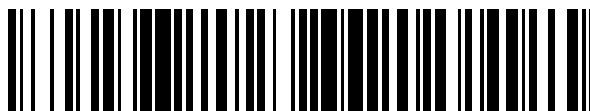


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 892**

51 Int. Cl.:

D21F 9/00 (2006.01)

D21G 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **09.07.2015 PCT/EP2015/065755**

87 Fecha y número de publicación internacional: **14.01.2016 WO16005523**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.07.2015 E 15735961 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **06.12.2017 EP 3167116**

54 Título: **Sistemas de control de turbinas para la recuperación de energía desde el momento de stock**

30 Prioridad:

09.07.2014 SE 1450882

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

04.04.2018

73 Titular/es:

**VALMET AKTIEBOLAG (100.0%)
851 94 Sundsvall, SE**

72 Inventor/es:

**JOHANSSON, ARVID;
ELG, SÖREN y
BENGTTSSON, PER-INGE**

74 Agente/Representante:

GARCÍA-CABRERIZO Y DEL SANTO, Pedro

ES 2 661 892 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

Sistemas de control de turbinas para la recuperación de energía desde el momento de stock

5

ANTECEDENTES1. Campo técnico

10 La presente invención se refiere en general a la recuperación de energía utilizada durante la fabricación de productos de papel.

2. Descripción de la técnica relacionada

15 El papel, el tisú, el cartón y otros productos a base de celulosa a menudo se fabrican a partir de una suspensión (por ejemplo, de celulosa en agua, en lo sucesivo: stock). Un cabezal de entrada puede inyectar stock entre un bucle de alambre de formación (por ejemplo, una malla de alambre o tela porosas) conducido alrededor de un rodillo de guía, y un bucle de tela (por ejemplo, una tela u otro alambre de formación), que normalmente se conduce alrededor de un rodillo de conformación. Las fuerzas aplicadas al stock (por ejemplo, a través del cabezal de entrada, el alambre de
20 formación, la tela o los rodillos) hacen que el agua pase a través del alambre de formación para formar una banda de celulosa entre el alambre de formación y la tela.

Grandes cantidades de agua a alta velocidad se expulsan desde el stock a medida que pasa a través del alambre de formación. La recuperación de energía de este stock puede mejorar la eficiencia de la fabricación de papel. Las patentes
25 US 6,398,913 y WO 01/44564A1 describen una disposición y un método para la recuperación de energía en una sección de conformación de una máquina de fabricación de papel, en la que la energía cinética impartida al stock se recupera a través de una turbina que acciona un generador. Mejorar la fiabilidad y/o la eficiencia de un aparato de recuperación de energía puede reducir el coste total de propiedad y disminuir el consumo de energía durante la fabricación del papel.

30

SUMARIO DE LA INVENCION

La energía cinética impartida al stock en la sección de conformación de una máquina de fabricación de papel puede recuperarse usando un aparato para recuperar energía. Un aparato de recuperación de energía puede comprender una
35 turbina (por ejemplo, una turbina Banki, Kaplan, Francis o Pelton). La turbina puede estar acoplada a un motor eléctrico, que puede funcionar como un motor en un primer momento, y como un generador en un segundo momento. A medida que el agua se expulsa a través del alambre de formación, puede guiarse a la turbina utilizando una placa de guía. El agua expulsada puede hacer que la turbina gire, impulsando el motor para generar energía eléctrica.

40 Se puede configurar un sistema de control de potencia (PCS, por sus siglas en inglés) para controlar la velocidad del motor (y, por extensión, de la turbina) controlando el flujo de potencia eléctrica entre un receptor/fuente de electricidad y el motor. El PCS puede controlar el flujo de potencia con un convertidor de frecuencia (por ejemplo, cuando se utiliza un motor de corriente alterna (A/C)). El PCS puede controlar el flujo de potencia con un convertidor de potencia (por ejemplo, cuando se usa un motor de corriente continua (D/C)). Algunas realizaciones incluyen un inversor para convertir
45 entre potencia A/C y D/C.

El motor puede controlarse (por ejemplo, variando una carga accionada por el motor) de manera que la turbina haga girar el motor a una cifra concreta de revoluciones por minuto (rpm) en la que genere energía eléctrica de manera eficiente. La transferencia mecánica del momento desde el stock filtrado a la turbina se puede maximizar controlando la
50 velocidad tangencial de la turbina para que sea una fracción deseada de la velocidad del material filtrado que incide sobre la turbina. La turbina puede controlarse para girar a una fracción deseada de la velocidad del "chorro" de stock que sale del cabezal de entrada, que puede ser una función de la presión de la cabeza de entrada y de las dimensiones de salida. En algunos casos, la turbina puede controlarse para girar a una fracción deseada de la velocidad del rodillo de conformación (por ejemplo, para lograr una velocidad tangencial particular de la turbina con respecto a la del rodillo de conformación). Un sistema de control de potencia puede configurarse para controlar la velocidad tangencial de la turbina para que esté entre aproximadamente el 20-70 %, incluso 30-60 %, incluso 35-50 %, de la velocidad del chorro.

55

Diseñando el sistema de forma que el motor gire a una cifra de rpm eléctricamente eficiente cuando las palas de la turbina se mueven a una velocidad mecánicamente eficiente con respecto al chorro de entrada, se puede maximizar la
60 eficiencia total de la conversión de potencia (desde el stock inyectado a la corriente eléctrica en el receptor/fuente).

En algunas realizaciones, una combinación apropiada de parámetros del motor (velocidad específica, número de polos), factores geométricos (diámetro del rodillo de conformación, diámetro de la turbina, engranaje entre la turbina y el motor)

y factores del proceso (velocidad tangencial del rodillo de conformación, velocidad tangencial de la turbina, velocidad de inyección de stock, tasa de flujo de volumen de stock, y similares) se puede diseñar conjuntamente para maximizar la eficiencia y la fiabilidad. Esta combinación puede dar como resultado que el motor gire a una cifra de rpm eléctricamente eficiente, mientras que la turbina gira a una velocidad tangencial que maximiza la transferencia de momento a partir del agua que incide en la turbina. Preferiblemente, varios parámetros (por ejemplo, el engranaje entre la turbina y el motor, el diámetro de la turbina y similares, o incluso diseños que eliminan la necesidad de engranajes) se eligen de modo que el motor gire a las rpm para las que fue diseñado (para funcionar como motor) cuando la turbina gira a una velocidad tangencial cercana al 50 % (por ejemplo, +/- 5 %, tal como 40 % - 50 %) de la velocidad del agua blanca que entra en la turbina. El sistema de control de potencia puede garantizar que, durante el funcionamiento, las diversas velocidades se mantengan en sus valores óptimos.

Utilizando un motor como generador, controlando el motor para que gire a las rpm deseadas en las que la eficiencia es alta, y diseñando el sistema de modo que la turbina gire a una cifra de rpm mecánicamente eficiente cuando el motor también está funcionando a unas rpm eléctricamente eficientes, la eficiencia total de conversión de potencia puede maximizarse. Controlar las rpm del motor (mientras funciona como un generador) puede permitir el uso de un dispositivo diseñado para ser un motor eléctrico (en lugar de un dispositivo diseñado para ser un generador en sí mismo). Tal sistema puede proporcionar una alta eficiencia y puede implementarse a un coste total menor que los sistemas anteriores. Las tasas de adopción por clientes pueden mejorarse utilizando un motor, en lugar de un generador. Un motor eléctrico puede tener un régimen de rpm de motor deseado, particularmente un régimen de rpm en el cual su eficiencia de generación de electricidad está cercana, preferiblemente, a un máximo. La turbina y el motor pueden configurarse (por ejemplo, mediante el diámetro de turbina, la velocidad del chorro, la velocidad del rodillo de conformación, el acoplamiento entre turbina y motor, y similares) de manera que, cuando la velocidad tangencial de la turbina esté entre 20-70 %, incluso 30-60 %, incluso 35-50 %, de la velocidad del chorro, el motor eléctrico gire a unas rpm que estén dentro del 30 %, incluso 20 %, particularmente 10 %, incluso 5 %, del régimen deseado de rpm del motor. Un régimen deseado de rpm del motor puede ser una velocidad estandarizada de funcionamiento del motor. Se puede configurar un sistema de control de potencia para controlar la velocidad del motor de forma que la desviación entre las rpm reales del motor y las rpm deseadas del motor (por ejemplo, la velocidad estandarizada de funcionamiento) no exceda del 20 %, incluso el 10 %, incluso el 5 %, del régimen deseado de rpm del motor. En algunas realizaciones, la velocidad del chorro es de aproximadamente 13-40 m/s, particularmente 17-37 m/s, particularmente 23-36 m/s. Un procedimiento puede comprender controlar la velocidad tangencial de la turbina según la velocidad entrante de una corriente de aguas blancas que incide sobre la turbina para maximizar la eficiencia de recuperación de energía, y particularmente mantener una velocidad tangencial de la turbina entre aproximadamente el 30 % y 60 % de la velocidad de entrada de la corriente de aguas blancas. La velocidad de entrada puede estar entre aproximadamente el 70 % - 90 %, incluso 75 % - 85 %, incluso aproximadamente 77 % - 83 % de la velocidad del chorro de agua inyectada por el cabezal de entrada y/o la velocidad tangencial del rodillo de conformación.

Normalmente, se pueden usar herramientas de diseño asistido por ordenador (CAD, por sus siglas en inglés) y de modelado (por ejemplo, FEM) para simular la operación, de manera que se puede predecir la velocidad de entrada de aguas blancas (desde el alambre de formación, hasta la turbina). La velocidad de las aguas blancas puede estar generalmente entre 70 % y 90 %, incluso 75 % y 85 %, incluso 78 % y 82 % de la velocidad del chorro. Basándose en la velocidad entrante de aguas blancas pronosticada, la velocidad pronosticada de la turbina (en función de la velocidad de las aguas blancas) y la eficiencia resultante de recuperación de energía, se puede diseñar un aparato (por ejemplo, radio de turbina elegido) para obtener una recuperación de energía óptima. En algunos casos, se pueden realizar ajustes finos en la velocidad de la turbina (por ejemplo, a través del control de la velocidad del motor en relación con las mediciones de potencia de la turbina) para afinar la recuperación de energía (por ejemplo, maximizar la eficiencia de la recuperación de energía). En una realización, el cabezal de entrada inyecta el stock a una velocidad de chorro que está entre aproximadamente 25 y 34 m/s, incluso aproximadamente 27 y 32 m/s. En una realización, el cabezal de entrada inyecta el stock a una velocidad de chorro que está entre aproximadamente 13 y 40 m/s, incluso aproximadamente 17 y 37 m/s, incluso aproximadamente 23 y 36 m/s. Un sistema de control de potencia puede configurarse para controlar la velocidad tangencial de la turbina para que esté entre aproximadamente entre el 20-70 %, incluso el 30-60 %, incluso el 35-50 % de la velocidad del chorro. Un sistema de control de potencia puede configurarse para controlar la velocidad tangencial de la turbina para que esté entre aproximadamente 9 y 15 m/s, incluso aproximadamente 10 y 14 m/s, incluso aproximadamente 11 y 13 m/s.

En algunos casos, el motor puede ser accionado para "hacer girar" la turbina antes de su uso (por ejemplo, antes de inyectar stock desde el cabezal de entrada) lo que puede reducir el daño y/o el desgaste en la turbina. El motor puede controlarse para ajustar la velocidad de la turbina en respuesta a la vibración (por ejemplo, desde un sensor de vibración), acelerando o ralentizando la turbina si un componente vibra, resuena o corre de otro modo el riesgo de dañarse a una velocidad particular.

Ciertas realizaciones comprenden una turbina acoplada a un motor configurado para impulsar la turbina (por ejemplo, para poner en marcha la turbina). Un sistema de control de potencia acoplado a un receptor/fuente eléctrica controla el

flujo de energía eléctrica al motor, que impulsa la turbina. Algunas realizaciones incluyen un sensor; algunas realizaciones no incluyen un sensor.

Diversos aspectos proporcionan un aparato para recuperar energía a partir de la sección de formación de una máquina de fabricación de papel. La máquina de fabricación de papel puede comprender un bucle de alambre de formación conducido alrededor de un rodillo de guía, un bucle de tela conducido alrededor de un rodillo de conformación y un cabezal de entrada configurado para inyectar el stock en el emparedado en movimiento creado por el alambre de formación y los bucles de tela. El aparato puede comprender una turbina acoplada (por ejemplo, a través de un eje, una cadena, una correa, un engranaje y similares) a un motor. Durante el funcionamiento, una placa de guía puede dirigir el agua eyectada a través del alambre de formación hacia la turbina, haciendo que el motor genere electricidad.

