

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 398 051**

21 Número de solicitud: 201100728

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 11/00 (2006.01)

12

SOLICITUD DE PATENTE

A2

22 Fecha de presentación:

28.06.2011

43 Fecha de publicación de la solicitud:

13.03.2013

71 Solicitantes:

GAMESA INNOVATION & TECHNOLOGY S.L.
(100.0%)

Avda. Ciudad de la Innovación, 9-11
31621 Sarriguren (Navarra) ES

72 Inventor/es:

HERNANDEZ MASCARELL, Octavio ;
SUAREZ AIZPUN, Jaime y
GRUBER, Jorn Klaas

54 Título: **UN MÉTODO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA FRECUENCIA PRINCIPAL DEL TREN DE POTENCIA DE UN AEROGENERADOR.**

57 Resumen:

Un método para la identificación de la frecuencia principal del tren de potencia de un aerogenerador. Comprende pasos en tiempo real de: a) obtener una señal de entrada (r) de la velocidad del generador (Ω); b) filtrar dicha señal de entrada (r) para obtener una señal de la velocidad del generador (r_1) en una banda apropiada para representar la oscilación de la señal (ω) comprendida en ella; c) extraer la frecuencia principal (f) del tren de potencia de dicha señal filtrada (r_1). La invención también se refiere a un método de amortiguación de las vibraciones del tren de potencia de un aerogenerador que comprende etapas de fijación de la referencia del par del generador (Tr_{ref}) en función de la velocidad del generador (Ω) y de la frecuencia principal del tren de potencia (f) identificada por dicho método ya un sistema de control de un aerogenerador implementándolo.

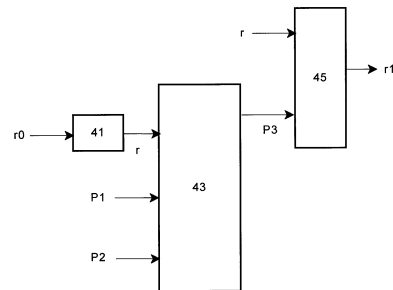


FIG. 5

DESCRIPCIÓN

UN MÉTODO PARA LA IDENTIFICACIÓN DE LA FRECUENCIA PRINCIPAL DEL TREN DE POTENCIA DE UN AEROGENERADOR

CAMPO DE LA INVENCIÓN

5

La invención se refiere a la amortiguación de las vibraciones del tren de potencia de los aerogeneradores y, más en particular, a un método para la identificación de la frecuencia principal del tren de potencia de un aerogenerador.

10

ANTECEDENTES

Los aerogeneradores son dispositivos que convierten la energía mecánica del viento en energía eléctrica. Un aerogenerador típico incluye una góndola montada sobre una torre que alberga un tren de potencia para transmitir la rotación de un rotor a un generador eléctrico y otros componentes tales como los motores de orientación mediante los que se gira el aerogenerador, varios controladores y un freno. El rotor soporta varias palas que capturan la energía cinética del viento y causan un movimiento rotatorio del tren de potencia. Las palas del rotor tienen una forma aerodinámica de manera que cuando el viento pasa a través de la superficie de las palas se crea una fuerza ascensional que causa la rotación de un eje al que está conectado un generador eléctrico, directamente o a través de un dispositivo de multiplicación. La cantidad de energía producida por los aerogeneradores depende de la superficie de barrido del rotor de palas que recibe la energía del viento y, consecuentemente, el incremento de la longitud de las palas implica normalmente un incremento de la producción de energía del aerogenerador. Las palas están controladas para permanecer en un régimen de autorrotación durante una fase normal y su actitud depende de la intensidad del viento.

30

El acoplamiento dinámico del primer modo simétrico en el plano de un rotor de 3 palas con la frecuencia principal del tren de potencia produce un modo acoplado que prácticamente no está amortiguado en la operación del

aerogenerador. Este modo acoplado puede incluso ser excitado cuando se opera a potencia nominal para altas velocidades del viento lo que conduce a una carga inabordable para el tren de potencia. Un control operacional de un aerogenerador sin tener en cuenta esta dinámica puede conducir fácilmente a niveles dañinos de la carga de fatiga en la multiplicadora.

