

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 920 893**

51 Int. Cl.:

H02P 9/04 (2006.01)

H02P 9/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **27.02.2017 PCT/US2017/019745**

87 Fecha y número de publicación internacional: **31.08.2017 WO17147595**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2017 E 17711840 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.05.2022 EP 3420632**

54 Título: **Sistema y método para un sistema de control integrado para un grupo electrógeno diésel**

30 Prioridad:

25.02.2016 US 201662299774 P

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

11.08.2022

73 Titular/es:

**BASLER ELECTRIC COMPANY (100.0%)
12570 State Route 143
Highland, IL 62249, US**

72 Inventor/es:

**KIM, KIYONG y
BURNWORTH, JEFFREY A.**

74 Agente/Representante:

VÁZQUEZ FERNÁNDEZ-VILLA, Concepción

ES 2 920 893 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

Sistema y método para un sistema de control integrado para un grupo electrógeno diésel

5 **Referencia cruzada a solicitud relacionada**

Esta solicitud reivindica prioridad sobre la solicitud de patente provisional estadounidense n.º 62/299.744, presentada el 25 de febrero de 2016.

10 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere a generadores de potencia de corriente alterna y, más específicamente, a un sistema y un método para un sistema de control integrado para un grupo electrógeno diésel.

15 **Antecedentes de la técnica**

Los grupos electrógenos se usan para proporcionar electricidad para sistemas de generación de energía distribuida que incluyen generación de reserva de energía primaria y soporte de red. La desregulación de las compañías eléctricas ha dado como resultado que muchos clientes utilicen sus grupos electrógenos diésel de reserva para mejorar la calidad de la energía o para evitar tarifas eléctricas máximas. El documento US 2016/025023 A1 describe un sistema y un método para una característica de anticipación de carga y su método de ajuste para un grupo electrógeno. Dicho grupo electrógeno incluye un motor diésel, un generador que tiene una tensión de terminal, un excitador que tiene una tensión de campo de excitador, un elemento de regulación de velocidad que tiene una referencia de velocidad de generador y una primera interfaz de comunicaciones, y un regulador de tensión automático que tiene una tensión de referencia de generador y una segunda interfaz de comunicaciones. Un control de anticipación de carga (LAC) añade una señal de prealimentación, proporcional al cambio en la carga de potencia real, al punto de suma de error del elemento de regulación de velocidad.

El documento US 2006/082936 A1 describe sistemas de protección anti-formación de islas para generadores distribuidos basados en máquinas síncronas. Según este documento, resulta beneficioso filtrar la tensión y la velocidad medidas para detectar rápidamente cambios debido a interrupciones de carga.

Un grupo electrógeno a menudo consiste en un motor diésel, una máquina síncrona y dos controladores: un elemento de regulación de velocidad y un regulador de tensión automático. La máquina síncrona emplea un rotor de polos salientes. La figura 1 ilustra una disposición de grupo electrógeno del sistema 20 de la técnica anterior. Los componentes básicos del sistema 20 incluyen componentes indicados también en la figura 2 con los mismos números. Esos componentes incluyen un generador 28, un excitador 26, un regulador 22 de tensión automático (AVR), un amplificador 24, un elemento 30 de regulación de velocidad y su bomba 32 de combustible relacionada. El elemento 30 de regulación se ha usado para mantener constante la velocidad ω 52 de generador. El elemento 30 de regulación responde a los cambios en la velocidad ω 52 de generador para actuar como controlador de realimentación para controlar la tasa de combustible de la bomba 32 de combustible para minimizar de ese modo las desviaciones por un cambio repentino en la carga de potencia real del grupo electrógeno.

En la figura 1, V_{ref} 34 es una referencia de tensión de generador, V_t 36 es la tensión de terminal de generador y E_{fd} es la tensión 37 de campo del excitador 26. P_e 40 representa la carga de potencia real, determinada a partir de V_t^2/R , donde R es una carga resistiva. Además, en $1/2H$ 42, H representa el momento de inercia total de las piezas rotatorias del motor diésel y del generador, T_m 44 representa el par mecánico en cuanto a las partes rotatorias del motor diésel y del generador, T_f 46 representa el par de fricción de las piezas rotatorias del motor diésel y del generador, $T_{máx}$ 48 representa el par máximo en cuanto a la rotación del motor diésel y del generador, y ω_{ref} 50 es la referencia de velocidad de generador y ω 52 representa la velocidad del generador. La "s" en el bloque 54 de $1/s$ es el operador de Laplace (también mostrado a veces en las figuras como "S").

El AVR 22 mantiene constante la tensión de terminal de generador controlando la corriente de campo al excitador 26 a través del control de realimentación sumando 56 la tensión V_t 36 de terminal de generador con la referencia V_{ref} 34 de tensión de generador. La tensión V_t 36 de terminal de generador se determina multiplicando 58 la tensión de salida de generador por la velocidad ω 52 de generador. Algunos AVR modernos basados en microprocesador se implementan con control proporcional, integral y derivativo (PID) para estabilización y diversos sistemas de control complementarios. Tales reguladores digitales conocidos han usado un controlador 23 de PID en la trayectoria directa tal como se muestra en la ilustración del sistema 20 de la técnica anterior en la figura 1. Un control de PID de este tipo puede implementarse dentro del AVR. Tales grupos electrógenos de la técnica anterior, como los mostrados en la figura 1, incluyen limitadores, un controlador de factor de potencia/voltamperio reactivo, funcionalidad de ajuste, características de protección y monitorización, tal como se describe en el artículo: K. Kim, M.J. Basler y A. Godhwani, "Supplemental Control in a Modern Digital Excitation System", IEEE Power Engineering Society Winter Meeting 2000, Singapur.

65

La carga P_e 40 de potencia real se alimenta al bucle de control de velocidad a través del $1/\omega$ 52, mostrado como el bloque 60. El valor nominal de la velocidad ω 52 de generador es 1,0 por unidad. El bloque $1/\omega$ 60 aclara la conversión de unidades de potencia eléctrica a par para el bucle de control de velocidad. El bucle de control de velocidad proporciona control de realimentación de la velocidad ω 52 de generador restando 62 la velocidad ω 52 de generador de la referencia ω_{ref} 50 de velocidad del generador.

A diferencia de los generadores grandes, se espera que muchos grupos electrógenos cambien el funcionamiento desde sin carga hasta carga completa en una sola aplicación de carga escalonada. Esto puede provocar grandes cambios en la velocidad ω 52 de generador o el calado del motor.

Un aumento repentino en la carga de potencia real del grupo electrógeno provoca un aumento del par de carga en el motor. Dado que el par de carga supera el par del motor y el elemento de regulación del motor no puede responder instantáneamente, la velocidad ω 52 de generador disminuye. Después de detectar esta desaceleración, el elemento de regulación aumenta el suministro de combustible al motor. Dado que la tensión generada es proporcional a la velocidad ω 52 de generador, la tensión de salida de generador disminuye debido a la reacción del inducido y las caídas de tensión internas. El regulador de tensión compensa aumentando la corriente de campo de la máquina. La figura 1 muestra modelos simplificados de grupos electrógenos con acoplamiento cruzado cuando se aplica carga resistiva, a través de la interacción entre el control de tensión y velocidad.

Se usa la norma internacional ISO8528-5, "Grupos electrógenos de corriente alterna accionados por motores alternativos de combustión interna - Parte 5: Especificaciones para grupos electrógenos", 1993, para evaluar el rendimiento del grupo electrógeno diésel. Un grupo electrógeno se clasifica basándose en una serie de indicadores clave de rendimiento. Para los grupos electrógenos modernos con una clasificación G2, la desviación de tensión máxima desde el punto de referencia nominal para una aceptación de carga repentina no debe superar el 20%. La desviación máxima de frecuencia eléctrica no debe superar el 10%. El tiempo de recuperación de tensión debe ser menor de seis segundos y el tiempo de recuperación de frecuencia debe ser menor de cinco segundos. Dado que la potencia real es proporcional al cuadrado de la tensión, un AVR de acción rápida impide significativamente la recuperación de la velocidad ω 52 de generador al recuperar rápidamente la tensión; por tanto, se coloca más carga en el motor.

Una forma común de reducir la caída de velocidad ω 52 de generador es proporcionar una caída de tensión adicional durante las caídas de velocidad. Esto permite una recuperación más rápida del motor al reducir la potencia real. En los AVR modernos se usan diversos ajustes de punto de referencia de tensión (esquemas de subfrecuencia). También se sugiere un módulo de ajuste de carga (LAM) en el artículo: KD Chambers, D. J. McGowan y D.J. Morrow, "A Digital Load Relief Scheme for a Diesel Generating Set". IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 13, n.º 2, junio de 1998, incorporado en el presente documento en su totalidad como referencia, que reduce temporalmente la tensión durante un transitorio y, por tanto, ayuda a la recuperación de la velocidad ω 52 de generador. Sin embargo, la reacción del elemento de regulación a un cambio en la velocidad ω 52 de generador es mucho más lenta que un cambio en la potencia real. Además, el bucle de tensión se ve afectado por la respuesta de velocidad porque la tensión de generador es proporcional a la velocidad de generador.

Tal como se indicó anteriormente, en sistemas de control de grupos electrógenos, el AVR 22 proporciona regulación de tensión y el elemento 30 de regulación controla la velocidad del motor cuando el grupo electrógeno está funcionando en modo isla. Sin embargo, una práctica de diseño convencional es diseñar el AVR y el elemento de regulación independientemente aunque exista una interacción entre el control de tensión y velocidad tal como se muestra en la figura 1. Por tanto, es común tener situaciones en las que esto crea problemas tal como durante una prueba de aceptación de carga de fábrica para un grupo electrógeno fabricado.

El rendimiento del motor se ve afectado de manera no lineal por cambios en la carga y la velocidad de funcionamiento. Se introdujo un control de supervisión para considerar el mapa de límite de par y humo, tal como se comenta en la publicación A.R. Cooper, D.J. Morrow y K.D.R. Chambers, "Development of a Diesel Generating Set Model for Large Voltage and Frequency Transients", IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 13, n.º 2 de junio 1998. La respuesta de la velocidad ω 52 de generador a una gran carga real no es lineal y también se ve afectada por la respuesta del regulador de tensión, tal como se comenta en dicha publicación de Cooper, y en Seung-Hwan Lee, Jung-Sik Yim, Joon-Hwan Lee y Seung-Ki Sul, "Design of Speed Control Loop of A Variable Speed Diesel Engine Generator by Electric Governor", Industry Applications Society Annual Meeting, 2008. IAS '08. IEEE, págs. 1-5, 2008.

Cuando se aplica una gran carga de potencia real, la velocidad de generador se reduce y, en consecuencia, también lo hace la tensión de generador. Por tanto, el elemento de regulación aumenta el suministro de combustible del motor al máximo y el AVR aumenta la excitación para mantener la tensión de terminal en el valor nominal. La reacción del AVR deteriora la caída de velocidad y la recuperación.

