

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 494 592**

21 Número de solicitud: 201300167

51 Int. Cl.:

G01R 31/02 (2006.01)
F03D 1/00 (2006.01)

12

PATENTE DE INVENCION CON EXAMEN PREVIO

B2

22 Fecha de presentación:

15.02.2013

43 Fecha de publicación de la solicitud:

15.09.2014

Fecha de la concesión:

25.02.2015

45 Fecha de publicación de la concesión:

04.03.2015

56 Se remite a la solicitud internacional:

PCT/ES2014/070099

73 Titular/es:

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID
(100.0%)
C/ Ramiro de Maeztu, 7
28040 Madrid (Madrid) ES**

72 Inventor/es:

**RODRIGUEZ ARRIBAS, Jaime;
HERRERO MARTINEZ, Nieves;
MERINO FERNANDEZ, Julia y
PLATERO GAONA, Carlos Antonio**

74 Agente/Representante:

CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

54 Título: **Generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos eléctricos y su procedimiento de operación en redes con generación distribuida**

57 Resumen:

Equipo generador perturbaciones de tensión que genera una tensión donde se puede modificar la amplitud, la frecuencia y la fase. Así se puede reproducir una perturbación similar a las que ocurren en redes débiles, en caso de defectos como cortocircuitos o maniobras bruscas de conexión o desconexión de carga.

Se basa en la utilización de dos máquinas de inducción de rotor bobinado, una en la que se modifica la frecuencia de su tensión de salida mediante el control de la velocidad de giro, y otra que se utiliza como regulador de inducción. Adicionalmente dispone de un equipo de conexión y un sistema de control.

Constituye una herramienta de ensayo de equipos eléctricos, para evaluar su funcionamiento ante perturbaciones en redes débiles y es especialmente útil para el ensayo de aerogeneradores.

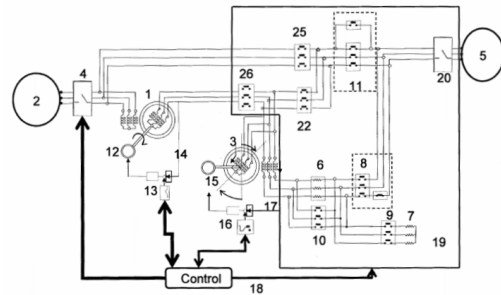


Figura 1

ES 2 494 592 B2

**GENERADOR DE PERTURBACIONES DE TENSIÓN PARA ENSAYO
DE EQUIPOS ELÉCTRICOS Y SU PROCEDIMIENTO DE OPERACIÓN
EN REDES CON GENERACIÓN DISTRIBUIDA**

5

DESCRIPCIÓN

OBJETO DE LA INVENCION

10 La presente invención describe un equipo que tiene la capacidad de reproducir, de forma simultánea, las perturbaciones de frecuencia, tensión y salto de fase que pueden aparecer en la onda de tensión de los nudos de las redes eléctricas con baja potencia de cortocircuito, cuando se produce una contingencia o fallo, como un cortocircuito o una maniobra tal como una desconexión brusca de carga, con el objetivo de que sea
15 empleado como herramienta de ensayo de generadores eléctricos y, en general, de cualquier equipo eléctrico que pueda verse sometido a este tipo de perturbación.

20 **SECTOR TÉCNICO DE LA INVENCION**

La invención se encuadra en el sector técnico de la calidad y fiabilidad de servicio eléctrico, más concretamente en lo relativo a sistemas de evaluación de respuesta de equipos eléctricos frente a perturbaciones en la amplitud, frecuencia y fase de la tensión en redes
25 eléctricas con baja potencia de cortocircuito.

Sus características lo hacen especialmente adecuado para ser empleado, por ejemplo, en el caso de análisis de la respuesta de aerogeneradores conectados a redes débiles con generación distribuida y, por tanto, que presentan valores muy reducidos de la potencia de
30 cortocircuito en los nudos de conexión de dichos grupos de generación

(redes débiles) y donde muchos de los grupos de generación emplean energías renovables como fuente primaria, tales como aerogeneradores, paneles solares, biomasa, etc. En este tipo de redes eléctricas, con pequeño número de generadores, la estabilidad del sistema se ve más comprometida si, en caso de una perturbación, los generadores restantes disparan porque no son capaces de soportar dicha perturbación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCIÓN

El problema se plantea en una red débil, tipo micro-red, red aislada o red de generación distribuida, donde, debido al reducido valor de la potencia de cortocircuito en sus nudos, cuando se producen defectos tales como cortocircuitos en sus líneas, o maniobras tales como conexiones/desconexiones bruscas de cargas, los generadores y en general cualquier equipo eléctrico, sufre severas y bruscas modificaciones “simultáneamente” sobre la amplitud, la frecuencia y la fase de las tensiones en sus terminales. La presente invención trata por tanto de solucionar la carencia de un dispositivo que sea capaz de reproducir simultáneamente este tipo de perturbaciones con modificación simultánea de la amplitud, la frecuencia y la fase de la tensión.

En la actualidad existen diversos dispositivos para el ensayo de equipos eléctricos capaces de generar perturbaciones, aunque no de este tipo, donde se mezclan simultáneamente oscilaciones en la amplitud, en la frecuencia y en la fase de la tensión. Además conviene tener en cuenta una serie de patentes relacionadas con la invención:

La patente WO 2012/113951 A1 “Device that generates electrical disturbances”, describe un generador de huecos de tensión, de sobretensiones y de perturbaciones de frecuencia y salto de fase, compuesto de transformadores y baterías de condensadores. Se trata de

un dispositivo capaz de realizar ensayos independientes frente a cada una de las perturbaciones descritas, pero, por una parte, el perfil de recuperación del hueco se realiza abruptamente en un escalón y no de forma continua y progresiva; por otra, no puede provocar de forma simultánea, perturbaciones de amplitud (hueco, sobretensiones, etc.) y perturbaciones de la frecuencia de la tensión, como realmente ocurre con las perturbaciones que corresponden a la deformación que presenta la tensión en los nudos de generación después de fallos severos, en caso de que se trate de redes débiles.