La técnica anterior enseña el uso de la referencia del par del generador para amortiguar dichas vibraciones. Esta técnica es altamente dependiente de una buena identificación de la frecuencia principal de las vibraciones del tren de potencia.

US 2006/0066111 describe una técnica de amortiguación de vibraciones para aerogeneradores de velocidad variable que no sólo ayuda a la amortiguación de las vibraciones del tren de potencia causadas por la variación en la velocidad del viento, sino que también reduce las cargas de la torre causadas por las oscilaciones laterales. Además, la técnica reduce ventajosamente las fluctuaciones de potencia del generador acoplado al rotor del aerogenerador. Dichas vibraciones se determinan en función de la velocidad del rotor usando transformadas de Fourier en una operación en tiempo real.

Un inconveniente de dicha propuesta en relación sobre todo a la identificación de las vibraciones del tren de potencia es que las transformadas de Fourier requieren ventanas temporales de datos de un cierto tamaño que pueden causar retrasos importantes en el procesamiento de la señal de la velocidad del generador. La presente invención se centra en encontrar una solución a dicho inconveniente

SUMARIO DE LA INVENCION

Un objeto de la presente invención es proporcionar una identificación en tiempo real de la frecuencia principal del tren de potencia de un aerogenerador para mejorar su amortiguación.

En un aspecto, este y otros objetivos se cumplen mediante un método para la identificación de la frecuencia principal del tren de potencia de un aerogenerador en operación que comprende pasos en tiempo real de: a)

obtener una señal de entrada r de la velocidad del generador Ω ; b) filtrar la señal de entrada r de la velocidad del generador Ω para obtener una señal de la velocidad del generador $r1$ en una banda adecuada para representar la oscilación de la señal o comprendida en la señal de entrada r de la velocidad del generador Ω ; c) extraer la frecuencia principal f del tren de potencia de dicha señal filtrada $r1$.

En realizaciones de la invención dicha banda adecuada en dicho paso b) es la mejor banda, entre un número predeterminado de bandas, para tener en cuenta la señal oscilatoria o comprendida en la señal de entrada r de la velocidad del generador Ω y, en particular, la banda que, representando dicha señal de entrada r como una señal filtrada s más una señal oscilatoria o de una frecuencia $f_i + \Delta f_i$ siendo f_i la frecuencia central de cada banda, alcanza un valor mínimo de Δf_i . De esta manera se proporciona un método adaptativo en tiempo real para la obtención de la frecuencia principal del tren de potencia.

En realizaciones de la invención, el método también incluye un primer paso en el que dicha señal de entrada r se obtiene como una señal filtrada de la señal original $r0$ de la velocidad del generador en un intervalo de una frecuencia predeterminada, preferiblemente en el intervalo 1-2,5 Hz. De esta manera se proporciona un método adaptativo en tiempo real para la obtención de la frecuencia principal del tren de potencia.

En realizaciones de la invención, dicho número predeterminado de bandas es de cinco, abarcando en intervalos de dimensiones iguales un rango de frecuencias entre 1,45-2,05 Hz. De esta manera se proporciona un número adecuado de bandas para ofrecer un buen tiempo de respuesta para el cálculo de la frecuencia principal f del tren de potencia.

En otro aspecto, los objetos antes mencionados se consiguen con un método de amortiguación de las vibraciones del tren de potencia de un aerogenerador que comprende etapas de fijación de la referencia del par del generador T_{ref} en función de la velocidad del generador Ω y de la frecuencia principal del tren de potencia f identificada por el método mencionado anteriormente.

En otro aspecto, los objetos antes mencionados se consiguen con un sistema de control del aerogenerador conectado a dispositivos de medida de, al menos, la velocidad del viento V , la velocidad del generador Ω , el ángulo de paso de cada pala θ , la potencia P y, al lo menos, actuadores de control del ángulo de paso de las palas y del par motor, estando dispuesto el sistema de control para llevar a cabo una regulación del aerogenerador de acuerdo con una curva de potencia predeterminada para velocidades del viento por debajo de la velocidad de corte V_{out} , estando también dispuesto el sistema de control del aerogenerador para implementar el método de amortiguación mencionado anteriormente.