Un sistema y un método de control convencional implementa diversas características de subfrecuencia para mejorar el rendimiento de velocidad mediante la coordinación de un compromiso entre la velocidad ω 52 de generador y la

desviación de tensión. Desgraciadamente, no es fácil obtener los parámetros para que este enfoque logre el rendimiento requerido. El AVR está diseñado basándose en una forma lineal, aunque los sistemas de control de grupos electrógenos se vuelven no lineales como resultado de la interacción de la tensión de generador y el bucle de velocidad ω 52 de generador. Por tanto, el uso de salidas de control basadas en la forma lineal puede provocar sobreimpulsos tanto en la velocidad de generador como en los bucles de regulación de tensión.

Sumario de la invención

Esta solicitud da a conocer un método y un sistema de control integrado que desacopla los términos de acoplamiento cruzado entre los bucles de control de tensión y velocidad cuando se aplica o elimina la carga nominal. La divulgación del sistema de control integrado comprende un subsistema de control de linealización por realimentación (FLC) que elimina el término de acoplamiento cruzado en el bucle de regulación de tensión. El método y el sistema de control integrado integran el subsistema de FLC con un subsistema y un método de control de anticipación de carga (LAC, también conocido como LAF). El subsistema y el método de LAC actúan íntegramente con el FLC para reducir eficazmente la desviación de velocidad ω 52 de generador. La invención se expone en la reivindicación 1 independiente de método y en la reivindicación 7 independiente de aparato. Las realizaciones preferidas se definen en las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 muestra modelos simplificados de grupos electrógenos de la técnica anterior con acoplamiento cruzado cuando se aplica una carga restrictiva;

la figura 2 ilustra un diagrama de bloques de un sistema informático adecuado para su uso con los métodos y sistemas de control integrados, según diversas realizaciones de sistemas de control de grupos electrógenos, que da a conocer la invención, incluyendo las trayectorias de señal para el subsistema de control de linealización por realimentación (FLC) integrado con un subsistema de control de anticipación de carga (LAC), según una realización a modo de ejemplo;

la figura 3 (a) muestra un diagrama esquemático que comprende un sistema informático adecuado para su uso con los métodos y sistemas de control integrados, según diversas realizaciones de la invención, que ilustra un ejemplo del subsistema de FLC, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 3 (b) muestra un diagrama esquemático que comprende un sistema informático adecuado para su uso con los métodos y sistemas de control integrados, según diversas realizaciones, que ilustra un ejemplo del subsistema de control de anticipación de carga (LAC), según una realización a modo de ejemplo;

la figura 4 (a) es un gráfico que ilustra respuestas de tensión en una prueba en la que se aplicaron una carga de potencia real y una carga de 0,8 PF, y se aplicó una variación de tensión del 5%, que ilustra el efecto de acoplamiento cruzado que crea oscilaciones en el bucle de tensión, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 4 (b) es un gráfico que ilustra respuestas de tensión en una prueba en la que se aplicaron una carga de potencia real y una carga de 0,8 PF, y se aplicó una variación de tensión del 5%, que ilustra el efecto de acoplamiento cruzado que crea oscilaciones en el bucle de velocidad, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 5 (a) ilustra un efecto de acoplamiento cruzado en una prueba cuando se aplicó una variación de velocidad del 2% con diversas cargas, mostrando la figura 5 (a) las respuestas oscilatorias observadas en el bucle de tensión, según una realización a modo de ejemplo;

la figura 5 (b) ilustra un efecto de acoplamiento cruzado en una prueba cuando se aplicó una variación de velocidad del 2% con diversas cargas, mostrando la figura 5 (b) las respuestas oscilatorias observadas en el bucle de velocidad, según una realización a modo de ejemplo;

las figuras 6 (a) y 6 (b) muestran comparaciones de respuestas de grupo electrógeno con motivo de una carga de 100 kW aplicada, mostrando la figura 6 (a) respuestas de tensión y mostrando la figura 6 (b) respuestas de velocidad, (identificado como "PROPUESTO"), según una realización a modo de ejemplo;

las figuras 7(a) y 7(b) ilustran una comparación de las respuestas de tensión de generador y velocidad ω 52 de generador a un rechazo de carga repentina de 100 kW con el esquema de AVR convencional y un esquema de control integrado propuesto que incluye el FLC y el LAC, (identificado como "PROPUESTO"), según una realización a modo de ejemplo;

las figuras 8(a) y (b) ilustran una comparación de las respuestas de tensión de generador y velocidad ω 52 de generador a una aplicación de carga repentina de 100 kW con un esquema de AVR convencional y tres esquemas de control novedosos diferentes: el AVR convencional con el FLC solo, con el LAC solo y con el FLC y el LAC (identificado como "PROPUESTO") , según una realización a modo de ejemplo;

la figura 9 es un diagrama de bloques de un sistema informático adecuado para su uso con los sistemas y métodos que usan los subsistemas de FLC y LAC y los métodos dados a conocer en el presente documento según diversas realizaciones.

5

Descripción detallada de la realización preferida

Los inventores han desarrollado un sistema y un método eficaces para coordinar e integrar las interacciones entre los bucles de control de tensión y velocidad para minimizar los términos de acoplamiento cruzado. Esta solicitud da a conocer un sistema 70 de control integrado tal como se muestra en la figura 2, que desacopla los términos de acoplamiento cruzado entre los bucles de control de tensión y velocidad cuando se aplica la carga nominal. La figura 2 muestra que el sistema 70 de control integrado mide el cambio en la potencia real y añade una señal de prealimentación, proporcional al cambio en la potencia real, al punto de suma de error del elemento de regulación durante condiciones transitorias.

15

Las figuras 2 y 3 ilustran diagramas esquemáticos que comprenden un sistema 70 de control integrado implementado por ordenador adecuado para su uso con los métodos y sistemas de control integrados de la invención. Cada bloque en las figuras 2 y 3 representa una función de transferencia en la forma del operador de Laplace. En la descripción que sigue para las figuras 2-3, se hace referencia al/a los bloque(s) de función de transferencia que se describen mediante la parte de una función o efecto del sistema físico, o mediante la función de software, que representan esos bloques.

20

La figura 2 ilustra un subsistema 72 de control de linealización por realimentación (FLC), para eliminar el término de acoplamiento cruzado en el bucle de regulación de tensión y un subsistema 74 de control de anticipación de carga (LAC), para reducir eficazmente la velocidad ω 52 de generador. La figura 2 muestra las trayectorias de señal para dicho subsistema 72 de FLC y subsistema 74 de LAC integrados entre sí, y un sistema de control de tensión y velocidad convencional. El sistema 70 de control integrado pueden funcionar solo, en combinación con el subsistema 72 de FLC, en combinación con el subsistema 74 de LAC, o en combinación con el subsistema 72 de FLC y el subsistema 74 de LAC.

25

30

Generalmente, el subsistema 72 de FLC al que se hace referencia en la figura 2 y en la figura 3(a) se usa para eliminar la no linealidad del bucle de regulación de tensión, ya que la tensión de generador, V_t 36, es proporcional a la velocidad ω 52 de generador con excitación constante. La no linealidad provocada por la velocidad ω 52 de generador se elimina si se elimina la desviación de tensión provocada por un cambio en la velocidad ω 52 de generador. Este objetivo puede lograrse si la señal de realimentación del AVR 22 se usa con la tensión V_t 36d de generador detectada dividida entre la velocidad ω 52 de generador por unidad. La tensión V_t 36d de generador detectada puede determinarse mediante cualquier medio conocido en la técnica. Dado que los bucles de control de tensión y velocidad se desacoplan por el subsistema 72 de FLC, puede obtenerse una respuesta lineal a partir del bucle de regulación de tensión y velocidad.

35

40

El subsistema 72 de FLC se implementa modificando la tensión de generador para la trayectoria de realimentación del AVR 22, tal como se ilustra en la figura 3 (a). La tensión V_t 36 de generador es proporcional a la velocidad ω 52 de generador cuando se aplica excitación constante. Por tanto, la desviación de tensión provocada por un cambio en la velocidad ω 52 de generador se elimina si la señal de realimentación del AVR 22 usada con la tensión de terminal de generador, V_t 36, se divide entre la velocidad ω 52 de generador medida por unidad. El filtro 76 de paso bajo con constante T_{FL} de tiempo y el operador de Laplace "S" elimina el ruido de medición en la tensión de generador, V_t 36. La T_{FL} de tiempo del filtro 76 de paso bajo se determina como aproximadamente el uno por ciento del tiempo de aumento de la respuesta de variación de tensión, oscilando los valores entre 0 y 0,1 segundos. Se usó el valor de 0,01 para un grupo electrógeno en las pruebas comentadas más adelante en el presente documento. La tensión de terminal de generador filtrada, V_t 36, se muestra como "x" en la figura 3(a). El filtro 76 de paso bajo también puede ser un filtro de respuesta de impulso finito (FIR), filtros de orden superior, o un filtro de paso bajo de tipo Butterworth. Un experto en la técnica reconocerá que podrían usarse otros tipos de filtros, tal como un filtro de paso de banda, y que podrían usarse otros esquemas de control, tal como control de lógica difusa, para obtener resultados sin apartarse del alcance de la presente divulgación.

50

55

Dado que la velocidad ω 52 de generador varía lentamente, el filtro 78 de paso bajo con constante T_{FL} de tiempo y operador de Laplace "S" elimina el ruido de medición en la velocidad ω 52 de generador. La constante T_{FL} de tiempo del filtro 78 de paso bajo se determina como aproximadamente el uno por ciento del tiempo de aumento de la respuesta de variación de tensión, oscilando los valores desde 0 hasta 0,1 segundos. Se usó el valor de 0,01 para un grupo electrógeno en las pruebas comentadas más adelante en el presente documento. Aunque el filtro 76 de paso bajo y el filtro 78 de paso bajo se muestran en la figura 3(a) usando la misma constante T_{FL} de tiempo, un experto en la técnica reconocerá que estos filtros podrían usar valores de constante de tiempo diferentes sin apartarse del alcance de la presente divulgación. El filtro 78 de paso bajo también puede ser un filtro de respuesta al impulso finita (FIR), filtros de orden superior o un filtro de paso bajo de tipo Butterworth. Un experto en la técnica reconocerá que podrían usarse otros tipos de filtros, tal como un filtro de paso de banda, y que podrían usarse otros

60

65

esquemas de control, tal como control de lógica difusa, para obtener resultados similares sin apartarse del alcance de la presente divulgación.

La velocidad ω 52 de generador filtrada se muestra como “y” en la figura 3(a). La tensión de terminal de generador filtrada, V_t 36, se divide 80 entre la velocidad ω 52 de generador filtrada para producir la tensión de generador linealizada por realimentación, V_{t_FLC} 84, y se dirige al bloque 82 de habilitación.

La tasa de cambio en la potencia real de generador (ΔP_{e1} 88) se determina usando el filtro 100 de lavado que tiene una constante T_{W1} de tiempo. La constante T_{W1} de tiempo se determina que es aproximadamente el uno por ciento del tiempo de aumento del de tensión requerido, con valores recomendados desde 0 hasta 0,1 segundos. Se usó el valor de 0,01 para un grupo electrógeno en las pruebas comentadas más adelante en el presente documento. Un experto en la técnica reconocerá los métodos distintos a un filtro de lavado, tal como un filtro de paso bajo con una diferenciación numérica tal como $\Delta P_e = [P(t) - P(t - T_s)] / T_s$ donde T_s es un tiempo de muestreo, que representa la tasa de cambio de la potencia real, por ejemplo control de lógica difusa.