Un sistema de control de potencia (PCS) acoplado al receptor/fuente y al motor puede configurarse para controlar la velocidad de la turbina regulando un flujo de potencia entre el receptor/fuente y el motor. El motor puede configurarse para, en un primer momento, accionar la turbina usando energía eléctrica de un receptor/fuente, y en un segundo momento, enviar la potencia generada por la turbina al receptor/fuente. En algunos casos, el control puede comprender control de circuito cerrado usando uno o más sensores configurados para detectar la velocidad de la turbina y/o la velocidad del rodillo de conformación. La velocidad de la turbina puede controlarse para correlacionarse con la velocidad particular del chorro de agua entrante, que puede correlacionarse con la velocidad tangencial del rodillo de conformación y/o la velocidad de chorro del stock inyectado. En algunas realizaciones, el PCS comprende uno o más convertidores de frecuencia, que pueden controlar la velocidad del motor convirtiendo la frecuencia de la potencia que fluye entre el receptor/fuente y el motor. El PCS puede comprender un convertidor de potencia para controlar el flujo de potencia entre el receptor/fuente y el motor.

Una máquina de fabricación de papel puede comprender una sección de formación y un aparato de recuperación de energía como se describe en el presente documento. Un procedimiento puede comprender control de circuito cerrado de la velocidad de la turbina, en el que la información del sensor (por ejemplo, detección de velocidad de la turbina, velocidad del motor, frecuencia, velocidad del rodillo, velocidad del chorro y similares) se usa para controlar constantemente la velocidad de la turbina. La velocidad de la turbina medida puede compararse con la velocidad de la turbina deseada, y una desviación entre las velocidades medida y deseada puede inducir un ajuste en la velocidad de la turbina (por ejemplo, cambiando la cantidad de potencia que fluye entre el motor y el receptor/fuente, incluso cambio de frecuencia usando un convertidor de frecuencia que controla el motor).

La presente descripción reivindica prioridad e incorpora por remisión la solicitud de patente sueca núm. 1450882-4, presentada el 9 de julio de 2014, titulada "Turbine Control Systems for Energy Recovery from Stock Momentum" (Sistemas de control de turbinas para la recuperación de energía desde el momento de stock)

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

La Figura 1 ilustra una implementación de un aparato de recuperación de energía, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 2a es una ilustración esquemática de diversos detalles de un aparato de recuperación de energía, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 2a ilustra un aparato de recuperación de energía 200 que tiene un motor A/C y un receptor/fuente que comprende una línea A/C, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 2b ilustra un aparato de recuperación de energía 200' que tiene un motor D/C y un receptor/fuente que comprende una línea A/C, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 2c ilustra un aparato de recuperación de energía 200'' que tiene un motor A/C y un receptor/fuente que comprende una línea D/C, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 3 es una ilustración esquemática de una implementación de un sistema de control de potencia que comprende un convertidor de frecuencia, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 4 es una ilustración esquemática de una implementación de un sistema de control de potencia que comprende dos convertidores de frecuencia, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 5 es una ilustración esquemática de una implementación de un sistema de control de potencia que comprende un motor D/C, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 6 ilustra un procedimiento para hacer girar una turbina, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 7 ilustra un procedimiento para controlar una turbina, de acuerdo con algunas realizaciones.

5 La Figura 8 ilustra un procedimiento para ajustar una turbina para reducir la vibración, de acuerdo con algunas realizaciones.

La Figura 9 es una ilustración esquemática de un controlador, de acuerdo con algunas realizaciones.

10 DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Los sistemas y procedimientos aquí descritos pueden permitir la recuperación de energía durante la fabricación de papel y/u otros procesos en los que se imparte energía cinética a un fluido. La energía cinética transmitida al stock durante la fabricación del papel puede recuperarse con una turbina acoplada a un motor eléctrico. Después de eyectarse el agua a través del alambre de formación, una placa guía puede guiar el agua a la turbina, donde el agua hace girar la turbina, haciendo girar el motor para generar energía eléctrica, que fluye a un receptor/fuente a través de un sistema de control de potencia.

20 El sistema de control de potencia puede controlar el flujo de potencia eléctrica entre el receptor/fuente y el motor. Tal control puede mejorar la fiabilidad de la turbina y/o aumentar la eficiencia de conversión y transferencia de energía (desde el stock filtrado al receptor/fuente). Ciertas formas de realización de la electrónica de potencia pueden proporcionar un coste reducido en comparación con la técnica anterior. Algunos sistemas de control de potencia incluyen un convertidor de frecuencia, que puede usarse para controlar la velocidad del motor a través de una conversión de frecuencias entre el motor y el receptor/fuente.

25 La Figura 1 ilustra una implementación de un aparato de recuperación de energía, de acuerdo con algunas realizaciones. La Figura 1 ilustra una sección de formación de una máquina de fabricación de papel 100 que tiene un aparato de recuperación de energía 200/200'/200". Para los fines de esta memoria descriptiva, la máquina de fabricación de papel 100 también puede ser una máquina para fabricar tisús, cartones y/u otros productos fabricados mediante la extracción de un líquido (por ejemplo, agua) de una suspensión de partículas (por ejemplo, celulosa) dispersadas en el líquido.

30 La máquina de fabricación de papel del ejemplo 100 puede incluir un cabezal de entrada 101 configurado para recibir e inyectar el stock 108 a una velocidad de chorro 109. Un rodillo de conformación 110 puede guiar una tela, fieltro o malla de conformación, descrito aquí como tela 132. Algunos rodillos de conformación tienen un diámetro de entre 200 y 2500 mm, incluso entre 500 y 2000 mm, incluso entre 700 y 1700 mm. Un rodillo de conformación puede tener un diámetro de entre 1000 y 1900 mm. Un rodillo guía 120 puede guiar un alambre de formación 130. El alambre de formación 130 y el tejido 132 están dispuestos típicamente como bucles, que se unen para formar un "sándwich" continuo de bucles móviles de alambre de formación 130 y tela 132, en el cual el cabezal de entrada 101 inyecta el stock 108. A medida que el emparedado se mueve alrededor del rodillo de conformación 110, el fluido de la suspensión (por ejemplo, agua) es expulsado del stock intercalado, dejando una banda (por ejemplo, una banda de celulosa) entre el alambre de conformación 130 y el tejido 132. El emparedado puede separarse en el rodillo guía 122, después de lo cual la banda de material deshidratado puede procesarse adicionalmente.

45 Un aparato 200/200'/200" para recuperar energía a partir de la máquina de fabricación de papel puede comprender una turbina 140 acoplada a un motor eléctrico. La turbina y el motor pueden acoplarse a través de un acoplamiento (por ejemplo, con un eje rígido, un acoplamiento flexible, un eje de transmisión, una junta de CV, una junta universal, un eje de Cardán y similares). La turbina y el motor se pueden acoplar mediante una cadena, un cinturón y similares. La turbina y el motor se pueden acoplar mediante una caja de engranajes. En una realización, el motor y la turbina están configurados y acoplados sin una caja de engranajes entre ellos. Se puede implementar un aparato de recuperación de energía usando un motor A/C 210, y/o un motor D/C 210'. El receptor/fuente 250 puede comprender una línea (o bus) de A/C (por ejemplo, receptor/fuente 350 en la Figura 2a). El receptor/fuente 250 puede comprender una línea (o bus) DC (por ejemplo, receptor/fuente 450 en la Figura 2c). En algunas realizaciones, una línea puede acoplar eléctricamente una pluralidad o grupo de componentes (por ejemplo, proporcionando potencia a varios motores). La turbina y el motor se pueden acoplar a través de un acoplamiento 142 (por ejemplo, una correa, una cadena, un eje y similares). El acoplamiento puede comprender una caja de engranajes. El acoplamiento puede hacer que el motor y la turbina giren a las mismas rpm y o no incluyan una caja de engranajes (por ejemplo, si tal configuración aumenta la eficiencia). Un receptor/fuente eléctrico 250 puede ser una fuente de energía eléctrica o un receptor de energía eléctrica (por ejemplo, una carga).

60 Un sistema de control de potencia (PCS) 220 puede estar acoplado al receptor/fuente y al motor, y configurado para controlar la velocidad de la turbina regulando el flujo de potencia eléctrica entre el receptor/fuente y el motor. El PCS 220 se puede configurar para operar el motor utilizando energía del receptor fuente (por ejemplo, para hacer girar la

turbina durante el arranque). El PCS 220 puede estar configurado para enviar la potencia generada por la turbina (a través del motor) al receptor/fuente (por ejemplo, cuando el rodillo de conformación está funcionando y el material de entrada está inyectando stock).

5 Generalmente, el PCS 220 se puede acoplar a uno o más sensores 221 configurados para proporcionar datos de velocidad usados para controlar la velocidad de la turbina. Los datos de velocidad pueden comprender la velocidad medida y/o estimada del agua blanca entrante, que puede asociarse con la velocidad del chorro 109. El sensor 221 puede detectar la velocidad del chorro 109. El sensor 221 puede detectar la velocidad (preferiblemente al menos una de rpm y la velocidad tangencial) de la turbina, el motor, el rodillo y similares. El sensor puede comprender un codificador.

10 El PCS 220 puede incluir un sensor 221 (por ejemplo, como parte de un convertidor de frecuencia y/o convertidor de potencia). El motor puede incluir un sensor 221 (por ejemplo, un sensor de velocidad, un sensor de vibración, un sensor de corriente, un sensor de voltaje, un termopar y similares).

15 El PCS 220 puede regular el flujo de potencia entre el motor y el receptor/fuente de manera que el motor 210 (y por lo tanto la turbina 140) funcione a una velocidad deseada. El PCS 220 incluye preferiblemente y/o está acoplado a un controlador configurado para controlar la velocidad de la turbina 140 usando un control de circuito cerrado del motor, comparando los datos de velocidad medidos con la velocidad deseada y realizando ajustes cuando estos valores difieren en una cantidad mayor que la tolerable en esta diferencia.

20 El motor 210/210' puede comprender un motor electromagnético "normal" (por ejemplo, que tiene una bobina de campo o devanado de campo que está magnetizado eléctricamente). El motor 210 puede comprender un motor de imán permanente. El motor 210/210' puede incluir un motor de corriente alterna (A/C) 210 o un motor de corriente continua (D/C) 210'. El uso de un motor (a diferencia de un generador) como se describe en este documento puede proporcionar una o más ventajas. Mientras (en teoría) un motor puede funcionar como un generador (y viceversa), en la práctica, un

25 generador funciona mal como un motor, y un motor típicamente tiene un rendimiento pobre como generador. Sin embargo, un resultado inesperado y útil en algunas realizaciones es que un motor que tiene una velocidad operativa especificada (por ejemplo, un motor de 1500 rpm) puede generar electricidad de manera eficiente cuando es "accionado" a esa velocidad particular (por ejemplo, por la turbina 140). El PCS 220 puede garantizar que el motor funcione a su velocidad más eficiente para la conversión de energía.

30 Durante el funcionamiento, el PCS 220 puede controlar la velocidad del motor 210/210' controlando el flujo de potencia del motor al receptor/fuente 250. La velocidad del motor (y por lo tanto la velocidad de la turbina) puede controlarse utilizando un control de circuito cerrado que comprende uno o más sensores, de manera que la turbina opera al número deseado de revoluciones por minuto (rpm), preferiblemente donde una tolerancia en las rpm controladas es inferior al 10 % , preferiblemente inferior al 5 %, preferiblemente inferior al 3 %, preferiblemente inferior al 1 %, preferiblemente inferior al 0,5 %, preferiblemente por debajo del 0,1 % de las rpm deseadas. Si el motor 210/210' gira demasiado lento, puede reducirse el flujo de potencia al receptor/fuente 250. Si el motor 210/210' gira demasiado rápido, el flujo de potencia al receptor/fuente 250 puede aumentar. Al controlar el motor 210/210' para girar (como un generador) a la velocidad especificada (como se define para su funcionamiento como motor) la eficiencia puede ser alta. Como tal, el motor

35 210/210' puede ofrecer la eficiencia eléctrica de un generador al tiempo que proporciona los beneficios (por ejemplo, control de velocidad, coste, fiabilidad y similares) de ser un motor.

