



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 279 292**

51 Int. Cl.:
H02P 9/30 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Número de solicitud europea: **04104353 .0**

86 Fecha de presentación : **09.09.2004**

87 Número de publicación de la solicitud: **1515426**

87 Fecha de publicación de la solicitud: **16.03.2005**

54 Título: **Sistema de generación eléctrica de frecuencia fija y procedimiento de control del mismo.**

30 Prioridad: **11.09.2003 FR 03 50525**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
16.08.2007

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
16.08.2007

73 Titular/es: **AIRBUS France**
316 route de Bayonne
31060 Toulouse, FR

72 Inventor/es: **Lando, Jean-Louis**

74 Agente: **Justo Vázquez, Jorge Miguel de**

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

Sistema de generación eléctrica de frecuencia fija y procedimiento de control del mismo.

5 **Campo técnico**

La invención se refiere a un sistema de generación eléctrica de frecuencia fija, y a un procedimiento de control del mismo.

10 **Estado de la técnica anterior**

El campo de la invención es el de los sistemas de generación eléctrica alterna a bordo de las aeronaves. Pero igualmente, es el de la producción de energía eléctrica a partir de una fuente mecánica de régimen variable.

15 Los aviones están a menudo equipados con alternadores que producen corriente alterna de frecuencia constante.

Una de las principales ventajas de la corriente alterna de frecuencia constante con relación a la corriente de frecuencia variable consiste en su simplicidad de empleo para los consumidores. Por el contrario, su producción necesita una técnica más complicada. En efecto, la obtención de una frecuencia constante obliga a los constructores a prever
20 un arrastre a velocidad constante. La frecuencia constante utilizada habitualmente es de 400 Hz.

La figura 1 ilustra tal generación de corriente alterna de frecuencia fija, con:

- situados entre el motor 8 y el bus 9:

- 25 * un bloque 10 de arrastre a velocidad constante,
- * un bloque 11 de alternador,
- 30 * un relé 12 de línea; y

- un dispositivo 13 de regulación conectado a cada uno de estos tres elementos 10, 11, 12 y a la entrada del relé 12 de línea.

35 *Bloque 10 de arrastre a velocidad constante*

En la figura 1, el bloque 10 de arrastre a velocidad constante es distinto del bloque alternador 11. De hecho, el conjunto de estos dos elementos constituye un todo fijado por lo general en las proximidades de la parte inferior del motor 8 al que se encuentra acoplado.

40 Este bloque 10 de arrastre a velocidad constante, denominado abreviadamente CSD ("Constant Speed Drive"), es un dispositivo cuyo árbol de entrada es arrastrado a una velocidad que varía con el régimen motor y cuyo árbol de salida proporciona una velocidad constante. Este árbol de salida arrastra así el bloque alternador 11 a velocidad constante, y por tanto a frecuencia constante puesto que $f = p N$,

45 con:

f = frecuencia

50 p = número de pares de polos del alternador 11,

N = número de vueltas/segundo del rotor del alternador 11.

55 Generalmente se fija una gama de variación de la velocidad de entrada, dentro de la cual se puede tener a la salida una velocidad constante.

El bloque 10 de arrastre a velocidad constante comprende:

- 60 - un bloque cilindro,
- un diferencial hidráulico.

El bloque cilindro está constituido por una bomba y por un motor de tambores rotativos que están dispuestos extremo con extremo. El motor tiene un plato fijo mientras que la bomba tiene un plato de inclinación variable. El control de la inclinación del plato permite variar la velocidad del árbol del motor, así como elegir su sentido de rotación.

El diferencial hidráulico está constituido por dos planetarios y dos satélites. El árbol de entrada es el portador de los planetarios y arrastra en rotación la bomba hidráulica que alimenta el motor. El motor arrastra en rotación el satélite de regulación de velocidad. El satélite de salida arrastra el rotor del alternador.

Cuando la velocidad del árbol de entrada varía, el plato de inclinación variable de la bomba se posiciona de manera que ajusta la velocidad del rotor del alternador, haciendo variar la del satélite de regulación. Cuando la velocidad a la entrada es insuficiente, se añaden vueltas/minuto. Cuando la velocidad es demasiado elevada, se quitan vueltas/minuto invirtiendo el sentido de rotación del motor. Cuando el régimen de entrada es exactamente el que se desea, el plato está en posición vertical y el diferencial no gira.

Bloque alternador 11

El alternador comprende tres equipos asociados:

- un alternador principal;
- un excitador;
- un generador de imanes permanentes (PMG o "Permanent Magnet Generator").

El generador PMG, el excitador y el alternador poseen cada uno de ellos su propio rotor. Los tres rotores son solidarios con el mismo árbol y por tanto son arrastrados a la misma velocidad.

El rotor del generador PMG incluye imanes permanentes. Una vez que este rotor es arrastrado en rotación, se puede recoger energía eléctrica en los bornes del estator sin proporcionar ninguna excitación. Esta corriente eléctrica rectificada es enviada, por medio de una caja de regulación, al estator inductor del excitador. Se recoge entonces en los bornes del rotor del excitador una corriente alterna que, rectificada por medio de diodos alojados en el árbol de arrastre común (diodos giratorios), permite la excitación del alternador.

Dispositivo regulador 13

Este regulador de tensión permite mantener una tensión de salida de valor eficaz constante.

El alternador está sobre-excitado cuando la tensión tiende a disminuir, o bien sub-excitado cuando la tensión tiende a aumentar. Para esto, se compara la tensión de salida del alternador con una tensión de referencia, la desviación se amplifica, y una corriente proporcional permite modificar la excitación y la fuerza electromotriz del alternador.

Diferentes sistemas de la técnica conocida permiten una generación de corriente de frecuencia constante. Estos sistemas presentan numerosos inconvenientes:

- El generador IDG ("Integrated Drive Generator"), de la sociedad Hamilton-Sundstrand, consiste en la integración, en una misma envoltura, de un CSD ("Constant Speed Drive") y de un alternador trifásico de tres etapas. El CSD sirve para regular la velocidad mecánica para el arrastre del alternador con el fin de generar una frecuencia fija de 400 Hz. El valor eficaz de las tensiones de salida está regulado a 115 V. Este generador presenta numerosos inconvenientes: precio de compra elevado, coste de mantenimiento elevado, calidad del aceite esencial, masa elevada, rendimiento bajo, fiabilidad mediocre, rendimientos dependientes del estado de desgaste del CSD, intercambiador de tamaño importante (impacto motor), sistema no reversible.

- El generador VSCF ("Variable Speed Constant Frequency"), de la sociedad Hamilton-Sundstrand, consiste en la asociación de un generador VFG ("Variable Frequency Generator") y de un convertidor estático de energía eléctrica de tipo frecuencia variable/frecuencia fija. Este sistema necesita a menudo la creación de dos redes eléctricas: una de frecuencia fija y una de frecuencia variable, con el fin de conservar masas y fiabilidades razonables. Este generador presenta numerosos inconvenientes: precio de compra elevado, masa elevada debido a la presencia de un convertidor estático y líneas de alimentación dimensionadas para 760 Hz, rendimiento mediocre en frecuencia fija, fiabilidad baja del convertidor estático inversamente proporcional a la potencia, potencia baja a frecuencia fija, sistema no reversible.