10

La patente ES 2 296 554 B2 “Generador de huecos de tensión de perfil temporal programable para ensayo de equipos eléctricos conectados a redes de Alta Tensión y procedimiento de operación del equipo durante el ensayo”, describe un generador de huecos de tensión, compuesto principalmente por un regulador de inducción cuyo movimiento esta convenientemente controlado por un servomecanismo. Si bien este dispositivo es capaz de reproducir con mucha fidelidad la perturbación del tipo “Hueco de tensión” incluido el perfil de recuperación de forma continua, no puede reproducir de forma simultánea perturbaciones de amplitud y frecuencia de la tensión.

15

20

La patente ES 2 325 902 B2 “Banco y método de ensayo de equipos eléctricos frente a huecos de tensión” describe un generador de huecos de tensión, compuesto por dos máquinas síncronas acopladas por sus ejes. Si bien este dispositivo es capaz de reproducir con mucha fidelidad la perturbación del tipo “Hueco de tensión”, tampoco puede reproducir de forma simultánea perturbaciones de amplitud y frecuencia de la tensión, ni tampoco salto de fase.

25

30

La patente WO2008125718-A1 “Voltage sag generation equipment”, describe un dispositivo compuesto por dos bancos de

impedancias y un transformador que, convenientemente conectados por interruptores programables, es capaz de reproducir huecos de tensión de profundidad y duración programable, pero de perfil abrupto rectangular en la recuperación. Por otra parte, carece de capacidad para reproducir
5 fluctuaciones de frecuencia.

La patente CN101119074-A;. "Power network's voltage-dip generator", logra también reproducir perturbaciones de la amplitud de la tensión tipo hueco, pero empleando para ello la acción combinada de un
10 tiristor y un transformador de tomas. Solo logra huecos de perfil "rectangular" y carece de capacidad para generar perturbaciones de frecuencia.

Por último el dispositivo objeto de la patente "Low-voltage dip generator device" de referencia WO2006106163-A1, está constituido por
15 un divisor inductivo y un filtro. Realiza huecos de tensión de diversa profundidad pero no reproduce el perfil de recuperación. Tampoco puede reproducir perturbaciones de fase ni de frecuencia.

Como resumen del análisis del estado del arte se puede afirmar que la tecnología actual dispone de dispositivos que son capaces de generar perturbaciones de amplitud, de frecuencia y de fase de la tensión, pero de forma "separada"; por tanto, permiten realizar ensayos
20 independientes frente a cada tipo de perturbación por separado, esto es, o bien modificando únicamente la amplitud, o modificando la frecuencia, o modificando la fase, pero carecen de la capacidad de realizar modificaciones de amplitud, frecuencia y fase, de forma "simultánea". Esto es suficiente para redes con gran potencia de cortocircuito donde, por
25 severa que sea la perturbación en cualquier nudo de la red, es insuficiente para afectar significativamente a la frecuencia del sistema, produciendo
30 sólo modificaciones en la amplitud y en la fase de la tensión.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención es un generador de perturbaciones capaz de reproducir las modificaciones que simultáneamente se producen en la amplitud, en la frecuencia y en la fase de la evolución temporal de la onda de tensión en los terminales de conexión de cualquier equipo eléctrico. Este tipo de perturbaciones son características de redes débiles y se producen durante fallos como cortocircuitos en la red o por maniobras bruscas tales como la conexión o desconexión de la generación o cargas. Este dispositivo se aplica en el ensayo de equipos eléctricos en general y, en particular, generadores, para verificar su funcionamiento frente a este tipo de perturbaciones.

El dispositivo objeto de esta invención está constituido, básicamente, por dos máquinas eléctricas asíncronas trifásicas de rotor bobinado, un dispositivo de conexionado y un sistema de control. Dicho dispositivo se instala entre el punto de conexión de la red de distribución y el equipo eléctrico que se desea ensayar.

Una de las máquinas de rotor bobinado es alimentada desde la red a tensión y frecuencia constante, y está encargada de modificar la frecuencia y la fase de la tensión en uno de sus devanados, que se considera la tensión de salida de la primera máquina. La modificación de la frecuencia y de la fase se consigue gracias a un sistema de control de velocidad de giro y del ángulo inicial de la posición de su eje. Con la tensión obtenida de la primera máquina de rotor bobinado se alimenta la segunda máquina de rotor bobinado, conectada como un regulador de inducción, de tal forma que modifica la amplitud de la tensión de salida, gracias a un sistema de control que modifica la posición de su eje. El dispositivo de conexionado permite reproducir adecuadamente los

cambios bruscos de amplitud y fase de la tensión que se deben producir durante en los primeros instantes de la ejecución del ensayo.

5 El equipo generador de perturbaciones así constituido, permite también generar perturbaciones de amplitud, de frecuencia y de fase de la tensión, en una fase, en dos fases o en las tres fases, reproduciendo así las modificaciones en la amplitud, frecuencia y salto de fase de la tensión, que ocurren como consecuencia de faltas monofásicas, bifásicas y trifásicas.

10

Una de sus ventajas, es la de no emplear convertidores electrónicos como elementos de potencia conectados entre la red y el equipo a ensayar, para realizar estas perturbaciones. De ese modo se puede reproducir la onda de tensión sin distorsión armónica alguna, tal como sucede en la realidad.

15

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

20

En la figura 1 se presenta un esquema de la configuración de un generador de perturbaciones de tensión que responde a una realización preferente de la invención.

25

En la figura 2 se presenta un esquema de una variante ampliada de la configuración del generador de perturbaciones de tensión según otra realización preferente de la invención.

30

En la figura 3 se presenta un esquema de una variante ampliada de

la configuración del generador de perturbaciones de tensión según otra realización preferente de la invención.

5 En la figura 4 se presenta un esquema de una variante de la configuración del generador de perturbaciones de tensión según otra realización preferente de la invención.

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

10 En la figura 1 se presenta un esquema de la configuración de un generador de perturbaciones de tensión que responde a la realización preferente de la invención. Se describen, a continuación, sus elementos constituyentes:

- 15 - Una primera máquina trifásica asíncrona de rotor bobinado (1) alimentada por el bobinado del estator desde la red (2). El estator de la máquina trifásica asíncrona de rotor bobinado está conectado a un armario eléctrico (4) con un interruptor automático, y la aparamenta de medida y protección necesaria para conectar el equipo a la red (2) y protegerlo frente a posibles defectos. En el rotor de la máquina trifásica asíncrona
20 de rotor bobinado (1) se obtiene una tensión de frecuencia y fase regulable gracias al control de la velocidad de giro de esta máquina.
- 25 - Una segunda máquina trifásica asíncrona de rotor bobinado (3) conectada como un regulador de inducción, cuyo devanado rotórico está alimentado desde el devanado rotórico de la máquina (1) con una tensión de frecuencia y fase ajustables. El devanado estatórico de esta máquina (3) está conectado en serie con el devanado rotórico de la máquina (1), de forma que la amplitud de la tensión de salida se puede modificar mediante
30 el control de la posición de su rotor. De esta forma se obtiene una tensión de amplitud, frecuencia y fase ajustable. Con esta

tensión se alimenta el equipo a ensayar (5), pero a través de un dispositivo de conexión (19).