Otras características y ventajas de la presente invención se desprenderán de la descripción detallada que sigue, a continuación, de una realización ilustrativa de su objeto, en relación con las figuras que le acompañan.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 es una vista esquemática en sección lateral de un aerogenerador.

La Figura 2 muestra una curva Potencia vs. Velocidad del generador usada para controlar un aerogenerador de velocidad variable conocida en la técnica.

La Figura 3 muestra una curva típica de potencia de un aerogenerador.

La Figura 4 es un diagrama de bloques esquemático de una regulación del par del generador incluyendo una amortiguación de la vibración del tren de potencia.

La Figura 5 es un diagrama de bloques esquemático de la identificación de la frecuencia principal del tren de potencia de acuerdo con la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERENTES

Un aerogenerador típico 11 comprende una torre 13 soportando una góndola 18 que alberga un generador 19 para convertir la energía rotacional del rotor del aerogenerador en energía eléctrica. El rotor del aerogenerador comprende un buje de rotor 15 y, típicamente, tres palas 17. El buje del rotor 15 está conectado bien directamente o a través de una multiplicadora al generador 19 para transferir el par generado por el rotor 15 al generador 19 incrementando la velocidad del eje a fin de alcanzar una velocidad rotacional apropiada del rotor del generador.

La energía producida por un aerogenerador moderno está controlada normalmente por medio de un sistema de control para regular el ángulo de paso de las palas del rotor y el par motor del generador. La velocidad rotacional del rotor y la producción de energía de un aerogenerador pueden ser pues controladas inicialmente, es decir antes de su transferencia a una red de distribución a través de un convertidor.

El objetivo básico de los métodos de operación de un aerogenerador de velocidad variable es alcanzar una operación con la producción aerodinámicamente ideal el mayor tiempo posible.

Como es sabido, la energía cinética asociada con el viento incidente depende del área barrida por las palas del rotor, de la densidad del aire y del cubo de la velocidad del viento y se considera que los aerogeneradores pueden extraer hasta el 59% de dicha energía. Por ello, se representa la capacidad de cada aerogenerador para aproximarse a dicho límite por el llamado coeficiente de potencia C_p que está determinado por sus características aerodinámicas, particularmente por el ratio λ de su velocidad en la punta que se define como la relación entre la velocidad tangencial de la punta de la pala y la velocidad del viento incidente. Si se puede mantener ese ratio en su valor óptimo, de manera que la velocidad del rotor siga la velocidad del viento, se obtiene el máximo coeficiente de potencia C_p del aerogenerador, alcanzando una conversión de energía muy eficiente.

La estrategia de control seguida generalmente en los aerogeneradores de velocidad variable está basada en ajustar eléctricamente el par del generador para alcanzar la máxima producción lo que se lleva a cabo usando

un controlador que recibe señales indicado la velocidad del generador y la potencia producida por el generador y que proporciona una señal de referencia del par al convertidor para obtener la potencia requerida.

Consecuentemente, el controlador del aerogenerador usa una curva que define la relación funcional deseable entre potencia y velocidad para alcanzar la producción ideal.

Para una mejor comprensión de la presente invención, se hace seguidamente una breve descripción de una típica curva Potencia vs. Velocidad del generador 21, mostrada en la Figura 2 y de la curva resultante Potencia vs. Velocidad del viento mostrada en la Figura 3.

La curva Potencia vs. Velocidad del generador 21 mostrada en la Figura 2 comprende una primera zona sub-nominal 23 en la que la velocidad del viento alcanza el nivel mínimo para comenzar la operación del aerogenerador. En esta zona, el control del aerogenerador es muy limitado ya que el aerogenerador no puede capturar la máxima energía. La segunda zona sub-nominal 25 corresponde a bajas velocidades del viento en la que la velocidad del generador se incrementa y el aerogenerador funciona con un óptimo coeficiente de potencia C_p . La tercera zona sub-nominal 27 corresponde a velocidades del viento en un cierto rango en el que se mantiene constante la velocidad del generador a la velocidad nominal Ω_n mientras la potencia se incrementa hasta la potencia nominal P_{wn} . En esta zona el ángulo de paso de las palas es fijo y la velocidad del generador se controla a través del par. En la zona nominal 29, tiene lugar la operación del aerogenerador a plena carga a la potencia nominal P_{wn} bajo el control del ángulo de paso de las palas para evitar sobrecargas.