Puede ser ventajoso elegir el número de polos del motor (que define las rpm operativas) para minimizar (preferiblemente eliminar) la necesidad de una caja de cambios de velocidades entre la turbina y el motor (por ejemplo, tal que las rpm de la turbina estén lo más cerca posible de las rpm del motor). En algunos casos, se puede usar un motor estándar "off-the-shelf" (listo para usar), donde el motor tiene una serie de polos que dan como resultado una velocidad de funcionamiento estandarizada a 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500, 430 y 375 rpm. La velocidad de funcionamiento puede elegirse de acuerdo con las rpm esperadas de la turbina. El radio de la turbina, el acoplamiento (por ejemplo, engranaje) entre la turbina y el motor, y la velocidad del motor especificada (la velocidad de funcionamiento estándar del motor cuando opera como motor) se pueden diseñarse conjuntamente, de modo que la velocidad tangencial de la turbina sea una fracción deseada de la velocidad de entrada esperada de material filtrado (por ejemplo, agua blanca). En algunos casos, esta velocidad entrante es o está cerca de la velocidad del chorro 109 (por ejemplo, entre aproximadamente 13-40 m/s, particularmente 17-37 m/s, particularmente 23-36 m/s). Esta velocidad entrante puede ser o estar cerca (por ejemplo, dentro del 10 %, incluso dentro del 5 %, incluso dentro del 2 %) de la velocidad tangencial 110' del rodillo de conformación 110. En muchas máquinas, la velocidad tangencial del rodillo de conformación es ligeramente más rápida que la velocidad del chorro. En ciertas máquinas, puede ser un poco más lenta. Generalmente, la velocidad del rodillo de conformación es ligeramente más alta que la velocidad del chorro. Si bien la interacción física entre el stock y el alambre de formación puede desacelerar el material inyectado (a medida que se filtra por el alambre de formación), una velocidad del rodillo de conformación más rápida también puede acelerar el agua blanca (en relación con su velocidad si las velocidades del alambre de formación y del chorro son iguales). Por ejemplo, la velocidad tangencial 110' del rodillo de conformación puede ser de 20 a 200 m/minuto más rápida que la velocidad del chorro 109, incluso 30 a 160 m/minuto, incluso 50 a 140 m/minuto más rápida. En algunos casos, la velocidad del chorro puede ser de aproximadamente 90 % -100 %, incluso 94 % a 99 % de la velocidad tangencial del rodillo de conformación.

45

50

55

60

Generalmente, se usa una velocidad esperada (aguas blancas entrantes) para dimensionar la turbina, el motor y el acoplamiento entre ellos. En una realización ejemplar, se eligen turbina y motor (junto con un conjunto esperado de condiciones operativas de la máquina de fabricación de papel) de modo que, durante el funcionamiento, las rpm del motor coinciden con sus rpm estándar cuando la velocidad tangencial de la turbina es 20-70 %, incluso 30-60 %, incluso 40-50 %, incluso 42-49 %, incluso 44-48 % o 41 %-47 %, de la velocidad del agua entrante. La velocidad esperada del agua entrante a la turbina puede estar entre 10 y 50 m/s, incluso entre 15 y 40 m/s, incluso entre 20 y 30 m/s. En algunas máquinas, la velocidad esperada de las aguas blancas entrantes es de entre 23 y 33 m/s. La velocidad del agua blanca entrante puede ser de aproximadamente 70 %-90 %, incluso 75 %-85 %, incluso 78-82 % de la velocidad del chorro. En algunas realizaciones, la velocidad tangencial de la turbina se controla para estar entre 4 y 24 m/s, incluso 5 y 21 m/s, incluso 6 y 18 m/s. En algunos casos, un aparato puede "marcarse" para obtener una condición operativa particular en la instalación (por ejemplo, ajustar el PCS para controlar la velocidad real de la turbina a esa velocidad que maximiza la recuperación de energía, a condición de que no se perjudiquen las tasas de producción de papel, la calidad y similares).

En una implementación, varios componentes (por ejemplo, turbina, motor) están diseñados de manera que, cuando la turbina gira a las rpm deseadas (por ejemplo, con una velocidad tangencial que es una fracción deseada de la velocidad del chorro), el motor gira a un régimen de rpm eficiente (por ejemplo, un rpm estandarizado). Un rango ejemplar de velocidades de chorro puede estar entre aproximadamente 12-47 m/s, particularmente 13-45 m/s, particularmente 14-40 m/s. La velocidad tangencial ejemplar (velocidad periférica) de una turbina puede estar entre aproximadamente 6 y 20 m/s, incluso aproximadamente 10 y 17 m/s, incluso aproximadamente 11 y 16 m/s, incluso aproximadamente 12 y 14 m/s. Por ejemplo, en una máquina con una velocidad de chorro de aproximadamente 30 m/s, la turbina y el motor pueden diseñarse conjuntamente (por ejemplo, con el diámetro de la turbina y las rpm del motor) de modo que cuando la turbina tenga una velocidad tangencial de aproximadamente 14 m/s, el motor gire a 1500 rpm.

La optimización de los parámetros de recuperación de energía (por ejemplo, diámetro de la turbina, velocidad de funcionamiento del motor) según las condiciones de formación (por ejemplo, velocidad del cabezal de entrada, velocidad tangencial del rodillo de conformación) puede estar sujeta a restricciones de fabricación del "mundo real". Por ejemplo, una tolerancia de fabricación en el diámetro de la turbina puede ser de hasta 5 mm (por ejemplo, en una turbina de 600 mm) en un momento dado, pero más tarde mejorar a 2 mm (o incluso 1 mm). En lotes pequeños, solo los motores "listos para usar" que tienen unas rpm predefinidas pueden estar disponibles. Para compras más grandes, pueden estar disponibles motores personalizados que tengan unas rpm "estándar" definidas por el aparato de recuperación de energía. Un motor de imán permanente puede perder relativamente menos eficacia ya que las rpm se desvían de las rpm estándar (y por lo tanto ser mejor para las instalaciones de rpm "subóptimas"). Para los sistemas en los que las rpm del motor pueden definirse con precisión, un tipo diferente de motor (que ofrece una mayor eficiencia a sus rpm "ideales" pero peor eficiencia "fuera de ideal") puede ser mejor. En algunas realizaciones, la optimización de la velocidad tangencial de la turbina frente a la velocidad del agua blanca entrante (por ejemplo, en relación con la velocidad del chorro) puede tener prioridad sobre la optimización de las rpm del motor.

EJEMPLOS

Los siguientes ejemplos ilustran varias implementaciones representativas, en realizaciones seleccionadas (NB, "coma" denota punto decimal). Utilizando motores fácilmente disponibles, tolerancias de fabricación desafiantes (pero alcanzables) y disminuciones predecibles en la velocidad del agua blanca entrante (frente a chorro y rodillo de conformación), las rpm reales del motor pueden mantenerse dentro del 15 % (y en algunos casos dentro del 10 %, o incluso el 5 %) de su velocidad de funcionamiento estandarizada. Si bien no se muestra en esta tabla, se logró una importante recuperación de energía, a pesar de que las condiciones "ideales" pueden no haberse cumplido con exactitud.

TABLA 1

Realización	Velocidad rodillo de conformación (m/s)	Chorro m/s	Diámetro turbina (m)	Velocidad tangencial turbina (m/s)	RPM Turbina (real)	Desviación RPM (%) Motor asincrónico de 14 polos, operación estandarizada=428 rpm (deseada-real) / real	Desviación RPM (%) Motor magnético permanente, operación estandarizada=430 rpm, (deseada-real) / real
1	28,33	26,33	0,6	11,99	382	12,0 %	12,6 %
2	31,17	30,83	0,6	13,19	420	1,9 %	2,4 %

(continuación)

Realización	Velocidad rodillo de conformación (m/s)	Chorro m/s	Diámetro turbina (m)	Velocidad tangencial turbina (m/s)	RPM Turbina (real)	Desviación RPM (%) Motor asincrónico de 14 polos, operación estandarizada=428 rpm (deseada-real) / real	Desviación RPM (%) Motor magnético permanente, operación estandarizada=430 rpm, (deseada-real) / real
3	30	27,67	0,595	12,27	394	8,6 %	9,1 %
4	30,83	28,90	0,595	12,86	413	3,6 %	4,1 %

Algunas realizaciones incluyen un sensor de rodillo de conformación 221' (configurado para detectar la velocidad del rodillo de conformación). En una implementación, la turbina 140 puede controlarse para girar a una velocidad tangencial deseada 140', que puede elegirse para correlacionarse con la velocidad tangencial 110' del rodillo de conformación 110 y/o la velocidad del chorro 109. El PCS puede estar configurado adicionalmente para recibir datos desde el sensor del rodillo de conformación configurado para medir la velocidad del rodillo de conformación, y para controlar la velocidad de la turbina en relación con la velocidad del rodillo de conformación, preferiblemente en donde la velocidad tangencial de la turbina está entre 20 % y 70 %, incluso entre 30 % y 60 %, incluso entre 40 % y 55 %, incluso entre 45 % y 50 %, incluso al menos 46 % y no más que 49 %, de al menos una de la velocidad tangencial 110' del rodillo de conformación y la velocidad de chorro 109 del stock inyectado 108.

Algunas realizaciones comprenden un sensor de vibración 222, preferiblemente un acelerómetro, configurado para detectar una vibración (por ejemplo, de la turbina). El PCS puede configurarse adicionalmente para ajustar la velocidad de la turbina en respuesta a los datos recibidos del sensor de vibración. Preferiblemente, la vibración de la turbina hace que el PCS acelere la turbina (por ejemplo, reduciendo el flujo de potencia del motor al receptor/fuente). El flujo de potencia puede reducirse aumentando la frecuencia (por ejemplo, con un convertidor de frecuencia). El ajuste de la velocidad de la turbina para mitigar la vibración puede sacar al aparato del rango de eficiencia preferido, pero mejorar la fiabilidad.

Las rpm especificadas del motor pueden elegirse de acuerdo con el diámetro de la turbina para cumplimentar una sección de formación concreta. Diferentes máquinas de fabricación de papel pueden tener diferentes condiciones operativas (por ejemplo, volumen de stock/segundo, concentración de stock, tipo de fibra dentro del stock, % de fibra reciclada (por ejemplo, % de papel reciclado sin tinta), composición de la fibra (por ejemplo, abedul, abeto, picea, pino, eucalipto), longitud de la fibra, velocidad de la tela/alambre, velocidades angulares de varios rodillos, tipo de alambre, tipo de tela, y similares). Diferentes máquinas pueden tener diferentes parámetros geométricos. Por ejemplo (en una máquina de ancho determinado), el tamaño 102 del espacio de salida del cabezal de entrada puede variar entre máquinas (por ejemplo, entre 2 y 30 mm, incluso 5-25 mm, incluso 8-20 mm, incluso 10-15 mm, incluso 12-13 mm). La posición 106 del cabezal de entrada 101 con respecto a los rodillos conductores y de conformación (por ejemplo, la distancia desde el espacio de salida del cabezal de entrada al "emparedado" formado por el alambre y la tela de formación) puede variar. El ángulo del cabezal de entrada 104 puede variar. La presión del stock 108 dentro del cabezal de entrada 101, el área de la sección transversal del espacio de salida del cabezal de entrada y las propiedades del stock (por ejemplo, concentración, viscosidad, tipo de fibra) pueden usarse para definir la velocidad del chorro 109 del stock que se eyecta desde el cabezal de entrada 101. Los diámetros del rodillo de conformación y del rodillo guía y las posiciones de estos dos rodillos entre sí pueden variar. La velocidad del chorro 109 puede ser del 90 %-110 %, incluso el 95 %-105 %, incluso el 98% -102 %, incluso sustancialmente la misma que la velocidad del emparedado de alambre/tela (es decir, la velocidad tangencial del rodillo de conformación).

La variación de estas condiciones y parámetros puede cambiar la velocidad, posición y/o forma de la corriente de agua (o pulverización) eyectada a través del alambre de formación 130. Para adaptarse a las diferencias en estas características, la PCS 220 puede controlar la velocidad de la turbina 140 (a través del motor 210) para maximizar la eficiencia y/o minimizar el daño.

