando obtenidos al bisecar el valor de comando ID* corresponde con un valor medido/calculado IDP y un valor de comando obtenido al invertir la polaridad de otro de los valores de comando corresponde con un valor medido/calculado IQP, y realiza una operación de control de manera que uno de los valores de comando obtenidos dividiendo el valor de comando IQ* corresponde con un valor medido/calculado IQP y un valor de comando obtenido al invertir la polaridad de otro de los valores del comando corresponden con un valor medido/calculado IQN. Una unidad de ajuste de corriente continua 509A realiza una operación de control tal que un comando de CC ICC* obtenido dividiendo un valor de comando de salida P* por una tensión de salida VCC* de una fuente de alimentación de CC que corresponde con el valor medido/calculado ICC.

En el presente modo de realización, el grado de libertad de una ruta de corriente es cinco, donde hay cuatro calculadoras de integración en la unidad de ajuste de corriente alterna 508A y hay una calculadora de integración en la unidad de ajuste de corriente continua 509A. El total de cinco calculadoras de integración corresponde a los cinco grados de libertad de la ruta actual. Por lo tanto, todos los integradores pueden mantener independientemente la desviación de entrada a cero. Los convertidores d-q inversos 510P y 510N realizan un cálculo de acuerdo con la expresión 3.

[Expresión 3]

$$\begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ \cos(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta - 2\pi/3) \\ \cos(\theta + 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q \\ d \end{bmatrix}$$

... (expresión 3)

Se proporciona una unidad de cálculo de corrección de comando de tensión de CC 511P para los brazos 104RP, 104SP y 104TP y una unidad de cálculo de corrección de comando de tensión de CC 511N para los brazos 104RN, 104SN y 104TN, donde las unidades de cálculo dan salida a los comandos de tensión de salida VRP*, VSP*, VRN*, VSN* y VTN* correspondientes a los brazos.

En consecuencia, los terminales trifásicos (RP, SP, TP) y los terminales trifásicos (RN, SN, TN) de la máquina eléctrica rotativa de CA 102A tienen tensiones de fase aproximadamente iguales de (VR*, VS*, VT*); por lo tanto, los comandos de tensión de salida para los brazos 104RP y 104RN están dados aproximadamente por

VRP* = +VR* + (1/2) × VCC y

VRN* = -VR* + (1/2) × VCC, respectivamente.

Las unidades de cálculo PWM 512P y 512N, por lo tanto, emiten comandos de puerta PuertaP* y PuertaN* sobre la base de esos comandos de tensión de salida y la tensión de condensador VC del convertidor de unidad 103.

(Segundo modo de realización)

La figura 6 es un diagrama de circuito que ilustra un segundo modo de realización de la presente invención.

Hay una fuente de alimentación de CC 101A y una máquina eléctrica rotativa de CA 102B. La máquina eléctrica rotativa de CA 102B incluye un conjunto de conexión en estrella y está provista de terminales trifásicos (R, S, T), donde el punto neutro de la conexión en estrella se extrae al terminal N para conectarse al segundo terminal (N) de la fuente de alimentación de CC 101A. Hay tres brazos (604R, 604S, 604T), cada uno de los cuales incluye dos terminales (a, b) y está formado por N etapas de terminales de salida conectadas en serie (x, y) de los convertidores de unidad 103 de un convertidor MMC, donde los terminales a de los tres brazos están conectados a los terminales trifásicos (R, S, T) de la máquina eléctrica rotativa de CA 102B y los terminales b de los brazos están conectados en estrella al primer terminal (P) de la fuente de alimentación de CC 101A.

Un dispositivo de control 605A recibe una señal de cada uno de los transformadores de corriente CC 106 que mide la corriente de salida de los tres brazos, un transformador de tensión CC 607 que mide la tensión de línea a través de los terminales trifásicos (R, S, T) y la fase detector 108 que mide la fase rotacional θ expresada en grados eléctricos, y luego realiza una operación de control para emitir una señal de puerta Puerta* a los convertidores de la unidad 103. Un seccionador 609 está cerrado durante la operación normal y abierto durante el mantenimiento. El detector de fase 108 también puede estimar la fase rotacional θ realizando una operación vectorial sobre la base de la tensión de línea medida por el transformador de tensión de CC 607 y una señal de corriente de los transformadores de corriente de CC 106. Las figuras 2 o 3 pueden referenciarse como un modo de realización del convertidor de unidad 103.

La figura 7 ilustra un ejemplo de un devanado de armadura de la máquina eléctrica rotativa de CA y la conexión de terminal de acuerdo con el segundo modo de realización. Por motivos de simplicidad, la figura ilustra un ejemplo de un motor de dos polos con 18 ranuras, que está cerca de una configuración mínima. Además, una máquina síncrona de polo destacado ilustrada en este caso para facilitar la comprensión de una relación con un sistema de campo puede ser una máquina síncrona cilíndrica o una máquina de inducción.

El devanado ilustrado en la figura 7 tiene una configuración de zona de fase de 120 grados formada por una bobina de doble capa. Es una conexión de estrella única normal con los terminales trifásicos (R, S, T) extraídos.

A continuación se describe un caso en el que la máquina eléctrica rotativa de CA es una máquina síncrona. La corriente antes de la alteración corresponde a la frecuencia del sistema de CA, donde el valor efectivo de la corriente es igual al cuadrado de la suma de la raíz del componente de potencia activa y el componente de potencia reactiva. La corriente después de la alteración corresponde a la frecuencia de salida de un convertidor de potencia y corriente continua. El factor de potencia de la corriente alterna (IR, IS, IT) se controla de modo que se convierta en unidad. Aquí, se supone que VCA e ICA indican la tensión de fase de CA y el valor efectivo de la corriente del convertidor de potencia, respectivamente, y que ICC indica la corriente continua superpuesta que se triseca para los devanados de las fases respectivas. Con VCC que indica la tensión de salida de la fuente de alimentación de CC 101A, la relación con la capacidad de salida P se convierte en ($P = 3 \times VCA \times ICA = VCC \times ICC$), en la cual la pérdida de la máquina eléctrica rotativa de CA y el convertidor de potencia es ignorado. La relación de (ICC/3) a ICA es similar al caso en la figura 1 y, por lo tanto, no se describirá para evitar la repetición.

Cuando el factor de potencia nominal de la máquina síncrona antes de la alteración es igual a 0,9 o menos, se puede garantizar la misma potencia de salida activa después de la alteración. El factor de potencia no se puede ajustar cuando se usa una máquina de inducción como la máquina eléctrica rotativa de CA, en cuyo caso la salida de potencia activa después de la alteración se reduce a un valor multiplicado por el factor de potencia equivalente del convertidor MMC.

La figura 8 es un diagrama de bloques de control del dispositivo de control 605A de acuerdo con el segundo modo de realización.

Una unidad de cálculo de tensión de fase 501B calcula la señal de tensión de fase a partir de la señal de detección de tensión de línea. El dispositivo de control 605A también incluye la unidad de cálculo de velocidad 502 y la unidad de cálculo de promedio móvil 503A que calcula el ICC de corriente continua encontrando el promedio móvil de la suma de la corriente alterna trifásica (IR, IS, IT) Np veces. Un convertidor d-q 504C realiza un cálculo de acuerdo con la expresión 4. Debe tenerse en cuenta que la secuencia de fases es RST en este caso.

[Expresión 4]

$$\begin{bmatrix} IQ \\ ID \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos\theta & \cos(\theta - 2\pi/3) & \cos(\theta + 2\pi/3) \\ \sin\theta & \sin(\theta - 2\pi/3) & \sin(\theta + 2\pi/3) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} IR \\ IS \\ IT \end{bmatrix}$$

... (expresión 4)

Una unidad de cálculo de potencia 505B emplea el procedimiento de coordenadas simétricas instantáneas para calcular la potencia activa P y la potencia reactiva Q a partir de una señal de tensión de fase y una señal de corriente alterna.

Una unidad de ajuste de potencia activa 506B y una unidad de ajuste de potencia reactiva 507B emiten comandos de corriente ID* e IQ*, de modo que los valores de comando P* y Q* se corresponden con los valores calculados P y Q, respectivamente. Una unidad de ajuste de corriente alterna 508B realiza una operación de control de modo que los valores de comando ID* e IQ* se corresponden con los valores medidos/calculados ID e IQ, respectivamente. Una unidad de ajuste de corriente continua 509B realiza una operación de control tal que un comando de CC ICC* obtenido dividiendo un valor de comando de salida P* por una tensión de salida VCC* de una fuente de alimentación de CC que corresponde con el valor medido/calculado ICC.

En el presente modo de realización, el grado de libertad de una ruta de corriente es tres, donde hay dos calculadoras de integración en la unidad de ajuste de corriente alterna 508B y hay una calculadora de integración en la unidad de ajuste de corriente continua. Esto significa que hay tres calculadoras de integración en total. Por lo tanto, todas las calculadoras de integración pueden mantener independientemente la desviación de entrada a cero. Un convertidor d-q inverso 510C realiza un cálculo de acuerdo con la expresión 3.

Se proporciona una unidad de cálculo de corrección de comando de tensión de CC 511C para los brazos 604R, 604S y 604T, y la unidad de cálculo emite los comandos de tensión de salida VR*, VS* y VT* correspondientes a los brazos.

En consecuencia, cuando los terminales trifásicos (R, S, T) de la máquina eléctrica rotativa de CA 102B tienen tensiones de fase de (VRG*, VSG* VTG*), el comando de tensión de salida para el brazo 104R viene dado por

$$VR^* = +VRG^* + (1/2) \times VDC.$$

Una unidad de cálculo PWM 512C emite así un comando de puerta Puerta* en base a esos comandos de tensión de salida y la tensión de condensador VC del convertidor de unidad 103.

(Tercer modo de realización)

La figura 9 es un diagrama de circuito que ilustra un tercer modo de realización de la presente invención. Aquí, una máquina eléctrica rotativa de CA 902A es una máquina síncrona que incluye un devanado amortiguador.

La máquina eléctrica rotativa de CA 902A que incluye dos conjuntos de conexiones en estrella está provista de terminales trifásicos (RP, SP, TP) y terminales trifásicos (RN, SN, TN), donde los puntos neutros de los dos conjuntos de conexiones en estrella están unidas entre sí para que se extiendan al terminal N y se conecten a tierra a través de una alta resistencia.

Una fuente de alimentación de CC 901 realiza la conversión de potencia entre los terminales del lado del sistema de CA (A, B, C) y los terminales del lado de CC (P, N). Los terminales laterales del sistema de CA (A, B, C) están conectados a un sistema de CA 903 a través de un interruptor 904.

La fuente de alimentación de CC 901 incluye además tres conjuntos de terminales de CA (UP, VP, WP), (UM, VM, WM) y (UX, VX, WX). Los terminales de CA (UP, VP, WP) están conectados a los terminales trifásicos (RP, SP, TP) de la máquina eléctrica rotativa de CA 902A a través de un seccionador 905P y un interruptor 906. Los terminales de CA (UM, VM, WM) están conectados a los terminales trifásicos (RN, SN, TN) de la máquina eléctrica rotativa de CA 902A a través de un seccionador 905N. Además, los terminales trifásicos (RP, SP, TP) y los terminales trifásicos (RN, SN, TN) están conectados por los seccionadores 907A y 907B. Los terminales de CA (UX, VX, WX) se ramifican en un sistema de suministro de energía doméstico 920 y un convertidor de potencia de campo 911 a través de un disyuntor de campo 909 y un transformador de campo 910. Un devanado de campo 908 está conectado de forma conmutable por un interruptor 914 conectado a una resistencia 913 y un interruptor 912 conectado al convertidor de potencia de campo 911.

El sistema de CA 903 está conectado a los terminales de CA (UP, VP, WP) y (UM, VM, WM) a través de un transformador de carga inicial 915, un interruptor de carga inicial 916, una resistencia limitadora de corriente 917

y un interruptor de conexión de carga inicial 918. Se proporciona un disyuntor de derivación 919 para la resistencia limitadora de corriente 917.

La figura 10 es un diagrama de circuito que ilustra un modo de realización de una fuente de alimentación de CC 901A que usa el convertidor DIMMC descrito en la literatura de patente 2.

Los devanados primarios de un transformador 1001 están conectados a los terminales laterales del sistema de CA (A, B, C), y los devanados secundarios y terciarios están conectados a los terminales de CA (UP, VP, WP) y (UM, VM, WM) con conexión de doble estrella. Los terminales de CA (Up, Vp, Wp) del transformador 1001 están conectados a los terminales a de tres brazos de dos terminales (1004UP, 1004VP, 1004WP) cada uno formado por convertidores de unidad conectados en serie 103, y los terminales b de los brazos están conectados en estrella al terminal de CC (P). Por otro lado, los terminales de CA (Um, Vm, Wm) están conectados a los terminales b de tres brazos de dos terminales (1004UM, 1004VM, 1004WM) cada uno formado por convertidores de unidad conectados en serie 103, y los terminales a de los brazos están conectados en estrella al terminal de CC (N). El transformador 1001 está provisto de cuartos devanados conectados en delta que tienen la función de alimentar el suministro de energía de una casa y un circuito de campo, así como la función de suprimir un tercer armónico.

La figura 11 es un diagrama de circuito que ilustra otro modo de realización de una fuente de alimentación de CC 901B que usa el convertidor DSMMC descrito en la literatura de patente 1.

Los números de referencia idénticos a los asignados en la figura 10 indican componentes idénticos, que no se describirán para evitar la repetición.

Los devanados primarios de un transformador 1002 están conectados a los terminales laterales del sistema de CA (A, B, C), y los terminales (Ut, Vt, Wt) de los devanados secundarios conectados al delta están conectados a los puntos neutros (Ux, Vx, Wx) de tres conjuntos de reactores de tres terminales 1003. Los terminales (Up, Vp, Wp) de los reactores de tres terminales 1003 están conectados a los terminales a de tres brazos de dos terminales (1004UP, 1004VP, 1004WP), cada uno formado por convertidores de unidad conectados en serie 103, y los terminales b de los brazos están conectados en estrella al terminal de CC (P). Por otro lado, los terminales (Um, Vm, Wm) de los reactores de tres terminales 1003 están conectados a los terminales b de tres brazos de dos terminales (1004UM, 1004VM, 1004WM) cada uno formado por convertidores de unidad conectados en serie 103, y los terminales a de los brazos están conectados en estrella al terminal de CC (N). Los devanados secundarios del transformador 1002 alimentan una fuente de alimentación doméstica y un circuito de campo a través de terminales de CA (UX, VX, WX).

A continuación se describe un procedimiento para cargar el condensador 203 del convertidor de unidad 103 de la fuente de alimentación de CC 901 con la configuración ilustrada en la figura 9. Los seccionadores 905P y 905N se mantienen abiertos durante el período de carga.

Cuando el disyuntor de carga inicial 916 y el disyuntor de conexión de carga inicial 918 están cerrados mientras se mantiene abierto el disyuntor de circuito de derivación 919, los condensadores 203 de los convertidores de unidad 103 comienzan a cargarse mientras la resistencia limitadora de corriente 917 suprime la corriente de entrada. El disyuntor de circuito de derivación 919 se cierra entonces para acelerar la carga. El interruptor de conexión de carga inicial 918 se abre una vez que la carga se completa con una tensión de rectificación de diodo a través del terminal de CA del transformador de carga inicial 915, seguido del cierre del interruptor 904 para cargar el transformador 1001 o 1002 de la fuente de alimentación de CC 901, y los convertidores de unidad 103 realizan a continuación el control PWM para cargar los condensadores 203 de manera que la tensión del condensador se impulse a la tensión deseada.

A continuación, la fuente de alimentación de CC 901 alimenta a los convertidores de unidad 103 de cada uno de los seis brazos (104RP, 104SP, 104TP, 104RN, 104SN, 104TN) en el lado de la máquina eléctrica rotativa de CA 902A y, por lo tanto, al condensador 203 de cada convertidor de unidad se carga mediante el control PWM.

Una vez que se completa la carga de la manera mencionada anteriormente, solo los convertidores de unidad 103 en el lado de la fuente de alimentación de CC 901 pueden accionarse con la máquina eléctrica rotativa de CA 902A deteniéndose para que opere como una unidad de ajuste de potencia reactiva. Cuando una turbina de bomba de Francis se conecta directamente a la máquina eléctrica rotativa de CA 902A, las direcciones de generación de energía y bombeo de agua tienen secuencias de fase invertidas, que sin embargo se pueden cambiar simplemente controlando un convertidor y, por lo tanto, no se requiere un seccionador de inversión de fase.