Exposición de la invención

La invención tiene por objeto permitir una alimentación de cualquier carga eléctrica de corriente en forma de tensiones trifásicas de valor eficaz constante y de frecuencia constante cualquiera que sea el régimen motor comprendido entre velocidades límites, las cuales son, para una aeronave, las velocidades "Ground Idle Speed" y "take-off speed", con una fiabilidad mejor que en los sistemas de la técnica conocida.

La invención tiene igualmente por objeto permitir una utilización en motor asíncrono para efectuar el arranque del motor al que se encuentra acoplado.

ES 2 279 292 T3

La invención propone un sistema de generación eléctrica de frecuencia fija, adecuado para ser dispuesto a la salida de un motor de régimen variable, caracterizado porque comprende:

- 5 - una etapa primaria, que es un generador de imanes permanentes, que proporciona la energía a dicho sistema permitiéndole ser autónomo,
- una etapa secundaria, que es un excitador que controla la magnetización de una etapa terciaria,
- 10 - esta etapa terciaria, que es un generador principal, constituye la etapa de potencia de producción de la energía eléctrica; y

15 porque el excitador y el generador principal tienen sus rotores solidarios con un primer árbol, proporcionando el estator del generador principal la tensión de salida, el generador de imanes permanentes tiene su rotor solidario con un segundo árbol, al menos una bomba de aceite del circuito de refrigeración es solidaria con un tercer árbol, estando estos tres árboles arrastrados por un árbol de entrada, que es el árbol motor, por medio de engranajes.

Ventajosamente:

- 20 - el rotor del generador de imanes permanentes es arrastrado directamente (no por el CSD) por medio del árbol motor, y su estator alimenta un órgano de control exterior,
- el estator del excitador está alimentado por corrientes trifásicas de frecuencia variable que provienen de un ondulator de corriente trifásica del citado órgano de control exterior,
- 25 - el rotor del generador principal es solidario con el del excitador y está arrastrado por el árbol del motor, estando sus bobinas rotóricas trifásicas interconectadas directamente (no por medio del rectificador) con las del excitador.

30 En un modo de funcionamiento de generador síncrono, al estar el árbol de entrada arrastrado en régimen variable, el citado sistema convierte la energía mecánica de entrada en energía eléctrica para restituirla bajo la forma de tensiones y de corrientes trifásicas en el estator de la etapa principal, las cuales son distribuidas por una red alterna.

35 En un modo de funcionamiento en motor asíncrono, el estator de la etapa principal está alimentado por tensiones trifásicas y el estator del excitador está cortocircuitado, siendo la energía absorbida eléctrica, y siendo la energía generada mecánica.

La invención se refiere igualmente a un procedimiento de control de dicho sistema en el caso de un funcionamiento en generador síncrono.

40 En un primer modo, en el que se controla la tensión en el estator de la etapa principal, este procedimiento comprende dos bucles de regulación:

- un bucle de corriente de excitación;
- 45 - un bucle de tensión de salida.

En un segundo modo, en el que se controla la frecuencia del sistema, este procedimiento comprende:

- un bucle de frecuencia de excitación;
- 50 - un bucle de frecuencia de salida.

El generador de la invención presenta las características ventajosas siguientes:

55 * No incluye ni CSD (“constant speed drive”) ni diodos giratorios: su rotor está arrastrado directamente por el motor de régimen variable. Las bobinas rotóricas del excitador y del generador principal están directamente interconectadas. Produce una frecuencia fija.

60 * El rotor del generador principal está alimentado por corrientes trifásicas de frecuencia variable dependiente del régimen de arrastre mecánico: el campo rotórico del generador principal es un campo giratorio con relación a un observador situado sobre el rotor.

65 * La armadura estatórica del excitador está alimentada por corrientes trifásicas de frecuencia variable dependiente del régimen de arrastre mecánico. El campo estatórico del excitador es un campo giratorio con respecto a un observador situado sobre el estator.

* Las corrientes trifásicas de frecuencia variable que alimentan el estator del excitador son generadas por un ondulator de tensión trifásica situado en el órgano de control (GCU o “Generator Control Unit”).

Se desprenden las ventajas siguientes:

- simplicidad y buena fiabilidad,
- coste de mantenimiento bajo,
- buen rendimiento,
- masa baja,
- funcionamiento con aparato de arranque, posible.

El sistema de la invención puede ser utilizado en los siguientes campos:

- generación principal, auxiliar y de último socorro de aeronaves;
- renovación de las flotas de aeronaves existentes para un incremento de la fiabilidad y un ahorro financiero;
- apertura a la competencia en el sector de las frecuencias fijas.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 ilustra un generador de corriente alterna de la técnica conocida.

La figura 2 ilustra el sistema de generación eléctrica de frecuencia fija de la invención.

La figura 3 ilustra el funcionamiento del sistema de la invención.

La figura 4 ilustra el funcionamiento del sistema de la invención en generador síncrono.

La figura 5 ilustra el funcionamiento del sistema de la invención en motor asíncrono.

Las figuras 6 y 7 ilustran respectivamente un procedimiento de control de la tensión y un procedimiento de control de la frecuencia del sistema de la invención, en el caso del funcionamiento en generador síncrono ilustrado en la figura 4.

Exposición detallada de modos de realización particulares

El sistema de generación de frecuencia fija de la invención es un convertidor electromecánico que permite alimentar cualquier carga eléctrica con energía, bajo la forma de tensiones trifásicas con valor eficaz y frecuencia constantes, a partir de una fuente mecánica de régimen variable.

La topología de este sistema 20 está basada en un sistema de tres etapas, según se ilustra en la figura 2:

- una etapa primaria 30 denominada “generador de imanes permanentes” (PMG) que proporciona la energía eléctrica que permite que el sistema sea autónomo,
- una etapa secundaria 21 de excitación, denominada “excitador”, que sirve para controlar la magnetización de una etapa terciaria 24,
- esta etapa terciaria 24, denominada “generador principal”, es la etapa de potencia de producción de energía eléctrica.

Una bomba 34 de aceite, conectada a un intercambiador térmico 44, permite refrigerar el sistema.

Un juego de engranajes 37, 38, 39 y 40 permite arrastrar en rotación el rotor 25 del generador principal 24 con una relación adaptada según la aplicación. Esto es igual con relación a lo que se refiere al excitador 21, al generador 30 de imanes permanentes, así como a la bomba 34 de aceite del circuito de refrigeración. El sistema está controlado por medio de un dispositivo electrónico “en tiempo real” basado en una arquitectura de microprocesador o DSP (procesador de señales digitales).

Este principio de generador de tres etapas permite evitar las conexiones de tipo anillo o escobilla en un intento de buena fiabilidad. Además, este sistema no comprende ni CSD (“Constant Speed Drive”) ni rectificador giratorio.

Este sistema 20 es tal que:

- el excitador 21 y el generador principal 24 tienen sus rotores 22 y 25 solidarios con un primer árbol 27, proporcionando el estator 26 del generador principal 24 la tensión de salida V_{sm} ,

ES 2 279 292 T3

- el generador 30 de imanes permanentes tiene su rotor 30 solidario con un segundo árbol 33,
- al menos una bomba de aceite del circuito 34 de refrigeración es solidaria con un tercer árbol 35.

5 Estos tres árboles 27, 33 y 35 están arrastrados por el árbol 36 de entrada, el cual es el árbol motor, por medio de los engranajes 37, 38, 39 y 40.