Las FIGURAS 2a-2c son ilustraciones esquemáticas de diversos detalles de un aparato de recuperación de energía, de acuerdo con algunas realizaciones. Se pueden implementar varias combinaciones de motor (A/C, D/C) y receptor/fuente (A/C, D/C). La FIGURA 2a ilustra un aparato 200 de recuperación de energía que tiene un motor A/C y un receptor/fuente que comprende una línea A/C, de acuerdo con algunas realizaciones. La FIGURA 2b ilustra un aparato de recuperación de energía 200' que tiene un motor D/C y un receptor/fuente que comprende una línea A/C, de acuerdo con algunas realizaciones. La FIGURA 2c ilustra un aparato de recuperación de energía 200 que tiene un motor A/C y un receptor/fuente que comprende una línea D/C, de acuerdo con algunas realizaciones. Son posibles otras combinaciones, y el debate en relación con estas figuras es generalmente admisible.

- En la FIG. 2a, un aparato 200 puede comprender un PCS 220 representativo que tiene un controlador 230 y un convertidor de frecuencia 240 (por ejemplo, para uso con un motor A/C 210). El controlador 230 puede estar configurado para controlar el convertidor de frecuencia 240 para ajustar una conversión de frecuencia entre el motor 210 y el receptor/fuente 250. En el ejemplo mostrado en la FIG. 2a, el receptor/fuente 350 comprende una línea A/C. El convertidor de frecuencia 240 se puede usar para controlar la velocidad del motor 210 regulando el flujo de corriente entre el motor 210 y el receptor/fuente 350 (por ejemplo, cambiando la frecuencia convertida de la potencia eléctrica que fluye entre estos componentes).
- El controlador 230 puede recibir datos de un sensor (por ejemplo, un sensor 221, 221', un sensor de vibración 222 y similares, (FIGURA 1) y utilizar estos datos para controlar la velocidad de la turbina. El PCS 220 puede incluir un sensor 221, y en algunos casos, el sensor está integrado con el convertidor de frecuencia 240.
- La FIG. 2b ilustra un aparato de recuperación de energía 200' que tiene un motor D/C 210' y un receptor/fuente 350 que comprende una línea A/C. PCS 220 puede comprender un convertidor de potencia 240'. Se puede usar un convertidor de potencia para controlar la velocidad de un motor D/C (por ejemplo, controlando el flujo de potencia hacia/desde el motor). En la Figura ilustrativa 2b, el convertidor de potencia 240' puede convertir la potencia que fluye entre el motor D/C 210' y el receptor/fuente 350. El convertidor de potencia 240' puede incluir un sensor (por ejemplo, el sensor 221).
- La FIGURA 2c ilustra un aparato de recuperación de energía 200'' que tiene un motor A/C 210 y un receptor/fuente 450 que comprende una línea D/C. El PCS 220 puede comprender un convertidor de frecuencia 240, que puede controlar la velocidad del motor A/C 210.
- En algunas implementaciones (por ejemplo, un sistema MULTIDRIVE proporcionado por Valmet AB, Karlstad, Suecia), una pluralidad de cargas D/C (por ejemplo, motores asociados con una máquina de fabricación de papel) puede ser alimentada por un bus (por ejemplo, un receptor/fuente 450 que comprende un bus D/C). La sección de entrada 410 puede comprender un convertidor de frecuencia configurado (por ejemplo) para convertir la energía de la red A/C en energía D/C para el receptor/fuente 450. El receptor/fuente 450 puede comprender un bus D/C utilizado para alimentar una pluralidad de componentes D/C. La sección de entrada 410 puede comprender un convertidor de frecuencia regenerativo de 4 cuadrantes. Algunas implementaciones pueden usar una unidad de suministro de tiristores (ABB, Suiza) IGBT o una interfaz activa (Siemens, Alemania).
- La FIG. 3 es una ilustración esquemática de una implementación de un sistema de control de potencia que comprende un convertidor de frecuencia, de acuerdo con algunas realizaciones. La FIGURA 3 ilustra una implementación usando un motor A/C 210 acoplado a un receptor/fuente 350 a través de un convertidor de frecuencia 240 que comprende dos o más convertidores de frecuencia 242 y 244. Un PCS puede comprender dos o más convertidores de frecuencia (por ejemplo, como en la FIGURA 3). Un PCS puede comprender dos o más convertidores de potencia (por ejemplo, como en la FIGURA 5).
- El uso de dos o más convertidores de frecuencia (y/o convertidores de potencia) discretos puede ofrecer ventajas en algunas implementaciones. En algunos casos, la potencia necesaria para "hacer girar" una turbina (por ejemplo, durante el arranque) es menor que la generada por la turbina durante el funcionamiento. En tales casos, "dividir" la conversión de frecuencia en etapas de "entrada" y "salida" puede reducir el coste. En la FIGURA 3, se puede usar un convertidor de frecuencia 242 más pequeño (por ejemplo, de menor coste) para controlar la potencia que se envía al motor 210, y se puede usar un convertidor de frecuencia más grande 244 para controlar la potencia que se envía al receptor/fuente 350. Para reducir el coste, la capacidad de potencia máxima del convertidor de frecuencia 242 puede ser menor, incluso menos del 50 %, preferiblemente menos del 20 %, incluso menos del 10 %, incluso menos del 5 %, que la del convertidor de frecuencia 244. En una implementación ejemplar, el convertidor de frecuencia 242 tiene una capacidad de potencia máxima de menos de 100 kW, incluso menos de 50 kW, preferiblemente menos de 20 kW, preferiblemente no más de 10 kW, y el convertidor de frecuencia 244 tiene una capacidad de potencia máxima de al menos 100 kW, preferiblemente al menos 300 kW, preferiblemente al menos 600 kW, preferiblemente al menos 800 kW.
- La FIG. 4 es una ilustración esquemática de una implementación de un sistema de control de potencia que comprende dos convertidores de frecuencia, de acuerdo con algunas realizaciones. La FIGURA 4 ilustra un convertidor de frecuencia 240 que controla el flujo de potencia entre un motor A/C 210 y un receptor/fuente 450 que comprende una línea D/C. En este ejemplo, el convertidor de frecuencia 240 comprende un primer convertidor de frecuencia 242 y un segundo convertidor de frecuencia 244.
- La FIG. 5 es una ilustración esquemática de una implementación de un sistema de control de potencia que comprende un motor D/C, de acuerdo con algunas realizaciones. En este ejemplo, el convertidor de potencia 240' controla el flujo de potencia entre el motor D/C 210' y el receptor/fuente 350 (y, por extensión, controla la velocidad de la turbina 140). En este ejemplo, el convertidor de potencia 240' incluye dos o más convertidores de potencia 242' y 244'. Las

capacidades relativas de manejo de los convertidores de potencia 242' y 244' pueden ser similares a las de los convertidores de frecuencia 242 y 244.

- 5 La FIG. 6 ilustra un procedimiento para hacer girar la turbina, de acuerdo con algunas realizaciones. El procedimiento 600 puede usarse antes de iniciar la eyección del flujo de stock desde el cabezal de entrada, de modo que la turbina ya esté girando a (o cerca de) la velocidad deseada cuando el agua empieza a golpear la turbina. Hacer girar la turbina puede reducir el desgaste y/o reducir la probabilidad de daños durante el arranque. En algunas realizaciones, un procedimiento descrito en este documento se implementa usando un controlador 230.
- 10 En la etapa 610, se recibe una velocidad de turbina deseada (por ejemplo, que representa una velocidad tangencial determinada por la del rodillo de conformación). En la etapa 620, se envía potencia al motor. En la etapa 630, se reciben datos que comprenden la velocidad medida de la turbina. En la etapa 640, los valores de velocidad medidos y deseados se comparan con una tolerancia (por ejemplo, cuantificando una diferencia aceptable entre estas velocidades). Si la velocidad es demasiado lenta, la potencia enviada a la turbina se puede aumentar (etapa 642) para acelerar la turbina.
- 15 Acelerar la turbina puede implicar aumentar la frecuencia del motor. Si la velocidad es demasiado rápida, la potencia enviada a la turbina se puede disminuir (etapa 644) para frenar la turbina. Disminuir la velocidad de la turbina puede implicar la disminución de la frecuencia del motor. En la etapa 650 (cuando la velocidad es aceptable) se envía una instrucción de inicio, que puede marcar el inicio de la eyección del cabezal de entrada.
- 20 En algunas implementaciones (por ejemplo, de bajo coste), el aparato 200 no tiene un sensor. La turbina puede hacerse girar sin entrada de sensor (por ejemplo, enviando una cantidad fija de potencia, una frecuencia fija (Hz) y/o enviando potencia durante un período de tiempo fijo) antes de iniciarse el cabezal de entrada.
- 25 La FIG. 7 ilustra un procedimiento para controlar una turbina, de acuerdo con algunas realizaciones. El procedimiento 700 puede usarse para controlar la velocidad de la turbina (por ejemplo, durante la fabricación del papel). Diversos procedimientos descritos en este documento pueden implementarse con PCS 220. En la etapa 710, se determina una velocidad de turbina deseada (por ejemplo, recibida de una base de datos). En la etapa 720, se reciben datos que comprenden la velocidad de la turbina (por ejemplo, desde un sensor). En la etapa 730, se comparan las velocidades medidas y deseadas, y se determina una diferencia.
- 30 Si la turbina está girando demasiado lentamente, la potencia enviada desde la turbina al receptor/fuente puede disminuirse (etapa 732) disminuyendo la carga en la turbina. En algunas realizaciones, la potencia se reduce cambiando la frecuencia (por ejemplo, aumentando la frecuencia, dependiendo de dónde esté la velocidad de la turbina en su curva de eficacia con respecto al agua entrante). Si la turbina está girando demasiado rápido, la potencia enviada desde la turbina al receptor/fuente puede incrementarse (etapa 734) aumentando la carga en la turbina. En algunas realizaciones, la potencia se incrementa cambiando la frecuencia (por ejemplo, disminuyendo la frecuencia). Los datos pueden almacenarse opcionalmente en la etapa 740.
- 35 Puede ser ventajoso controlar el motor para que funcione a su régimen de rpm más eficiente. En algunas realizaciones, el PCS 220 está configurado para controlar la velocidad del motor de modo que la diferencia entre la velocidad medida de la turbina y la velocidad deseada de la turbina (y/o motor) esté dentro del 50 %, incluso dentro del 20 %, incluso dentro del 10 %, incluso dentro del 5 %, incluso dentro del 1 %, incluso dentro del 0,5 % de la velocidad deseada de la turbina (o motor). El controlador 230 puede configurarse para controlar el motor usando control de circuito cerrado (por ejemplo, en base a datos de un sensor 221, FIG. 1), y puede configurarse adicionalmente con instrucciones ejecutables para realizar un procedimiento para de control proporcional, integral, derivado (PID).
- 40 La FIG. 8 ilustra un procedimiento para ajustar una turbina para reducir la vibración, de acuerdo con algunas realizaciones. El procedimiento 800 puede usarse cuando se detecta una vibración (por ejemplo, desde un sensor de vibración). Reducir y/o eliminar la vibración puede reducir el desgaste y/o daño de varios componentes. En la etapa 810, se determina una tolerancia a la vibración (por ejemplo, seleccionada de una base de datos). Una tolerancia a la vibración puede comprender un nivel aceptable de vibración medida. En la etapa 820, se reciben datos de vibración medidos. En la etapa 830, los datos de vibración medidos se comparan con la tolerancia a la vibración. Si la vibración está dentro de la tolerancia (por ejemplo, la magnitud de la vibración medida es menor que la de la tolerancia), los datos pueden almacenarse opcionalmente (etapa 850). Si la vibración está fuera de tolerancia (por ejemplo, la magnitud de la vibración medida es mayor que la de la tolerancia), se puede ajustar el flujo de potencia del motor al receptor/fuente (etapa 840). En algunas realizaciones, la velocidad del motor puede aumentarse en respuesta a la vibración (por ejemplo, aumentando la frecuencia para reducir la cantidad de potencia enviada al receptor/fuente). En algunos casos, el ajuste de la vibración puede implicar el funcionamiento de la turbina a una velocidad que está fuera de las rpm "preferidas" con el fin de reducir la probabilidad de daños.
- 50 La FIG. 9 es una ilustración esquemática de un controlador, de acuerdo con algunas realizaciones. En algunas realizaciones, el controlador 230 puede estar integrado con un convertidor de frecuencia. En algunos casos, el controlador 230 puede ser un componente separado. En la FIG. 9, el controlador 230 comprende un procesador 910,

una memoria 920, un almacenamiento 930, una interfaz de entrada/salida 940, una interfaz de red de comunicaciones 950 y una interfaz de pantalla 960, algunas de las cuales (por ejemplo, el interfaz de pantalla 960) pueden ser opcionales en algunas implementaciones. Estos componentes se comunican entre sí a través de un bus de sistema 970 y con el mundo exterior a través de un bus de comunicación 980.