De acuerdo con el presente modo de realización, todos los convertidores de la unidad ya están cargados y, por lo tanto, pueden iniciarse rápidamente para operaciones en las direcciones de rotación de la generación de energía y la operación eléctrica.

La figura 12 ilustra un ejemplo de un devanado de armadura de la máquina eléctrica rotativa de CA y la conexión de terminal de acuerdo con el tercer modo de realización. Por motivos de simplicidad, la figura ilustra un ejemplo de un motor de cuatro polos con 36 ranuras, que está cerca de una configuración mínima. Además, una máquina síncrona de polo destacado ilustrada en este caso para mostrar una relación con un sistema de campo puede ser una máquina síncrona de campo cilíndrica o una máquina de inducción.

El devanado y la configuración del terminal en la figura 12 puede implementarse simplemente haciendo un cambio en los extremos de la bobina de los devanados y la configuración del terminal ilustrada en la figura 22. La figura 22 ilustra un motor de cuatro polos conectado en estrella doble con una configuración de zona de fase de 60 grados compuesta por una bobina general de doble capa. La figura ilustra un ejemplo de tres devanados en el lado del polo positivo y tres devanados en el lado del polo negativo, lo que da un total de seis devanados en cada fase. La conexión en estrella tiene un doble paralelo por un cruce interpolar.

Por otro lado, el devanado de un conjunto de terminales trifásicos (RP, SP, TP) en la figura 12 tiene dos polos positivos conectados en serie para proporcionar un total de seis devanados. El devanado del otro conjunto de terminales trifásicos (RN, SN, TN) tiene dos polos negativos conectados en serie para proporcionar un total de seis devanados.

De acuerdo con el modo de realización en la figura 12, el número de devanados no cambia antes y después de la alteración; por lo tanto, se puede mantener la tensión nominal. En consecuencia, se puede usar un dispositivo como el interruptor 906. Cuando el modo de realización ilustrada en la figura 11 se adopta como la fuente de alimentación de CC, la tensión del terminal en el lado secundario del transformador 1002 no cambia antes y después de la alteración; por lo tanto, se puede usar el transformador 1002.

La configuración ilustrada en la figura 9 permite la operación sin pasar por el convertidor MMC. Específicamente, los seccionadores 905P y 905N, el interruptor 906 y los seccionadores 907A y 907B están cerrados para permitir que la máquina eléctrica rotativa de CA 902A opere como un generador trifásico de doble estrella. Cuando se va a conectar una turbina de bomba de Francis directamente a la máquina, la conexión se puede hacer de tal manera que la secuencia de fases siga la dirección de generación de energía y, por lo tanto, la máquina pueda realizar una operación de generación de energía sin pasar por el convertidor MMC.

La figura 13 es un diagrama de bloques de control de un dispositivo de control 905 de acuerdo con el tercer modo de realización. Los números de referencia idénticos a los asignados en la figura 5 indican componentes idénticos, que no se describirán para evitar la repetición.

Un interruptor de comando (SW1) 1301 conmuta un comando entre una frecuencia de inicio fija ω_S y una frecuencia de velocidad de rotación ω . Un generador de comando de corriente 1302 emite una ID^* de comando de corriente proporcional a la frecuencia de velocidad de rotación ω . Un generador de comando de corriente 1303 emite $ID^* = 0$. Un interruptor de comando (SW2) 1304 realiza selectivamente el cambio entre la unidad de ajuste de potencia activa 506A, el generador de comando de corriente 1302 y el generador de comando de corriente 1303 para emitir la ID^* de comando de corriente.

Un interruptor de comando (SW3) 1305 realiza selectivamente la conmutación entre un comando de potencia activa P^* y una medición de potencia activa P . Una unidad de cálculo de potencia 1306 está configurada de tal manera que la salida de un valor efectivo de tensión de línea VGM del generador-motor de CA 902A es agregado a la unidad de cálculo de potencia 505. Un generador de comando de tensión 1307 genera un comando de tensión VGM* proporcional a la frecuencia de velocidad de rotación ω , se proporciona una unidad de ajuste de tensión 1308 para el generador-motor de CA 902A, y un generador de comando de corriente 1309 emite $IQ^* = 0$. Un interruptor de comando (SW4) 1310 realiza selectivamente la conmutación entre la unidad de ajuste de tensión 1308, el generador de comando de corriente 1309 y la unidad de ajuste de potencia reactiva 507A para emitir el comando de corriente IQ^* .

La figura 14 ilustra un procedimiento para arrancar el aparato generador-motor de corriente alterna en el modo de realización mencionado anteriormente ilustrado en las figuras 9 y 13.

Primero, se describirá un procedimiento para arrancar la máquina en modo motor.

En el momento T_{m1} en la figura 14, los condensadores de los convertidores de unidad 103 ya están cargados por adelantado, el interruptor 904 está cerrado y los seccionadores 905P, 905N, 907A y 907B se mantienen abiertos.

Un interruptor CBE2 está cerrado (ENCENDIDO), un interruptor CBE3 está abierto (APAGADO), el interruptor de comando SW1 está configurado en el lado fijo del comando de velocidad constante ω_S , y el interruptor de comando SW2 está en el lado de un comando ID^* ($ID^* = k\omega$) proporcional a la velocidad. El interruptor de comando SW3 se establece en el lado de la medición de potencia activa P , y el interruptor de comando SW4 se establece en $IQ^* = 0$.

Cuando el convertidor MMC se inicia en el momento Tm2 en el estado mencionado anteriormente (MMC control_ENCENDIDO), la máquina eléctrica rotativa de CA 902A se inicia en un modo de máquina de inducción mediante un devanado amortiguador. El convertidor MMC se detiene temporalmente (MMC control_APAGADO) cuando la velocidad de rotación alcanza un valor equivalente al valor establecido ω_S en el momento Tm3, momento en el cual el CBE3 se cierra para conectarse al convertidor de potencia de campo 911. Luego, en el momento Tm4, el CBE2 se abre para desconectar la resistencia 913. Al mismo tiempo, el interruptor de comando SW1 se cambia al lado de la frecuencia de velocidad de rotación ω (velocidad de rotación ω) y el interruptor de comando SW4 se cambia al lado de salida (AVR) de la unidad de ajuste de tensión 1308. Esto hace que cada uno de los comandos ID* y IQ* generen un valor de comando proporcional a la velocidad. Al mismo tiempo, se inicia el control de campo. Cuando se inicia el control del convertidor MMC (MMC control_ENCENDIDO) en el tiempo Tm5 mientras se mantiene el estado mencionado anteriormente, la máquina comienza a acelerar con el par sincrónico de la máquina. Una vez que la velocidad de rotación ω entra en un rango de operación de velocidad variable, la salida del interruptor de comando SW2 se cambia a ID* = 0 temporalmente en el momento Tm6, luego en el momento Tm7, el interruptor de comando SW2 se establece en el lado de salida (APR) de la unidad de ajuste de potencia activa, el interruptor de comando SW3 se establece en el lado del comando P*, y el interruptor de comando SW4 se establece en el lado de salida (AQR) de la unidad de ajuste de potencia reactiva, haciendo que la máquina ingrese en la operación en un modo de motor de velocidad variable normal.

De acuerdo con el presente modo de realización descrito anteriormente, la máquina puede realizar un arranque automático en el modo motor sin depender de un dispositivo de arranque.

A continuación, se describirá un procedimiento para iniciar la máquina en modo generador.

En Tg1 en la figura 14, los condensadores 203 de los convertidores de unidad 103 ya están cargados por adelantado, el interruptor 904 está cerrado y los seccionadores 905P, 905N, 907A y 907B se mantienen abiertos.

El interruptor CBE2 está abierto, el interruptor CBE3 está cerrado, el interruptor de comando SW1 no se usa (fijado a un lado ya que la salida no está determinada) y el interruptor de comando SW2 está en el lado de ID* = 0. El interruptor de comando SW3 se configura al lado de la medición de potencia activa P, y el interruptor de comando SW4 se configura al lado de salida de la unidad de ajuste de tensión.

En el modo generador, la velocidad de rotación es controlada por un regulador de velocidad de un motor conectado directamente a la máquina eléctrica rotativa de CA 902A, de modo que la máquina se enciende y acelera con un par motor en el lado del motor.

En el estado mencionado anteriormente, en Tg1, la máquina acelera mientras el regulador de velocidad en el lado del motor ajusta la velocidad. La máquina eléctrica rotativa de CA 902A permanece descargada. Después de que la velocidad de rotación alcanza un rango de velocidad variable, un comando de velocidad de rotación para el regulador de velocidad se mantiene constante en Tg2. En este momento, una señal de fase θ corresponde a una fase rotacional; por lo tanto, la fase de tensión inducida en el terminal de la máquina eléctrica rotativa de CA 902A y la fase del comando de tensión están en fase entre sí. En Tg3, el control MMC se inicia mientras que al mismo tiempo el interruptor de comando SW4 se cambia al lado de la unidad de ajuste de potencia reactiva. Luego, en Tg4, el interruptor de comando SW2 se cambia al lado de salida de la unidad de ajuste de potencia activa, y el interruptor de comando SW3 se cambia al lado del comando de potencia activa P*, lo que hace que la máquina ingrese a la operación en un estado normal modo generador de velocidad variable.

(Cuarto modo de realización)

La figura 15 es un diagrama de circuito que ilustra un cuarto modo de realización de la presente invención. Los números de referencia idénticos a los asignados en las figuras 6 y 9 indican componentes idénticos. Dichos componentes no se describirán para evitar la repetición. Aquí, una máquina eléctrica rotativa de CA 1502A es una máquina síncrona que incluye un devanado amortiguador.

La máquina eléctrica rotativa de CA 1502A que incluye dos conjuntos de conexiones en estrella está provista de terminales trifásicos (R1, S1, T1) y terminales trifásicos (R2, S2, T2), donde los puntos neutros de los dos conjuntos de estrellas las conexiones están unidas entre sí para que se extiendan al terminal N y se conecten al segundo terminal (N) de una fuente de alimentación de CC 1501. Hay seis brazos (1504R1, 1504S1, 1504T1, 1504R2, 1504S2, 1504T2), cada uno de los cuales incluye dos terminales (a, b) y está formado por N etapas de terminales de salida conectadas en serie (x, y) de los convertidores de unidades 103 de un convertidor MMC, donde los terminales b de los tres brazos (1504R1, 1504S1, 1504T1) están conectados en estrella al primer terminal (P) de la fuente de alimentación de CC 1501 y los terminales a de los brazos están conectados a los tres terminales de fase (R1, S1, T1) de la máquina eléctrica rotativa de CA 1502A. Los terminales a de los tres brazos restantes (1504R2, 1504S2, 1504T2) están conectados en estrella al primer terminal (P) de la fuente de alimentación de CC 1501 y los terminales a de los brazos están conectados a los terminales trifásicos (R2, S2, T2) de la máquina eléctrica rotativa de CA 1502A.

Un dispositivo de control 1605 recibe una señal de cada uno de los seis transformadores de corriente CC 106, un transformador de tensión CC 107C que mide la tensión de línea a través de los terminales trifásicos (R1, S1, T1), un transformador de tensión CC 107D que mide la tensión de línea los terminales trifásicos (R2, S2, T2) y el detector de fase 108 que mide la fase rotacional θ expresada en grados eléctricos, y luego realiza una operación de control para emitir señales de puerta (Puerta1*, Puerta2*) a los convertidores de la unidad 103. Un seccionador 1505 está cerrado durante la operación normal y abierto durante el mantenimiento. Un seccionador 1507 está abierto durante la operación normal y cerrado durante la operación de derivación.

La fuente de alimentación de CC 1501 realiza la conversión de potencia entre los terminales del lado del sistema de CA (A, B, C) y los terminales del lado de CC (P, N). Los terminales laterales del sistema de CA (A, B, C) están conectados al sistema de CA 903 a través del interruptor 904.

La fuente de alimentación de CC 1501 incluye además dos conjuntos de terminales de CA (U, V, W) y (UX, VX, WX). Los terminales de CA (U, V, W) se ramifican en el seccionador 1507 a través del seccionador 1505 y un interruptor 1506 y luego se conectan a los dos conjuntos de terminales trifásicos (R1, S1, T1) y (R2, S2, T2) de la máquina eléctrica rotativa de corriente alterna. Los terminales de CA (UX, VX, WX) se ramifican en el sistema de suministro de energía doméstico 920 y el convertidor de potencia de campo 911 a través del disyuntor de campo 909 y el transformador de campo 910. El devanado de campo 908 está conectado de forma conmutable por el interruptor 914 conectado a la resistencia 913 y el interruptor 912 conectado al convertidor de potencia de campo 911.

El sistema de CA 903 está conectado a los terminales de CA (U, V, W) a través del transformador de carga inicial 915, el interruptor de carga inicial 916, la resistencia limitadora de corriente 917 y un interruptor de conexión de carga inicial 1518. Se proporciona el disyuntor de derivación 919 para la resistencia limitadora de corriente 917.

La figura 16 es un diagrama de circuito que ilustra un modo de realización de la fuente de alimentación de CC 1501 que usa el convertidor ZCMMC descrito en la literatura de patente 3.

Los devanados primarios de un transformador 1601 están conectados a los terminales laterales del sistema de CA (A, B, C), y los devanados secundarios y terciarios están conectados en zigzag para conectarse a los terminales de CA (U, V, W). Los terminales de CA (U, V, W) del transformador 1601 están conectados a los terminales a de tres brazos de dos terminales (1602U, 1602V, 1602W) cada uno formado por convertidores de unidad conectados en serie 103, y los terminales b de los brazos están conectados en estrella al terminal de CC (P). Por otro lado, el punto neutro de la conexión en zigzag está conectado al terminal de CC (N). El transformador 1601 está provisto de un devanado conectado en delta que tiene la función de alimentar el suministro de energía de una casa y un circuito de campo, así como la función de suprimir un tercer armónico.

La figura 17 ilustra un ejemplo de un devanado de armadura de la máquina eléctrica rotativa de CA y la conexión de terminal de acuerdo con el cuarto modo de realización. Por motivos de simplicidad, la figura ilustra un ejemplo de un motor de cuatro polos con 36 ranuras, que está cerca de una configuración mínima. Además, una máquina síncrona de polo destacado ilustrada en este caso para mostrar una relación con un sistema de campo puede ser una máquina síncrona de campo cilíndrica o una máquina de inducción.

El devanado y la configuración del terminal en la figura 17 puede implementarse simplemente haciendo un cambio en los extremos de la bobina de los devanados y la configuración del terminal ilustrada en la figura 23. La figura 23 ilustra un motor de cuatro polos conectado en estrella doble con una configuración de zona de fase de 120 grados compuesta por una bobina general de doble capa. El ejemplo ilustrado en la figura tiene seis devanados para cada fase. La conexión en estrella tiene un doble paralelo por un cruce interpolar.

Por otro lado, en la figura 17, la conexión de doble estrella se divide en dos conjuntos para extraer terminales independientes, donde el número de devanados de cada uno del primer conjunto de terminales trifásicos (R1, S1, T1) y el segundo conjunto de terminales trifásicos (R2, S2, T2) es seis en total como con la figura 23.

De acuerdo con el modo de realización en la figura 17, el número de devanados no cambia antes y después de la alteración; por lo tanto, se puede mantener la tensión nominal. En consecuencia, se puede usar un dispositivo como el interruptor 1506.

La configuración ilustrada en la figura 15 permite la operación sin pasar por el convertidor MMC. Específicamente, el seccionador 1505, el interruptor 1506 y el seccionador 1507 están cerrados para permitir que la máquina eléctrica rotativa de CA 1502A funcione como un generador trifásico de doble estrella. Cuando se va a conectar una turbina de bomba de Francis directamente a la máquina, la conexión se puede hacer de tal manera que la secuencia de fases siga la dirección de generación de energía y, por lo tanto, la máquina pueda realizar una operación de generación de energía sin pasar por el convertidor MMC.

De acuerdo con el modo de realización en la figura 17, cuando la conexión en estrella está en paralelo mientras se aumenta la capacidad de corriente de la máquina eléctrica rotativa de CA 1502A, la corriente que fluye a través de cada brazo se puede reducir dividiendo el devanado paralelo en partes iguales y extrayendo los terminales divididos. Esto permite reducir el número de conexiones paralelas de los dispositivos de conmutación en el convertidor de unidad 103; por lo tanto, la configuración puede simplificarse y la fiabilidad puede mejorarse.

La figura 18 es un diagrama de bloques de control del dispositivo de control 1605 de acuerdo con el cuarto modo de realización. Los números de referencia idénticos a los asignados en las figuras 5 y 8 indican componentes idénticos, que no se describirán para evitar la repetición.