- Un dispositivo de conexión (19) dispuesto en serie a la salida de la máquina (3) entre éste y el equipo a ensayar (5) compuesto por:

5

- o Un banco trifásico de resistencias dispuesto en serie (6) a la salida de la máquina (3).

10

- o Un banco de resistencias trifásicas con tomas regulables (7) dispuesto en paralelo a la salida del regulador la máquina (3).

15

- o Un conjunto de cuatro grupos de contactores unipolares de actuación rápida (8), (9), (10) y (11) y su circuitería de control, para posibilitar la maniobra segura de conexión y desconexión de la tensión de salida de la máquina (3) al equipo a ensayar (5), a través de los bancos de resistencia eléctricas (6) y (7) anteriormente descritas. Cada uno de estos grupos dispone de tres contactores, uno por fase, de actuación independiente.

20

- o Tres contactores trifásicos adicionales (22), (25) y (26), para realizar el conexión oportuno con el objetivo de independizar la actuación de ambas máquinas, y así, posibilitar la realización de ensayos frente a ondas de tensión cuya evolución temporal se vea modificada de forma independiente, por un lado en amplitud, por otro en frecuencia y por otro por su salto de fase, respecto a consignas independientes para cada una de estas variables.

25

- o Un interruptor automático (20) dispuesto a la salida del equipo, para conexión y desconexión del equipo generador de perturbaciones al equipo a ensayar (5).

30

- 5 - Un servomecanismo acoplado en el eje de máquina trifásica asíncrona de rotor bobinado (1) constituido por un servomotor (12), un sistema de regulación (13) y un sistema de muestreo y adquisición de datos (14), que realiza el control sobre la frecuencia y la fase de la onda tensión, a partir de la regulación de la velocidad y la posición de dicho eje.
- 10 - Un servomecanismo acoplado en el eje de la máquina trifásica asíncrona de rotor bobinado (3) constituido por un servomotor (15), un sistema de regulación (16) y un sistema de muestreo y adquisición de datos (17), que realiza el control sobre la amplitud de la onda tensión, a partir de la regulación de la posición de dicho eje.
- 15 - Un sistema de control (18) donde se programan las características de la onda de tensión que se desea reproducir con el equipo “generador de perturbaciones” objeto de esta invención, así como el protocolo de maniobra que establece la lógica de operación de los elementos de conexión de los armarios eléctricos dispuestos a la entrada y a la salida del equipo, dependiendo de las características del ensayo que se
20 desee realizar.

En la figura 2 se presenta un esquema de una variante ampliada de la configuración del equipo, que incluye dos transformadores trifásicos (23) y (24), con el objetivo de poder utilizar el dispositivo para realizar
25 ensayos sobre equipos eléctricos cuya tensión asignada tiene un valor diferente que la del dispositivo. Los dos transformadores trifásicos son de similares características de tensión potencia y grupo de conexión. Uno de ellos (23) se conecta en serie en los terminales de entrada del generador de perturbaciones de tensión entre éste y la red (2), y el otro (24) se
30 conecta en serie en los terminales de salida del generador de perturbaciones de tensión, y el equipo a ensayar (5). Su relación de

transformación es del valor adecuado para adaptar el nivel de tensión del generador de perturbaciones de tensión con el nivel de tensión del equipo a ensayar, en el caso que correspondan a valores diferentes. Para ello disponen, cada uno de estos transformadores, de tomas para diversos niveles tensión normalizada (3,3 kV; 6,6 kV, ...).

En la figura 3 se presenta un esquema de una variante ampliada de la configuración del equipo, que incluye un transformador trifásico (21), conectado en serie entre la entrada del devanado del rotor y la entrada del devanado del estator de la máquina trifásica asíncrona de rotor bobinado (3) conectada como regulador de inducción. Su relación de transformación es del valor adecuado para adaptar el nivel de tensión de los devanados del estator y del rotor de dicha máquina asíncrona (3), en caso de ser diferentes. Esto se realiza con el objetivo de poder construir el dispositivo utilizando máquinas de inducción de rotor bobinado (1,3) con diferente valor de la tensión asignada en los devanados del estator y del rotor.

En la figura 4 se presenta un esquema de una variante de la configuración del equipo, donde está intercambiado el orden de conexión de los máquinas (1,3) entre la salida del armario eléctrico (4) de la acometida de la red (2) y el dispositivo de conexión (19) con el equipo a ensayar (5). En este caso, a la salida del armario eléctrico (4) se conecta la máquina (3) con el servomecanismo (15,16,17) que la hace operar como regulador de inducción y, a la salida de dicha máquina, y entre ésta y el dispositivo de conexión (19), se conecta en serie la otra máquina (1) con el servomecanismo (12,13,14) que la hace operar como regulador de fase y frecuencia y, que actúa como regulador. El equipo así dispuesto, se opera de la misma forma que el original (figura 1) y realiza las mismas funciones.

A continuación, de forma no limitativa, se describe una de las posibles realizaciones del generador de perturbaciones de tensión objeto de la presente invención. El generador de perturbaciones objeto de esta invención responde a la siguiente composición:

- 5
- Una primera máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (1) donde uno de sus devanados, en este caso el estático, está alimentado con una frecuencia constante desde la red de distribución (2), en general esta frecuencia será 50 o 60 Hz.
10 Regulando la posición inicial y la velocidad de su eje a través de un servomecanismo, se obtiene en el otro devanado, el rotórico, una tensión de otra frecuencia y fase. Para ello existe un servomecanismo acoplado en su eje constituido por un servomotor (12), cuyo par está regulado por un convertidor electrónico (13) formando un sistema realimentado (14) a partir de la medida de la
15 señal de posición/velocidad del eje y que reproduce la evolución dinámica de las consignas de dichas variables, frecuencia y salto de fase de la tensión, elaboradas por un sistema de control (18).
 - Una segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (3),
20 que está conectada como un regulador de inducción, y a través del control de la posición de su eje realizado por un servomecanismo, modifica, simultáneamente, la amplitud de dicha tensión. Para ello dispone de un servomecanismo acoplado en su eje similar al descrito anteriormente, constituido, asimismo, por un servomotor
25 (15), cuyo par está regulado por un convertidor electrónico (16) formando un sistema realimentado (17) a partir de la medida de la señal de posición/velocidad del eje y que reproduce la evolución dinámica de la consigna, en este caso de la evolución temporal de la amplitud de la tensión, elaborada por el sistema de control (18),
30 simultáneamente a las consignas de frecuencia y fase, anteriormente referidas.