5

El procesador 910 se puede configurar para ejecutar instrucciones. En algunas realizaciones, el procesador 910 comprende circuitos integrados o cualquier procesador capaz de procesar las instrucciones ejecutables, y puede incluir un caché, un procesador multinúcleo, un procesador de video y/u otros procesadores.

10

La memoria 920 puede incluir cualquier memoria configurada para almacenar datos. Un ejemplo de memoria 920 incluye un medio de almacenamiento legible por computadora, que puede incluir cualquier medio configurado para almacenar instrucciones ejecutables. Por ejemplo, la memoria 920 puede incluir, pero no se limita a, dispositivos de almacenamiento tales como RAM, ROM, MRAM, memoria flash y/o memoria.

15

El almacenamiento 930 puede comprender un medio de almacenamiento no transitorio legible por computadora configurado para almacenar instrucciones ejecutables (por ejemplo, código) para uso por el procesador 910, tal como un disco duro, un disco óptico, una memoria flash y/o una cinta magnética. El almacenamiento 930 puede incluir una base de datos u otra estructura de datos configurada para contener y organizar datos. En algunas realizaciones, el controlador 230 incluye memoria 220 en forma de RAM y almacenamiento 230 en forma de memoria flash.

20

La entrada y la salida (I/O -por sus siglas en inglés-) pueden implementarse a través de la interfaz de I/O 940, que puede incluir hardware y/o software para conectar con diversos dispositivos ubicados remotamente tales como otras partes de la máquina de fabricar papel 100 (FIG. 1). La interfaz de I/O 940 puede interactuar con un teclado local, un ratón, un puntero, una pantalla táctil y similares.

25

La interfaz de red de comunicación 950 puede comunicarse con diversos dispositivos, y puede admitir comunicaciones seriales, paralelas, USB, firewire, Ethernet, PLC y/o ATA. La interfaz de red de comunicaciones 950 también puede admitir 802.11, 802.16, GSM, CDMA, EDGE y varios otros protocolos de comunicaciones inalámbricas.

30

La interfaz de pantalla 960 puede incluir cualquier circuito utilizado para controlar y/o comunicarse con un dispositivo de visualización, tal como una pantalla de LED, una pantalla OLED, una pantalla de plasma y similares. En algunas configuraciones, la interfaz de visualización 960 incluye una tarjeta de video y memoria.

35

La funcionalidad de los diversos componentes puede implicar el uso de instrucciones ejecutables, que pueden almacenarse en medios de almacenamiento legibles por ordenador (por ejemplo, memoria y/o almacenamiento). En algunas realizaciones, las instrucciones ejecutables pueden almacenarse "permanentemente" en el almacenamiento 930 para su recuperación y almacenamiento en la memoria 920 para su uso por el procesador 910. Las instrucciones ejecutables pueden ser recuperadas y ejecutadas por el procesador 910 para implementar uno o más procedimientos.

40

Las realizaciones descritas en este documento pueden llevarse a cabo con diversas configuraciones de secciones de formación diferentes (por ejemplo, un formador en forma de media luna, una sección de formación de DCT como la proporcionada por Valmet AB, un formador de alambres gemelos, y similares). Se pueden incluir diversos aparatos como parte de una máquina de fabricación de papel. Un aparato de recuperación de energía puede ser adaptado a una máquina de fabricación de papel ya existente.

45

Las realizaciones no necesitan incorporar todas, o incluso una pluralidad de, las características descritas en este documento. Varias características descritas en este documento pueden implementarse independientemente y/o en combinación de unas con otras. Una combinación explícita de características no impide la omisión de cualquiera de estas características de otras formas de realización.

50

La totalidad de esta descripción, incluidas las figuras y el resumen, está protegida por derechos de autor, Valmet AB, Karlstad, Suecia.

55

La descripción anterior es ilustrativa y no restrictiva. Muchas variaciones de la invención serán evidentes para los expertos en la técnica tras la revisión de esta divulgación. El alcance de la invención debería, por lo tanto, determinarse no con referencia a la descripción anterior, sino que debería determinarse con referencia a las reivindicaciones adjuntas junto con el alcance completo de sus equivalentes.

60

REIVINDICACIONES

1. Un aparato (200, 200', 200'') para recuperar energía de una máquina de fabricación de papel (100), comprendiendo la máquina de fabricación de papel un bucle de alambre de formación (130) conducido alrededor de un rodillo de guía (120), un bucle de tela (132) conducido alrededor de un rodillo de conformación (110), y un cabezal de entrada (101) configurado para inyectar un stock (108) dentro del emparedado en movimiento creado por el alambre de formación y los bucles de tela, comprendiendo el aparato:
una turbina (140) acoplada a un motor eléctrico (210, 210'), estando el motor configurado para:
en un primer momento, accionar la turbina usando energía eléctrica; y
en un segundo momento, ser accionado por la turbina para generar energía eléctrica;
un sensor (221) configurado para determinar la velocidad de la turbina;
un receptor/fuente de electricidad (250, 350, 450); y
un sistema de control de potencia (PCS) (220) acoplado al receptor/fuente, al sensor y al motor, estando el PCS configurado para controlar la velocidad de la turbina mediante la regulación del flujo de potencia eléctrica entre el receptor/fuente y el motor.
2. El aparato de la reivindicación 1, en el que:
en un primer momento, el PCS envía potencia desde el receptor/fuente al motor; y
en un segundo momento, el PCS envía la potencia generada por el motor al receptor/fuente.
3. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1 y 2, en el que el PCS comprende al menos uno de los siguientes elementos:
un convertidor de frecuencia (240) que controla la velocidad de la turbina cambiando la frecuencia de la corriente eléctrica que fluye entre el receptor/fuente y el motor; y
un convertidor de potencia (240') que controla la velocidad de la turbina controlando la potencia eléctrica que fluye entre el receptor/fuente y el motor.
4. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el PCS comprende al menos un convertidor de frecuencia (240) que controla la velocidad de la turbina cambiando la frecuencia de la corriente eléctrica que fluye entre el receptor/fuente y el motor, comprendiendo el convertidor de frecuencia:
un primer convertidor de frecuencia (242) configurado para enviar potencia desde el receptor/fuente al motor; y
un segundo convertidor de frecuencia (244) configurado para enviar potencia desde el motor al receptor/fuente.
5. El aparato de la reivindicación 4, en el que la capacidad de potencia máxima del primer convertidor de frecuencia es menor que la del segundo convertidor de frecuencia, preferiblemente inferior al 50 %, preferiblemente inferior al 20 %, preferiblemente inferior al 10 %, preferiblemente inferior al 5 %, del segundo convertidor de frecuencia.
6. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 4 y 5, en el que el primer convertidor de frecuencia tiene una capacidad de potencia máxima inferior a 100 kW, preferiblemente inferior a 50 kW, preferiblemente inferior a 20 kW, preferiblemente no superior a 10 kW, y el segundo el convertidor de frecuencia tiene una capacidad de potencia máxima de al menos 100 kW, preferiblemente al menos 300 kW, preferiblemente al menos 600 kW, preferiblemente al menos 800 kW.
7. El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en el que el PCS comprende al menos un convertidor de potencia (240') que controla la velocidad de la turbina al cambiar la potencia eléctrica que fluye entre el receptor/fuente y el motor, comprendiendo el convertidor de potencia:
un primer convertidor de potencia (242') configurado para enviar potencia desde el receptor/fuente al motor; y

un segundo convertidor de potencia (244') configurado para enviar potencia desde el motor al receptor/fuente.

5 **8.** El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1-7, en el que el PCS comprende un controlador (230) configurado para controlar la velocidad de la turbina, preferiblemente usando un control de circuito cerrado que comprende un sensor, de modo que la turbina funcione con un número deseado de revoluciones por minuto (rpm), preferiblemente con una tolerancia en las rpm controladas que está por debajo del 10 %, preferiblemente por debajo del 5 %, preferiblemente por debajo del 3 %, preferiblemente por debajo del 1 %, preferiblemente por debajo de 0,5 %, preferiblemente por debajo de 0,1% de las rpm deseadas.

15 **9.** El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1-8, que comprende además un sensor de rodillo de conformación (221') configurado para detectar la velocidad del rodillo de conformación, y en el que el PCS está configurado además para controlar la velocidad de la turbina en relación con la velocidad del rodillo de conformación.

20 **10.** El aparato de cualquiera de las reivindicaciones 1-9, que comprende además un sensor de vibración (222), preferiblemente un acelerómetro, configurado para detectar la vibración de la turbina, en el que el PCS está configurado además para ajustar la velocidad de la turbina en respuesta a los datos recibidos del sensor de vibración.

11. Una máquina de fabricación de papel que comprende:
25 un bucle de alambre de formación (130) configurado para ser conducido alrededor de un rodillo de guía (120), un bucle de tela (132) configurado para ser conducido alrededor de un rodillo de conformación (110), y un cabezal de entrada (101) configurado para inyectar un stock (108) dentro del emparedado creado por el alambre de formación y los bucles de tela; y
30 un aparato (200, 200', 200'') para recuperar energía de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10.

12. Un procedimiento para hacer funcionar una máquina de fabricación de papel (100) y un aparato (200, 200', 200'') para recuperar energía a partir de la máquina de fabricación de papel, comprendiendo la máquina de fabricación de papel:

35 un bucle de alambre de formación (130) configurado para ser conducido alrededor de un rodillo de guía (120), un bucle de tela (132) configurado para ser conducido alrededor de un rodillo de conformación (110), y un cabezal de entrada (101) configurado para inyectar un stock (108) dentro del emparedado creado por el alambre de formación y los bucles de tela;

40 comprendiendo el aparato (200, 200', 200'') para recuperar energía a partir de la máquina de fabricación de papel:

una turbina (140) acoplada a un motor eléctrico (210, 210'), estando el motor configurado para:

45 en un primer momento, accionar la turbina usando energía eléctrica; y
en un segundo momento, ser accionado por la turbina para generar energía eléctrica;

un sensor (221') configurado para detectar la velocidad de la turbina;

50 un receptor/ fuente de electricidad (250, 350, 450); y

un sistema de control de potencia (PCS) (220) acoplado al receptor/fuente, al sensor y al motor, estando el PCS configurado para controlar la velocidad de la turbina regulando el flujo de potencia eléctrica entre el receptor/fuente y el motor;

comprendiendo el procedimiento:

55 recibir datos deseados de velocidad que comprenden la velocidad deseada de la turbina;

recibir datos medidos de velocidad que comprenden la velocidad medida de la turbina;

calcular la diferencia entre los datos de velocidad medidos y deseados; y

60 controlar el flujo de potencia eléctrica entre el receptor/fuente y el motor en respuesta a la diferencia calculada, en donde el control comprende particularmente controlar la conversión de frecuencia de la corriente eléctrica entre una primera frecuencia del motor y una segunda frecuencia del receptor/fuente.