Una unidad de cálculo de tensión de fase 1801A calcula la señal de tensión de fase a partir de una señal de detección de tensión de línea. El dispositivo de control 1605 también incluye la unidad de cálculo de velocidad 502 y las unidades de cálculo de promedio móvil 503A y 503B que calculan las corrientes continuas ICC1 e ICC2 al encontrar el promedio móvil de la suma de los dos conjuntos de corriente alterna trifásica (IR1, IS1, IT1) y (IR2, IS2, IT2) Np veces. Los convertidores D-q 1804A y 1804B realizan un cálculo de acuerdo con la expresión 4 a la salida (ID1, IQ1) y (ID2, IQ2), respectivamente. Debe tenerse en cuenta que la secuencia de fases es RST en este caso.

Una unidad de cálculo de potencia 1806 emplea un procedimiento de coordenadas simétricas instantáneas para calcular la potencia activa P y la potencia reactiva Q a partir de una señal de tensión de fase y una señal de corriente alterna.

La unidad de ajuste de potencia activa 506B y la unidad de ajuste de potencia reactiva 507B emiten los comandos de corriente ID* e IQ* de modo que un comando de potencia activa P* y un comando de potencia reactiva Q* se corresponden con los valores calculados P y Q, respectivamente. La unidad de ajuste de corriente alterna 508B realiza una operación de control de tal manera que los valores de comando obtenidos al biseccionar el ID* de comando de corriente se corresponden con los valores medidos/calculados ID1 e IQ1, respectivamente, y realiza una operación de control tal que los valores de comando obtenidos al bisecar el comando de corriente IQ* corresponde con los valores medidos/calculados ID2 e IQ2, respectivamente. Fuera de las unidades de ajuste de corriente continua 1809A y 1809B, la unidad de ajuste de corriente continua 1809A realiza una operación de control tal que los valores de comando obtenidos dividiendo un comando de CC ICC* que se obtiene dividiendo un valor de comando de salida P* por un comando de tensión de salida VCC* de la fuente de alimentación de CC corresponde al valor medido/calculado ICC1 y la unidad de ajuste de corriente continua 1809B realiza una operación de control de tal manera que los valores de comando obtenidos dividiendo el comando de CC ICC* que se obtiene dividiendo el valor de comando de salida P* por el comando de tensión de salida VCC* de la fuente de alimentación de CC corresponde con el valor medido/calculado ICC2.

En el presente modo de realización, el grado de libertad de una ruta de corriente es seis, donde hay cuatro calculadoras de integración en la unidad de ajuste de corriente alterna 508B y hay dos calculadoras de integración en la unidad de ajuste de corriente continua. Esto significa que hay seis calculadoras en total. Por lo tanto, todas las calculadoras de integración pueden mantener independientemente la desviación de entrada a cero. Cada uno de los convertidores d-q inversos 1810C y 1810D realiza un cálculo de acuerdo con la expresión 3.

Se proporciona una unidad de cálculo de corrección de comando de tensión de CC 1811A para los brazos 1504R1, 1504S1 y 1504T1, y la unidad de cálculo emite comandos de tensión de salida VR1*, VS1* y VT1*. Se proporciona una unidad de cálculo de corrección de comando de tensión de CC 1811B para los brazos 1504R2, 1504S2 y 1504T2, y la unidad de cálculo emite comandos de tensión de salida VR2*, VS2* y VT2*.

En consecuencia, cuando los terminales trifásicos (R1, S1, T1) y (R2, S2, T2) de los dos conjuntos de bobinados paralelos de la máquina eléctrica rotativa de CA 1502A tienen tensiones de fase iguales de (VR*, VS*, VT*), los comandos de tensión de salida VR1* y VR2* para los brazos 1504R1 y 1504R2 están dados por

$$VR1^* = +VR^* + (1/2) \times VDC$$

y

$$VR2^* = +VR^* + (1/2) \times VDC,$$

respectivamente.

Las unidades de cálculo PWM 1812A y 1812B emiten así los comandos de puerta Puerta1* y Puerta2* sobre la base de esos comandos de tensión de salida y la tensión de condensador VC de los convertidores de unidad 103.

(Quinto modo de realización)

La figura 19 es un diagrama de bloques de control del dispositivo de control 905 de acuerdo con el quinto modo de realización. Los números de referencia idénticos a los asignados en la figura 13 indican componentes idénticos, que no se describirán para evitar la repetición.

En el presente modo de realización, una bomba o una turbina de bomba reversible está conectada directamente a una máquina síncrona 902A que incluye un devanado de amortiguador de acuerdo con un sistema de la presente invención, donde se proporciona una válvula de sellado en el lado de descarga de la bomba o la bomba de turbina reversible. Un generador de comando de velocidad de rotación 1901 recibe una señal de cabeza de bomba total H_p y emite una velocidad ω_p a la cual la entrada P_p en el momento en que se establece la presión del agua corresponde con la entrada del motor P_m en el momento de la aceleración determinada por las características del sistema de motor-generador de velocidad variable. El generador de comando de velocidad de rotación puede simplificarse como un generador de comando que genera un valor fijo cuando el rango de fluctuación de la altura total de la bomba es pequeño. Una unidad de ajuste de velocidad de rotación 1902 ajusta una ID^* de comando de corriente tal que la variación entre un comando de velocidad de rotación ω_p^* y una frecuencia de velocidad de rotación ω es igual a cero. Un interruptor de comando (SW5) 1903 cambia el ID^* del comando de corriente en función del comando de velocidad de rotación ω_p^* y la frecuencia de velocidad de rotación ω , que son criterios.

La figura 20 ilustra un procedimiento de arranque del sistema generador-motor de corriente alterna en los modos de realización mencionados anteriormente ilustrados en las figuras 9 y 19. Los números de referencia idénticos a los asignados en la figura 14 indican componentes idénticos, que no se describirán para evitar la repetición.

Cuando el convertidor MMC se inicia en el momento T_{m2} (MMC control_ENCENDIDO), la máquina eléctrica rotativa de CA 902A se inicia en un modo de máquina de inducción mediante un devanado amortiguador para que la potencia activa P_m comience a aumentar desde cero. El convertidor MMC se detiene temporalmente (MMC control_APAGADO) cuando la velocidad de rotación ω alcanza un valor equivalente a un valor establecido ω_S en el momento T_{m3} , momento en el cual la potencia activa P_m vuelve a cero. Un CBE3 está cerrado para conectarse al convertidor de potencia de campo 911. Luego, en el momento T_{m4} , un CBE2 se abre para desconectar la resistencia 913. Al mismo tiempo, un interruptor de comando SW1 se cambia al lado de la frecuencia de velocidad de rotación ω mientras que un interruptor de comando SW4 se cambia al lado de salida (AVR) de la unidad de ajuste de tensión 1308. Esto hace que cada uno de los comandos ID^* y IQ^* generen un valor de comando proporcional a la velocidad. El control de campo se inicia al mismo tiempo (control de campo_ENCENDIDO). Cuando se inicia el control del convertidor MMC (MMC control_ENCENDIDO) en el tiempo T_{m5} mientras se mantiene el estado mencionado anteriormente, la máquina comienza a acelerar con el par síncrono de la máquina. La tensión y la corriente en este período son proporcionales a la velocidad de rotación ω , de modo que la entrada del motor P_m aumenta en proporción al cuadrado de la velocidad de rotación ω . Por otro lado, la entrada P_p en el momento en que se establece la presión del agua aumenta gradualmente de acuerdo con la velocidad de rotación ω pero en un grado menor que el cambio en la entrada del motor P_m ; por lo tanto, ciertamente existe la velocidad de rotación ω a la cual los dos se corresponden entre sí. Si bien este valor varía de acuerdo con el rango del cabezal total de la bomba o la tasa específica de turbomaquinaria, el valor cae empíricamente entre el 50 % y el 90 % cuando la velocidad de rotación a la entrada nominal es igual al 100 %. El generador de comando de velocidad 1901 calcula este valor para que se emita como el comando de velocidad de rotación ω_p^* . Una vez que la velocidad de rotación ω se acelera hasta el valor de comando ω_p^* , en el momento T_{m8} , la salida de ID^* de comando de corriente desde el interruptor de comando SW5 se cambia a la salida (ASR) de la unidad de ajuste de velocidad de rotación 1902 mientras que al mismo tiempo el interruptor de comando SW4 se cambia al lado de la salida (AQR) de la unidad de ajuste de potencia reactiva 507A. La entrada del motor P_m se reduce temporalmente en el momento T_{m8} para detener la aceleración pero, una vez que se abre la válvula de sellado para establecer la presión del agua (válvula de sellado_abierta) en el tiempo T_{m9} , la entrada del motor P_m aumenta nuevamente en respuesta a un aumento repentino en la bomba o entrada de turbina de bomba P_p . Para evitar la fluctuación de la entrada del motor P_m durante este período, se puede ajustar un tiempo para abrir la válvula de sellado de modo que la diferencia de tiempo ΔT_p entre el tiempo T_{m9} y el tiempo T_{m8} sea lo más pequeña posible para aumentar la precisión del generador de comando de la velocidad de rotación 1901 y reducir ΔP_p . Cuando la fluctuación en la velocidad de rotación en el establecimiento de la presión del agua es establecida por la unidad de ajuste de velocidad de rotación 1902, en el momento T_{m10} , el interruptor de comando SW5 cambia la ID^* de comando de corriente a la salida (APR) de la unidad de ajuste de potencia activa mientras el interruptor de comando SW3 se cambia al lado del comando P^* , por lo que la máquina entra en operación en un modo de motor de velocidad variable normal.

De acuerdo con el presente modo de realización, no se requiere un dispositivo de depresión del nivel del agua ya que se puede asegurar el par de arranque, por lo que la bomba o la turbina de la bomba llena de agua puede acelerar desde el reposo para poder reducir el tiempo de arranque. El tiempo de aceleración también puede reducirse porque la máquina puede funcionar con el límite superior de la capacidad de corriente de salida de los convertidores de unidad 103 durante el período de aceleración. Además, la fluctuación de la entrada del motor en el establecimiento de la presión del agua puede minimizarse; por lo tanto, no se requiere un ajuste de carga o

similar del sistema de CA requerido en una bomba convencional; por lo tanto, se puede implementar una operación flexible.

Si bien la máquina eléctrica rotativa de CA trifásica se ha descrito como un ejemplo en los modos de realización mencionados anteriormente, no es necesario decir que los modos de realización de la presente invención se pueden usar también para una máquina eléctrica rotativa de CA de fase N. Además, aunque el devanado por vuelta se ha descrito como un ejemplo del procedimiento de devanado en los modos de realización mencionados anteriormente, no es necesario decir que cada realización de la presente invención se puede usar también para el devanado por ondas.

Lista de signos de referencia

101A, 901, 901A, 901B, 1501 fuente de alimentación de CC

102A, 102B, 902A, 1502A máquina eléctrica rotativa de CA

903 sistema de CA

904, 906, 912, 914, 1506 interruptor

1001, 1002, 1601 transformador

1003 reactor de tres terminales

920 sistema de alimentación de energía doméstico

908 bobinado de campo

909 disyuntor de campo

910 transformador de campo

911 convertidor de potencia de campo

913 resistencia

917 resistencia limitadora de corriente

915 transformador de carga inicial

916 interruptor de carga inicial

918, 1518 interruptor de conexión de carga inicial

919 interruptor de circuito de derivación

109A, 109B, 609, 905P, 905N, 907A, 907B, 1505, 1507 seccionador

104RP, 104SP, 104TP, 104RN, 104SN, 104TN, 604R, 604S, 604T, 1004UP, 1004VP, 1004WP, 1004UM, 1004VM, 1004WM, 1504R1, 1504S1, 1504T1, 1504R2, 1504S2, 1504T2, 1602U, 1602V, 1602W brazo

106 transformador de corriente de CC

107A, 107B, 107C, 107D, 208, 607, 507A, 507B transformador de tensión de CC

103 convertidor de unidades

201, 202, 212, 213, 214, 215 dispositivo de conmutación

105A, 605A, 905, 1605 dispositivo de control

203 condensador

204A, 204B cable de fibra óptica

205A, 205B elemento de conversión fotoeléctrica

	206A	circuito de conversión serie-paralelo
	207A	controlador de puerta
5	209	convertidor analógico-digital
	210	convertidor serie-paralelo
10	211	elemento de conversión electroóptico
	501A, 501B, 1801A	unidad de cálculo de tensión de fase
	502	unidad de cálculo de velocidad
15	503A, 503B	unidad de cálculo de promedio móvil
	504P, 504N, 504C, 1804A, 1804B	convertidor d-q
20	505A, 505B, 1306, 1806	unidad de cálculo de potencia
	506A, 506B	unidad de ajuste de potencia activa
	507A, 507B	unidad de ajuste de potencia reactiva
25	508A, 508B	unidad de ajuste de corriente alterna
	509A, 509B, 1809A, 1809B	unidad de ajuste de corriente continua
30	510P, 510N, 510C, 1810C, 1810D	convertidor d-q inverso
	511P, 511N, 511C, 1811A, 1811B	unidad de cálculo de corrección de comando de tensión de CC
	512P, 512N, 512C, 1812A, 1812B	unidad de cálculo PWM
35	1301, 1304, 1305, 1310, 1903	interruptor de comando
	1302, 1303, 1309	generador de comando de corriente
40	1307	generador de comando de tensión
	1308	unidad de ajuste de tensión
	1901	generador de comando de velocidad de rotación
45	1902	unidad de ajuste de velocidad de rotación

REIVINDICACIONES

1. Un sistema generador-motor de velocidad variable que comprende un convertidor de potencia conectado a una fuente de alimentación de CC (901), que comprende un polo positivo (P) y un polo negativo (N), y una máquina síncrona trifásica (102B) que tiene bobinas de amortiguación y conectada a un lado de CA a través de tres terminales (R, S, T), en el que los tres terminales (R, S, T) están conectados a puntos neutros (Ux, Vx, Wx) de tres conjuntos de reactores de tres terminales (1003) y están configurados para conectarse a un transformador trifásico (1002),
- unos primeros terminales (Up, Vp, Wp) de los reactores de tres terminales (1003) están conectados a terminales (a) del lado de la máquina de tres brazos de dos terminales (104RP, 104SP, 104TP) en el lado del polo positivo de un convertidor multinivel modular, MMC, que están formados por k convertidores de unidad de dos terminales conectados en serie (103) que están configurados para emitir una tensión arbitraria a través de un elemento de almacenamiento de energía (203) que tiene la característica de fuente de tensión, donde k es un número natural igual a uno o mayor, y terminales (b) del polo positivo de los brazos están conectados en estrella al polo positivo (P) de la fuente de alimentación de CC (901),
- unos segundos terminales (Um, Vm, Wm) de los reactores de tres terminales (1003) están conectados a terminales (b) del lado de la máquina de tres brazos de dos terminales (104RN, 104SN, 104TN) en el lado del polo negativo del convertidor multinivel modular, MMC, que están formados por convertidores de unidad conectados en serie (103), y terminales (a) del lado negativo del polo de los brazos están conectados en estrella al polo negativo (N) de la fuente de alimentación de CC (901), el sistema generador-motor de velocidad variable incluye además:
 - un primer controlador (905) configurado para ajustar una frecuencia y una amplitud de corriente suministrada desde el convertidor de potencia a la máquina síncrona (102B) a un valor fijo;
 - un segundo controlador (905) configurado para sincronizar una frecuencia de corriente suministrada desde el convertidor de potencia a la máquina síncrona (102B) con una velocidad de rotación de la máquina síncrona (102B) y para ajustar una amplitud de la corriente a un valor proporcional a la frecuencia; estando el sistema generador-motor de velocidad variable configurado para usar el primer controlador (905) o el segundo controlador (905); y
 - un interruptor (912, 914) configurado para cortocircuitar un devanado de campo (908) de la máquina síncrona (102B) con una resistencia (913) cuando se usa el primer controlador (905) y para conectar el devanado de campo (908) de la máquina síncrona (102B) a un excitador (911) cuando se usa el segundo controlador (905), y
 - el sistema generador-motor de velocidad variable está configurado para usar el primer controlador (905) cuando la máquina síncrona (102B) se inicia desde reposo, y para conmutar el control a realizar por el segundo controlador (905) una vez que la frecuencia alcanza un valor establecido, y
 - en el que el sistema generador-motor de velocidad variable está configurado además para detener temporalmente el convertidor de potencia MMC cuando la frecuencia alcanza el valor establecido, para permitir la conexión del excitador (911) a través del interruptor (912, 914).
2. El sistema generador-motor de velocidad variable de acuerdo con la reivindicación 1, en el que
 - una bomba o una turbina de bomba reversible está provista de una válvula de sellado en un lado de descarga y está conectada directamente a la máquina síncrona (102A, 102B) que tiene bobinados de amortiguación,
 - el sistema generador-motor de velocidad variable incluye un tercer controlador (905) configurado para generar un comando de velocidad de rotación en respuesta a una señal del cabezal de la bomba o la turbina de la bomba reversible y para ajustar la velocidad de rotación al comando de velocidad de rotación, estando el segundo controlador (905) configurado para detectar la aceleración para el comando de velocidad de rotación, y
 - el sistema generador-motor de velocidad variable está configurado además para abrir la válvula de sellado cuando el segundo controlador (905) detecta la aceleración para el comando de velocidad de rotación, y luego para cambiar el control a realizar por el tercer controlador (905).