Un intercambiador térmico 44 se encuentra conectado, por la entrada y la salida, a la bomba de aceite del circuito 34 de refrigeración.

10 Un órgano 41 de control, que comprende un elemento rectificador 42 seguido de un ondulator trifásico 43, se encuentra conectado, por su entrada, al estator 32 del generador 30 de imanes permanentes y, por su salida, al estator 23 del excitador 21.

15 La figura 3 representa la topología general del sistema de la invención. Por razones de simplificación de la exposición, todas las bobinas se suponen bipolares y trifásicas. El principio se mantiene válido en el caso general de bobinas multipolares y/o polifásicas; de igual modo, el sentido de rotación del árbol de entrada puede ser o bien horario (CW) o bien anti-horario (CCW). Los rotores 22 y 25 del excitador 21 y del generador principal 24 son solidarios con el árbol principal 27, y portan bobinas trifásicas. Estas bobinas están interconectadas directamente. El árbol principal 27 y el árbol 36 de entrada se engranan uno con el otro con una relación de velocidades adaptada a la aplicación. La bobina estatórica 23 del excitador 21 sirve para producir el campo de excitación del sistema, y la bobina estatórica 26 del generador principal 24 es la etapa de potencia de producción de energía eléctrica.

Se tienen las siguientes magnitudes:

- 25 f_i : frecuencia de revolución del árbol 36 de entrada
- f_m : frecuencia de revolución del árbol principal 27;
- 30 f_{re} : frecuencia de rotor 22 de excitador;
- f_{se} : frecuencia de estator 23 de excitador;
- f_{rm} : frecuencia de rotor 25 de generador principal;
- 35 f_{sm} : frecuencia de estator 26 de generador principal.

El árbol 36 de entrada es arrastrado en régimen variable en el sentido de las agujas de un reloj (CW) a la frecuencia f_i . En consecuencia, el árbol principal 27 gira a una frecuencia f_m en sentido inverso (CCW). En hipótesis, la bobina estatórica 23 del excitador 21 está alimentada por corrientes trifásicas de manera que genera un campo magnético giratorio (teorema de Galileo Ferraris). Este campo tiene como frecuencia instantánea f_{se} y como amplitud máxima H_e , estando las dos controladas.

Para un observador situado sobre la bobina rotórica 22 del excitador 21, las frecuencias se combinan para dar lugar al nacimiento de fuerzas electromotrices trifásicas (ley de Faraday) de amplitud máxima E_{re} , proporcional a la amplitud máxima H_e , y de frecuencia $f_{re} = f_m + f_{se}$.

Por principio, las bobinas rotóricas 22 del excitador 21 están interconectadas eléctricamente de manera directa con las bobinas rotóricas 25 del generador principal 24. De ese modo, las fuerzas electromagnéticas trifásicas disponibles en el rotor 25 del excitador 21 dan lugar al nacimiento de corrientes trifásicas que atraviesan las bobinas rotóricas 25 del generador principal 24. La amplitud máxima I_{rm} de estas corrientes es proporcional a la amplitud E_{re} . La frecuencia f_{rm} de estas corrientes y la frecuencia de las fuerzas electromotrices que son el origen de f_{re} , son por tanto iguales: $f_{rm} = f_{re}$.

55 Para un observador situado sobre el rotor 25 del generador principal 24, el rotor 25 es inmóvil, pero es la sede de un campo magnético giratorio de frecuencia de revolución f_m y de amplitud H_m proporcional a I_{rm} .

Para un observador colocado sobre el estator 26 del generador principal 24, el rotor 25 gira mecánicamente en sentido contrario al de las agujas de un reloj (CCW), a una frecuencia de revolución f_m . A este movimiento se superpone un campo magnético que gira, en sí mismo, con relación al rotor 25 igualmente en sentido inverso al de las agujas de un reloj, a una frecuencia f_{rm} . En el estator 26, el campo magnético resultante de esta combinación es un campo giratorio en sentido inverso al de las agujas de un reloj a una frecuencia f_{sm} igual a la suma de las dos frecuencias: $f_{sm} = f_m + f_{rm}$. Las bobinas estatóricas 26 del generador principal 24 son por tanto la sede de fuerzas electromotrices trifásicas de amplitud máxima E_{sm} , proporcional a H_m , y de frecuencia f_{sm} .

65

ES 2 279 292 T3

Se obtiene un sistema de tres ecuaciones:

$$f_{re} = f_m + f_{se}$$

$$f_{rm} = f_{re}$$

$$f_{sm} = f_m + f_{rm}$$

La solución de este sistema da:

$$f_{sm} = 2.f_m + f_{se}$$

En hipótesis, se está en condiciones de controlar la frecuencia f_{se} de revolución del campo giratorio estatórico del excitador 21 según la ley siguiente: $f_{se} = f_{ref} - 2.f_m$. La frecuencia f_{ref} es la frecuencia eléctrica que se desea obtener y mantener constante.

Se obtiene entonces:

$$f_{sm} = 2.f_m + f_{se} = 2.f_m + (f_{ref} - 2.f_m) \Rightarrow f_{sm} = f_{ref}$$

Con una ley de excitación de ese tipo, el sistema de la invención está en condiciones de generar fuerzas electromotrices trifásicas de valor eficaz E_{sm} de frecuencia constante igual a f_{ref} cualquiera que sea el régimen de arrastre f_m . La desviación de frecuencia se compensa mediante una elección cuidadosa y una regulación en tiempo real de la frecuencia f_{se} del campo de excitación. El excitador 21 juega un papel doble: la excitación (regulación de E_{sm}), y la compensación de frecuencia (regulación de f_{se} para que $f_{sm} = f_{ref}$). Además, la potencia necesaria a nivel del estator 23 del excitador 21 es despreciable con relación a la que proporciona la etapa de potencia (generador principal 21), convertida desde la entrada mecánica.

Modos de funcionamiento

En la medida en que el sistema de la invención no incluye ningún elemento unidireccional por construcción (no hay diodos), resulta naturalmente reversible. Existen por tanto dos modos de funcionamiento (motor y generador):

- Cuando el árbol mecánico 27 es arrastrado en rotación y el sistema está excitado, la energía absorbida es mecánica y la energía generada es eléctrica. Aparecen tres tensiones en el estator 26 de la etapa principal cuya frecuencia es igual a la del campo que las ha ocasionado. Si existe la presencia de cargas eléctricas, se proporcionan tres corrientes trifásicas por parte del estator 26 de la etapa principal 24: se trata de un funcionamiento en generador síncrono (o alternador), como se ha ilustrado en la figura 4.

- Cuando el estator 26 de la etapa principal 24 está alimentado por tensiones trifásicas y el estator 23 del excitador 21 está cortocircuitado, la energía absorbida es eléctrica y la energía generada es mecánica, poniéndose el rotor 22 espontáneamente en rotación. La frecuencia de rotación del árbol mecánico 27 es siempre inferior o igual a la del campo del estator: se trata de un funcionamiento en motor asíncrono, como se ha ilustrado en la figura 5.

El control del sistema de la invención es posible gracias a ecuaciones escalares ya que la frecuencia de los modos perturbadores es baja frente a la de los otros modos. Se puede estar satisfecho de aportar correcciones al sistema sobre los valores medios de las magnitudes.