A continuación, tal como se muestra en la figura 3 (a), se compara el valor absoluto de ΔP_{e1} 90 en 92 con un parámetro ΔP_{e_UMBRAL} 94 programable, que puede oscilar entre 0 y 10 por unidad por segundo. Se usó el valor de 2 para un grupo electrógeno en las pruebas comentadas más adelante en el presente documento.

Si ΔP_{e1} 90 es mayor que ΔP_e UMBRAL 94, entonces la salida 94 de habilitación es verdadera. Si ΔP_{e1} 90 no es mayor que ΔP_e UMBRAL 94, entonces la salida 94 de habilitación es falsa. Por tanto, el subsistema 72 de FLC se habilita cuando la tasa de cambio en la potencia real de generador es mayor que una cantidad programable. El subsistema 72 de FLC se habilita sólo durante periodos transitorios de carga de potencia real aumentada o disminuida para evitar errores de regulación de tensión cuando la velocidad ω 52 de generador en condiciones de estado estacionario varía con respecto a la velocidad nominal. Cuando se habilita el subsistema 72 de FLC, la tensión de generador linealizada por realimentación, V_{t_FLC} 84, actúa como la señal de realimentación de tensión enviada desde el bloque 96 de habilitación, y por consiguiente se envía por tanto desde el subsistema 72 de FLC hasta la suma 105 de la figura 2. Cuando no se habilita el subsistema 72 de FLC, la tensión de terminal de generador, V_t 36, actúa como la señal de realimentación de tensión enviada desde el bloque 96 de habilitación, y por consiguiente se envía por tanto desde el subsistema 72 de FLC hasta la suma 105 de la figura 2. Un experto en la técnica reconocerá que un diseño de bucle de control alternativo, de manera que la señal de error de tensión es o bien $V_{err} = V_{ref} - V_t$ o bien $V_{err} = V_{ref} - V_{t_filtrada} / W_{filtrada}$, puede expresarse como $V_{err} = k_1 * (V_{ref} - V_t) + k_2 * (V_{ref} - V_{t_filtrada} / W_{filtrada})$ donde k_1 y k_2 se ajustan para obtener resultados similares al bucle de control mostrado en la figura 2 sin apartarse del alcance de la presente divulgación.

El subsistema 74 de control de anticipación de carga (LAC) al que se hace referencia en las figuras 2 y 3(b) incluye características para un sistema de control integrado para mejorar el rendimiento de velocidad para un aumento repentino en la carga de potencia real del grupo electrógeno dado a conocer en la publicación de Kiyong Kim y Jeff Burnworth, “Load Anticipation Feature and Its Tuning Method for a Diesel Generation Set”, 2016 Clemson University Power Systems Conference, Clemson SC USA, 2016, así como en la solicitud de patente provisional estadounidense n.º 62/028.653, presentada el 24 de julio de 2014, y en la solicitud provisional estadounidense n.º 62/033.482, presentada el 5 de agosto de 2014, y en la solicitud de patente no provisional estadounidense n.º 14/718504, titulada “System and Method For A Load Anticipation Feature And Its Tuning Method For A Generating Set”, y así como la patente estadounidense n.º 9.574.511 que se emitió a partir de dichas solicitudes provisionales.

Una reacción del regulador 30 de velocidad a un cambio de velocidad debido a una aplicación de carga es más lenta que un cambio debido a la potencia real. La medición de potencia real está disponible en los AVR conocidos en la técnica. Por tanto, con el fin de reducir la desviación de velocidad cuando se aplica una gran carga de potencia real, el LAC 74 es más eficaz que los enfoques convencionales que cambian el punto de referencia del regulador de tensión basándose en una curva de subfrecuencia específica.

Pasando ahora a una descripción más específica del subsistema 74 de LAC, el subsistema 74 de LAC interacciona con el subsistema 72 de FLC como un modificador de controlador para el elemento 30 de regulación. La tasa de cambio en la potencia real, ΔP_{e2} 101, se obtiene con un filtro 100 de lavado, que tiene la constante T_{W2} de tiempo y el operador de Laplace “S”. La constante T_{W2} de tiempo se determina basándose en la repuesta del bucle de control de velocidad, con valores que oscilan entre 0 y 1,0. Se usó el valor de 0,4 para un grupo electrógeno en las pruebas comentadas más adelante en el presente documento.

El retardo de fase de la tasa de cambio en potencia real (ΔP_{e2} 101) debido al elemento de regulación y al actuador se compensa por el filtro 102 de avance-retardo que tiene la constante TLD de avance de fase, la constante TLG de retardo de fase y el operador de Laplace “S”. La señal compensada se multiplica entonces por la ganancia K_{LAF} 104. Esa señal multiplicada se añade entonces al punto 130 de suma del elemento de regulación (véase en la figura 2), para obtener una señal de polarización de velocidad usando la salida analógica (que está disponible en los reguladores de tensión modernos).

La constante T_{LD} de tiempo es la constante de tiempo de avance de fase del filtro 102 de avance-retardo y representa una constante de tiempo en la frecuencia de cruce del avance de fase. Su valor depende de la respuesta del bucle de control de velocidad y tiene valores que oscilan entre 0 y 1,0. Se usó el valor de 0,5 para un grupo electrógeno en las pruebas comentadas más adelante en el presente documento.

La constante T_{LG} de tiempo es la constante de tiempo de retardo de fase del filtro 102 de avance-retardo y representa la constante de tiempo en la frecuencia de cruce del retardo de fase. Se determina basándose en la respuesta del bucle de control de velocidad, y tiene valores que oscilan entre 0 y 1,0. Se usó el valor de 0,01 para un grupo electrógeno en las pruebas comentadas más adelante en el presente documento.

Los valores preferidos para las constantes de tiempo del filtro 102 de avance-retardo y la ganancia son $T_{w2} = 0,4$, $T_{LD} = 0,5$, $T_{LG} = 0,01$ y $K_{LAF} = 0,7$.

Entorno de funcionamiento informático

En referencia a la figura 9, un entorno de funcionamiento para una realización ilustrada de un sistema y/o método para un AVR o elemento de regulación de velocidad que incluye los sistemas y métodos de LAC (LAF) tal como se describe en el presente documento es un sistema 200 informático con un ordenador 202 que comprende al menos una unidad 204 central de procesamiento (CPU) de alta velocidad, conjuntamente con un sistema 206 de memoria, un dispositivo 210 de entrada y un dispositivo 212 de salida. Estos elementos están interconectados mediante al menos una estructura 208 de bus. En una realización alternativa, los sistemas y métodos de LAF pueden implementarse en un dispositivo independiente, o pueden incorporarse en otro componente en el sistema que proporciona el entorno de funcionamiento que acaba de describirse.

El ordenador 202 puede incluir una interfaz de datos de entrada para recibir una medición de la carga de potencia real aplicada al grupo electrógeno diésel, y una interfaz de comunicaciones que puede acoplarse operativamente a la interfaz de comunicaciones del elemento 30 de regulación de velocidad. La interfaz de comunicaciones del ordenador 202 puede transmitir una salida de control a la interfaz de comunicaciones del elemento 30 de regulación de velocidad.

Tal como se indicó anteriormente, los dispositivos de entrada y salida pueden incluir una interfaz de comunicación que incluye una interfaz gráfica de usuario. Cualquiera o todos los componentes informáticos de la interfaz de red y los sistemas y métodos de comunicaciones pueden ser cualquier dispositivo informático incluyendo, pero sin limitarse a, un ordenador portátil, PDA, un teléfono móvil, así como potencialmente un dispositivo dedicado. El software puede implementarse como cualquier "app" en el mismo y seguir estando dentro del alcance de esta divulgación.

La CPU 204 ilustrada es de diseño familiar e incluye una unidad 214 lógica aritmética (ALU) para realizar cálculos, un conjunto de registros 216 para el almacenamiento temporal de datos e instrucciones, y una unidad 218 de control para controlar el funcionamiento del sistema 200 informático. Se prefiere igualmente cualquiera de una variedad de microprocesadores, pero sin limitarse a ellos, para la CPU 204. Esta realización ilustrada opera en un sistema operativo diseñado para poder transferirse a cualquiera de estas plataformas de procesamiento.

El sistema 206 de memoria generalmente incluye una memoria 220 principal de alta velocidad en forma de un medio tal como dispositivos semiconductores de memoria de acceso aleatorio (RAM) y memoria de solo lectura (ROM) que son típicos en un medio grabable por ordenador no transitorio. La presente divulgación no se limita a ello y también puede incluir almacenamiento 222 secundario en forma de medios de almacenamiento a largo plazo tales como disquetes, discos duros, cinta, CD-ROM, memoria, etc., y otros dispositivos que almacenan datos usando medios de grabación eléctricos, magnéticos y ópticos u otros. La memoria 220 principal también puede incluir, en algunas realizaciones, una memoria de visualización de vídeo para visualizar imágenes a través de un dispositivo de visualización (no mostrado). Los expertos en la técnica reconocerán que el sistema 206 de memoria puede comprender una variedad de componentes alternativos que tienen una variedad de capacidades de almacenamiento.

Cuando corresponda, también pueden proporcionarse un dispositivo 210 de entrada y un dispositivo 212 de salida en el sistema tal como se describe en el presente documento o las realizaciones del mismo. El dispositivo 210 de entrada puede comprender cualquier teclado, ratón, transductor físico (por ejemplo un micrófono), y puede interconectarse al ordenador 202 a través de una interfaz 224 de entrada, tal como una interfaz gráfica de usuario, asociada con o separada de la interfaz de comunicación descrita anteriormente, incluyendo la interfaz de antena para comunicaciones inalámbricas. El dispositivo 212 de salida puede incluir una pantalla, una impresora, un transductor (por ejemplo un altavoz), etc., y puede interconectarse al ordenador 202 a través de una interfaz 226 de salida que puede incluir la interfaz de comunicación descrita anteriormente incluyendo la interfaz de antena. Algunos dispositivos, tales como un adaptador de red o un módem, pueden usarse como dispositivos de entrada y/o salida.

Como resulta familiar para los expertos en la técnica, el sistema 200 informático incluye además un sistema operativo y al menos un programa de aplicación. El sistema operativo es el conjunto de software que controla el

funcionamiento del sistema informático y la asignación de recursos. El programa de aplicación es el conjunto de software que realiza una tarea deseada por el sistema y método del LAF y/o cualquiera de los procedimientos y etapas de procedimiento descritos anteriormente usando recursos informáticos disponibles a través del sistema operativo.