En condiciones ideales la curva de potencia promedio resultante sería la curva 22 de la Figura 3 que muestra que la producción de energía P se incrementa desde una mínima velocidad del viento V_2 hasta la velocidad nominal del viento V_n y entonces permanece constante en el valor nominal de producción de energía P_{wn} hasta la velocidad de corte del viento. Esta curva define la deseada relación funcional entre potencia y velocidad para alcanzar la producción ideal y por tanto el sistema de control del aerogenerador debe estar dispuesto en consonancia.

Para implementar esa regulación una unidad de control recibe datos de entrada tales como la velocidad del viento V , la velocidad del generador Ω , el ángulo de paso de las palas θ , la potencia P_W desde bien conocidos dispositivos de medida y envía datos de salida θ_{ref} , T_{ref} a, respectivamente, el sistema
 5 actuador del ángulo de paso de las palas para cambiar la posición angular de las palas 17 y a una unidad de comando del generador para cambiar la referencia para la producción de energía.

En referencia a la Figura 4, las entradas básicas a un controlador de par
 33 que dispone de medios para amortiguar las vibraciones del tren de potencia
 10 son un par demandado $T_{r_{dem}}$ de acuerdo con la curva Potencia vs. Velocidad del generador 21 y un par $T_{r_{dam}}$ de acuerdo a las necesidades de amortiguación del tren de potencia determinado en el bloque 31 en función de la velocidad del generador Ω y de la frecuencia principal f del tren de potencia. La salida es una referencia de par $T_{r_{ref}}$ para la unidad de comando del generador.

15 Esta invención se centra en la identificación en tiempo real durante la operación del aerogenerador de la frecuencia principal f del tren de potencia y en una realización preferente, comprende las siguientes etapas (ver Figura 5).

En una primera etapa, la señal original r_0 de la velocidad del generador proporcionada por el dispositivo antes mencionado de medición de la velocidad
 20 del generador Ω se filtra en el bloque 41 para obtener una señal de entrada r en un intervalo predeterminado de frecuencias, preferiblemente un intervalo de 1-2,5 Hz, para evitar perturbaciones de la señal.

En una segunda etapa, se obtiene en el bloque 43 la mejor banda de frecuencias, definida por la variable $P3$ (entre un número predeterminado de
 25 bandas definido por la variable $P2$), que representa la señal oscilatoria o comprendida en la señal de entrada r de la velocidad del generador Ω .

La señal de entrada r puede ser representado en cada una de dichas bandas como una señal filtrada s más una señal oscilatoria o de amplitud y fase desconocidas y con una frecuencia conocida con una cierta incertidumbre (la
 30 frecuencia central de cada sub-banda más un desplazamiento). La señal filtrada se puede obtener restando la oscilación estimada a la señal de entrada:

$$r(kT) = s(kT) + \alpha(kT) \cos(2\pi(f + \Delta f)kT + \phi(kT))$$

$$\hat{s}(kT) = r(kT) - \hat{\alpha}(kT) \cos(2\pi(f + \Delta f)kT + \hat{\phi}(kT))$$

Ec. 1

Los valores de la amplitud estimada (rpm) y de la fase (radianes) pueden ser calculados paso a paso como sigue:

$$\hat{\alpha}(k+1) = \hat{\alpha}(k) + \mu_{\alpha} \cdot \hat{s}(k) \cdot \cos\left(2\pi \cdot f \cdot k + \hat{\phi}(k)\right)$$

$$\hat{\phi}(k+1) = \hat{\phi}(k) - \mu_{\phi} \hat{s}(k) \cdot \text{sen}\left(2\pi \cdot f \cdot k + \hat{\phi}(k)\right)$$

Ec. 2

5

En esta expresión, μ_{α} and μ_{ϕ} (adimensionales) son el tamaño de paso para definir el tiempo de convergencia y la estabilidad del algoritmo. Deben calcularse experimentalmente. Todos los parámetros necesarios para este paso están definidos en la variable P1.