En un funcionamiento de tipo generador síncrono, las perturbaciones (no previsibles) son la frecuencia f_i del árbol 36 de entrada y la corriente I_{sm} de carga del generador 24. Las magnitudes que se han de regular son el valor eficaz de la tensión V_{sm} y la frecuencia f_{sm} de la etapa de potencia del sistema de la invención. Las magnitudes de control son el valor máximo de la corriente I_{se} de excitación y su frecuencia f_{se} . En un dispositivo de ese tipo, las perturbaciones son "lentas" frente a las magnitudes a regular. En efecto, en una aplicación aeronáutica, la inercia mecánica del reactor es grande y la frecuencia mecánica f_i del árbol 36 de entrada varía lentamente con relación a las otras magnitudes. Por otra parte, a causa de los efectos inductivos de la red eléctrica, las variaciones de las corrientes de carga siguen siendo "lentas".

** Funcionamiento en generador síncrono*

En un funcionamiento en generador síncrono, como se ha ilustrado en la figura 4, el sentido de transferencia de la energía ha sido indicado con la ayuda de las flechas 50 a 55. El árbol 36 de entrada es arrastrado en régimen variable por medio de una fuente de energía mecánica (caja de accesorios del reactor). Esta energía mecánica es convertida en energía eléctrica por medio del sistema de la invención, que la restituye en forma de tensiones y de corrientes trifásicas en el estator 26 de la etapa principal 24, y que son distribuidas a continuación por la red alterna (3x115 V-AC/400 Hz). El control del valor eficaz y de la frecuencia de estas tensiones se obtiene por medio de una acción sobre la corriente I_{se} de excitación. El estator 23 del excitador 21 está alimentado por un ondulator trifásico 43 que permite controlar, en tiempo real, la amplitud máxima de la corriente I_{se} de excitación, así como la frecuencia instantánea f_{se} . Las fuentes de energía que sirven para la alimentación del conjunto de dispositivos electrónicos de control, incluida la

ES 2 279 292 T3

fuentes de tensión primaria E del ondulator 43, son alimentadas de forma autónoma a partir del generador PMG 30 y de dispositivos rectificadores 42 a nivel de la calculadora 41 de control.

La figura 6 representa un esquema de bloques, en bucle cerrado, de un procedimiento de control de la tensión V_{sm} del sistema que se va a controlar, el cual está de hecho constituido por dos sub-sistemas: el generador eléctrico 20 y el ondulator trifásico 43 que lo alimenta.

Para el sub-sistema “generador” 20, la magnitud de salida a controlar es la tensión V_{sm} en el estator 26 de la etapa principal 24, mientras que la magnitud de control a la entrada es el valor máximo I_{se} de la corriente en el estator 23 del excitador 21. Otras dos magnitudes intervienen en el seno de este sub-sistema 20: la frecuencia f_i de rotación mecánica del árbol 36 de entrada y la corriente I_{sm} de carga del generador 24. Estas dos últimas magnitudes pueden ser medidas, pero no pueden ser controladas: se trata de perturbaciones.

Para el sub-sistema “ondulator” 43, la magnitud de salida a controlar es la corriente I_{se} de excitación a la entrada del excitador 21, mientras que la magnitud de control a la entrada es la relación cíclica α del ondulator 43 (por ejemplo $0 \leq \alpha \leq +1$). La perturbación de este sub-sistema es la tensión E de alimentación del ondulator 43, la cual, al ser producida a frecuencia variable por la etapa PMG 30, va a depender del régimen de arrastre y, por consiguiente, no puede ser controlada.

El procedimiento de control de la tensión V_{sm} está constituido por dos bucles de regulación: un bucle de “corriente de excitación: I_{se} ” un bucle de “tensión de salida: V_{sm} ”.

En relación con el bucle “ I_{se} ”, la relación cíclica α se calcula a partir de la diferencia instantánea ε_i entre la corriente I_{se} REF de excitación de referencia y la corriente “ I_{se} ” de excitación, real, medida por un captador. En este bucle, los parámetros de cálculo son la impedancia Z_e de entrada del estator 23 del excitador 21 y la tensión E de alimentación del ondulator 43.

En lo concerniente al bucle “ V_{sm} ”, la corriente I_{se} REF de referencia del ondulator 43 se calcula a partir de la diferencia instantánea ε_v entre la tensión V_{sm} REF de referencia (por ejemplo, 115 V) y la tensión “ V_{sm} ” de salida, real, medida por medio de un captador. Los rendimientos del procedimiento se ajustan por medio del bloque R_v (red correctora).

Este procedimiento permite obtener una tensión V_{sm} de salida que se mantiene igual a la tensión V_{sm} REF de referencia cualquiera que sea el estado de las perturbaciones externas f_i e I_{sm} .

La figura 7 representa un diagrama de bloques, en bucle cerrado (BF), de un procedimiento de control de la frecuencia f_{sm} del sistema que se ha de controlar. Al igual que en lo que antecede, el sistema a controlar está constituido por dos sub-sistemas “generador” 20 y “ondulator” 43.

Para el sub-sistema “generador” 20, la magnitud de salida a controlar es la frecuencia f_{sm} en el estator 26 de la etapa principal 24, mientras que la magnitud de control a la entrada es la frecuencia f_{se} de la corriente en el estator 23 de la etapa excitadora 21. La perturbación de este sub-sistema 20 es la frecuencia f_i de rotación mecánica del árbol 36 de entrada.

Para el sub-sistema “ondulator” 43, la magnitud de salida que se ha de controlar es la frecuencia f_{se} de la corriente de excitación a la entrada del excitador 21, mientras que la magnitud de control a la entrada es la relación de modulación β del ondulator 43 (por ejemplo, $-0,25 \leq \beta \leq +1,25$). Este parámetro β es igual a la relación de la frecuencia f_{se} de excitación instantánea con respecto a la frecuencia f_μ de modulación ($f_\mu = f_{se}$ ($n_i = \text{idle}$)).

El procedimiento de control de la frecuencia f_{se} está constituido por dos bucles de regulación: un bucle de “frecuencia de excitación: f_{se} ” y un bucle doble de “frecuencia de salida: f_{sm} ”.

En relación con el bucle “ f_{se} ”, la relación de modulación β se calcula a partir de la diferencia instantánea εf_{se} entre la frecuencia f_{se} REF de excitación de referencia y la frecuencia $\langle f_{se} \rangle$ de la corriente de excitación, calculada a partir de la medición en tiempo real de I_{se} (procedimiento de control de tensión). En este bucle, el parámetro de cálculo es la frecuencia f_μ de modulación.

En relación con el bucle “ f_{sm} ”, la frecuencia f_{se} REF de referencia del ondulator se calcula a partir de la diferencia instantánea εf_{sm} entre la frecuencia f_{se} REF de referencia (por ejemplo, 400 Hz), el doble $2 \times \langle f_{sm} \rangle$ de la frecuencia instantánea de rotación mecánica del rotor (medida a partir de las tensiones proporcionadas por la etapa PMG 30 y de la relación K_{GR} de engranajes) y, por último, la frecuencia real $\langle f_{sm} \rangle$ de salida del generador 24 calculada a partir de la medición en tiempo real de V_{sm} (procedimiento de control de tensión). Los rendimientos del sistema son ajustados por medio del bloque R_f (red correctora).