161

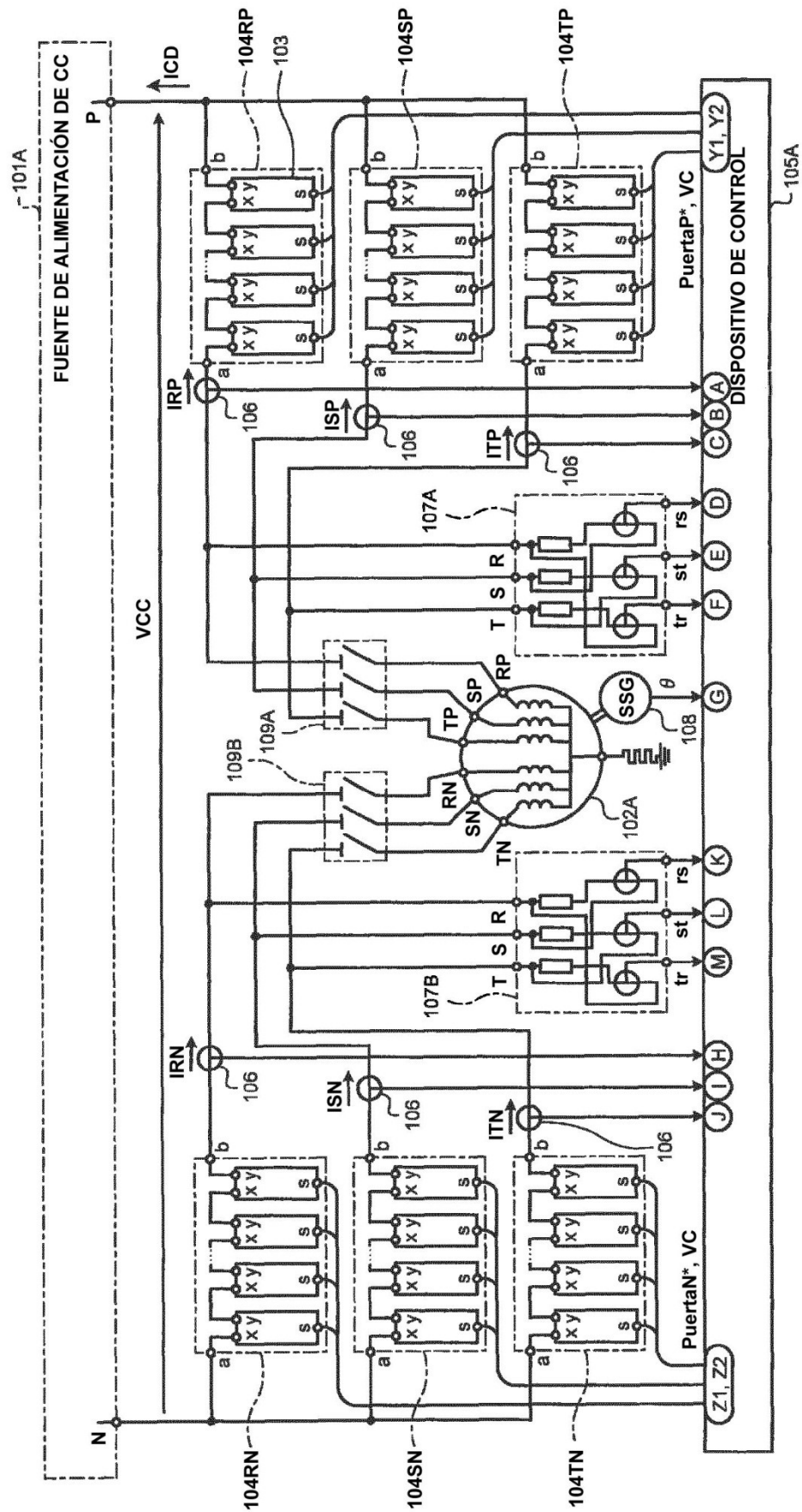


FIG.2

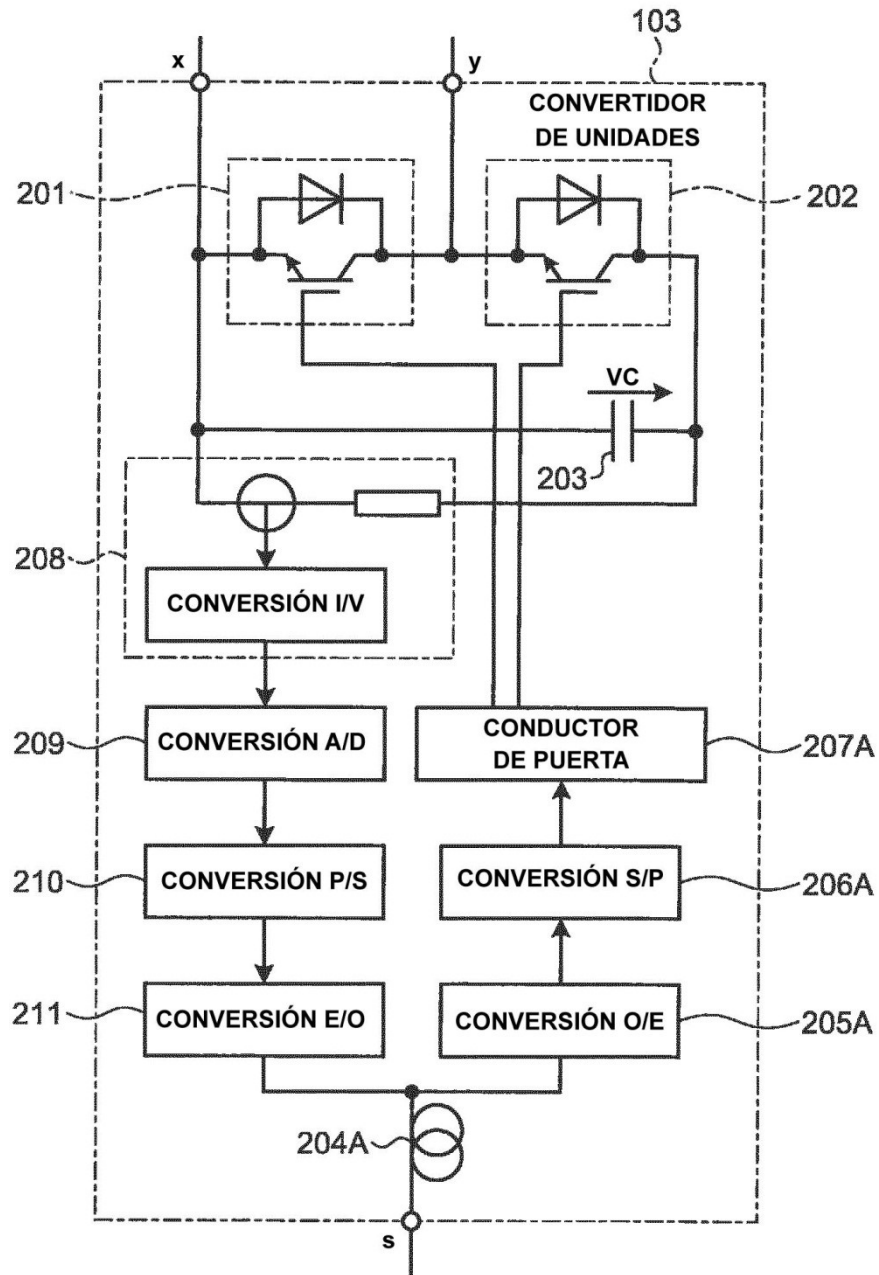


FIG.3

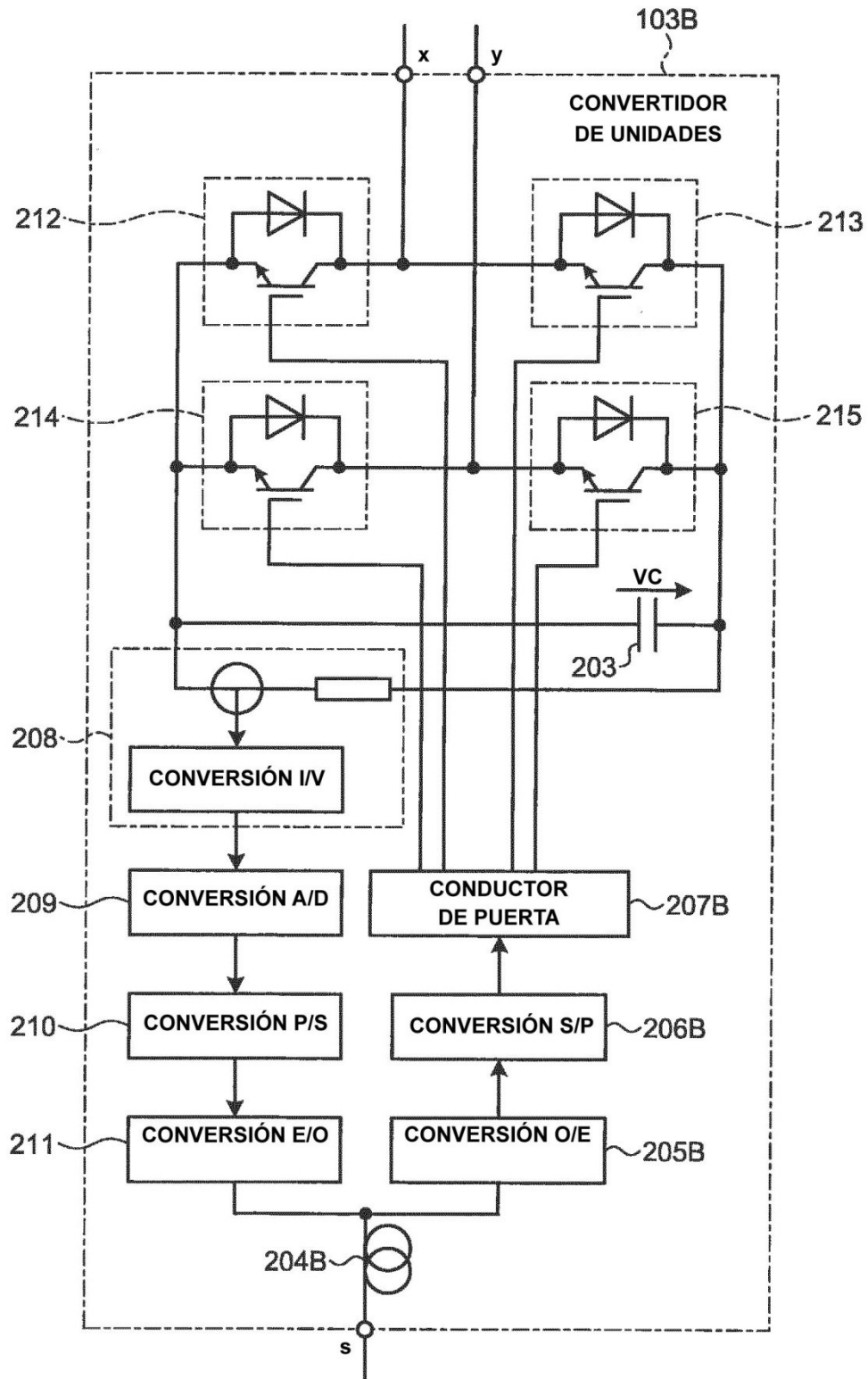


FIG.4

DISTRIBUCIÓN DE FUERZA MAGNETOMOTORA
 PARTE CONTRIBUIDA MEDIANTE CC DE FASE R
 PARTE CONTRIBUIDA MEDIANTE CC DE FASE S
 PARTE CONTRIBUIDA MEDIANTE CC DE FASE T
 PARTE CONTRIBUIDA MEDIANTE CC TRIFÁSICO