10 Las expresiones anteriores son válidas si y solo si $\frac{\Delta f}{f} \ll 1$. Nótese que Δf pertenece a la estimación de fase por lo que un mayor error en Δf afectará a esa estimación y también a la estimación de la amplitud según la Ec. 2. Puede aproximarse el Δf calculando la pendiente de la estimación de fase.

15 La banda en la que ocurre la oscilación se determina calculando el Δf en cada banda. El mínimo Δf determina la frecuencia principal f del tren de potencia.

En una realización preferente dichas sub-bandas son las siguientes:

- Banda 0: 1.45 – 1.65 Hz
- Banda 1: 1.55 – 1.75 Hz
- 20 - Banda 2: 1.65 – 1.85 Hz
- Banda 3: 1.75 – 1.95 Hz
- Banda 4: 1.85 – 2.05 Hz

Aunque la presente invención ha sido descrita completamente en relación con realizaciones preferentes, es evidente que se pueden introducir en ella

modificaciones dentro de su alcance, entendiendo que no está limitado a esas realizaciones sino por el contenido de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

- 1.- Método para la identificación de la frecuencia principal del tren de potencia de un aerogenerador en operación que comprende pasos en tiempo real de:
- 5
- a) obtener una señal de entrada (r) de la velocidad del generador (Ω);
 - b) filtrar la señal de entrada (r) de la velocidad del generador (Ω) para obtener una señal de la velocidad del generador ($r1$) en una banda apropiada para representar la oscilación de la señal (\circ) comprendida en la señal de entrada (r) de la velocidad del generador (Ω);

10

 - c) extraer la frecuencia principal (f) del tren de potencia de dicha señal filtrada ($r1$).
- 2.- Método según la reivindicación 1, en el que dicha banda apropiada en dicho paso b) es la mejor banda, entre un número predeterminado de bandas, para tener en cuenta la señal oscilatoria (\circ) comprendida en la señal de entrada (r) de la velocidad del generador (Ω).
- 15
- 3.- Método según la reivindicación 2, en el que dicha mejor banda es la banda que, representando dicha señal de entrada (r) como una señal filtrada (s) más una señal oscilatoria (\circ) de una frecuencia ($f_i + \Delta f_i$) siendo (f_i) la frecuencia central de cada banda, alcanza un valor mínimo de (Δf_i).
- 20
- 4.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el método también incluye un primer paso en el que dicha señal de entrada (r) se obtiene como una señal filtrada de la señal original ($r0$) de la velocidad del generador en un intervalo de una frecuencia predeterminada.
- 25
- 5.- Método según la reivindicación 4, en el que dicho intervalo de frecuencia es 1-2,5 Hz.
- 30