Este procedimiento de control de la frecuencia permite obtener una frecuencia f_{sm} de salida que se mantiene igual a la frecuencia f_{sm} REF de referencia cualquiera que sea el estado de la perturbación exterior f_i .

** Funcionamiento en motor asíncrono*

En un funcionamiento en motor asíncrono, según se ha ilustrado en la figura 5, el sentido de transferencia de la energía ha sido indicado con la ayuda de las flechas 60 a 66. Éste se ha invertido con relación a un funcionamiento en generador. El estator 26 de la etapa principal 24 está alimentado por un sistema de tensiones trifásicas provenientes de una fuente de potencia eléctrica exterior al dispositivo (3x115 V-AC/400 Hz): grupo de aparcamiento o generador APU). Una parte de la energía eléctrica así inyectada en el sistema 20 es extraída en el estator 23 del excitador 21 bajo la forma de corrientes trifásicas. Esta energía puede o bien ser disipada bajo la forma de efecto Joule (solución trivial) o bien ser convertida y reinyectada en una fuente eléctrica reversible SE (por ejemplo: red continua de 28 V-DC), de forma controlada, por medio de un convertidor estático de baja potencia. El resto de la energía, es decir, la mayor parte, se convierte en forma mecánica mediante la puesta en rotación del árbol 36 de entrada. En el caso de recuperación sobre una red continua, el control de la relación cíclica γ y del seccionador 43' permite controlar la corriente I_{sm} de carga en la fuente de potencia externa durante la secuencia de arranque.

Ejemplos de utilización del sistema de la invención

El sistema de la invención puede ser utilizado, especialmente, en una aeronave como generador principal, auxiliar y/o como generador de último socorro.

Por ejemplo, el sistema de la invención puede estar montado en la caja de accesorios de un turbo-ventilador cuyo régimen en el árbol de entrada del generador varía desde 4500 rpm (ralentí del motor, en tierra, $f_i = 75$ Hz), hasta 9000 rpm (frecuencia máxima, en el despegue, $f_i = 150$ Hz). Mediante una relación de engranajes de 1,333, se obtiene una frecuencia mecánica en el rotor 25 del sistema tal como: $100 \text{ Hz} \leq f_m \leq 200 \text{ Hz}$ en régimen normal.

Si se elige generar tensiones a una frecuencia $f_{sm} = 400$ Hz, la ley de control de la excitación debe ser la siguiente:

- al ralentí del motor ($f_m = 100$ Hz): $f_e = 200$ Hz
- en el despegue ($f_m = 200$ Hz): $f_e = 0$ Hz
- a un régimen dado entre 4500 y 9000 rpm ($f_m = 400 \psi$; $0,25 \leq \psi \leq 0,50$): $f_e = 400 (1-2 \psi)$.

Esta ley de excitación permite muy bien generar una frecuencia de 400 Hz constante en el intervalo de 4500-9000 rpm.

** Generación principal*

Si se utiliza un generador principal, el sistema de la invención está acoplado a la caja de accesorios y es arrastrado mecánicamente por el motor. En funcionamiento normal, el sistema de la invención se comporta como un generador síncrono (alternador trifásico).

Si por cualquier razón, el régimen de arrastre llega a superar el umbral de 9000 rpm ("engine over-speed"), el sistema de la invención sigue siendo controlable con la condición de invertir el sentido de rotación del campo de excitación ($f_{se} < 0$) para ralentizar el campo H_m , con relación a la frecuencia del rotor 25.

En la medida en que el sistema de la invención es reversible en virtud de su configuración (ningún elemento unidireccional), puede ser utilizado en motor eléctrico para arrancar el motor de la aeronave. Para obtener un modo de funcionamiento en motor asíncrono, el estator 23 del excitador 21 debe ser cortocircuitado de manera controlada, o bien se debe transferir la energía por la red eléctrica de manera controlada por medio de un convertidor estático. Por otra parte, el estator 26 del generador principal 24 debe ser alimentado por la red alterna en modo trifásico. El sentido de transferencia de las energías se invierte.

** Generación de último socorro*

Si se utiliza en generador de último socorro, el sistema de la invención se acopla a una eoliana (hélice de paso variable). En caso de pérdida de los generadores principales, este conjunto se despliega por el exterior de la aeronave y es arrastrado en rotación por la velocidad del aire. En ese momento, el sistema de la invención asegura la disponibilidad de los sistemas esenciales de la aeronave.

** Generación auxiliar*

Si se utiliza en generador auxiliar, el sistema de la invención puede ser utilizado para alimentar la aeronave en tierra, con los motores apagados. Éste puede servir igualmente para arrancar el generador APU ("Auxiliary Power Unit") en un funcionamiento en motor.

REIVINDICACIONES

1. Sistema de generación eléctrica de frecuencia fija susceptible de ser dispuesto a la salida de un motor de régimen variable, que comprende:

una etapa primaria (30), que consiste en un generador de imanes permanentes, que proporciona la energía a dicho sistema permitiéndole que sea autónomo,

una etapa secundaria (21), que consiste en un excitador que controla la magnetización de una etapa terciaria,

esta etapa terciaria (24), que es un generador principal, que constituye la etapa de potencia en la producción de energía eléctrica,

en el que la etapa secundaria (21) y la etapa terciaria (24) tienen sus rotores (22 y 25) solidarios con un primer árbol (27), proporcionando el estator (26) de la etapa terciaria (24) la tensión (V_{sm}) de salida, en el que la etapa primaria (30) tiene su rotor (31) solidario con un segundo árbol (33),

caracterizado porque comprende al menos una bomba (34) de aceite del circuito de refrigeración que es solidaria con un tercer árbol (35), y porque estos tres árboles (27, 33 y 35) están arrastrados por el árbol (36) de entrada, que es el árbol del motor, a través de engranajes (37, 38, 39 y 40).

2. Sistema según la reivindicación 1, en el que el rotor (31) del generador (30) de imanes permanentes está arrastrado por el árbol (36) del motor, y su estator (32) alimenta un órgano (41) de control exterior.

3. Sistema según la reivindicación 2, en el que el estator (23) del excitador (21) está alimentado por corrientes trifásicas de frecuencia variable que provienen de un ondulator (43) de corriente trifásica de dicho órgano (41) de control exterior.

4. Sistema según la reivindicación 3, en el que el rotor (25) del generador principal (24) es solidario con el rotor (22) del excitador (21), y está arrastrado por el árbol (36) del motor, estando sus bobinas rotóricas trifásicas interconectadas con las del excitador.

5. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende un árbol (36) de entrada arrastrado en régimen variable, y que convierte la energía mecánica en energía eléctrica para restituirla en forma de tensiones y de corrientes trifásicas en el estator (26) de la etapa principal (24), que son distribuidas a continuación por una red alterna.

6. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en el que el estator (26) de la etapa principal (24) está alimentado por tensiones trifásicas, y el estator (23) del excitador (21) está cortocircuitado, siendo eléctrica la energía absorbida y siendo mecánica la energía generada.

7. Sistema según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende un convertidor estático que permite transferir la energía por la red eléctrica de forma controlada.

8. Procedimiento de control del sistema según la reivindicación 5, en el que se controla la tensión (V_{sm}) en el estator de la etapa principal (24), y que comprende dos bucles de regulación:

- un bucle de corriente de excitación, y
- un bucle de tensión de salida.