5 Según las prácticas de expertos en la técnica de programación informática, a continuación se describe la presente divulgación con referencia a representaciones simbólicas de operaciones que se realizan por el sistema 200 informático. En ocasiones se hace referencia a tales operaciones como ejecutadas por ordenador. Se apreciará que las operaciones que se representan simbólicamente incluyen la manipulación por parte de la CPU 204 de señales eléctricas que representan bits de datos y el mantenimiento de bits de datos en ubicaciones de memoria en el sistema 206 de memoria, así como otro procesamiento de señales. Las ubicaciones de memoria en las que se mantienen los bits de datos son ubicaciones físicas que tienen propiedades eléctricas, magnéticas u ópticas particulares correspondientes a los bits de datos. Pueden implementarse una o más realizaciones de manera tangible en un programa o programas definidos por instrucciones ejecutables por ordenador que pueden almacenarse en un medio legible por ordenador. El medio legible por ordenador puede ser cualquiera de los dispositivos, o una combinación de los dispositivos, descritos anteriormente en relación con el sistema 206 de memoria.

20 Resultados de prueba

Con el fin de mostrar su eficacia y aplicabilidad en un entorno industrial, el sistema 20 de control integrado se implementó en un regulador de tensión disponible comercialmente desarrollado para grupos electrógenos pequeños (de menos de 10 MVA). Este tipo de regulador rentable tiene memoria y potencia de cálculo limitadas. El regulador de tensión basado en microprocesador incluye circuitos de acondicionamiento de señal para la tensión de generador, corriente y una salida de regulador modulada por ancho de pulso (PWM). Se tomaron muestras de la tensión de generador y la corriente con una resolución de 12 bits después de los filtros antisolapamiento. El cálculo de rms de la tensión de generador se realizó cada cuarto de ciclo (4,16 ms para un sistema de 60 hercios).

30 Los sistemas y métodos dados a conocer propuestos se sometieron a prueba usando un regulador digital comercial en un grupo electrógeno diésel turbocargado con un generador síncrono trifásico de 125 kVA, 208 Vac, 1.800 rpm. La excitación sin carga para este generador se proporcionó por un excitador de CA autoexcitado, de 0,3 Adc, 7 Vdc.

Se usó un sistema de excitación AC8B tipo IEEE. Sus ganancias de PID fueron $K_{PR}=5$, $K_{IR}=10$, $K_{DR}=0,2$, $T_{DR}=0,01$ y $K_A=0,2$. También se seleccionó la característica de caída de subfrecuencia convencional.

35 Con el fin de investigar el efecto de acoplamiento cruzado, se aplicó una variación de tensión del 5% mientras se conectaba una carga. En las figuras 4 y 5, "P" y "Q" representan los símbolos bien conocidos para potencia real y potencia reactiva, respectivamente. La figura 4 no muestra ninguna variación en la velocidad de generador cuando no se aplicó carga. Sin embargo, cuando se aplicó carga, el efecto de acoplamiento cruzado creó oscilaciones tanto en el bucle de tensión (figura 4-a) como en el bucle de velocidad (figura 4-b).

40 La figura 5 muestra las respuestas de tensión de generador y velocidad ω 52 de generador cuando se aplicó una variación de velocidad del 2% al ajuste de punto de referencia del elemento de regulación con carga conectada. La respuesta de velocidad, sin carga aplicada, revela que el elemento de regulación está bien ajustado. Sin embargo, cuando se aplica carga, se observaron respuestas oscilatorias en el bucle de tensión (figura 5(a)) y el bucle de velocidad (figura 5(b)). Resulta evidente que estas oscilaciones se crearon por los términos de acoplamiento cruzado.

45 Las figuras 6(a) y 6(b) ilustran una comparación de las respuestas de tensión de generador y velocidad ω 52 de generador a una aplicación de carga repentina de 100 kW con un sistema y método de AVR convencional (técnica anterior), y un método y un sistema de control integrado de la presente divulgación. La figura 6(b) ilustra que, para esta etapa de carga de 100 kW particular, con el AVR convencional empleado, la velocidad ω 52 de generador se desvía más allá del límite máximo permisible de ISO8528-5 G2. Esto demuestra que con el método y el sistema de control integrado en cuestión pueden reducirse significativamente las desviaciones máximas de tensión y velocidad ω 52 de generador en comparación con el método y el sistema de AVR convencionales.

50 Las figuras 7(a) y 7(b) presentan una comparación de respuestas de tensión de generador y velocidad ω 52 de generador con un método y un sistema de AVR convencionales (técnica anterior), y el método y el sistema de control integrado de la presente invención, cuando se rechaza una carga repentina de 100 kW. Resulta evidente que este método y sistema de control integrado de la presente solicitud son superiores a la técnica anterior, y eficaces para el rechazo de carga.

55 Las figuras 8(a) y 8(b) ilustran una comparación de las respuestas de tensión de generador y velocidad ω 52 de generador a una aplicación de carga repentina de 100 kW con un esquema de AVR convencional (técnica anterior), y tres métodos y sistemas de control diferentes. La figura 8 ilustra la evidencia de que la desviación de velocidad se

reduce eficazmente por el comportamiento de oscilación y LAC. Esto se debe a que el efecto de acoplamiento puede reducirse mediante FLC. Los mejores rendimientos de tensión y velocidad se obtuvieron cuando se usaron los controles tanto de LAC como de FLC de la presente divulgación.

- 5 Los resultados de las pruebas de carga comentados anteriormente muestran que el método y el sistema de control integrado de la divulgación del solicitante logran fácilmente respuestas mejoradas en la desviación tanto de la tensión de generador como de la velocidad ω 52 de generador. El FLC puede lograr una amortiguación mejorada del gran sobrepulso debido al efecto de acoplamiento cruzado. El LAC mejora eficazmente la recuperación de la
- 10 velocidad ω 52 de generador después de un gran cambio en la carga. El método y el sistema de control integrado de la presente divulgación ofrece regulación mejorada de la tensión de generador durante el rendimiento de aceptación de carga transitoria y de grupo electrógeno con mayores etapas de carga.

- 15 Con un método y un sistema de control integrado de la presente divulgación, puede lograrse rápidamente la puesta en marcha de una prueba de aceptación de carga de fábrica para un grupo electrógeno fabricado con excelentes resultados de rendimiento.

REIVINDICACIONES

1. Método para controlar un grupo electrógeno diésel que incluye un motor diésel, un generador que tiene una tensión (36) de terminal y una respuesta de frecuencia y magnitud de tensión de salida de generador, un excitador (26) que tiene una tensión (37) de campo de excitador, un elemento (30) de regulación de velocidad que tiene una referencia (50) de velocidad de generador y una primera interfaz de comunicaciones, y un regulador (22) de tensión automático que tiene una tensión (34) de referencia de generador y una segunda interfaz de comunicaciones, comprendiendo el método las etapas de:
 - 5 - determinar, mediante el regulador (22) de tensión automático, una tensión (V_{t_FLC} , 84) de salida de control de realimentación de tensión usando la tensión (36) de terminal filtrada del generador dividida entre una velocidad (52) filtrada por unidad del generador;
 - 10 - controlar la tensión (37) de campo de excitador, mediante el regulador (22) de tensión automático, usando la tensión (34) de referencia de generador modificada por la tensión de salida de control de realimentación de tensión (V_{t_FLC} , 84);
 - 15 - medir, mediante el regulador (22) de tensión automático, una salida de potencia real de generador;
 - 20 - determinar, mediante el regulador (22) de tensión automático, una tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador;
 - 25 - determinar, mediante el regulador (22) de tensión automático, una salida de control de realimentación de velocidad basándose en la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador;
 - 30 - transmitir, mediante el regulador (22) de tensión automático, a través de la primera interfaz de comunicaciones, la salida de control de realimentación de velocidad al elemento (30) de regulación de velocidad;
 - 35 - recibir, mediante el elemento (30) de regulación de velocidad, la salida de control de realimentación de velocidad procedente del regulador (22) de tensión automático;
 - 40 - ajustar, mediante el elemento (30) de regulación de velocidad, la velocidad del motor diésel modificando la referencia (50) de velocidad de generador basándose en la salida de control de realimentación de velocidad; y
 - 45 - minimizar, mediante el regulador (22) de tensión automático, variaciones de la respuesta de frecuencia y magnitud de tensión de salida de generador con respecto a la nominal determinando la salida de control de realimentación de velocidad conjuntamente con la salida de control de realimentación de tensión.
2. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de determinar, mediante el regulador (22) de tensión automático, una tensión de salida de control de realimentación de tensión usando la tensión (36) de terminal del generador dividida entre una velocidad (52) del generador comprende las etapas de:
 - 45 - medir la tensión (36) de terminal del generador del grupo electrógeno diésel;
 - 50 - medir la velocidad (52) del generador del grupo electrógeno diésel; filtrar la tensión (36) de terminal del generador;
 - 55 - filtrar la velocidad (52) del generador; y
 - 60 - determinar, mediante el regulador (22) de tensión automático, una tensión de salida de control de realimentación de tensión usando la tensión (36) de terminal filtrada del generador dividida entre la velocidad (52) filtrada por unidad del generador.
3. Método según la reivindicación 1, en el que la etapa de determinar, mediante el regulador (22) de tensión automático, una salida de control de realimentación de velocidad basándose en la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador comprende las etapas de:
 - 60 - medir una salida de potencia real de generador;
 - 65 - determinar la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la salida de potencial real de generador medida; y
 - 70 - determinar un retardo de fase de la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador.

4. Método según la reivindicación 1, que comprende además las etapas de:

- generar una salida (94) de habilitación a partir de un valor absoluto de la tasa (88) de cambio de la salida de potencia real de generador y un umbral (94) predeterminado, en el que la salida (94) de habilitación es verdadera cuando el valor absoluto de la tasa (88) de cambio de la salida de potencia real de generador supera el umbral (94) predeterminado y es falsa en caso contrario; y

- bloquear la tensión de salida de control de realimentación de tensión cuando la salida (94) de habilitación es falsa.

5. Método según la reivindicación 2,

- en el que la etapa de filtrar la tensión (36) de terminal del generador comprende además filtrar la tensión de terminal del generador con un filtro seleccionado de un filtro de paso bajo o un filtro de paso de banda,

- o en el que la etapa de filtrar la velocidad (52) del generador comprende además filtrar la velocidad del generador con un filtro seleccionado de un filtro de paso bajo o un filtro de paso de banda,

- o en el que la etapa de filtrar la tensión (36) de terminal del generador comprende además usar control de lógica difusa para determinar la tensión de terminal filtrada del generador,

- o en el que la etapa de filtrar la velocidad (52) del generador comprende además usar control de lógica difusa para determinar la velocidad filtrada del generador.

6. Método según la reivindicación 3,

- en el que la etapa de determinar el retardo de fase de la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador comprende filtrar la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador con un filtro de avance-retardo,

- o en el que la etapa de determinar una tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la salida de potencial real de generador medida comprende filtrar la salida de potencial real de generador medida con un filtro seleccionado de un filtro de lavado o un filtro de paso bajo,

- o en el que la etapa de determinar una tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la salida de potencial real de generador medida comprende una diferenciación numérica basándose en un valor actual de la salida de potencia real de generador y un valor anterior de la salida de potencia real de generador basándose en un tiempo de muestreo,

- o en el que la etapa de determinar el retardo de fase de la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador comprende usar control de lógica difusa para determinar el filtrado de la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador,

- o en el que la etapa de determinar una tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la salida de potencial real de generador medida comprende usar control de lógica difusa para determinar la salida de potencial real de generador medida filtrada.