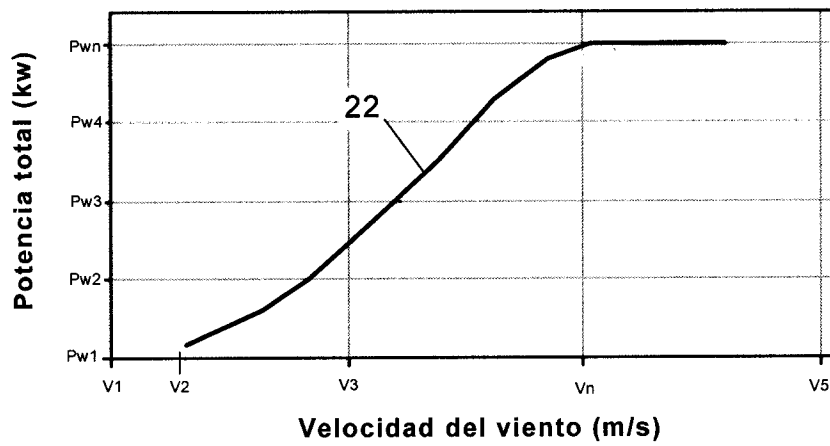
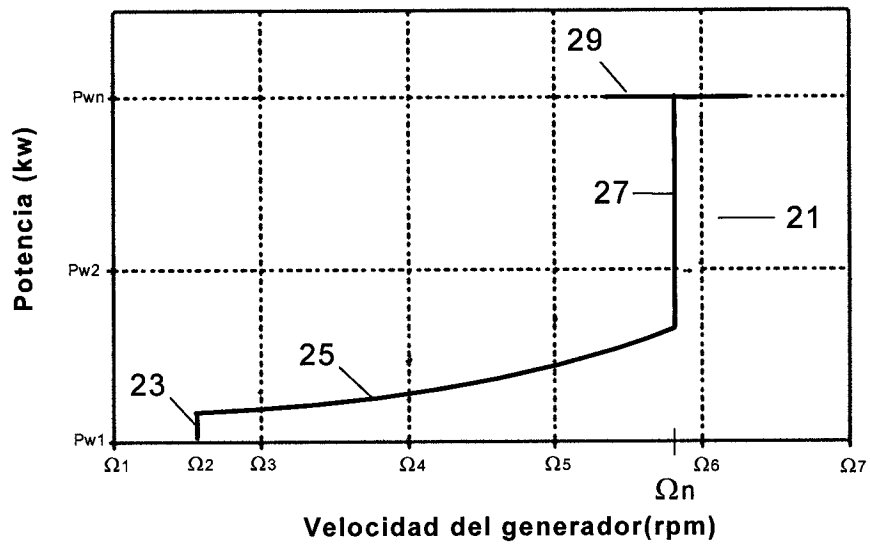
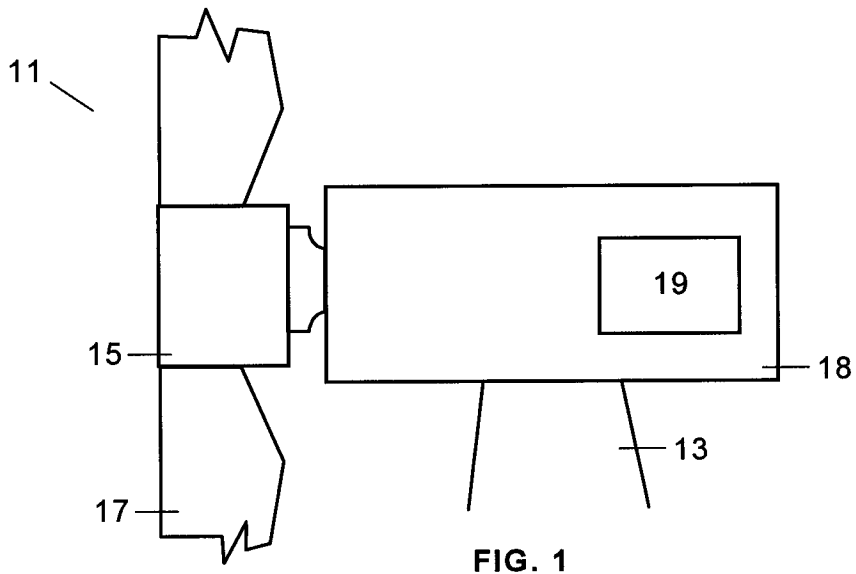
6.- Método según cualquiera de las reivindicaciones 1-5, en el que dicho número predeterminado de bandas es de cinco, abarcando en intervalos de dimensiones iguales un rango de frecuencias entre 1,45-2,05 Hz.

5 7.- Método de amortiguación de las vibraciones del tren de potencia de un aerogenerador que comprende etapas de fijación de la referencia del par del generador (T_{ref}) en función de la velocidad del generador (Ω) y de la frecuencia principal del tren de potencia (f) identificada por un método según cualquiera de las reivindicaciones 1-6.