DISTRIBUCIÓN DE CAMPO MAGNÉTICO
 PARTE CONTRIBUIDA MEDIANTE CC TRIFÁSICO

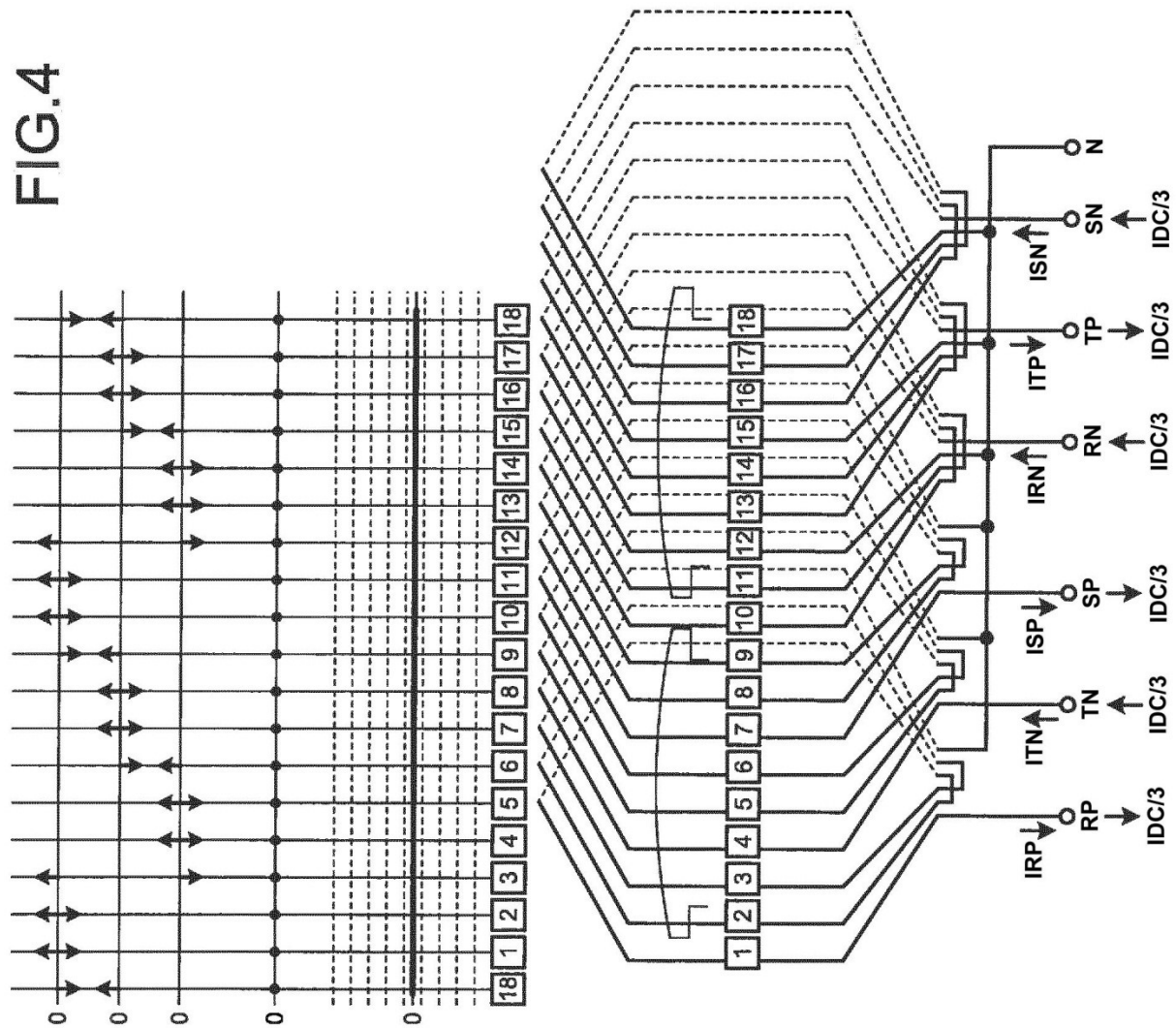


FIG.5

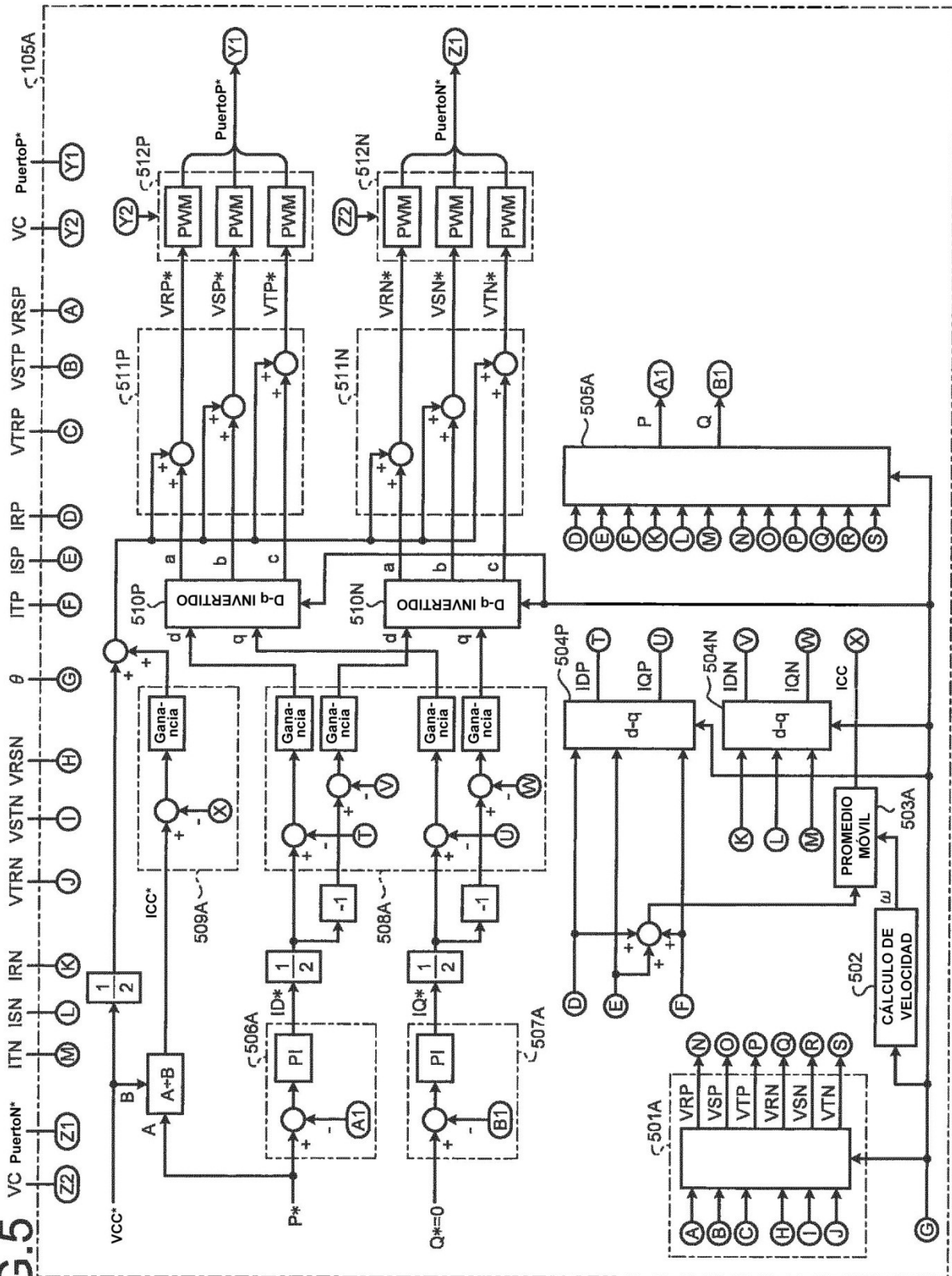


FIG.6

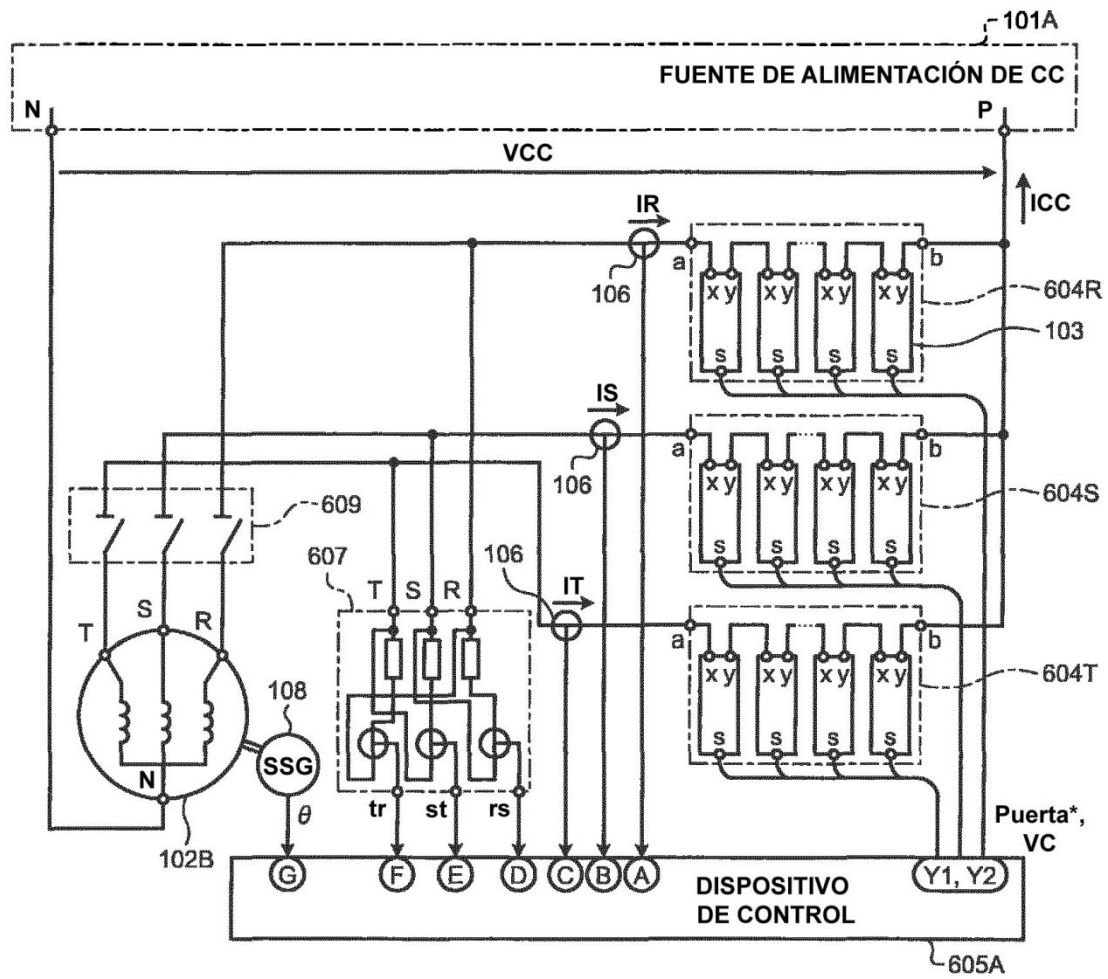
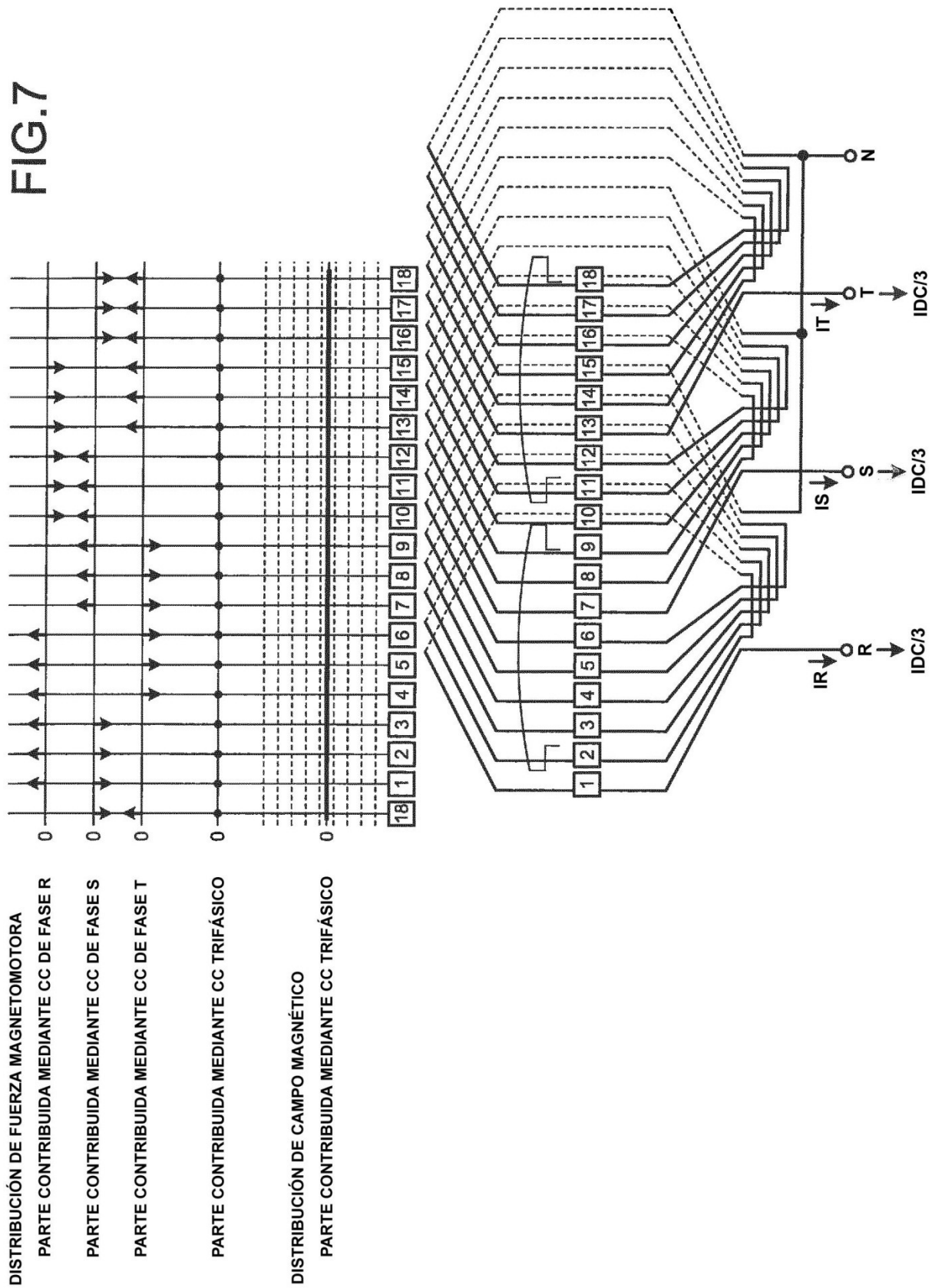