13. El procedimiento de la reivindicación 12, en el que la velocidad deseada de la turbina comprende una velocidad tangencial deseada (140') de la turbina.
- 5
14. El procedimiento de la reivindicación 13, en el que la velocidad tangencial deseada (140') de la turbina está entre 20 % y 70 %, preferiblemente entre 30 % y 60 %, preferiblemente entre 40 % y 50 %, preferiblemente entre 44 % y 49 %, preferiblemente al menos 46 % y no más de 48 %, de al menos una de:
- 10 la velocidad tangencial (110') del rodillo de conformación; y
 la velocidad de chorro (109) del stock (108) eyectado por el cabezal de entrada (101).
15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 12-14, en el que, en el primer momento, no se ha iniciado el flujo de stock (108) desde el cabezal de entrada (101), comprendiendo además el procedimiento el envío de una instrucción para iniciar el flujo de stock cuando la diferencia entre los datos de velocidad medidos y deseados está por debajo de un umbral de inicio.
- 15

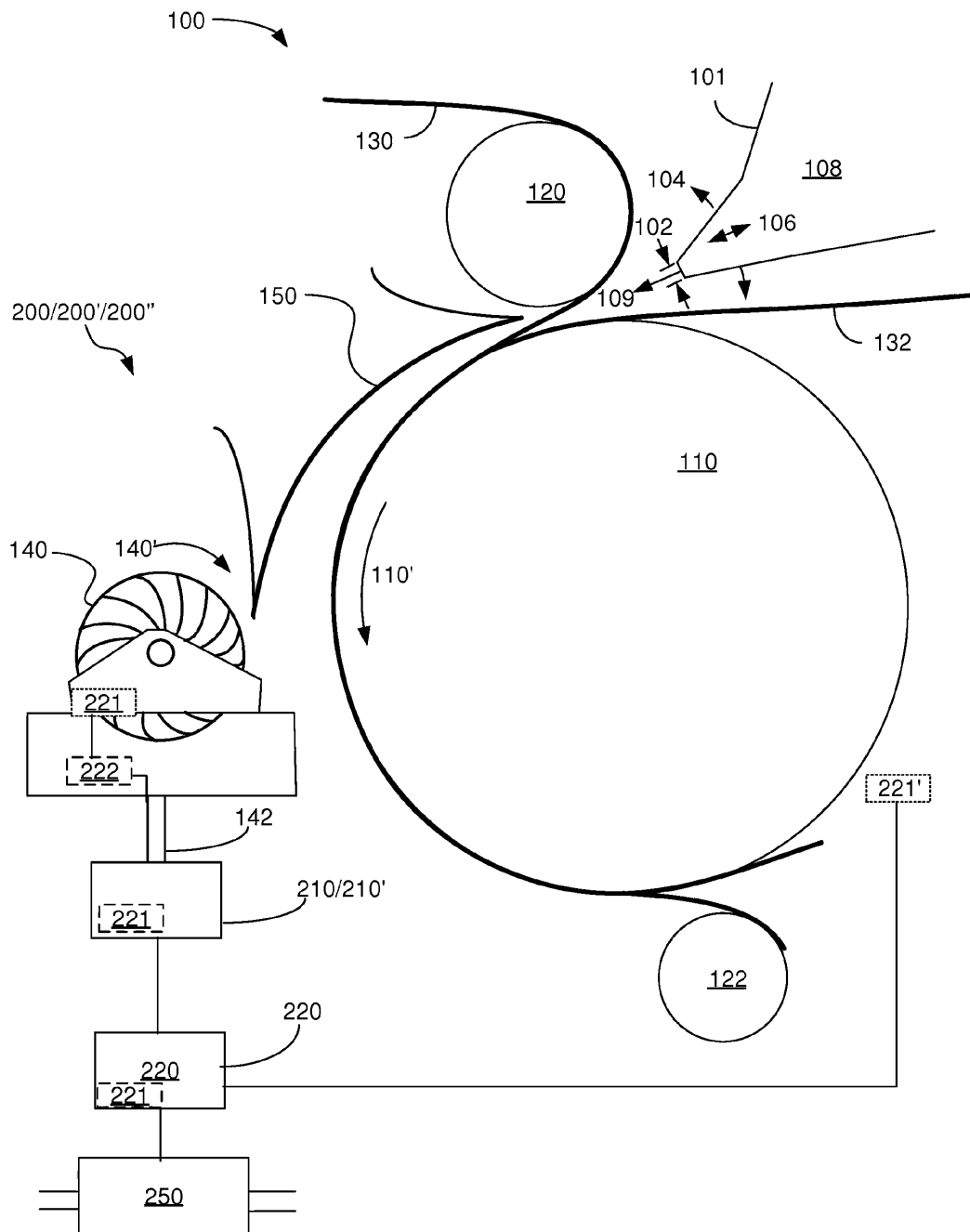