10

8.- Sistema de control de un aerogenerador conectado a dispositivos de medida de, al menos, la velocidad del viento (V), la velocidad del generador (Ω), el ángulo de paso de cada pala (θ), la potencia (P) y, por lo menos, actuadores de control del ángulo de paso de las palas y del par motor, estando dispuesto el sistema de control para llevar a cabo una regulación del aerogenerador de acuerdo con una curva de potencia predeterminada 25 para velocidades del viento por debajo de la velocidad de corte (V_{out}); estando también dispuesto el sistema de control del aerogenerador para implementar un método de amortiguación según la reivindicación 7.

20



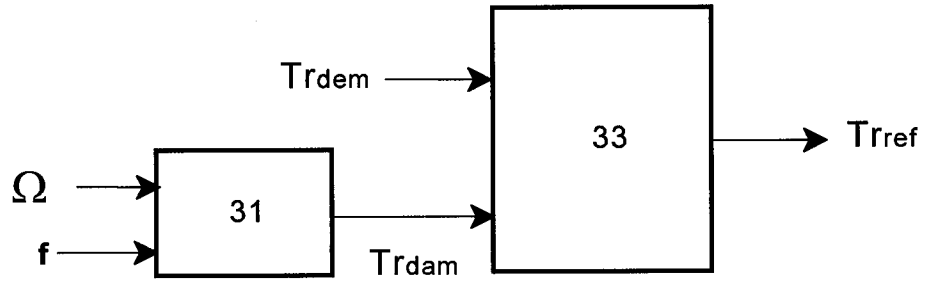


FIG. 4

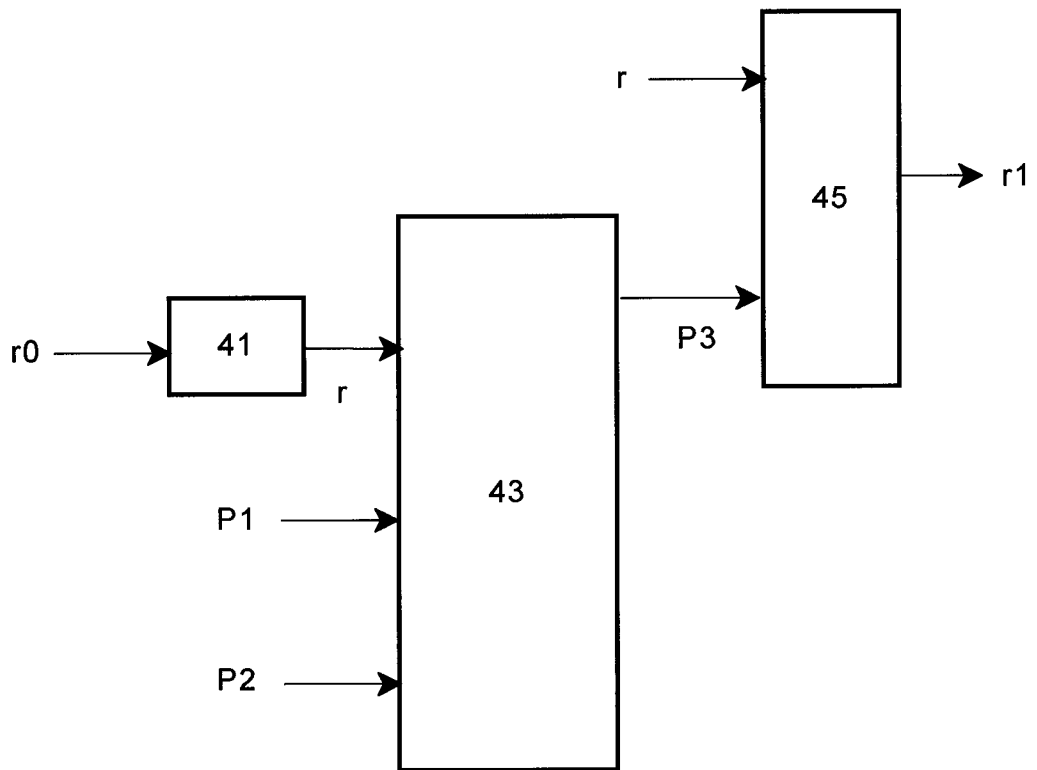


FIG. 5