- Un dispositivo de conexionado (19) compuesto por cuatro grupos de contactores (8), (9), (10) y (11), cuya lógica de maniobra está establecida también desde el sistema de control (18), y que permite reproducir adecuadamente los cambios bruscos de amplitud y fase de la tensión que se deben producir durante los primeros instantes de la ejecución de los ensayos.
- Un sistema de control (18), ya referido, donde se programan las características de la deformación de la onda de tensión en amplitud, frecuencia y fase que se desea reproducir con la invención, así como el protocolo de maniobra que establece la lógica de operación de los elementos de conexión de los armarios eléctricos dispuestos a la entrada y a la salida del equipo, dependiendo de las características del ensayo que se desee realizar.

El dispositivo así configurado puede llegar a disponer de una potencia de hasta 5 MW para ensayo de generadores instalados en tierra; el motivo de este límite es para que su peso y dimensión no excedan los valores adecuados para que pueda ser instalado en una plataforma móvil de características estandarizadas (26000 kg; 5,9 x 2,35 x 2,39 m) que posibilite su transporte por carretera hasta las instalaciones donde debe ser empleado. En el caso de tener que ser utilizado en instalaciones marinas (off-shore), este límite desaparece, ya que el medio de transporte marítimo no estaría sujeto a esta restricción.

La novedad que introduce respecto a otros dispositivos similares es que éste permite reproducir la deformación que sufre la onda de tensión de red simultáneamente en amplitud, frecuencia y fase, y aplicar dicha tensión a los grupos de generación de las instalaciones eléctricas. Esto hace que sea especialmente adecuado para ser empleado en el ensayo de generadores frente a perturbaciones severas, que van a ser instalados

en micro-redes autónomas que integren sistemas de generación con energías renovables.

5 El equipo generador de perturbaciones así constituido, permite generar una tensión cuya evolución temporal se vea modificada en amplitud, frecuencia y fase de forma simultánea, en los siguientes límites:

- La amplitud se puede modificar, de forma continua, en un margen entre los valores límite de 0% y 190% establecidos como porcentaje respecto a su tensión asignada.
- 10 - El salto de fase inicial puede establecerse en cualquier valor entre 0° y 180°, respecto a la posición inicial del fasor tensión de fase inicial.
- El desvío de la frecuencia se puede modificar dependiendo del diseño del generador de perturbaciones, pero de una forma sencilla se puede modificar, de forma continua, en un margen entre los
15 valores límite de -10% y +10%, establecidos como porcentaje de desvío respecto a la frecuencia asignada (valores que habitualmente corresponden a un desvío entre -5Hz y +5Hz).

20 El equipo generador de perturbaciones así constituido, permite también generar perturbaciones de la naturaleza descrita, en una fase, en dos fases o en las tres fases, reproduciendo así las modificaciones en la amplitud, frecuencia y salto de fase de la tensión, que ocurren como consecuencia de faltas monofásicas, bifásicas y trifásicas.

25 También presenta la ventaja de no emplear convertidores electrónicos como elementos de potencia conectados entre la red y el equipo a ensayar, para realizar estas perturbaciones. De ese modo se puede reproducir la onda de tensión sin distorsión armónica alguna, tal
30 como sucede en la realidad.

A continuación se describe el proceso de ejecución de un ensayo realizado con el empleo del dispositivo desarrollado, que permite describir y comprender con claridad el alcance y la utilidad de la invención. Se debe aclarar que el ejemplo descrito no es en absoluto el único modo de realización de la invención.

El ensayo consiste en reproducir un hueco de tensión trifásico, con desplazamiento de fase inicial y modificación simultánea de la frecuencia, tal como ocurriría en el nudo de conexión de un generador de una red “débil” cuando ocurre una falta trifásica.

El proceso se realizaría del siguiente modo:

1. Preparación inicial del equipo:

En esta primera etapa se introducen los datos que permiten caracterizar el ensayo y el generador objeto del ensayo.

- Se parte de una situación con el equipo desconectado tanto de la red (2) como del generador a ensayar (5), actuando, respectivamente, sobre el interruptor del armario eléctrico dispuesto en la entrada (4) y sobre el interruptor automático (20) dispuesto en la salida del equipo. Los grupos de contactores (8), (9), (10) y (11) del armario eléctrico parten de un estado inicial con todos sus contactos “abiertos”. El contactor trifásico (22) debe partir de un estado inicial con sus contactos abiertos y permanecer así durante todo el proceso, mientras los contactores (25) y (26) deben partir de un estado inicial con sus contactos cerrados y permanecer así durante todo el proceso. Se introducen en la aplicación informática implementada en el autómatas PLC los datos que definen el ensayo y las condiciones de la instalación donde se va a realizar. Las

- 5 características del ensayo se definen por la evolución temporal de la onda de tensión que se desea durante la perturbación, incluyendo el perfil de la evolución de la amplitud (profundidad, duración y perfil de recuperación), la evolución de la frecuencia y el salto de fase inicial. Las condiciones de la instalación incluyen las características operacionales del generador a ensayar (tecnología, potencia, inercia, curva de regulación, ...) y las características de la red de acometida en el nudo de conexión del generador a ensayar (potencia de cortocircuito, factor de potencia de cortocircuito, ...).
- 10
- Una vez realizada la tarea anterior, se conecta el equipo a la red (2) a través del interruptor del armario eléctrico dispuesto en la entrada (4) manteniendo, no obstante, el equipo desconectado del generador a ensayar (5), por tanto el interruptor automático (20) debe permanecer abierto. Los grupos de contactores (8), (9), (10) y (11) del armario eléctrico dispuesto a la salida también permanecen con sus contactos “abiertos”.
 - 15
 - Desde el autómatas PLC se ejecuta un primer programa de inicio que, actuando sobre el servomecanismo (12), (13) y (14) acoplado en el eje del decalador de fase, modifica la posición del ángulo inicial de dicho eje en función del valor de consigna para el salto de fase de la tensión.
 - 20
 - Secuencialmente y también desde el autómatas PLC, se ejecuta otro programa que, en este caso, actúa sobre el servomecanismo (15), (16) y (17) de posición del eje del regulador de inducción y posiciona el ángulo inicial de dicho eje en función del valor de consigna para la profundidad del perfil de amplitud del hueco de tensión programado.
 - 25
 - Se realiza un ajuste inicial del valor de las resistencias regulables (7) de acuerdo también al valor de consigna para la
 - 30

profundidad del perfil de amplitud del hueco de tensión programado.