FIG. 1

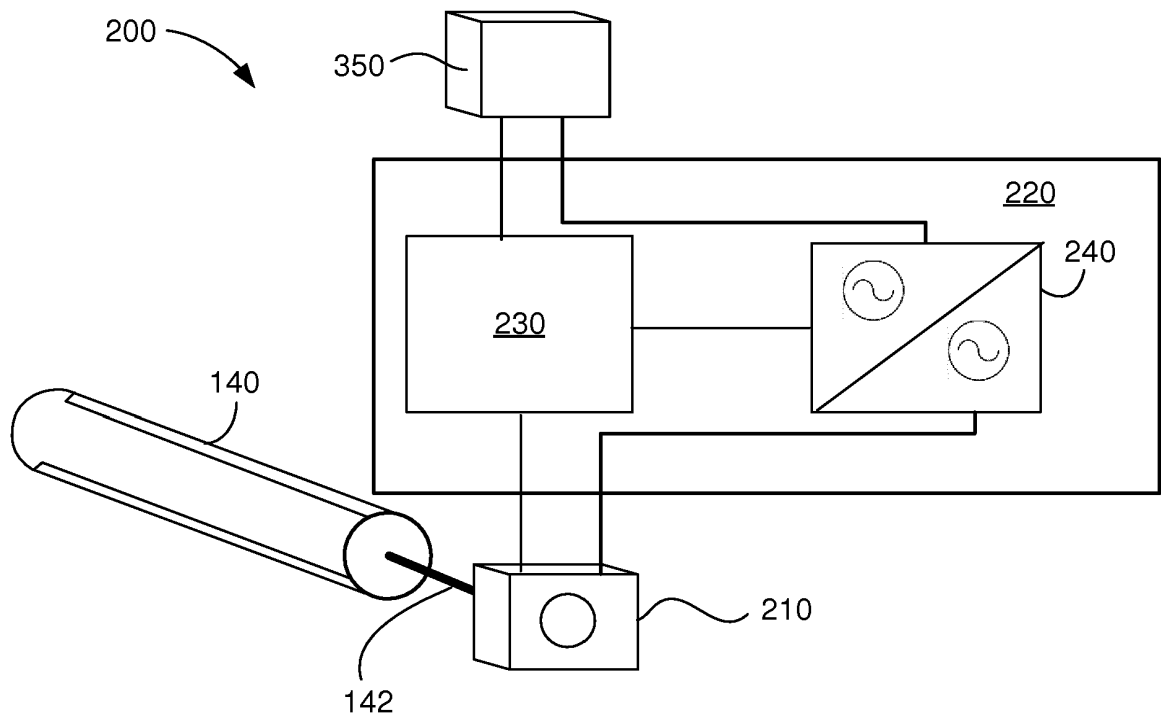


FIG. 2a

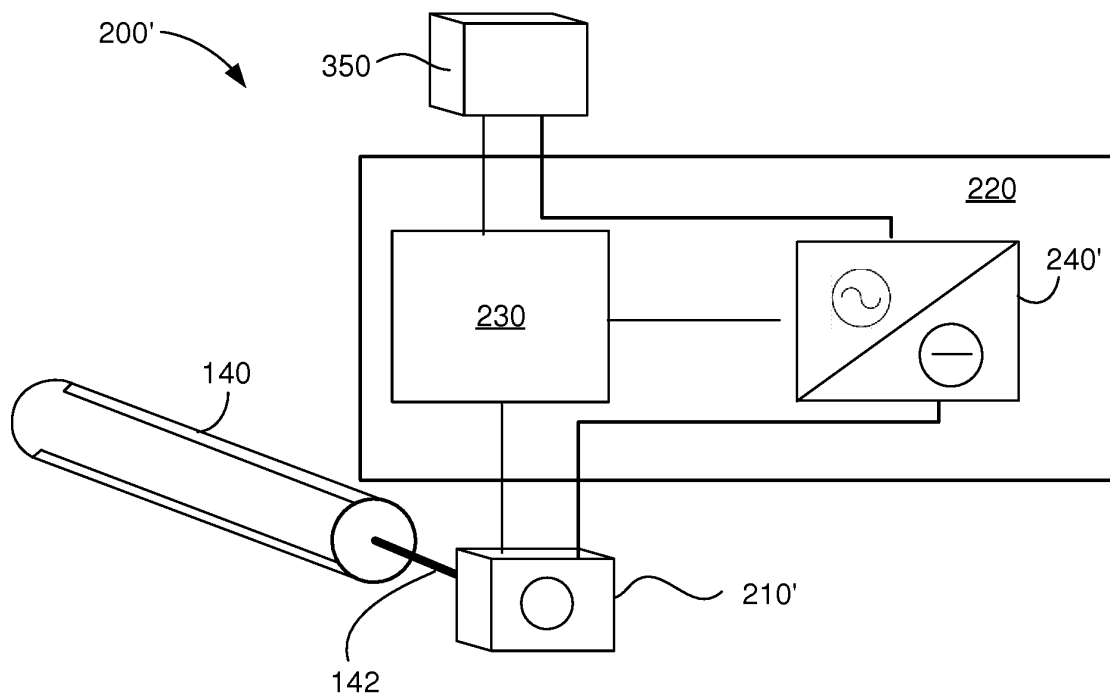


FIG. 2b

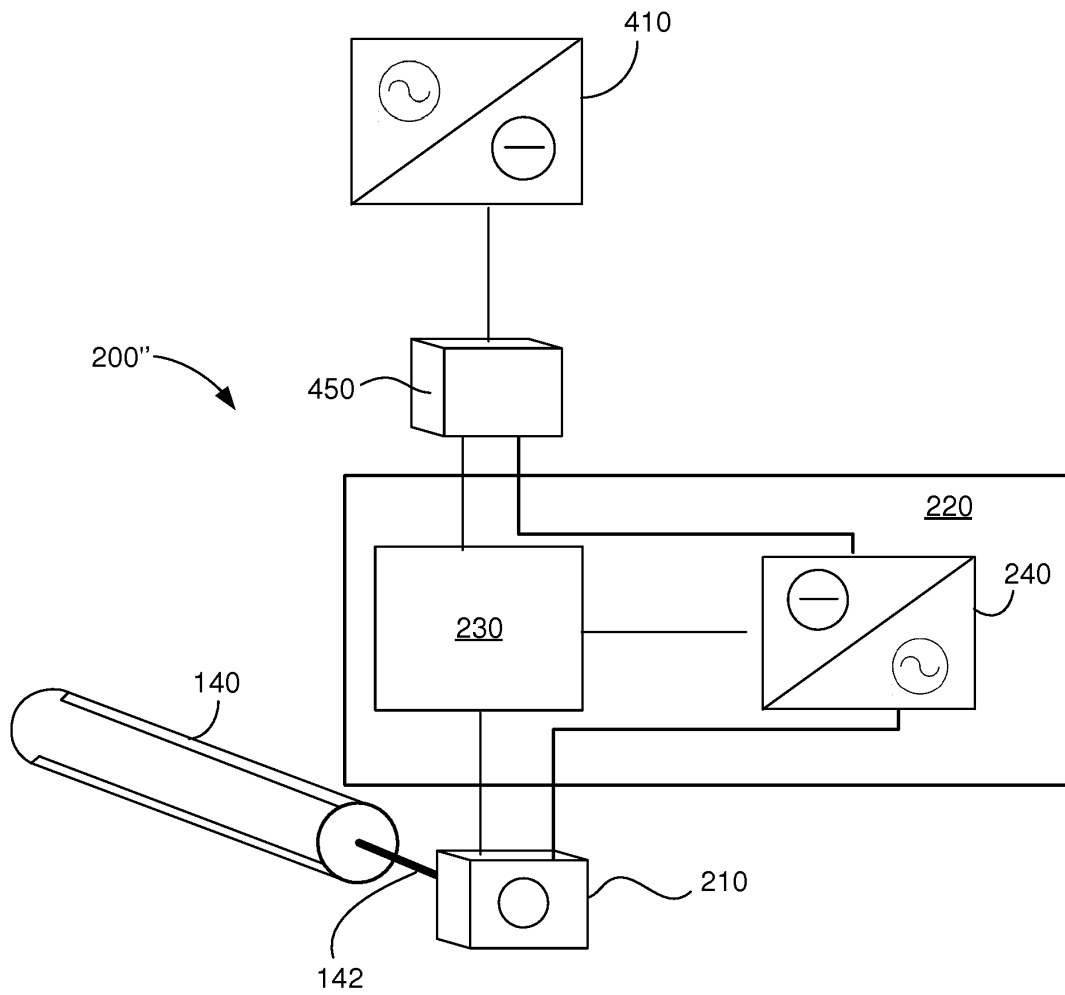


FIG. 2c

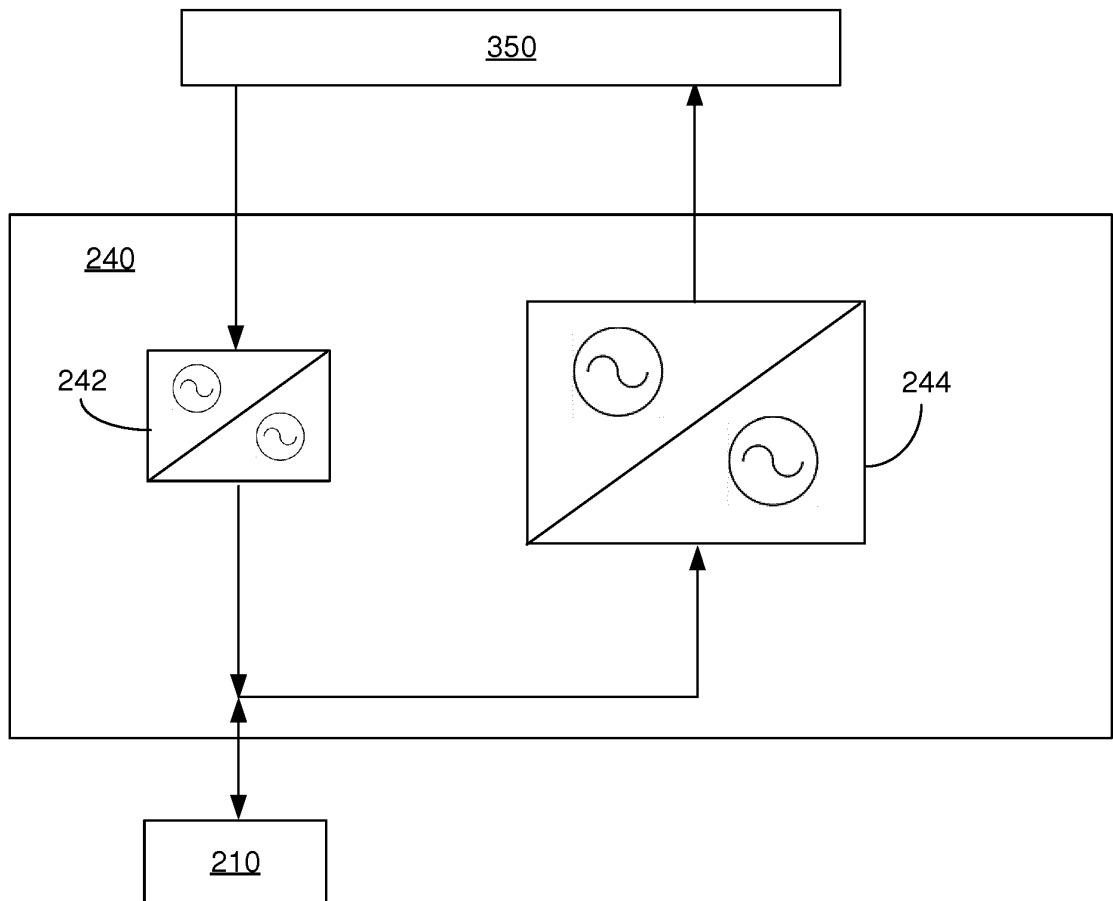


FIG. 3

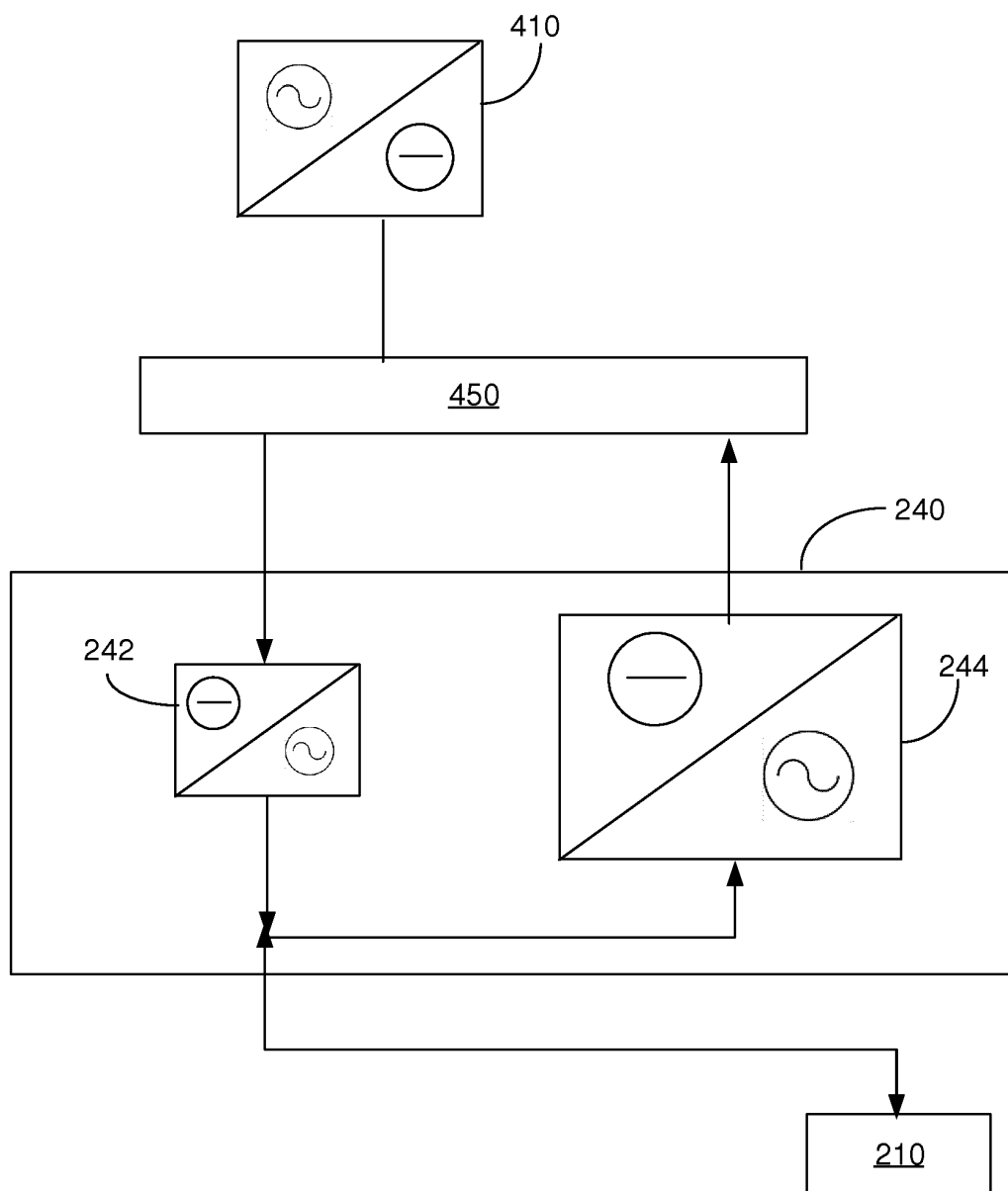


FIG. 4

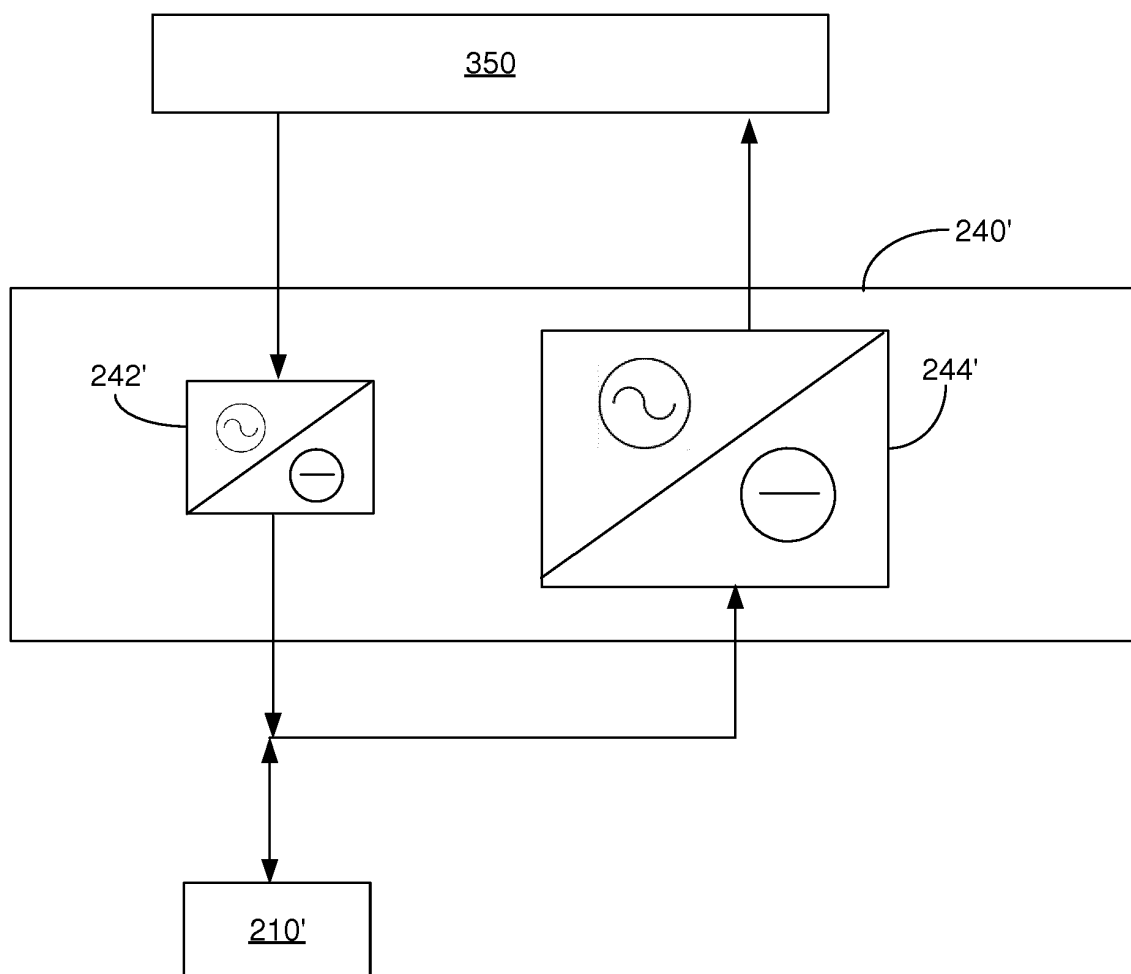


FIG. 5

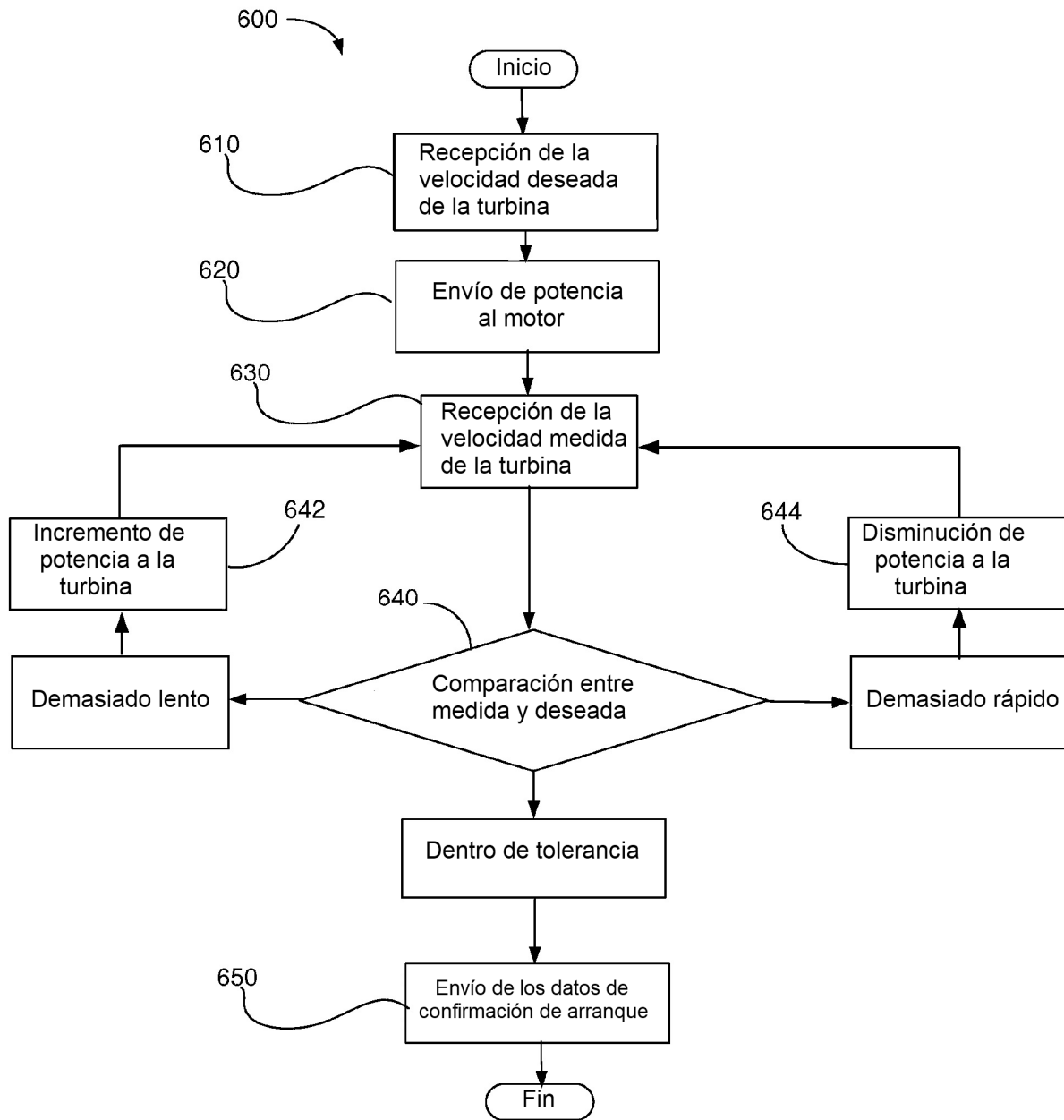


FIG. 6

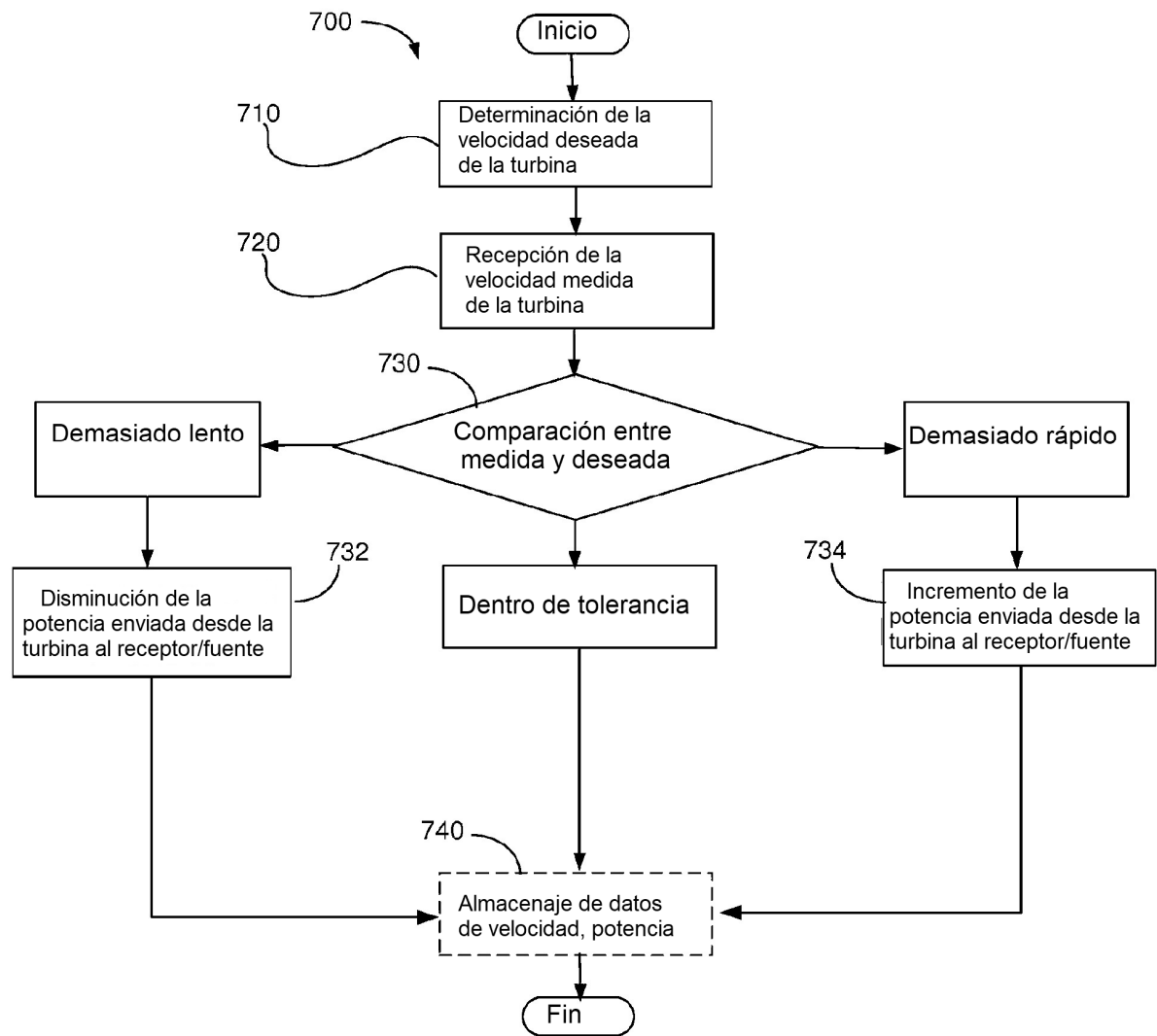


FIG. 7

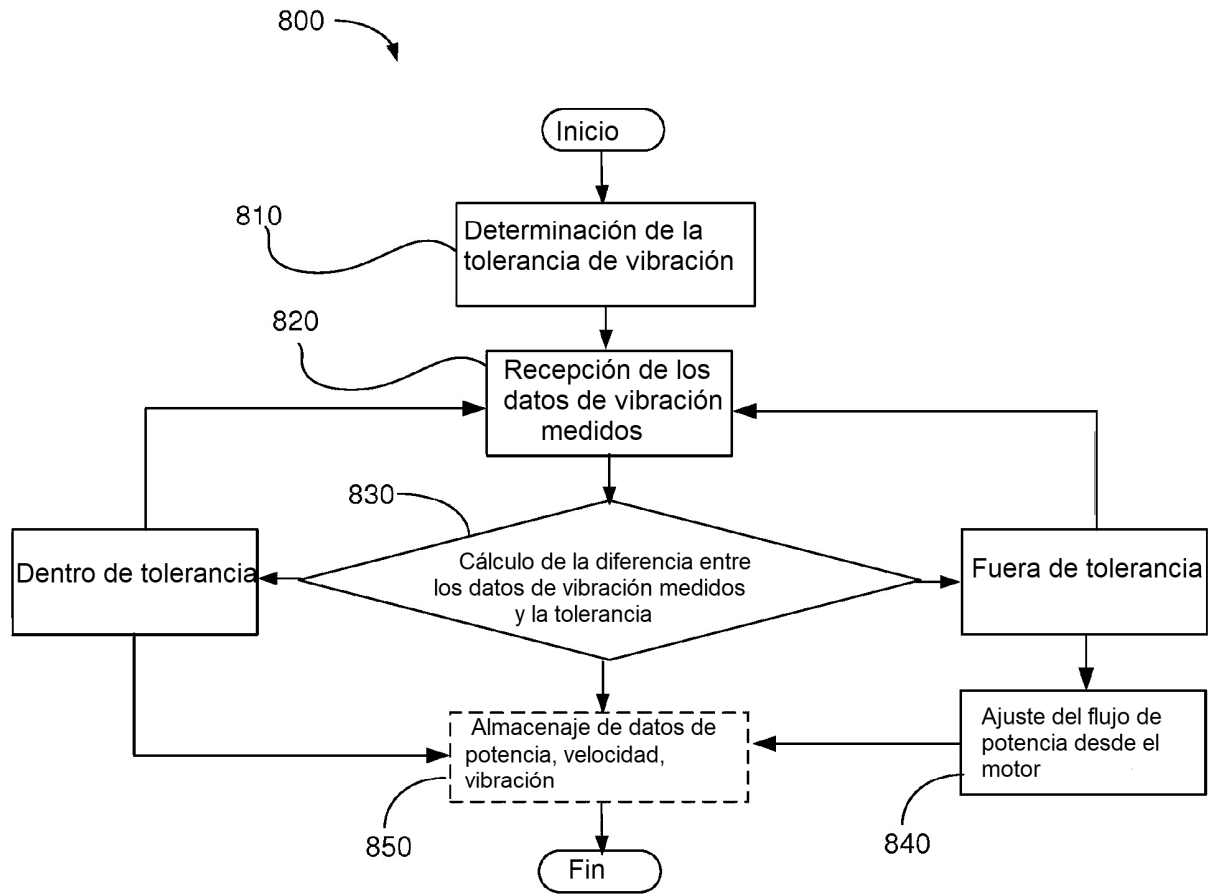


FIG. 8

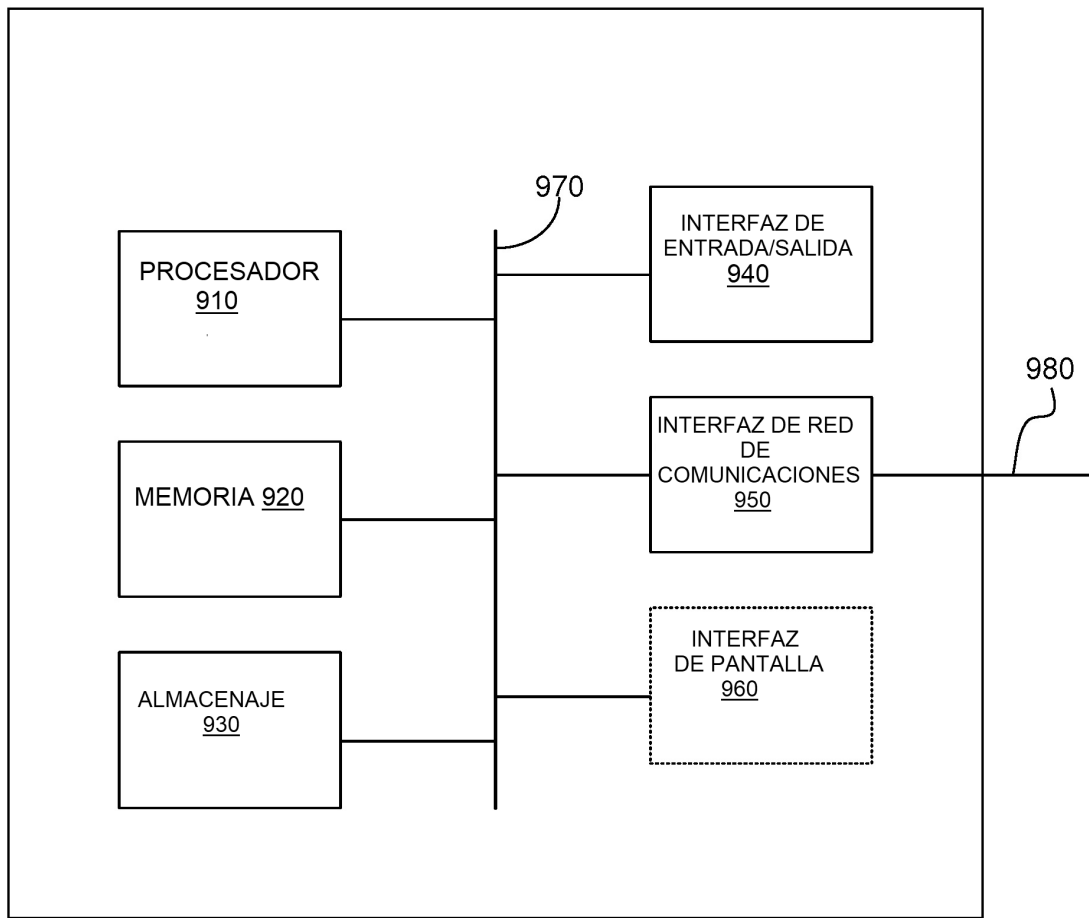


FIG. 9