7. Sistema (70) para controlar un grupo electrógeno diésel que incluye un motor diésel, un generador que tiene una tensión de terminal y una respuesta de frecuencia y magnitud de tensión de salida de generador, un excitador (26) que tiene una tensión (37) de campo de excitador, un elemento (30) de regulación de velocidad que tiene una referencia (50) de velocidad de generador y una primera interfaz de comunicaciones, y un regulador (22) de tensión automático que tiene una tensión de referencia de generador y una segunda interfaz de comunicaciones, comprendiendo el sistema:

- un aparato procesador de datos de ordenador acoplado operativamente a una memoria de ordenador no transitoria que contiene instrucciones ejecutables por ordenador, que cuando se ejecutan por uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores:

- determinen, mediante el regulador (22) de tensión automático, una tensión ($V_{t\text{ FLG}}$, 84) de salida de control de realimentación de tensión usando la tensión (36) de terminal filtrada del generador dividida entre una velocidad (52) filtrada por unidad del generador;

- controlen la tensión (37) de campo de excitador, mediante el regulador (22) de tensión automático,

usando la tensión de referencia de generador modificada por la tensión (V_{t_FLC} , 84) de salida de control de realimentación de tensión;

5

- midan, mediante el regulador (22) de tensión automático, una salida de potencia real de generador;

- determinen, mediante el regulador (22) de tensión automático, una tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador;

10

- determinen, mediante el regulador (22) de tensión automático, una salida de control de realimentación de velocidad basándose en la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador;

- transmitan, mediante el regulador (22) de tensión automático, a través de la primera interfaz de comunicaciones, la salida de control de realimentación de velocidad al elemento (30) de regulación de velocidad;

15

- reciban, mediante el elemento (30) de regulación de velocidad, la salida de control de realimentación de velocidad procedente del regulador (22) de tensión automático;

20

- ajusten, mediante el elemento (30) de regulación de velocidad, la velocidad del motor diésel modificando la referencia (50) de velocidad de generador basándose en la salida de control de realimentación de velocidad; y

25

- minimicen, mediante el regulador (22) de tensión automático, variaciones de la respuesta de frecuencia y magnitud de tensión de salida de generador con respecto a la nominal determinando la salida de control de realimentación de velocidad conjuntamente con la salida de control de realimentación de tensión.

8. Sistema según la reivindicación 7, en el que las instrucciones ejecutables por ordenador, cuando se ejecutan por uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores:

30

- midan la tensión (36) de terminal del generador del grupo electrógeno diésel;

- midan la velocidad (52) del generador del grupo electrógeno diésel;

35

- filtren la tensión (36) de terminal del generador;

- filtren la velocidad (52) del generador; y

40

-determinen, mediante el regulador (22) de tensión automático, una tensión (V_{i_FLC} , 84) de salida de control de realimentación de tensión basándose en la tensión (36) de terminal filtrada del generador dividida entre la velocidad (52) filtrada por unidad del generador.

9. Sistema según la reivindicación 7, en el que las instrucciones ejecutables por ordenador, cuando se ejecutan por uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores:

45

- determinen una salida de potencia real de generador;

- determinen la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la salida de potencia real de generador medida; y

50

- determinen un retardo de fase de la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador filtrando la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador.

10. Sistema según la reivindicación 7, en el que las instrucciones ejecutables por ordenador, cuando se ejecutan por uno o más procesadores, hacen que el uno o más procesadores:

55

- generen una salida (94) de habilitación a partir de un valor absoluto de la tasa (88) de cambio de la salida de potencia real de generador y un umbral predeterminado, en el que la salida (94) de habilitación es verdadera cuando el valor absoluto de la tasa (88) de cambio de la salida de potencia real de generador supera el umbral predeterminado y es falsa en caso contrario; y

60

- bloqueen la tensión de salida de control de realimentación de tensión cuando la salida (94) de habilitación es falsa.

11. Sistema según la reivindicación 8

65

- en el que la tensión (36) de terminal del generador se filtra con un filtro seleccionado de un filtro de paso

bajo o un filtro de paso de banda,

- o en el que la velocidad (52) del generador se filtra con un filtro seleccionado de un filtro de paso bajo o un filtro de paso de banda,

5

- o en el que la tensión (36) de terminal del generador se determina usando control de lógica difusa para determinar la tensión de terminal filtrada del generador,

10

- o en el que la etapa de filtrar la velocidad (52) del generador se determina usando control de lógica difusa.

12. Sistema según la reivindicación 9

15

- en el que la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador se filtra con un filtro de avance-retardo,

- o en el que la salida de potencial real de generador medida se filtra con un filtro seleccionado de un filtro de lavado o un filtro de paso bajo,

20

- o en el que la salida de potencial real de generador medida filtrada se determina a partir de una diferenciación numérica basándose en un valor actual de la salida de potencia real de generador y un valor anterior de la salida de potencia real de generador basándose en un tiempo de muestreo,

25

- o en el que el retardo de fase de la tasa (88, 101) de cambio de la salida de potencia real de generador se determina usando control de lógica difusa,

- o en el que la salida de potencial real de generador medida filtrada se determina usando control de lógica difusa.