2. Ejecución del ensayo en vacío:

5

En esta segunda etapa se ejecuta el ensayo completo pero en vacío, es decir, sin conectar el generador objeto del ensayo. El objetivo es realizar el ajuste de los valores de las señales de consigna y los parámetros de los reguladores de los sistemas de control de los servomecanismos (13) y (16) instalados en los ejes del decalador de fase y del regulador de inducción que intervienen, respectivamente, en la regulación dinámica de la frecuencia, la fase y la amplitud de la tensión durante todo el proceso de ensayo.

10

15

- Se parte del conexionado de equipos correspondiente al final del proceso de la etapa anterior: El equipo conectado a la red (2) a través del armario de conexión de entrada (4) y desconectado del generador a ensayar (5) a través del interruptor de conexión de salida (20). Los grupos de contactores (8), (9), (10) y (11), del armario eléctrico permanecen con sus contactos “abiertos”. El eje del decalador de fase y del regulador de inducción permanecen en la posición inicial establecida en la etapa anterior.

20

25

- Se ejecuta en el autómatas PLC el “programa de ensayo”, que realiza las siguientes tareas:

30

- o Actuación sobre la lógica de control de los grupos de contactores (8), (9), (10) y (11) del armario de salida, para realizar la secuencia de conexión que permite reproducir con seguridad, la caída “abrupta” de la amplitud de la tensión, en el primer instante del hueco. Se parte de la conexión directa entre entrada y salida

- 5 conectando, únicamente, el grupo de contactores (8), inhabilitando, de ese modo, la operación del conjunto del equipo generador de perturbaciones objeto de la invención. Se finaliza con la conexión a través del equipo
- 10 objeto de la invención activando los grupos de contactores (9) y (10), quedando los demás, desconectados.
- o Regulación dinámica de la velocidad del eje del decalador de fase siguiendo la evolución dinámica de la señal de consigna establecida para la frecuencia de la tensión durante el tiempo de ensayo.
 - o Regulación dinámica de la posición del eje del regulador de inducción siguiendo la evolución dinámica de la señal de consigna establecida para la amplitud de la tensión durante el tiempo de ensayo.
 - o Registro de la onda de tensión durante el tiempo de ensayo. Evaluación del error respecto a la señal de consigna, cuantificando independientemente el desvío del seguimiento correspondiente a la frecuencia, a la amplitud y al salto de fase inicial.
 - o Actuación sobre la lógica de control de los grupos de contactores (8), (9), (10) y (11) del armario de salida, para volver a la posición de partida con únicamente el grupo de contactores (8) conectado.
- 25 Partiendo de esta situación, se ejecuta nuevamente el programa las veces precisas para, modificando, por un lado el valor inicial de la consigna de fase para el sistema de control (12) del servomecanismo del decalador de fase, ajustar el salto de fase inicial y, por otro, modificando el valor de los parámetros de los reguladores de los sistemas de control (12) y (16) de los
- 30 servomecanismos del decalador de fase y del regulador de

inducción, ajustar, respectivamente, el desvío de la evolución de la frecuencia y de la amplitud, respecto a su señal de consigna correspondiente.

5 3. Ejecución del ensayo con el generador eléctrico conectado:

En la etapa anterior quedan ajustados los reguladores y las señales de consigna para ejecutar el ensayo propiamente dicho. En esta tercera etapa se repite la prueba siguiendo, básicamente,
10 el protocolo anteriormente descrito, pero con el generador eléctrico que se desea ensayar, conectado.

- Se parte de la misma situación inicial descrita en la etapa anterior: El equipo conectado a la red (2) a través del armario de conexión de entrada (4) y desconectado del generador eléctrico a ensayar (5) a través del interruptor de conexión de salida (20). Los grupos de contactores (8), (9), (10) y (11) del armario eléctrico parten de una situación inicial con sus contactos “abiertos”. El eje del decalador de fase y del regulador de inducción permanecen en la posición inicial establecida en la etapa anterior, el valor de cuyo ángulo inicial ya ha sido ajustado en dicha etapa.

- Se conecta la salida del equipo al generador eléctrico (5) que se pretende someter al ensayo, cerrando el interruptor de conexión de salida (20).
25

Se repite la ejecución en el autómatas PLC del “programa de ensayo”, pero que ahora tiene implementados los valores de los parámetros ajustados en la etapa anterior. El protocolo y la secuencia de
30 es idéntico al descrito en la etapa anterior.

REIVINDICACIONES

- 1.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos eléctricos, instalado entre el punto de conexión de la red de distribución
- 5 (2) y el equipo eléctrico a ensayar (5), **caracterizado por** que comprende:
- una primera máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado alimentada desde la red de distribución (2) a tensión y frecuencia constante a través de un interruptor automático de entrada (4);
 - 10 - una segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado alimentada con la tensión de salida de la primera máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado;
 - un primer servomecanismo acoplado en el eje de una de las máquinas trifásicas asíncronas de rotor bobinado (1), que comprende un servomotor (12), un sistema de regulación (13) y un
 - 15 sistema de muestreo y adquisición de datos (14), y que está encargado de realizar el control sobre la frecuencia y la fase de la tensión en uno de sus devanados a partir de la regulación de la velocidad y el ángulo inicial de la posición de su eje;
 - un segundo servomecanismo acoplado en el eje de la otra máquina
 - 20 trifásica asíncrona de rotor bobinado (3), que comprende un servomotor (15), un sistema de regulación (16) y un sistema de muestreo y adquisición de datos (17), y que está encargado de realizar el control sobre la amplitud de la tensión de salida a partir de la regulación de la posición de su eje;
 - un dispositivo de conexionado (19) dispuesto en serie entre la
 - 25 salida de la segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado y el equipo a ensayar (5) y que comprende una pluralidad de grupos trifásicos de resistencias (6,7) de valor regulable, una pluralidad de grupos de contactores (8,9,10,11,22,25,26) y un
 - 30 interruptor automático de salida (20) para conexión y desconexión

con el equipo a ensayar (5), cuya lógica de maniobra está establecida desde un sistema de control (18),

- un sistema de control (18), donde se programan las características de la forma de la onda de tensión en amplitud, frecuencia y fase a reproducir con el generador de perturbaciones de tensión mediante el control del sistema de regulación (13,16) de los servomecanismos, así como el protocolo de maniobra que establece la lógica de operación de los elementos del dispositivo de conexionado (19) y de los interruptores automáticos de entrada (4) y de salida (20) , dependiendo de las características del ensayo que se desee realizar.