FIG.7



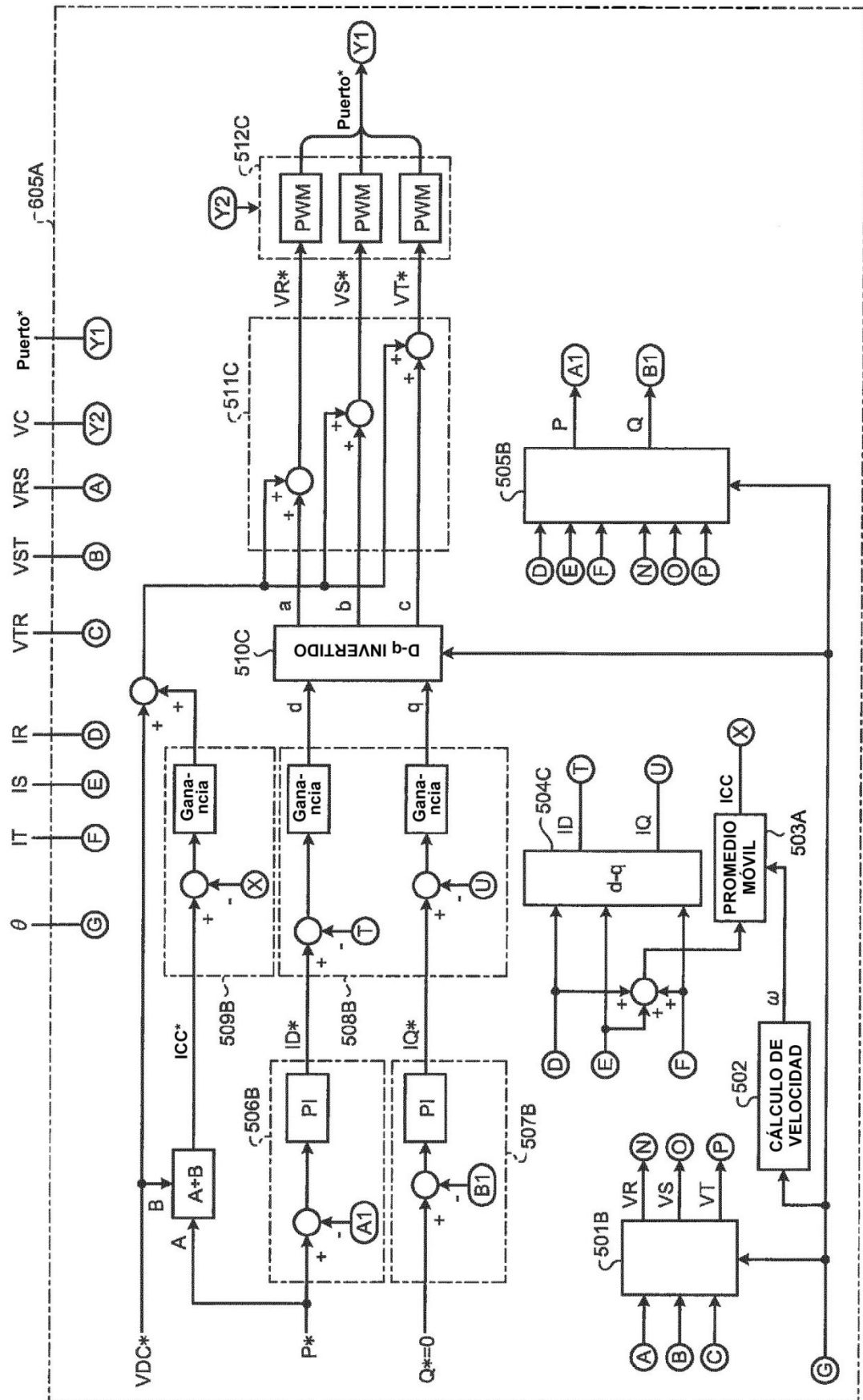


FIG. 9

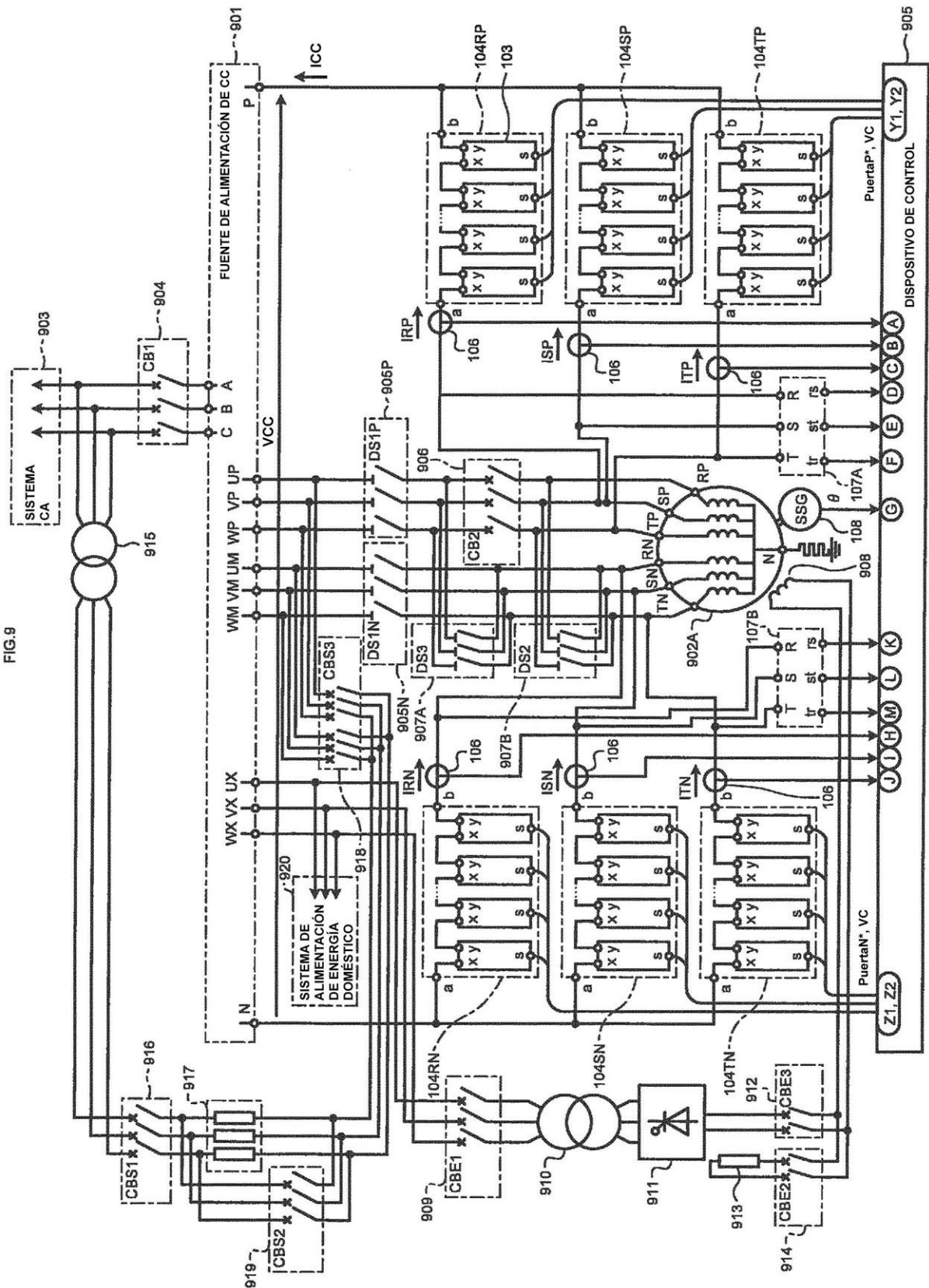


FIG.10

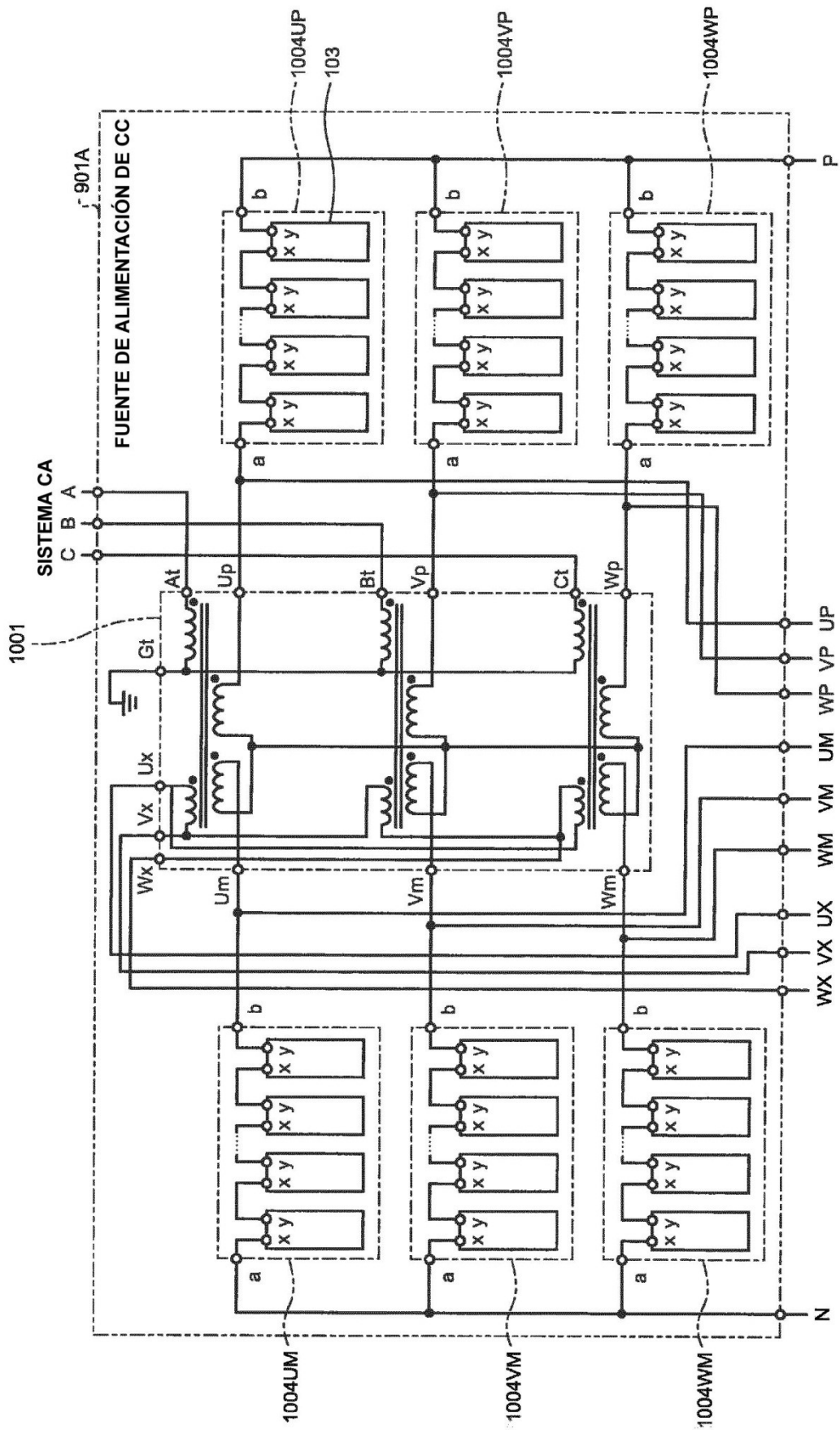


FIG.11

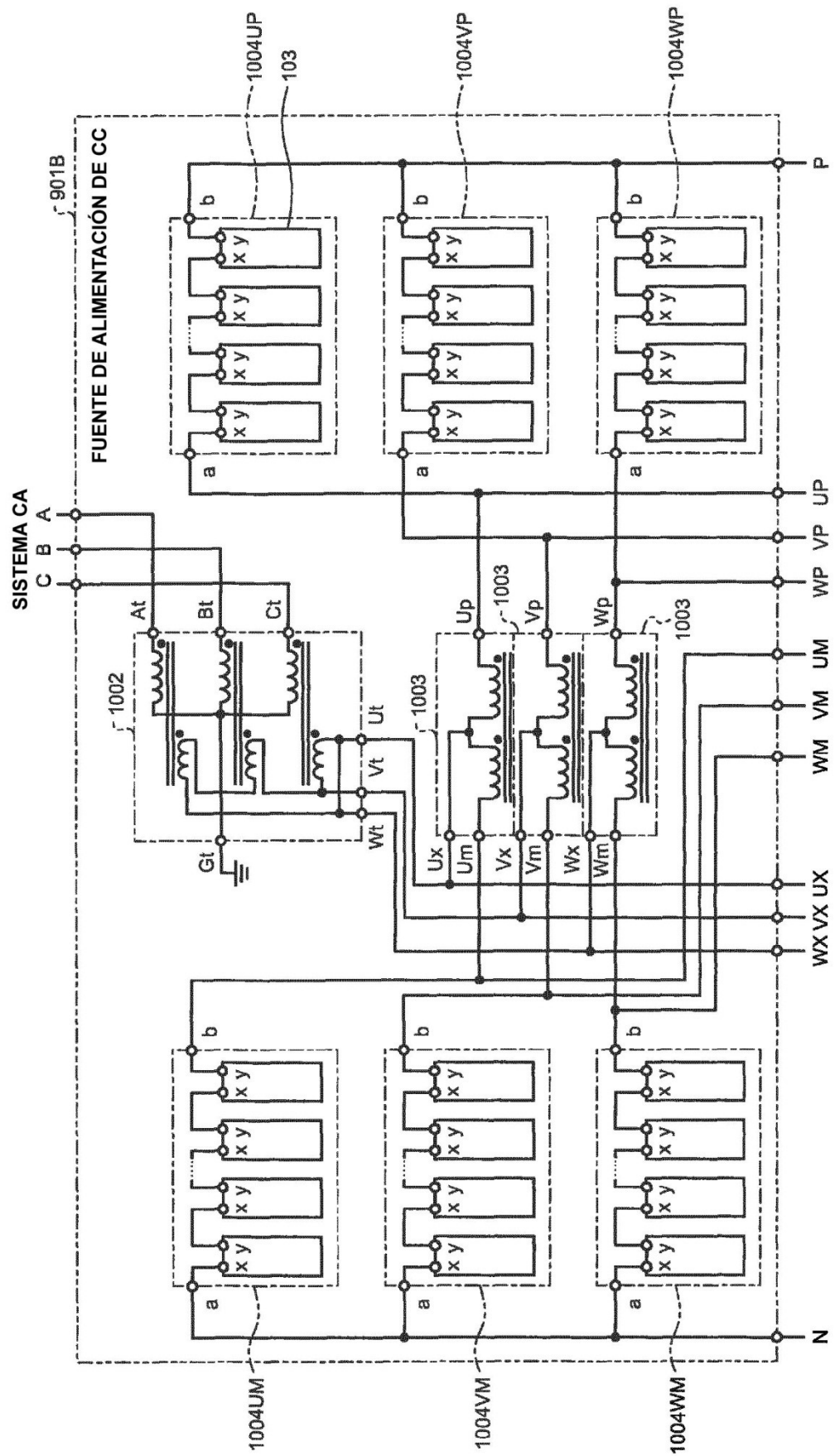


FIG.12

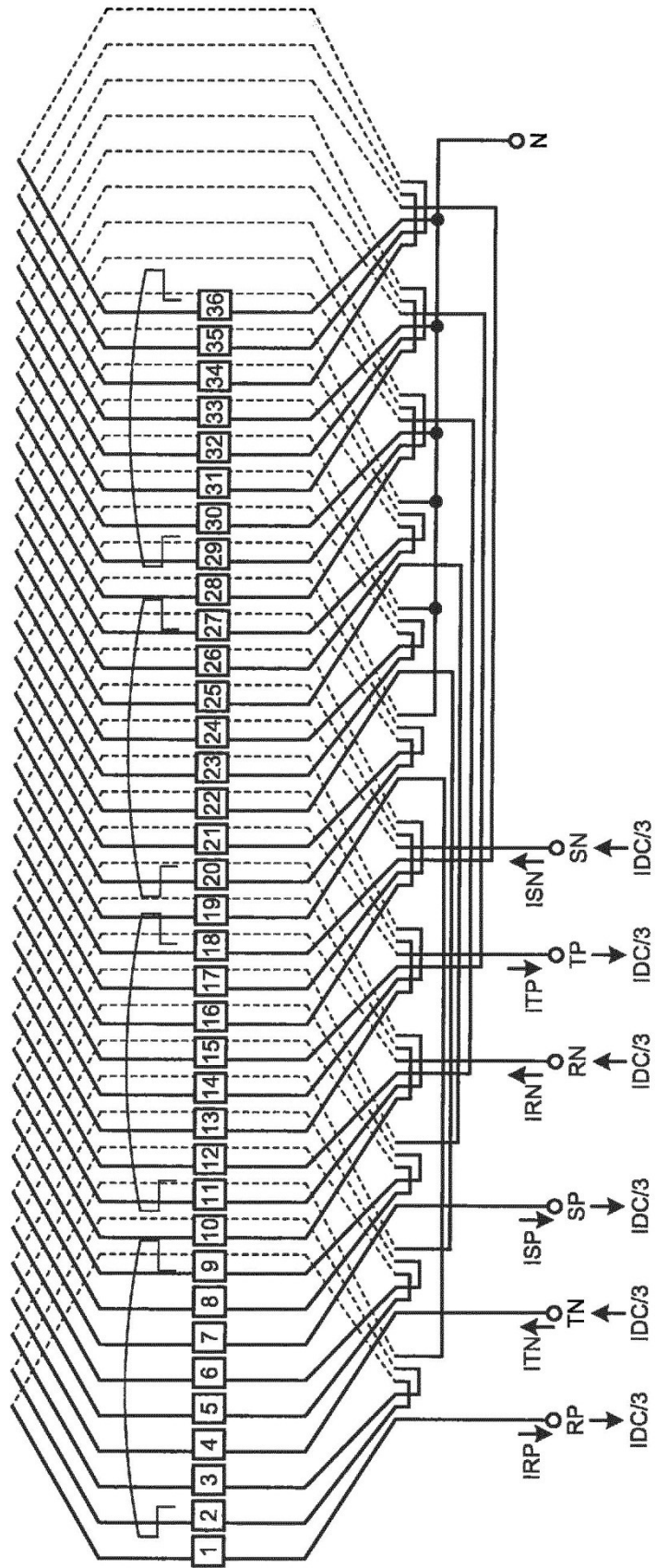