9. Procedimiento de control del sistema según la reivindicación 5, en el que se controla la frecuencia del sistema, que comprende:

- un bucle de frecuencia de excitación, y
- un bucle de frecuencia de salida.

10. Utilización del sistema de la invención según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en una aeronave como generador eléctrico y/o como motor eléctrico.

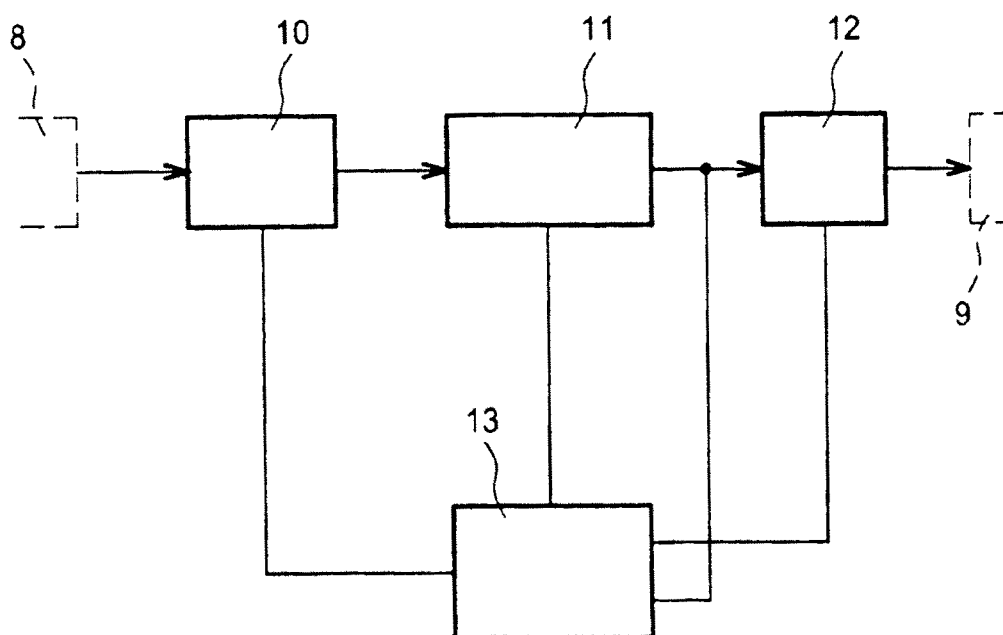


FIG. 1

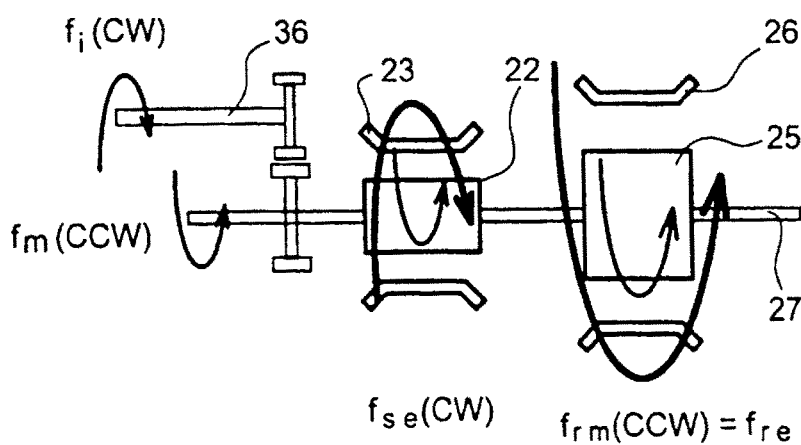


FIG. 3