2.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos eléctricos de acuerdo a la reivindicación 1, **caracterizado por que** el primer servomecanismo (12,13,14) está acoplado al eje de la primera máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (1) y el segundo servomecanismo (15,16,17) está acoplado al eje de la segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (3), la cual está conectada como un regulador de inducción.

3.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos eléctricos de acuerdo a la reivindicación 2, **caracterizado por que** el devanado estatórico de la segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (3) está conectado en serie con el devanado rotórico de la primera máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (1), de forma que la amplitud de la tensión de salida de la segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (3) es modificable mediante el control de la posición de su rotor.

4.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos eléctricos de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones 2 a 3,

caracterizado por que comprende un transformador trifásico (21) conectado en serie entre la entrada del devanado del rotor y la entrada del devanado del estátor de la segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (3), con una relación de transformación adecuada para
5 adaptar el nivel de tensión de los devanados del estátor y del rotor de dicha segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (3).

5.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos eléctricos de acuerdo a la reivindicación 1, **caracterizado por que** el
10 primer servomecanismo (12,13,14) está acoplado al eje de la segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (1) y el segundo servomecanismo (15,16,17) está acoplado al eje de la primera máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (3).

15 6.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos eléctricos de acuerdo a la reivindicación 5, **caracterizado por que** el devanado del rotor de la primera máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (3) está conectado al interruptor automático de entrada (4) y su devanado estatórico está conectado en serie con el devanado rotórico de
20 la segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado (1).

7.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos eléctricos de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado por que** comprende dos transformadores trifásicos (23,24)
25 para su conexión con la red de distribución (2) y el equipo eléctrico a ensayar (5), disponiendo dichos transformadores (23,24) de la relación de transformación adecuada para adaptar el nivel de tensión del generador de perturbaciones de tensión con el nivel de tensión del equipo eléctrico a ensayar (5).

30

8.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos

eléctricos de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
caracterizado por que el dispositivo de conexionado (19) comprende un
grupo trifásico de resistencias (6) dispuesto en serie a la salida de la
segunda máquina asíncrona trifásica de rotor bobinado y un grupo
5 trifásico de resistencias (7) con tomas regulables dispuesto en paralelo a
la salida de dicha máquina.

9.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos
eléctricos de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
10 **caracterizado por que** el dispositivo de conexionado (19) comprende:

- cuatro grupos de contactores unipolares de actuación rápida
(8,9,10,11) encargados de permitir la maniobra segura de conexión y
desconexión de la tensión de salida de la segunda máquina asíncrona
trifásica de rotor bobinado al equipo eléctrico a ensayar (5) a través de
15 los grupos trifásicos de resistencias (6,7);

- tres contactores trifásicos (22,25,26) para independizar la
actuación de ambas máquinas asíncronas trifásicas de rotor bobinado
(1,3), y permitir la realización de ensayos frente a ondas de tensión con
modificación de forma independiente en amplitud, frecuencia y fase,
20 respecto a consignas independientes para cada una de estas variables.

10.- Un generador de perturbaciones de tensión para ensayo de equipos
eléctricos de acuerdo a cualquiera de las reivindicaciones anteriores,
donde cada uno de los grupos de contactores (8,9,10,11,22,25,26)
25 dispone de tres contactores, uno por fase, de actuación independiente,
caracterizado por que el sistema de control (18) está configurado para
actuar independientemente cada uno de los contactores de los grupos de
contactores (8,9,10,11) para reproducir perturbaciones en la onda de
tensión en cualquiera de las fases.

30

11.- Procedimiento de operación del generador de perturbaciones de

tensión para ensayo de equipos eléctricos conectados en redes con generación distribuida que comprende la siguiente secuencia de actuaciones:

- 5 - Primero: con el equipo desconectado, se introduce en la aplicación informática implementada en el sistema de control (18) los datos que definen el ensayo y las condiciones de la instalación donde se va a realizar.
- 10 - Segundo: se conecta el equipo a la red (2) a través del interruptor del armario (4) y desconecta el equipo a ensayar (5) a través del interruptor automático (20). Desde el sistema de control se ejecuta secuencialmente una serie de programas de inicio que, actuando, respectivamente, sobre el sistema de control (12) de la posición del eje de la máquina (1) y sobre el sistema de control (15) de la posición del eje de la máquina (3),
15 ajustan el ángulo de salto de fase de la tensión, y la profundidad del perfil de amplitud de la tensión en el momento inicial, de acuerdo a los valores de consigna deseados. Se realiza un ajuste inicial del valor de las resistencias regulables (7) de
20 acuerdo también al valor de consigna para la profundidad del perfil de amplitud del hueco de tensión programado.
- Tercero: se ejecuta en el sistema de control el “programa de ajuste en vacío”, que realiza las siguientes tareas:
 - 25 o Se parte de la conexión directa entre entrada y salida puenteando la operación del conjunto del equipo generador de perturbaciones objeto de la invención con únicamente el grupo de contactores (8) conectado y se finaliza con la conexión a través del equipo objeto de la invención a través de los grupos de contactores (9) y (10)
30 quedando los demás desconectados.