FIG.13

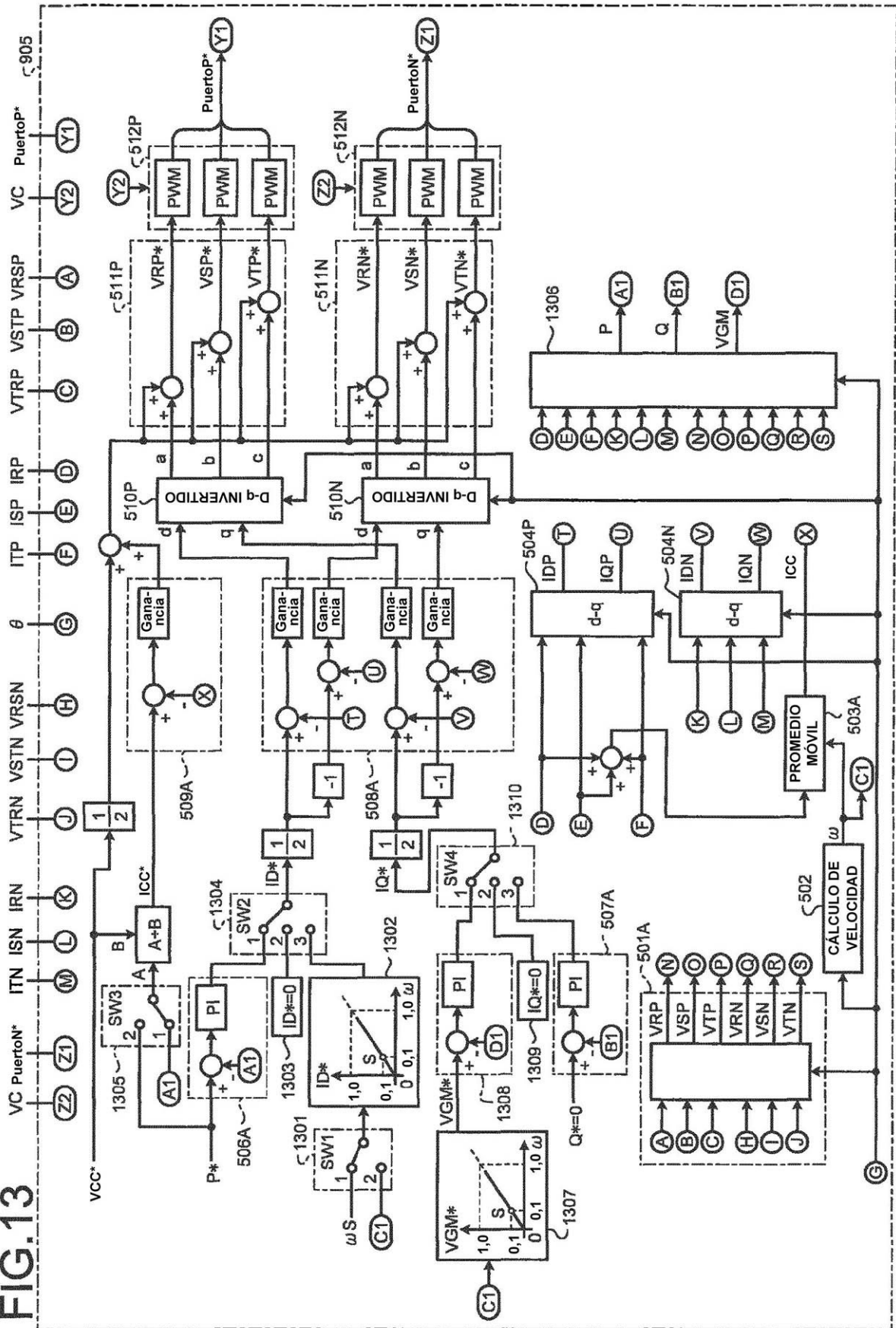


FIG.14

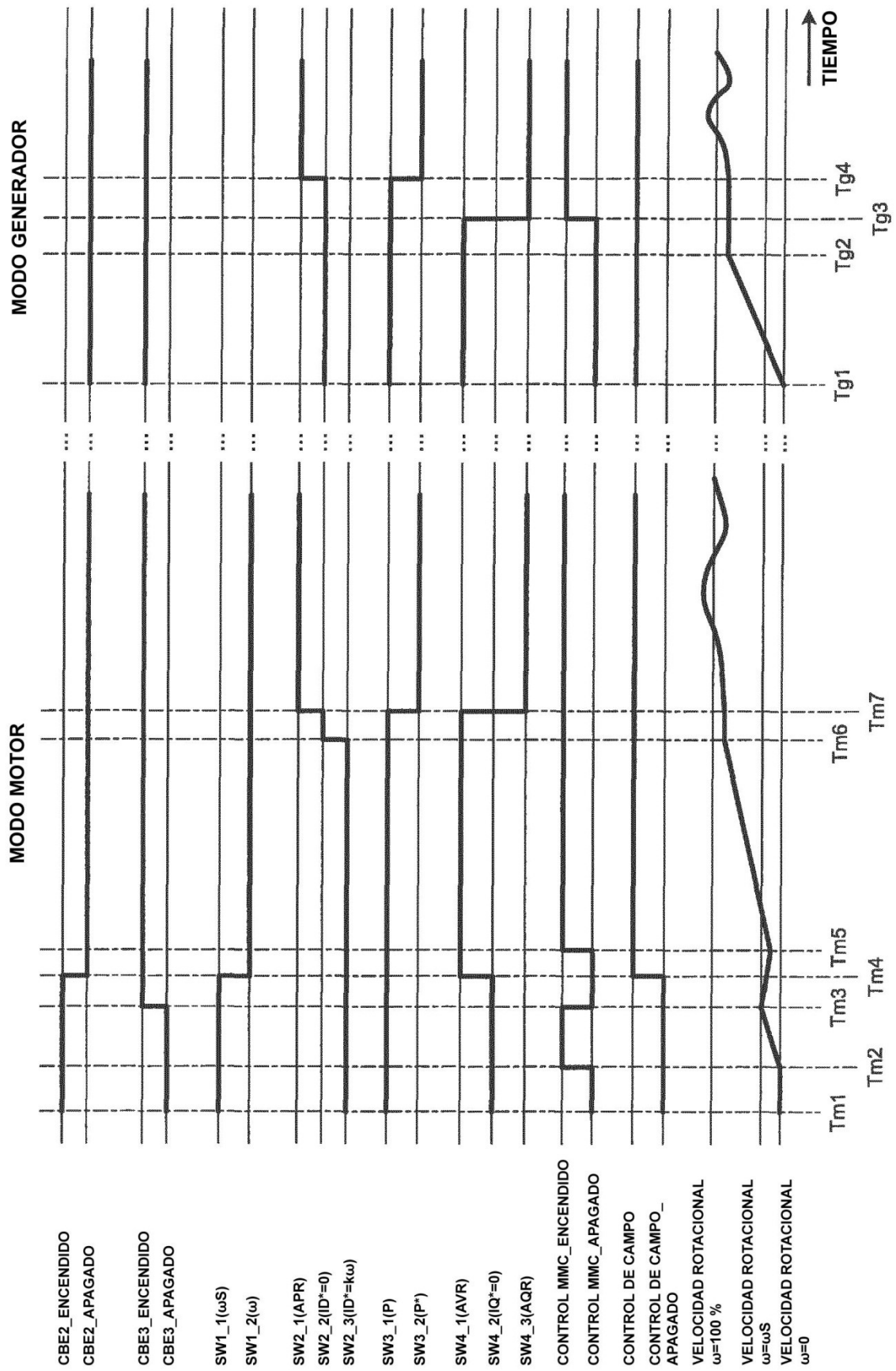


FIG. 15

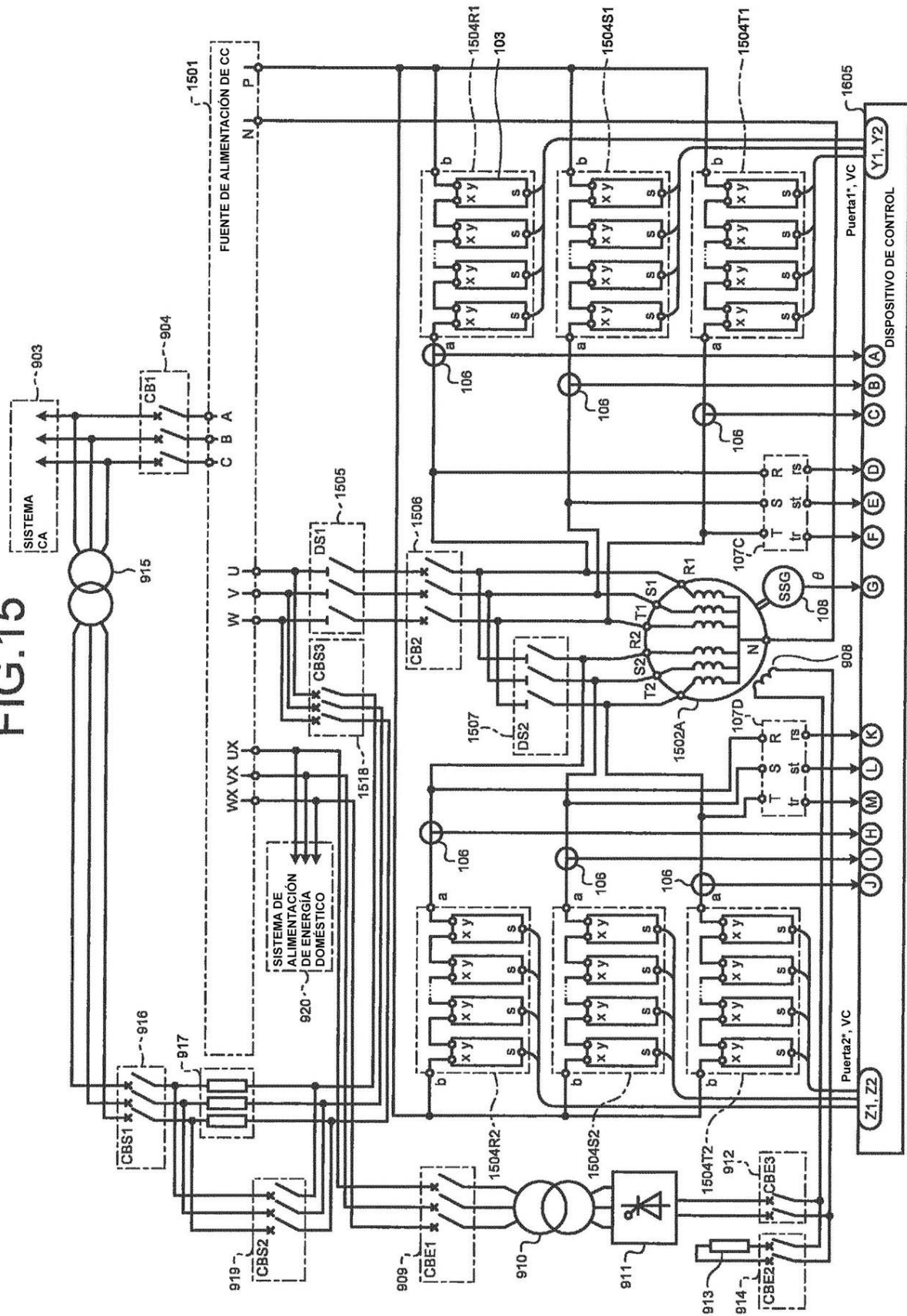


FIG.16

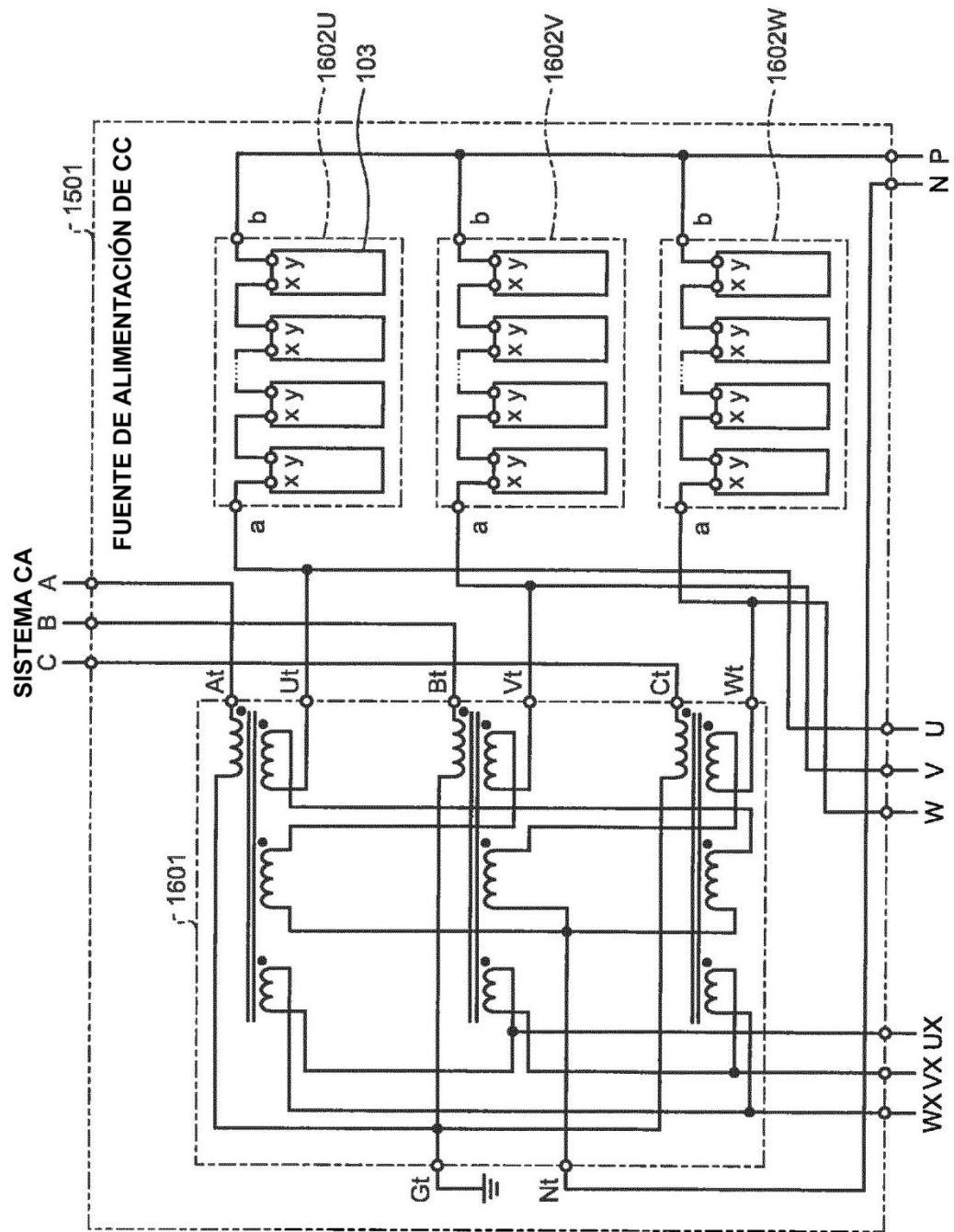


FIG.17

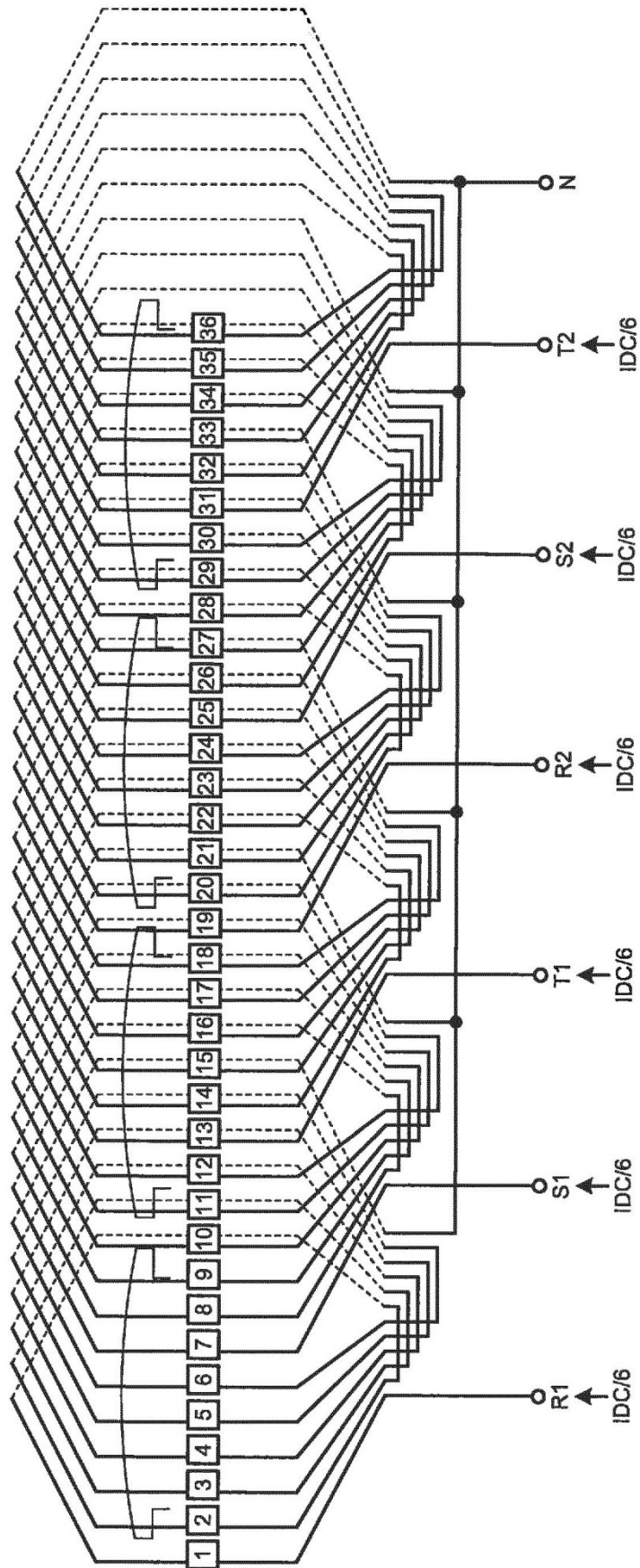