30

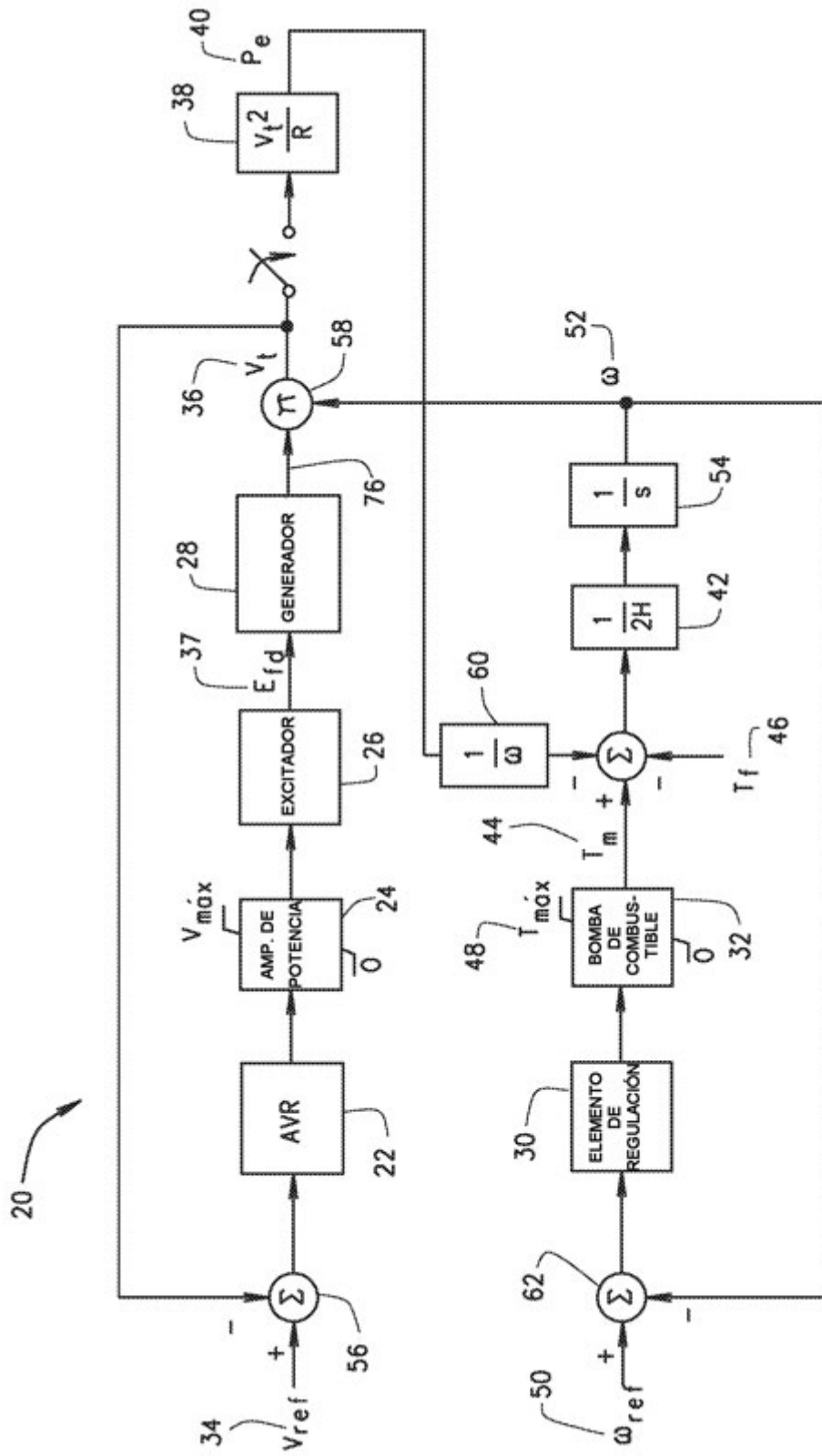


FIG. 1
TÉCNICA ANTERIOR

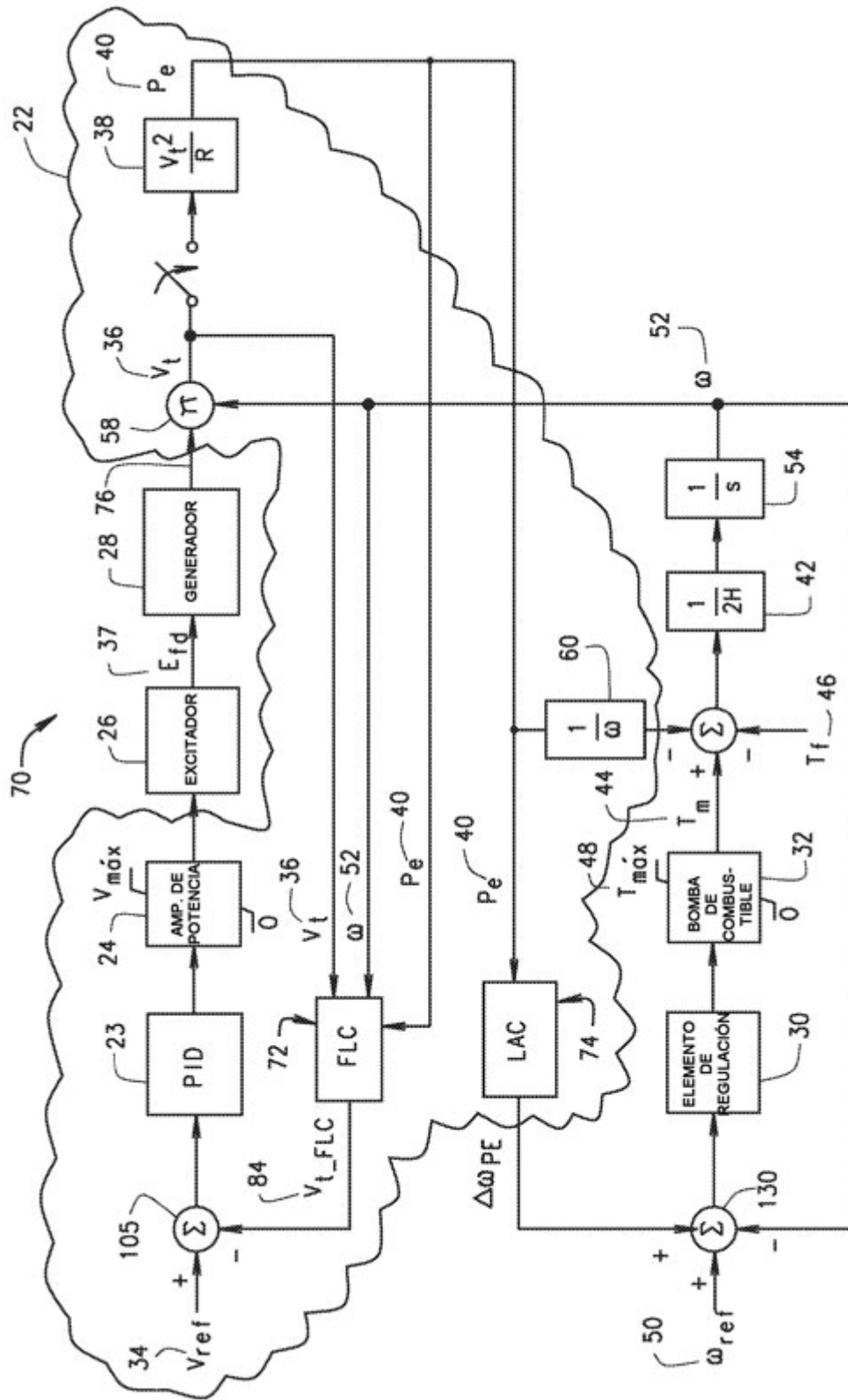


FIG. 2

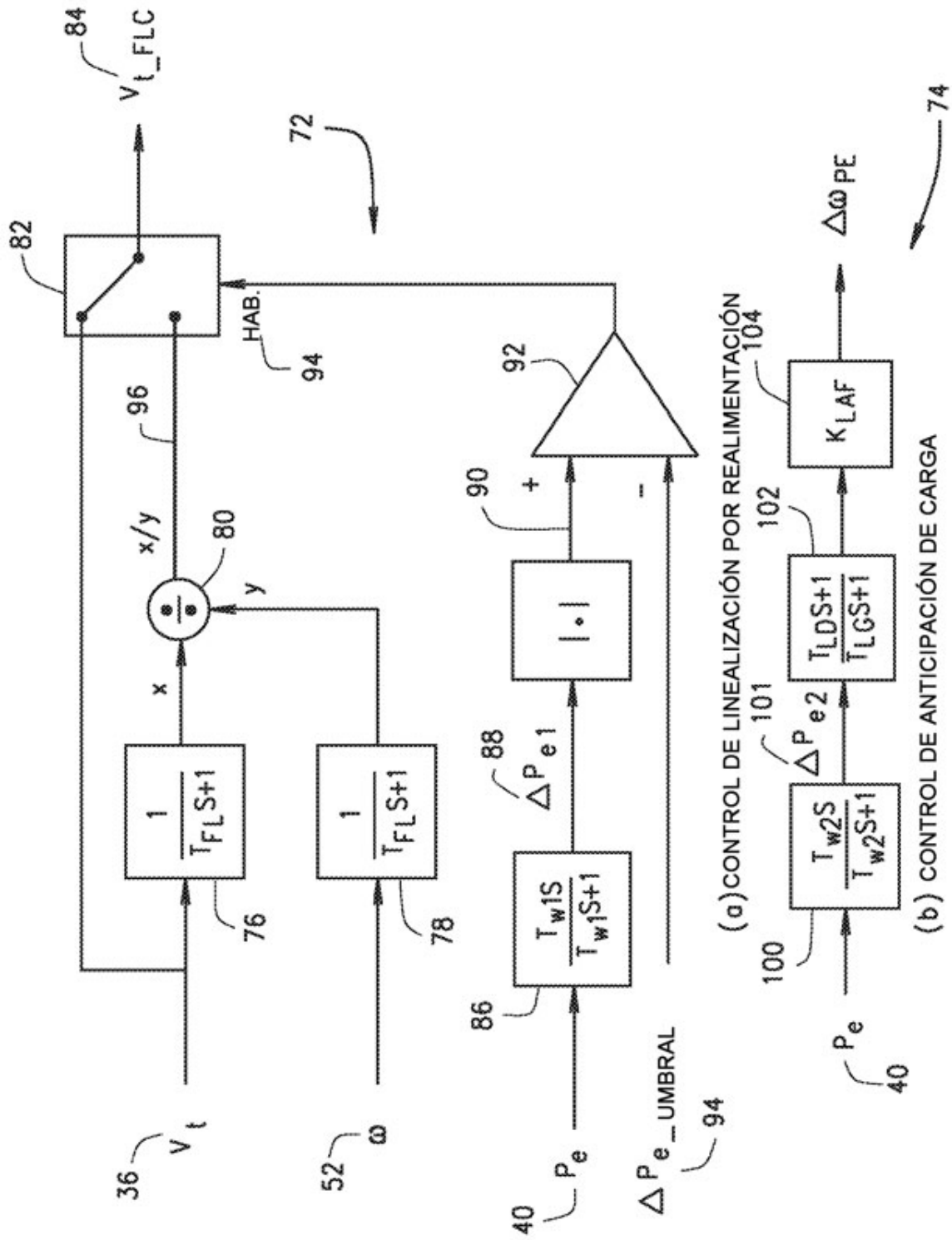


FIG. 3

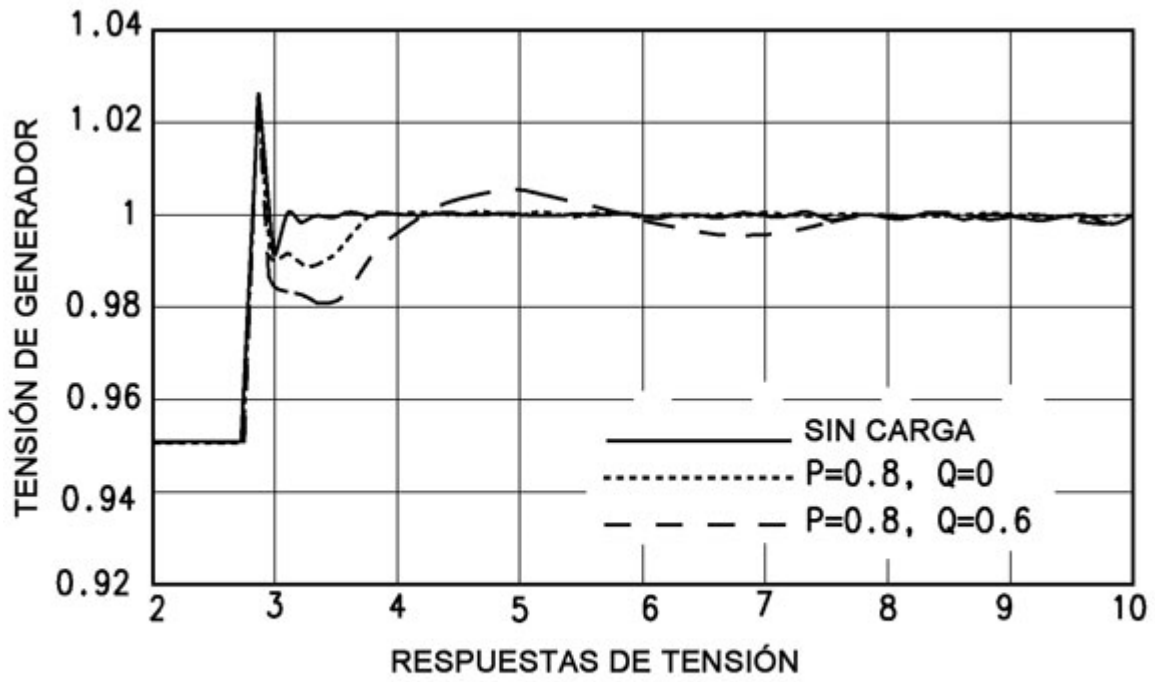


FIG. 4A

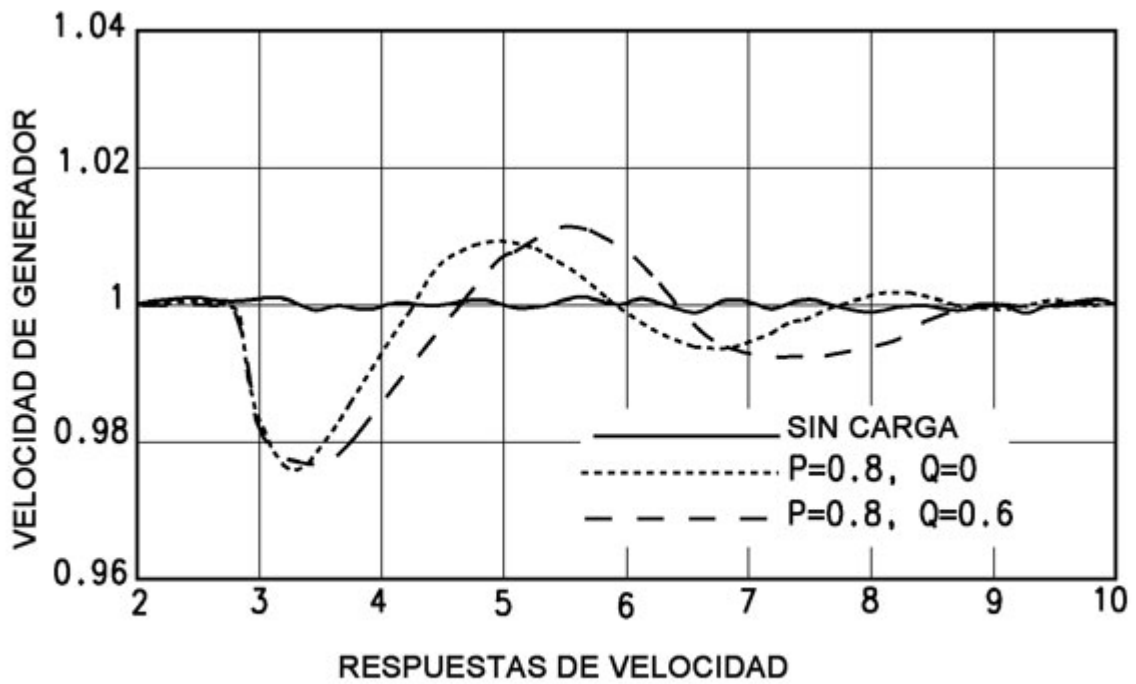