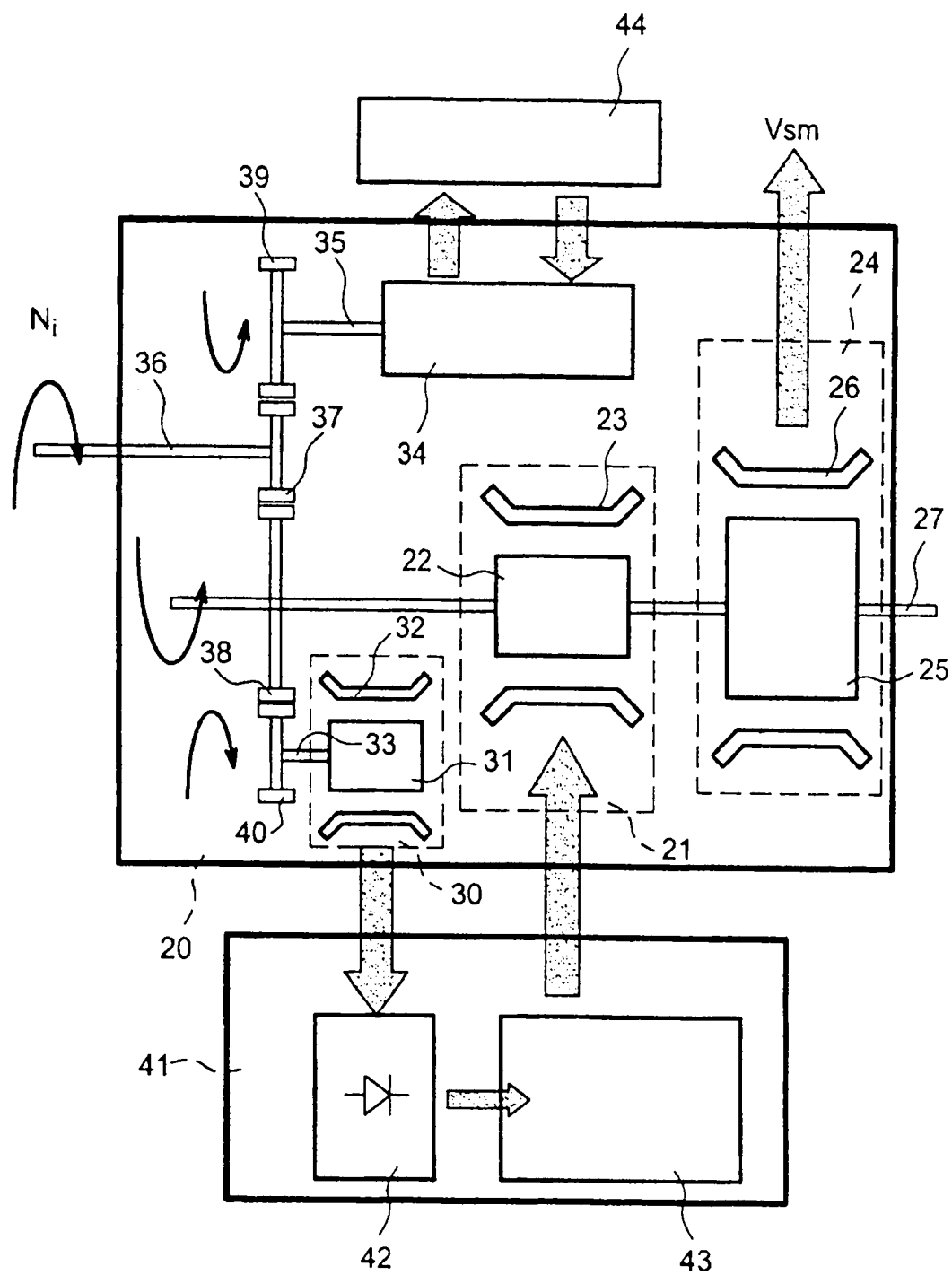


FIG. 2

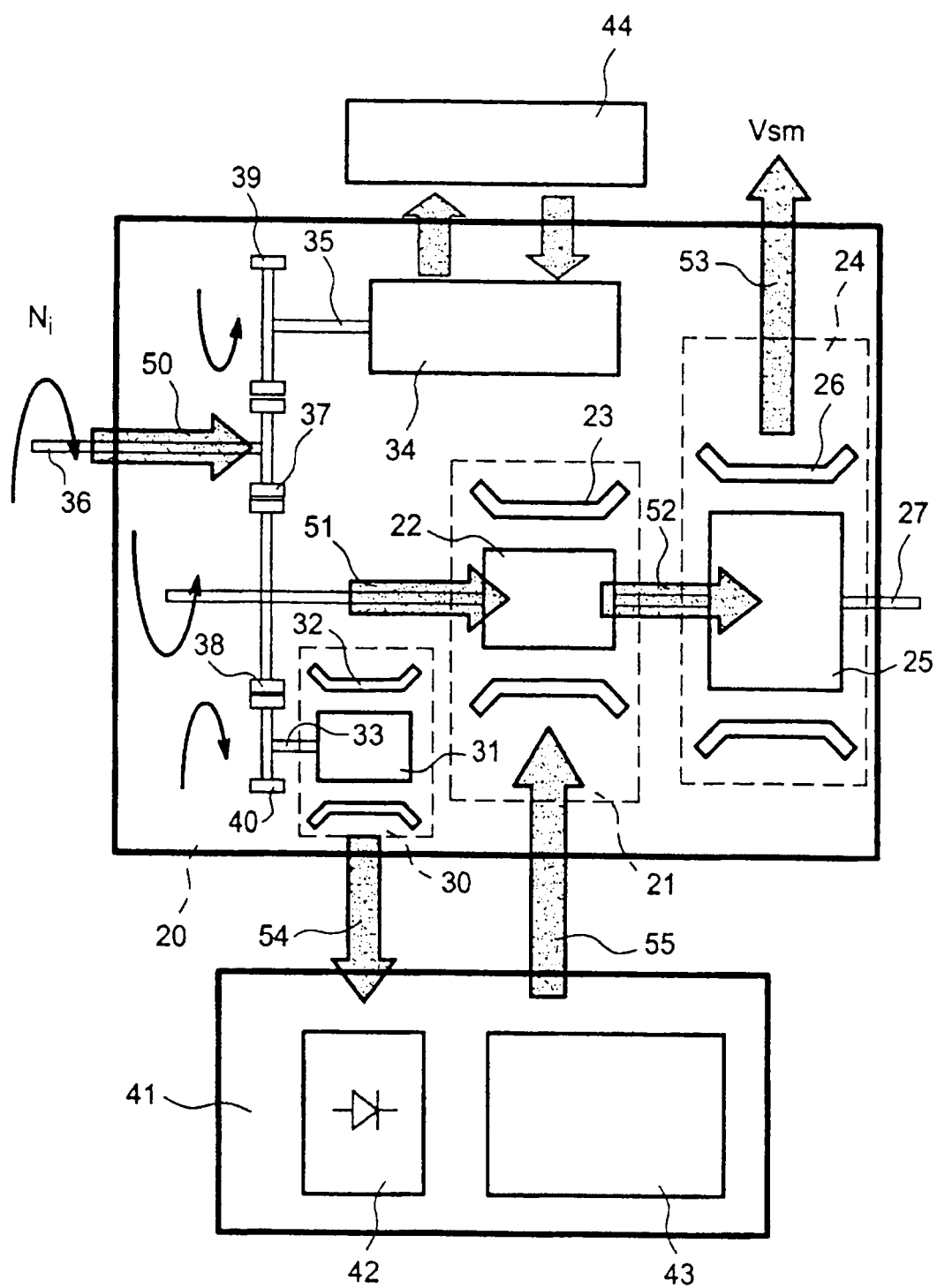


FIG. 4

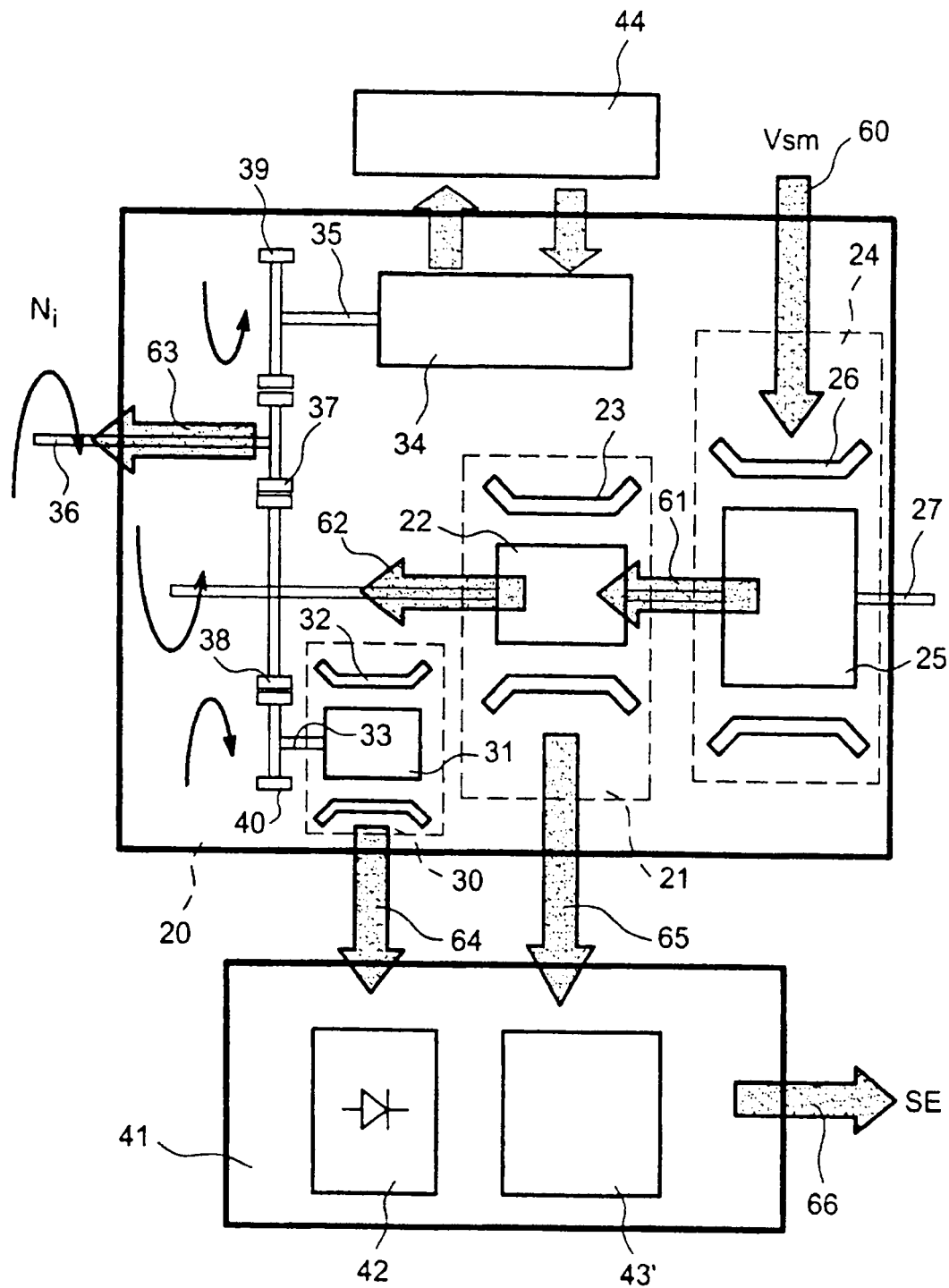


FIG. 5

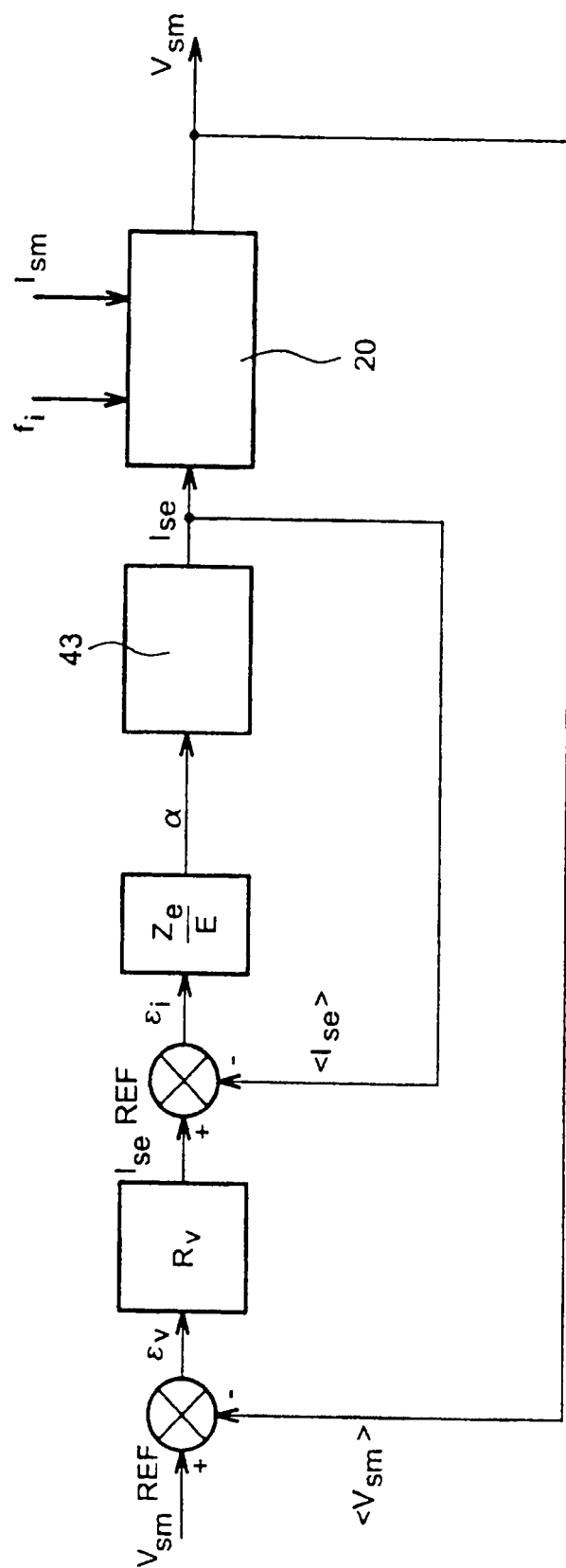


FIG. 6

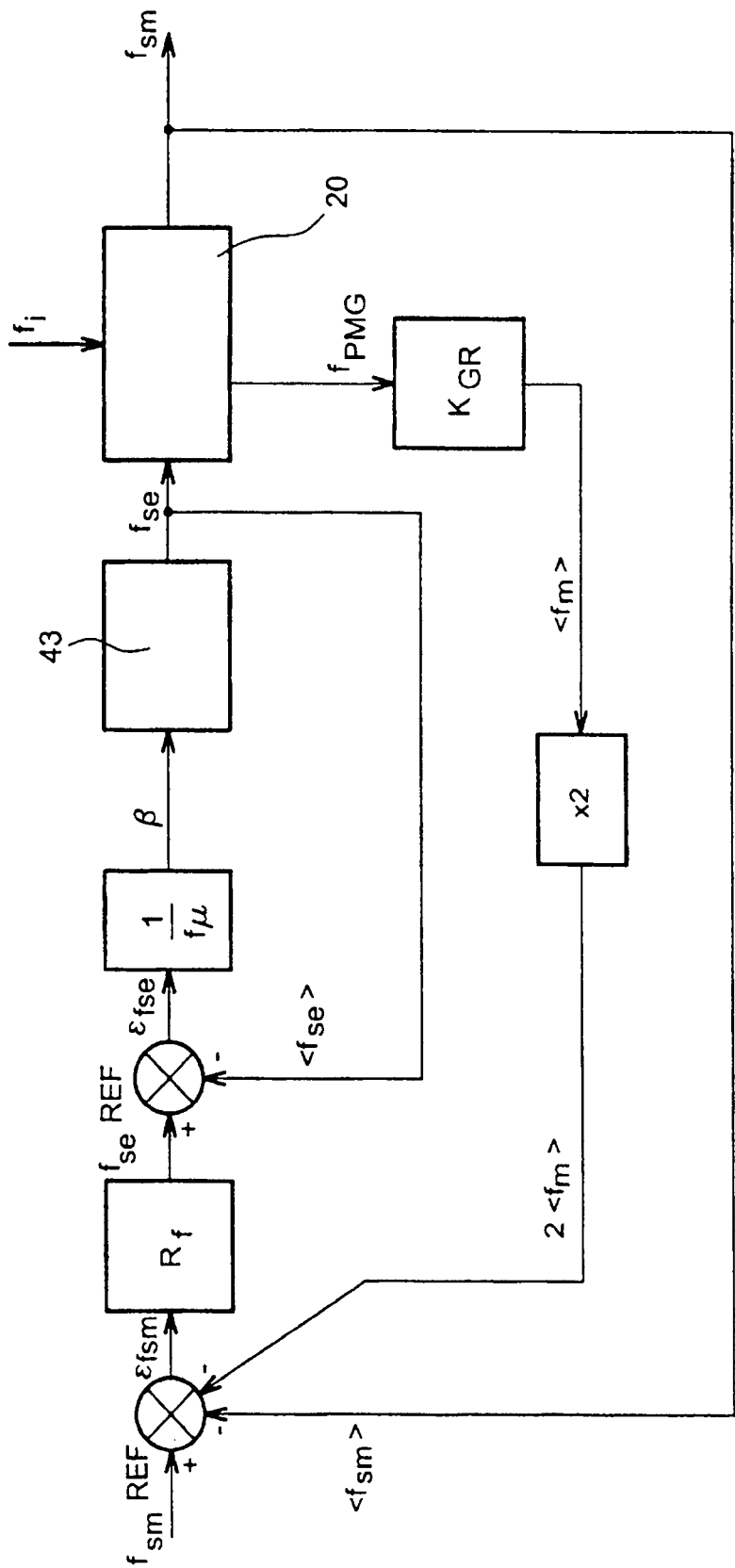


FIG. 7