- Regulación dinámica de la velocidad del eje de la máquina (1) siguiendo la evolución dinámica de la señal de consigna establecida para la frecuencia de la tensión durante el tiempo de ensayo.
- 5 ○ Regulación dinámica de la posición del eje de la máquina (3) siguiendo la evolución dinámica de la señal de consigna establecida para la amplitud de la tensión durante el tiempo de ensayo.
- 10 ○ Registro de la onda de tensión durante el tiempo de ensayo. Evaluación del error respecto a la señal de consigna, cuantificando independientemente el desvío del seguimiento correspondiente a la frecuencia, a la amplitud y al salto de fase inicial.
- 15 ○ Actuación sobre la lógica de control de los grupos de contactores (8), (9), (10) y (11) del equipo de conexión (19), para volver a la posición de partida con únicamente el grupo de contactores (8) conectado.
- 20 ○ Partiendo de esta situación, se ejecuta nuevamente el programa las veces precisas para, modificando, por un lado el valor inicial de la consigna de fase para el sistema de control (12) del servomecanismo de la máquina (1), ajustar el salto de fase inicial y, por otro, modificando el valor de los parámetros de los reguladores de los sistemas de control (12) y (16) de los servomecanismos de la máquina (1) y de la máquina (3), ajustar, respectivamente, el desvío de la evolución de la frecuencia y de la amplitud, respecto a su señal de consigna correspondiente.
- 25 ○ Partiendo de esta situación, se ejecuta nuevamente el programa las veces precisas para, modificando, por un lado el valor inicial de la consigna de fase para el sistema de control (12) del servomecanismo de la máquina (1), ajustar el salto de fase inicial y, por otro, modificando el valor de los parámetros de los reguladores de los sistemas de control (12) y (16) de los servomecanismos de la máquina (1) y de la máquina (3), ajustar, respectivamente, el desvío de la evolución de la frecuencia y de la amplitud, respecto a su señal de consigna correspondiente.
- 30 - Cuarto: Se ejecuta en el sistema de control el “programa de ensayo”, que consiste, básicamente, en repetir el protocolo

anteriormente descrito, pero con el equipo eléctrico que se desea ensayar, conectado. La secuencia es:

5

- Se conecta la salida del equipo al equipo que se desea ensayar (5), cerrando el interruptor de conexión de salida (20).

10

- Se repite la ejecución en el sistema de control del “programa de ensayo”, pero que ahora tiene implementados los valores de los parámetros ajustados en la etapa anterior. El protocolo y la secuencia de es idéntico al descrito en la etapa anterior.