FIG. 4B

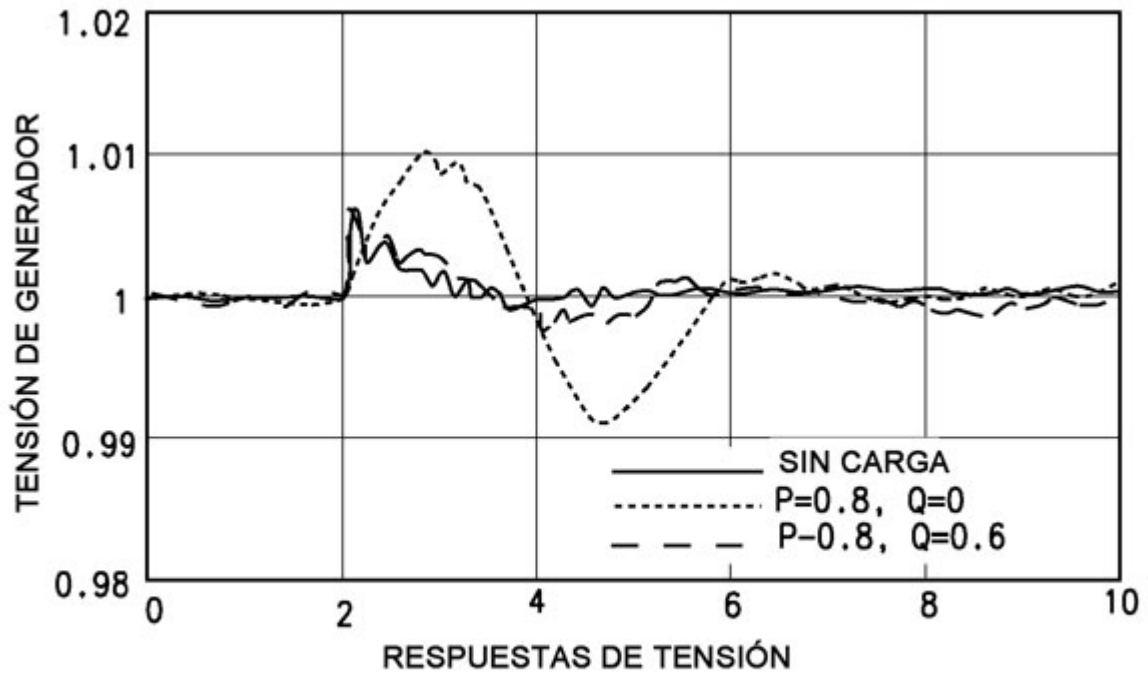


FIG. 5A

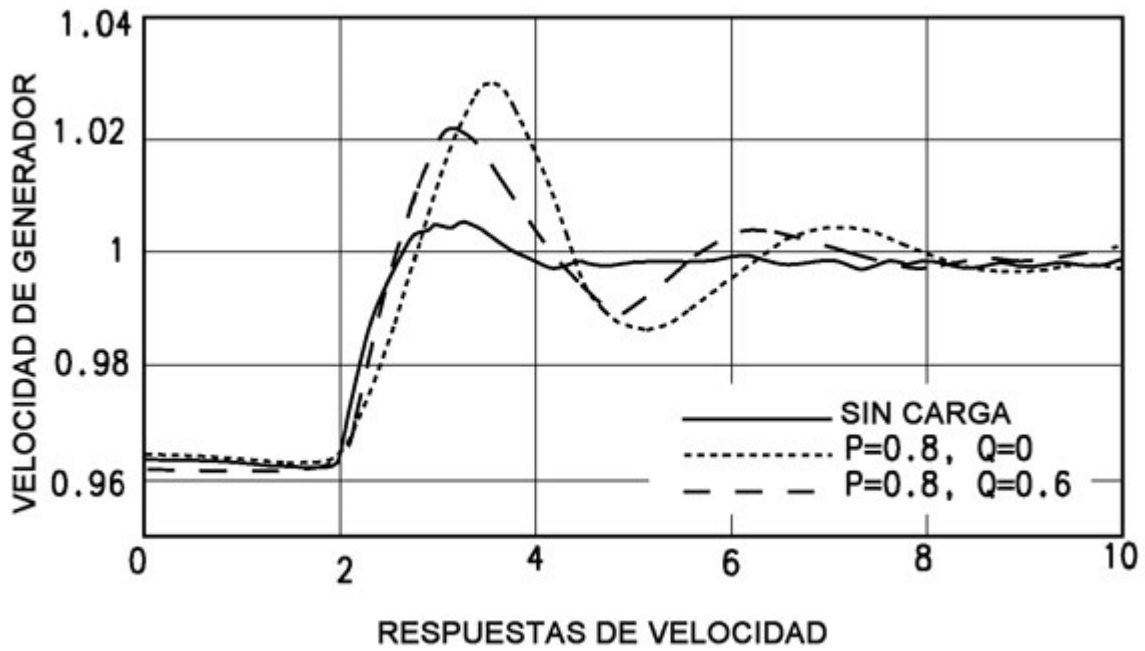


FIG. 5B

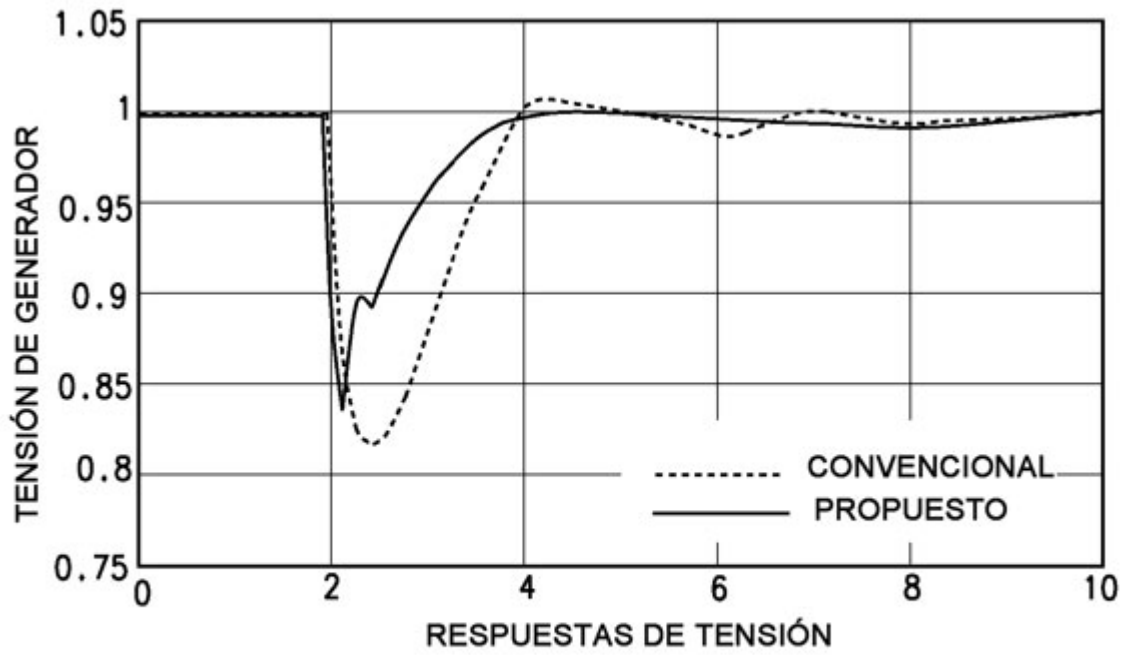


FIG. 6A

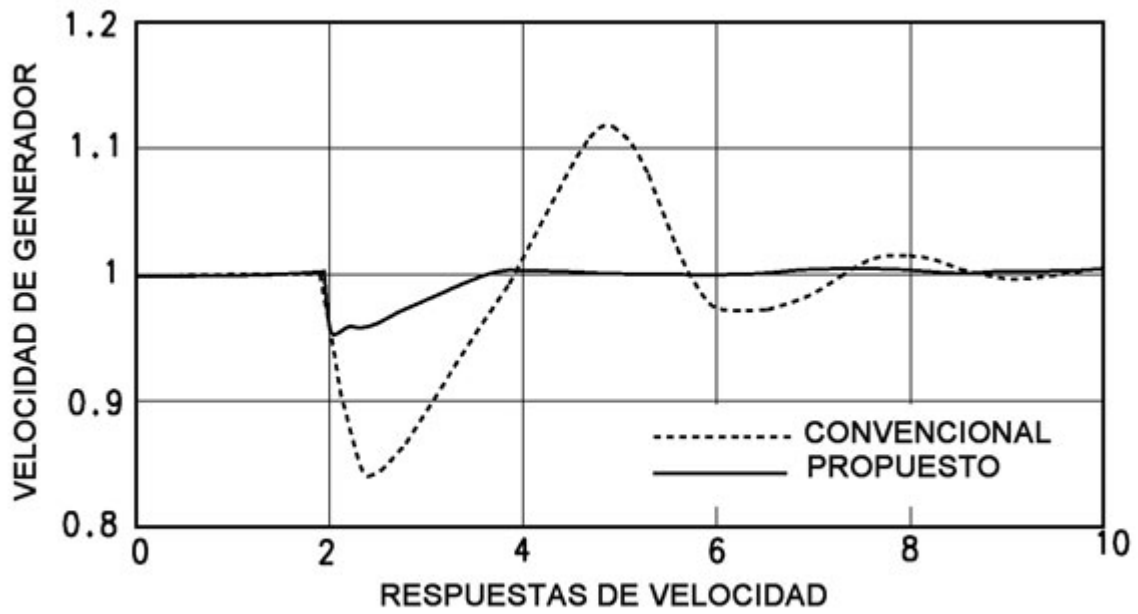


FIG. 6B