FIG 18

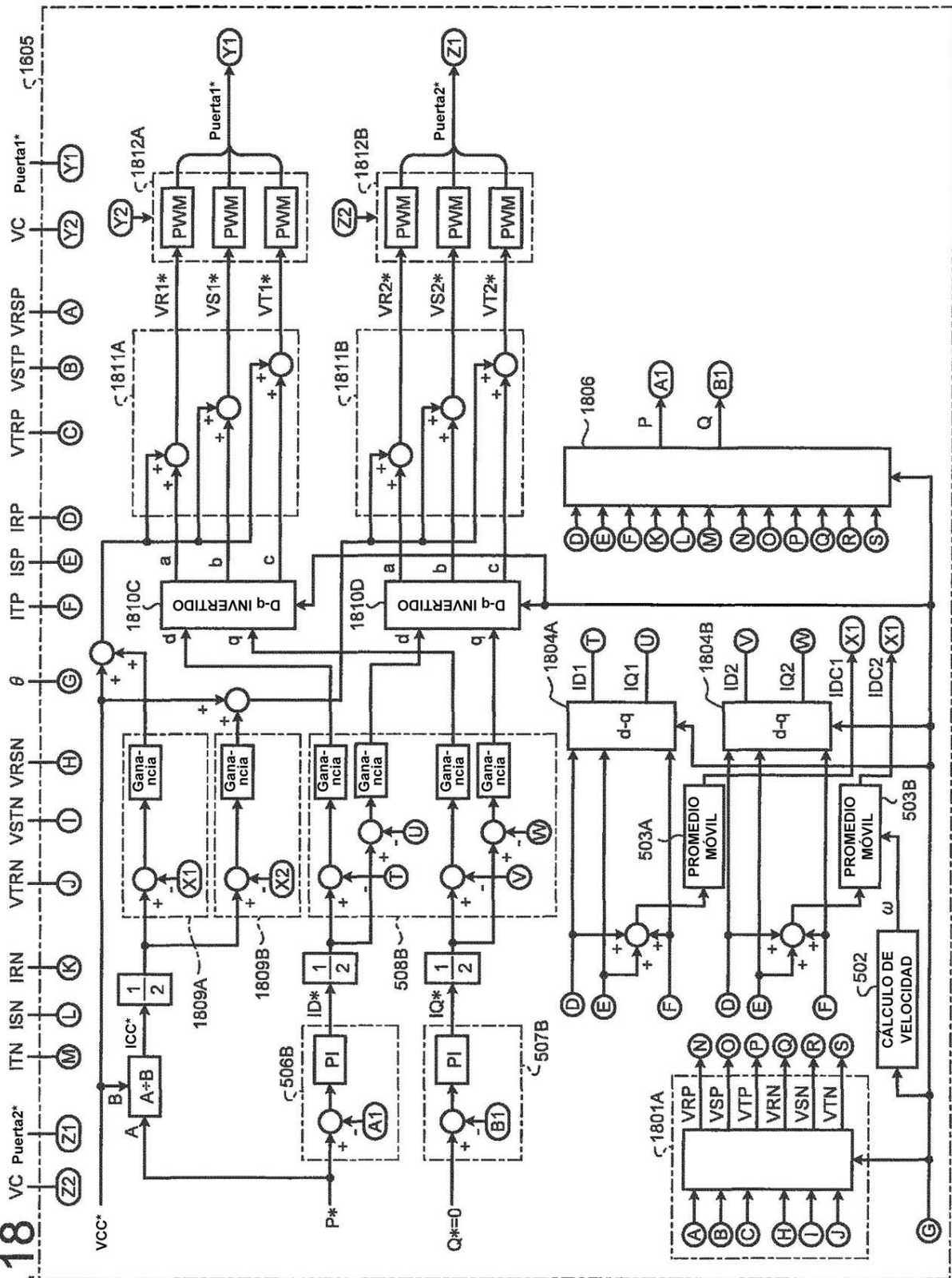


FIG.19

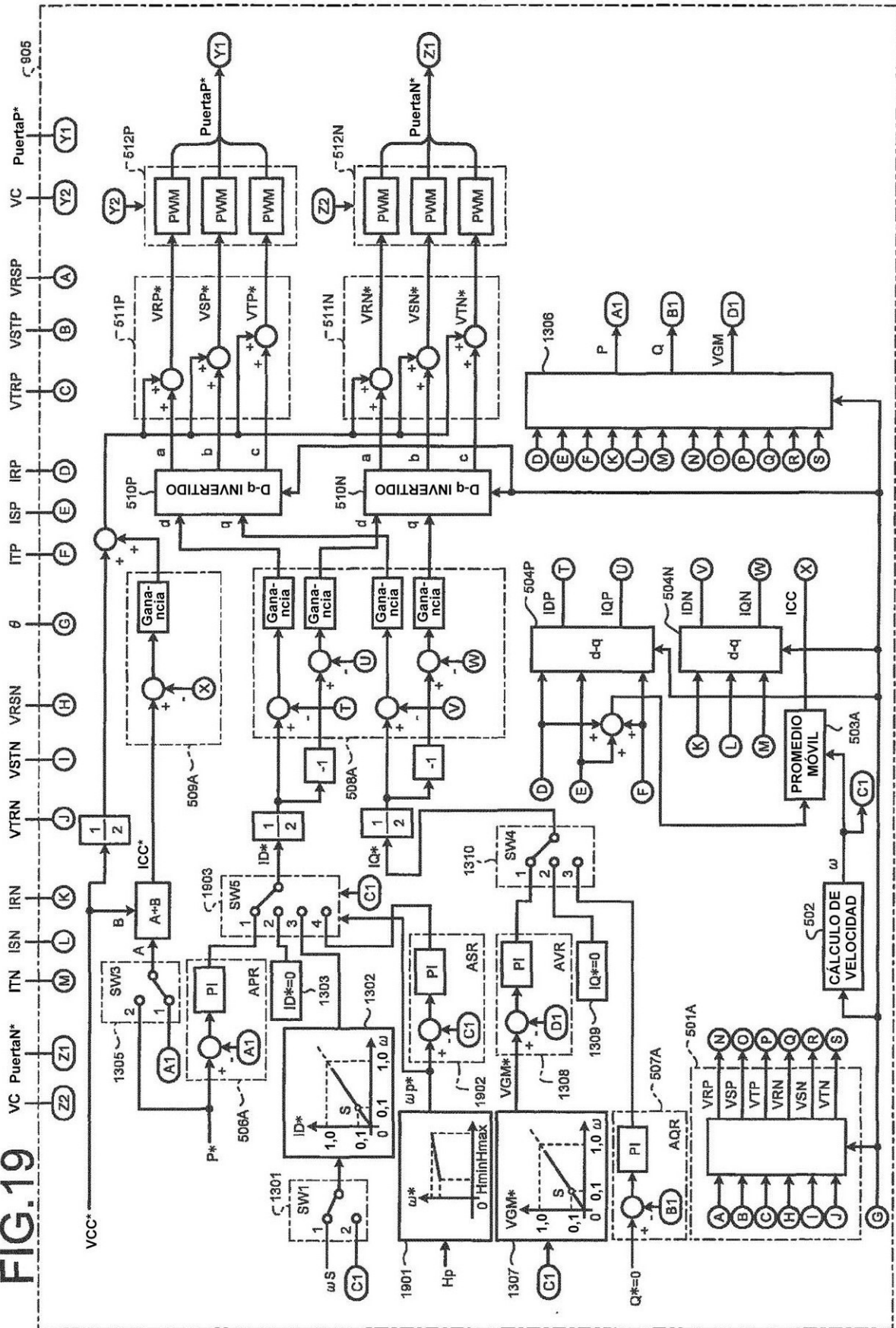
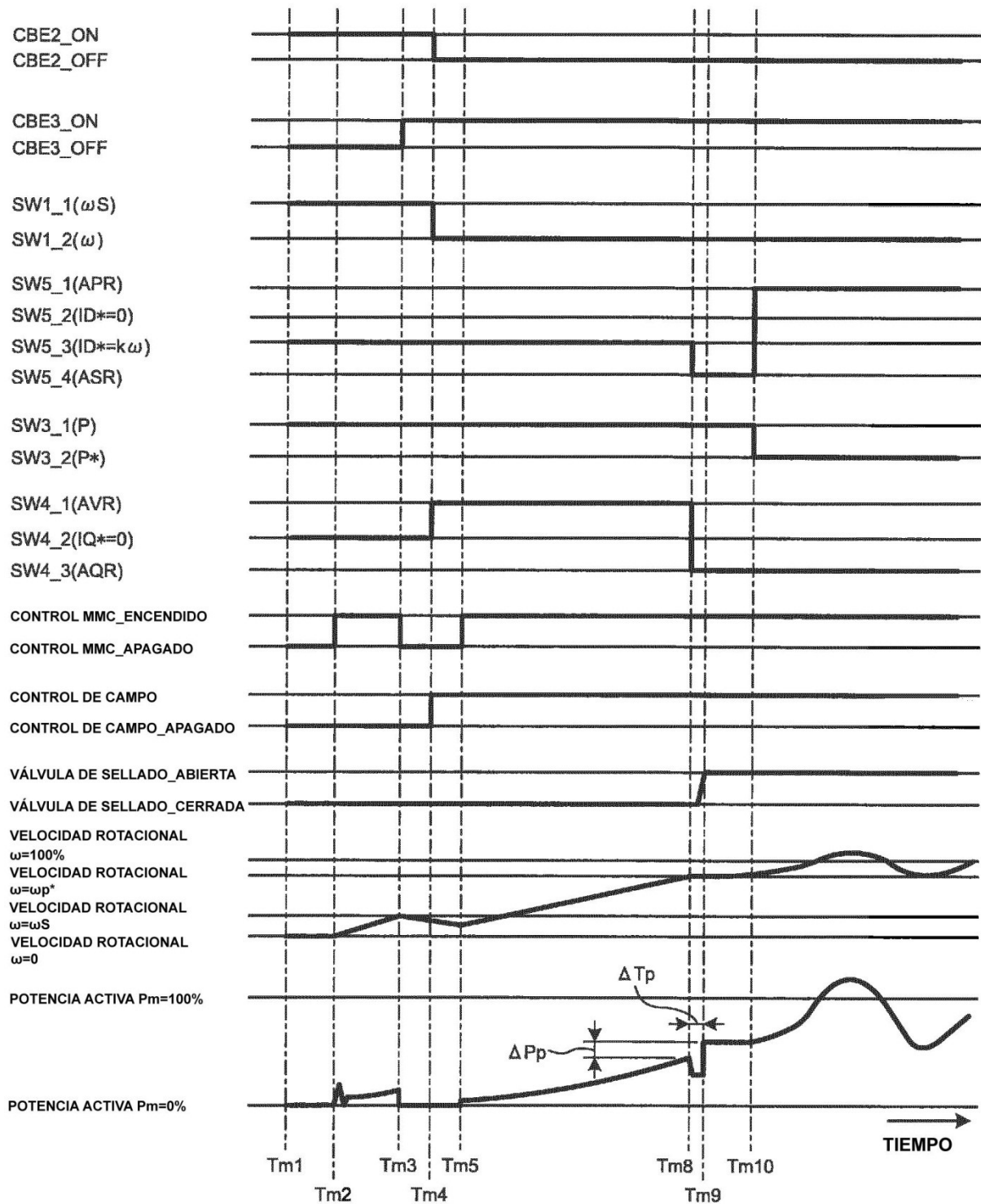


FIG.20



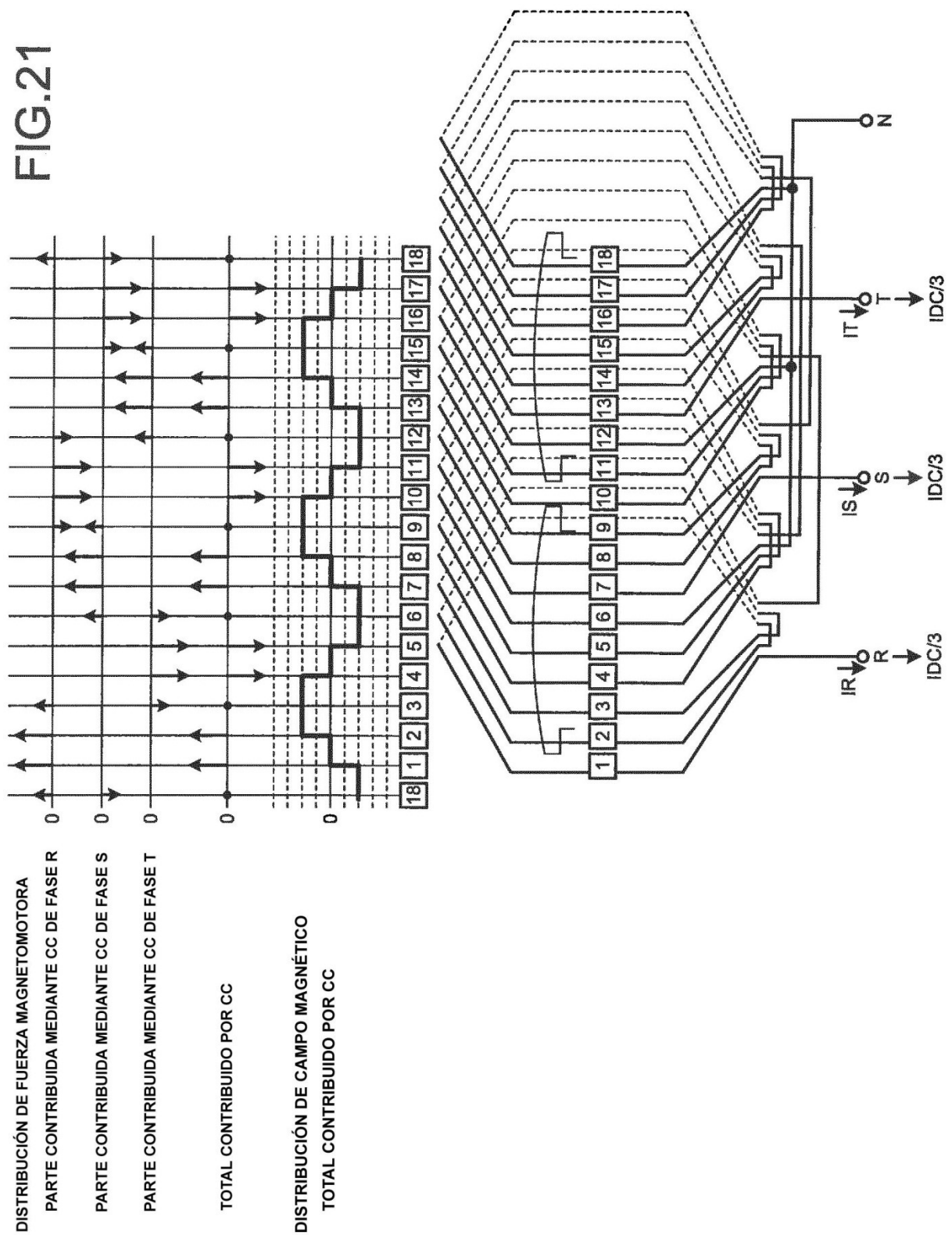


FIG.22

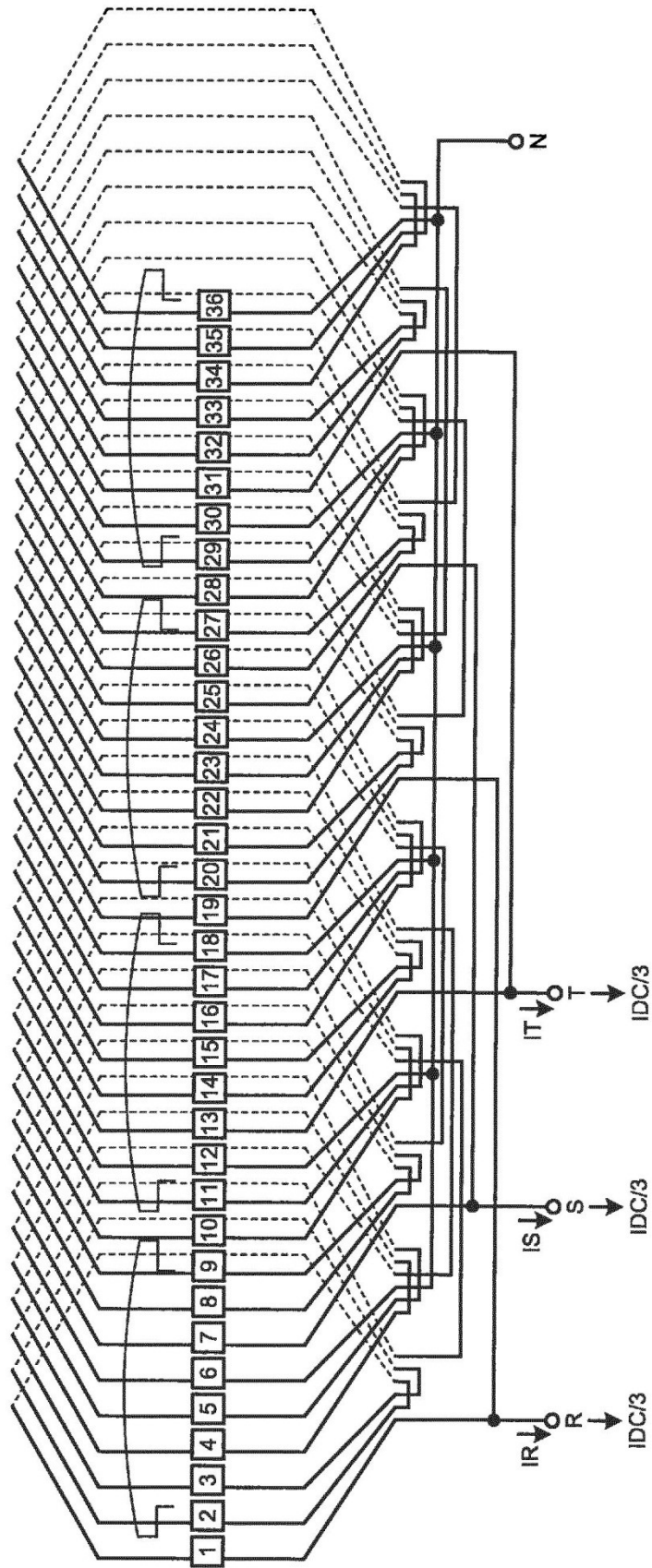


FIG.23