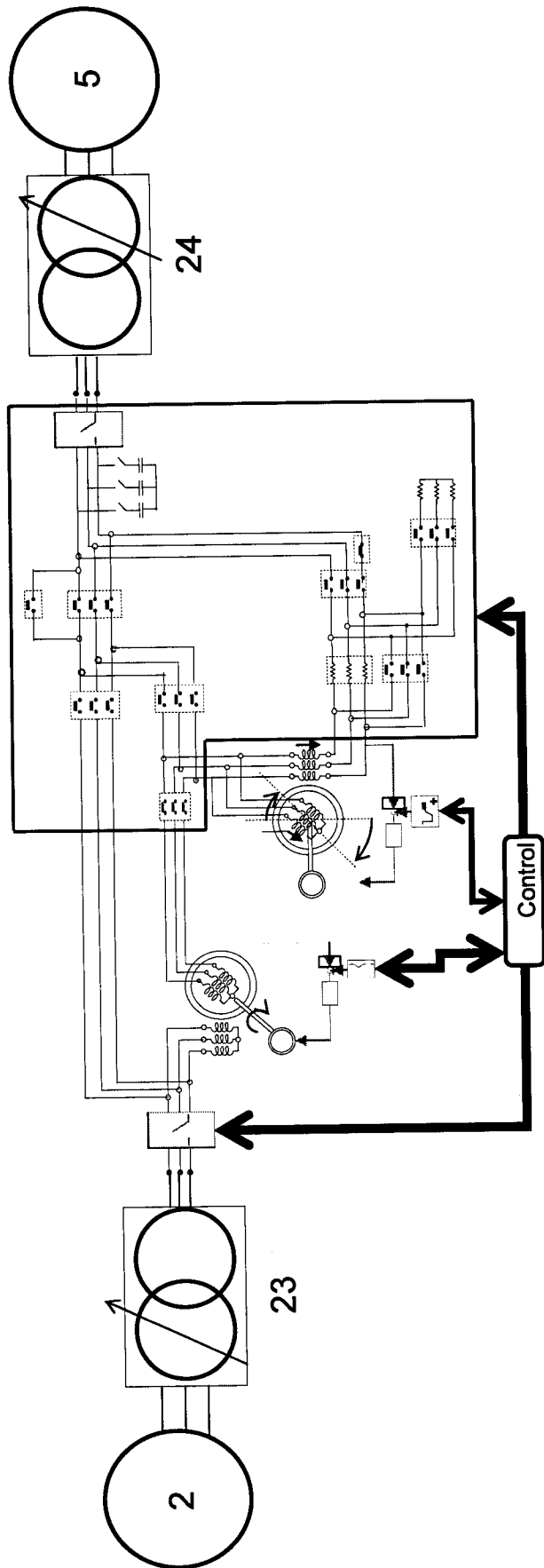


Figura 2

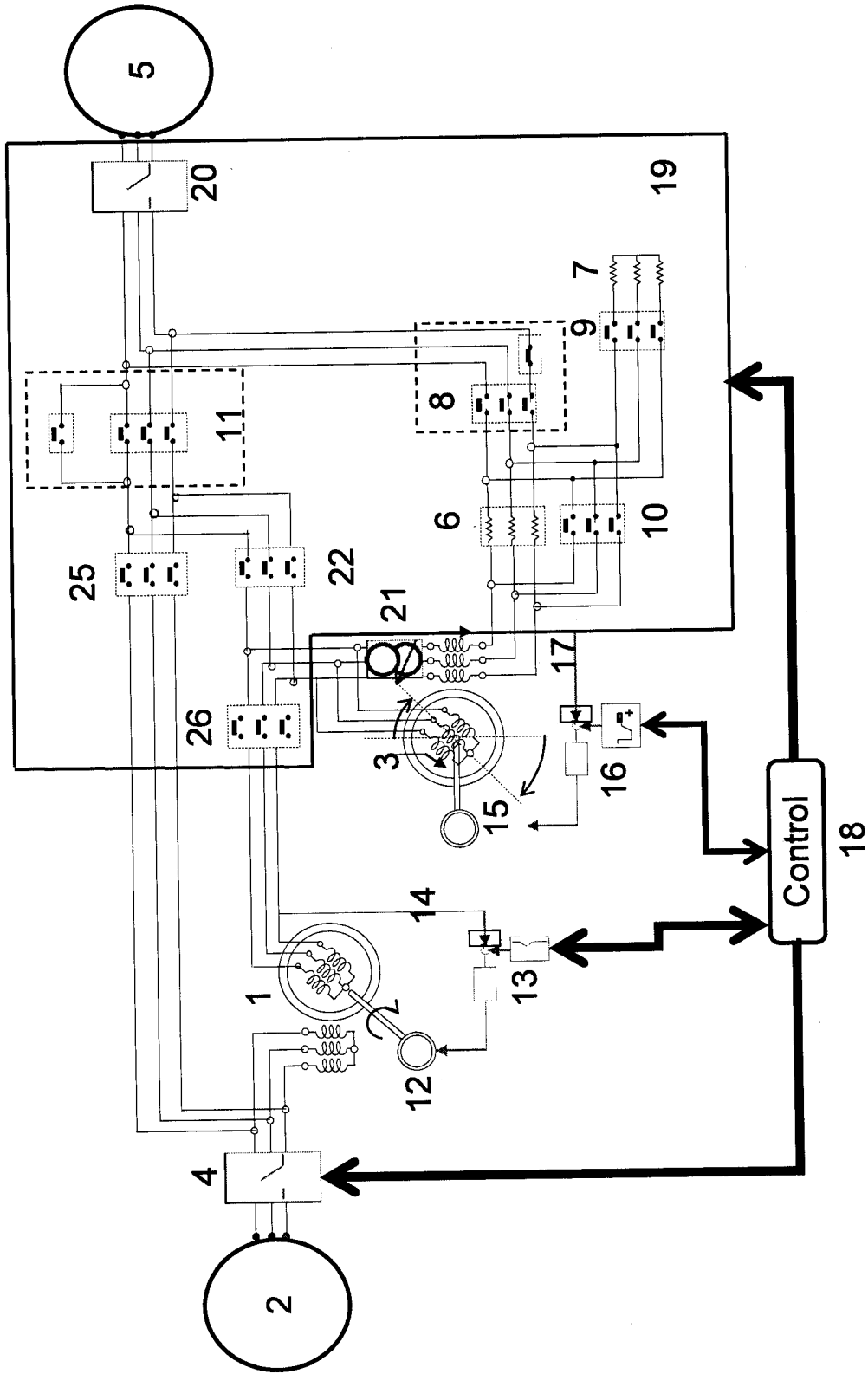


Figura 3

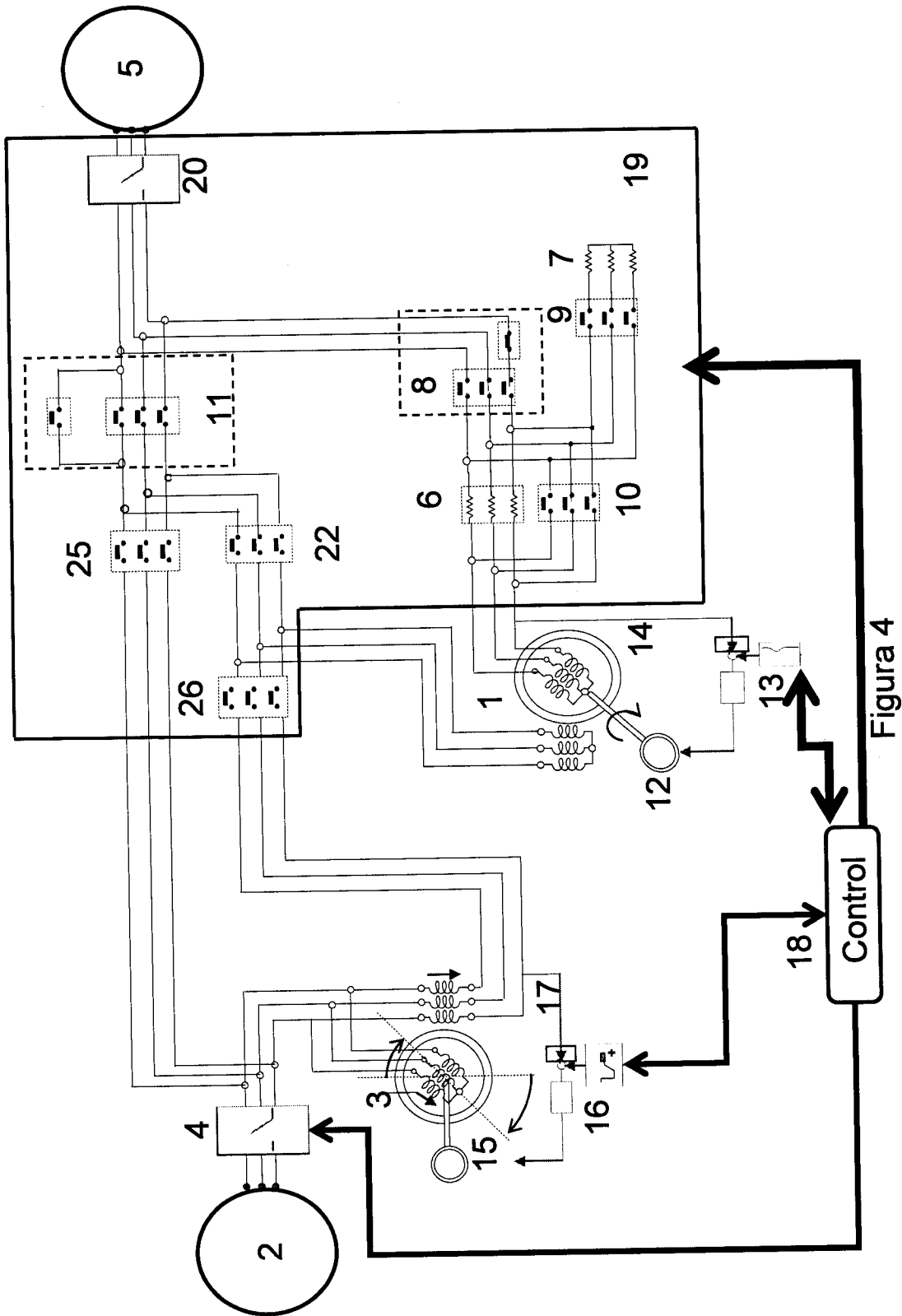


Figura 4