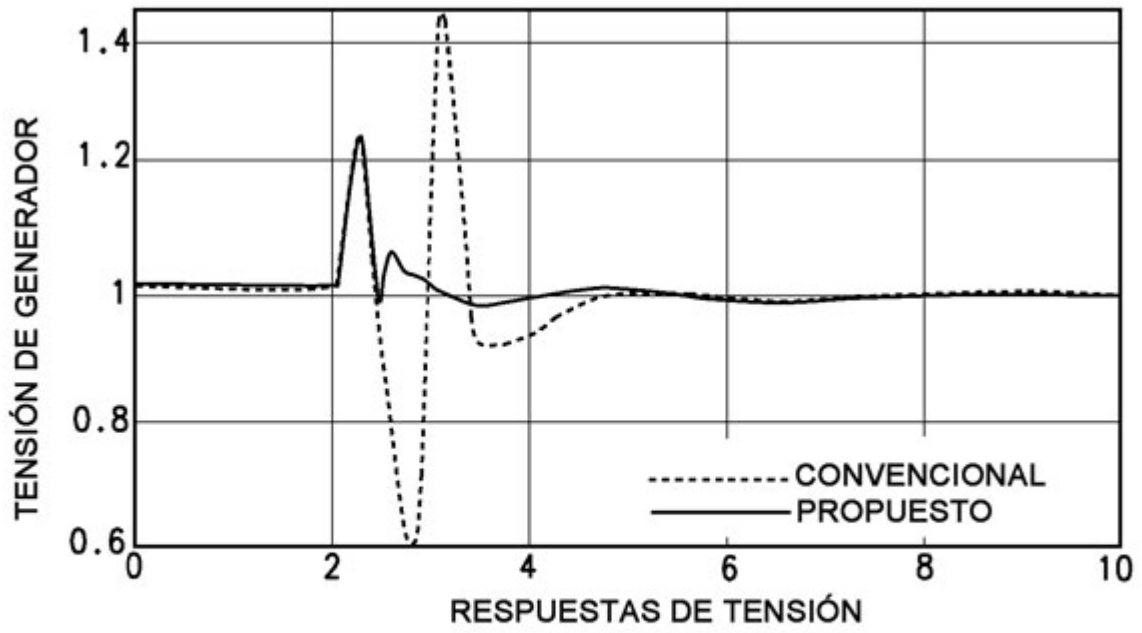


FIG. 7A

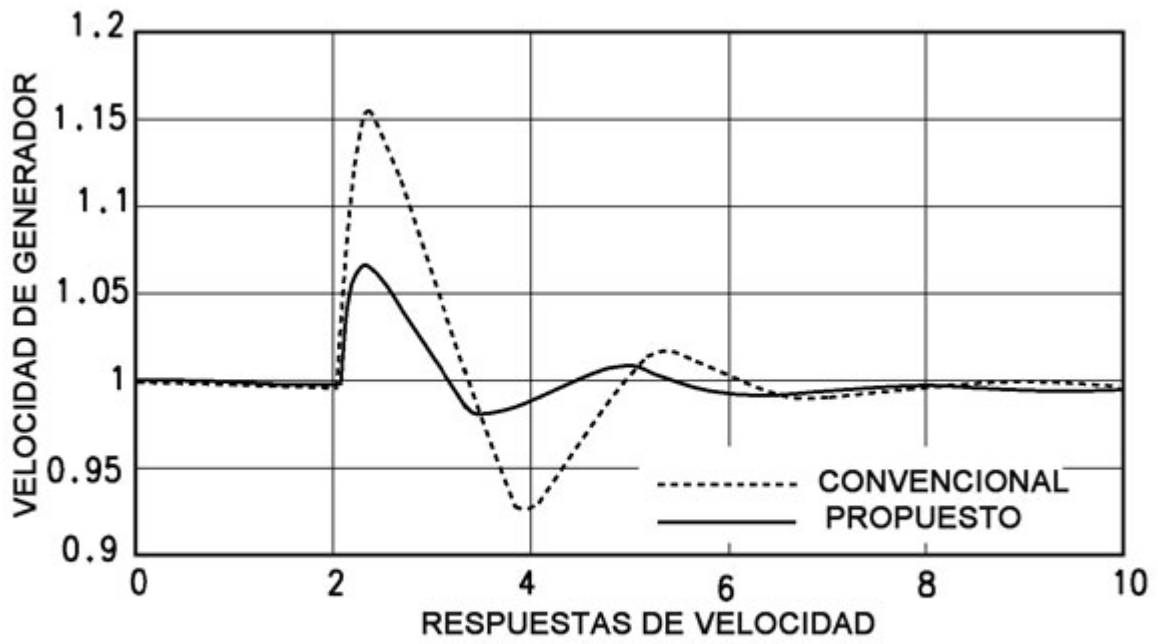


FIG. 7B

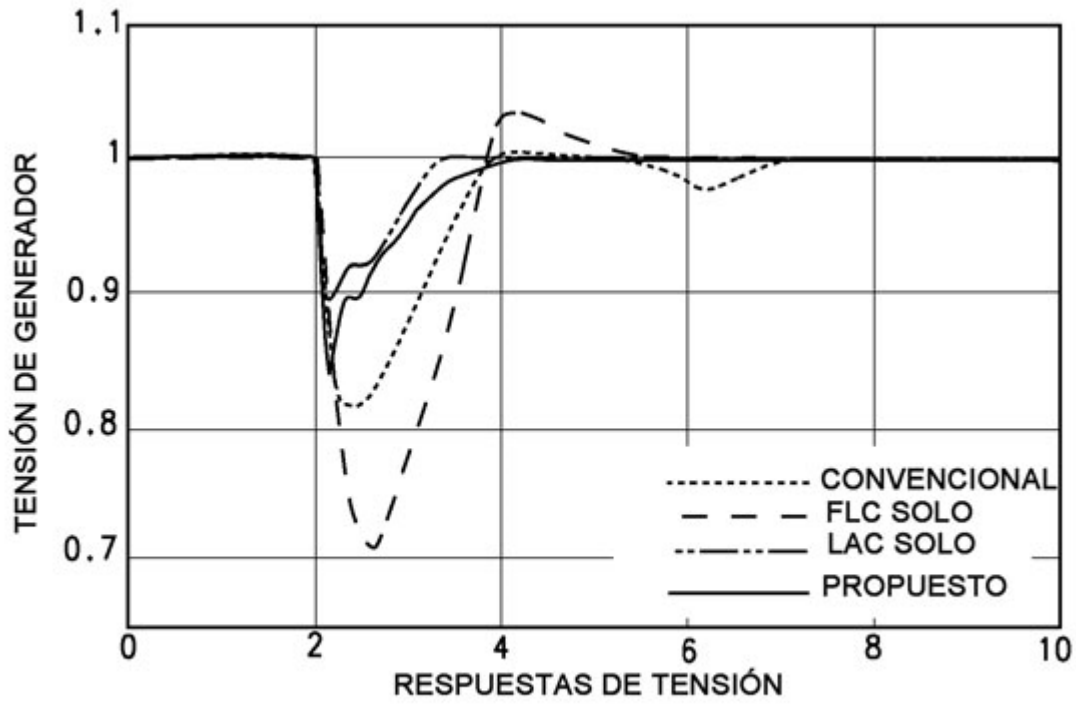


FIG. 8A

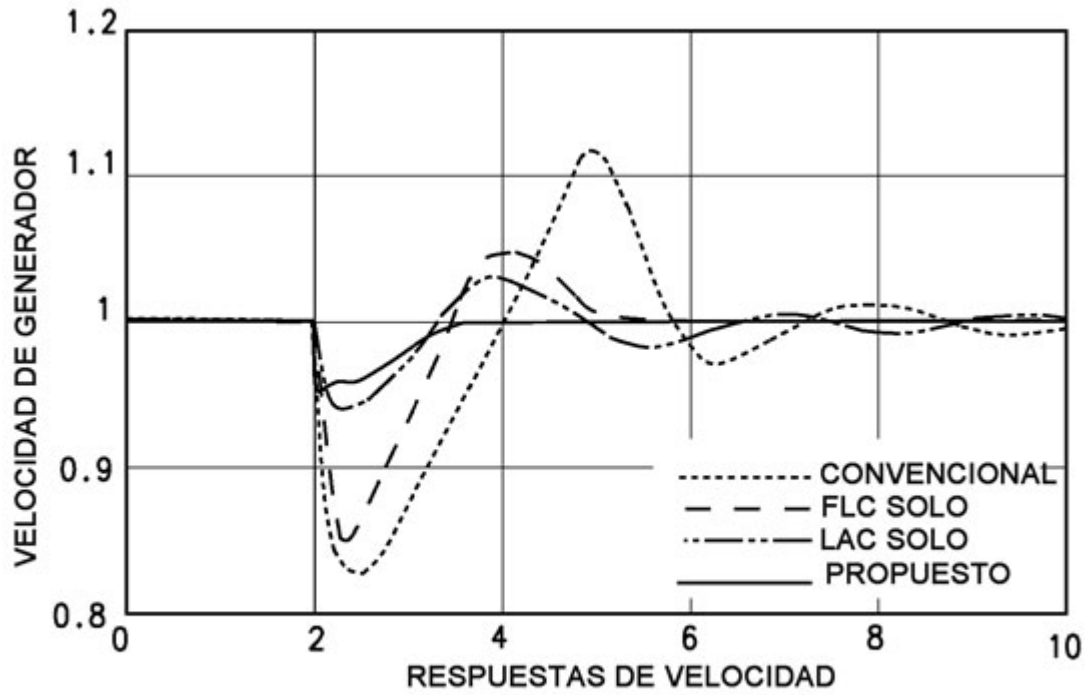


FIG. 8B

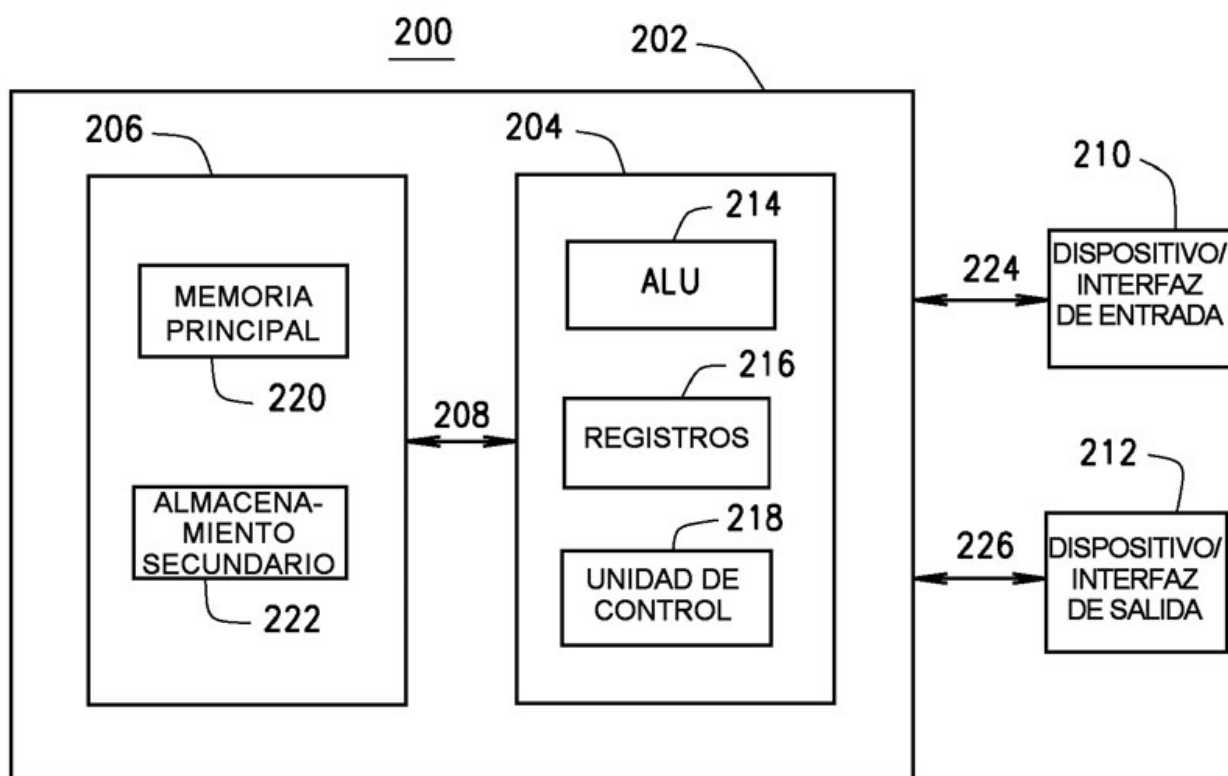


FIG. 9