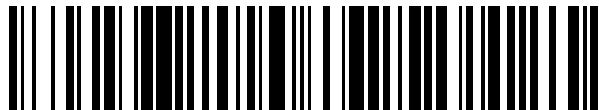


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 685 334**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.05.2013** **E 13002169 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.06.2018** **EP 2669513**

54 Título: **Procedimiento para amortiguar vibraciones de torsión en un componente de sistema de propulsión**

30 Prioridad:

29.05.2012 DE 102012010420

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

08.10.2018

73 Titular/es:

**ZF FRIEDRICHSHAFEN AG (100.0%)
Graf-von-Soden-Platz 1
88046 Friedrichshafen, DE**

72 Inventor/es:

**VATH, ANDREAS;
GRIMM, SEBASTIAN y
FREIER, CHRISTIAN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 685 334 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

Procedimiento para amortiguar vibraciones de torsión en un componente de sistema de propulsión

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para amortiguar vibraciones de torsión en un componente de sistema de propulsión, en particular de una instalación de generación de energía, así como a una unidad aritmético-lógica para su implementación.

Estado de la técnica

10 Los sistemas de propulsión, que constan de componentes como, por ejemplo, transmisiones, acoplamientos y elementos de conexión (árboles), son constituyentes importantes, entre otras cosas, de distintas instalaciones de generación de energía eléctrica como, por ejemplo, aerogeneradores, centrales hidráulicas, etc. El sistema de propulsión cumple el objetivo de producir una conexión mecánica entre un accionamiento (por ejemplo, un rotor de un aerogenerador) y una salida (por ejemplo, un generador correspondiente), a través de la cual se transmite energía por un movimiento de giro. Los componentes de sistemas de propulsión, como transmisiones, sirven para traducir la velocidad de giro y el momento de giro que están aplicados al accionamiento a valores que corresponden al área de trabajo del generador. Los acoplamientos se aprovechan cuando sea necesario para una separación entre accionamiento y salida, y los árboles producen la conexión mecánica entre los componentes implicados. En el sistema de propulsión también pueden estar integrados otros componentes, como frenos mecánicos o similares.

25 Puesto que los componentes implicados no pueden estar elaborados de manera arbitrariamente rígida, sino que poseen una rigidez finita, pueden estimularse para formar vibraciones naturales. Una tal estimulación puede realizarse, por ejemplo, por una potencia de entrada no constante (en el caso de aerogeneradores, por ejemplo, por ráfagas de viento o turbulencias de viento), por interferencias externas o por movimientos propios de otros componentes de la instalación. Vibraciones de otro origen también pueden resultar en vibraciones en el sistema de propulsión, en el caso de un aerogenerador, por ejemplo, vibraciones de la torre o vibraciones a causa de los engranes dentados de una transmisión.

30 Las vibraciones repercuten desventajosamente en la durabilidad de los componentes implicados, en particular de la transmisión. Las cargas de umbral continuas aumentan el desgaste de los componentes afectados y dan como resultado intervalos de reemplazo más cortos, lo cual significa una carga financiera y técnica para el proveedor de la instalación y de la red y reduce el rendimiento de la instalación. En particular, desde el punto de vista del uso cada vez más probable de aerogeneradores en el área de alta mar en un futuro próximo, este aspecto desempeña un papel cada vez más importante, puesto que el reemplazo de componentes dañados se dificulta más ahí. Por eso, se produce la finalidad de reducir estas vibraciones para aumentar la durabilidad de los componentes.

40 Para evitar vibraciones, pueden usarse generadores cuya carga pueda ajustarse. A este respecto, en el caso del generador, puede tratarse, por ejemplo, de un generador asíncrono de doble alimentación, que se une directamente a la red en el lado del estátor y se abastece en el lado del inducido a través de un circuito intermedio de tensión continua, mediante lo cual pueden aplicarse al inducido tensiones y corrientes de distinta frecuencia y amplitud. En el estado de la técnica también se usan generadores síncronos, que se conectan a la red a través de convertidores de corriente con circuito intermedio de tensión continua y pueden ajustarse correspondientemente. Por las posibilidades de ajuste mencionadas, al generador puede fijarse un momento que está adaptado a las vibraciones que originan daños, mediante lo cual las reduce y amortigua correspondientemente el momento de torsión que se aplica al sistema de propulsión.

50 Así, por el documento DE 10 2007 019 907 B4 se conoce un procedimiento que, mediante la velocidad de giro del generador, a través de un elemento de retardo vibratorio, forma una diferencia de regulación, a partir de la cual se determina un momento de corrección para un control de generador.

En el documento US 2008/0067815 se sigue un enfoque similar, según el cual a partir de modificaciones en la velocidad de giro del generador se genera una señal, mediante la cual se realiza una amortiguación a través del momento de ajuste del generador.

55 En estas soluciones, debe considerarse desventajoso que las vibraciones que originan daños del momento de torsión solo se determinan con una precisión limitada y, por consiguiente, también está limitada la calidad de los procesos de compensación. En particular, la determinación de las vibraciones a partir de la velocidad de giro está sujeta a imprecisiones considerables.

60 En los documentos DE 10 2009 059 669 A1 o WO 2011/072820 A2 se describe determinar y amortiguar el momento de torsión que predomina en el sistema de propulsión a partir de una diferencia angular entre la posición del rotor y del generador. Sin embargo, para ello, debe conocerse de manera muy precisa la rigidez del sistema de propulsión.

65 Por Clemens Jauch: «Transient and dynamic control of a variable speed wind turbine with synchronous generator», vol. 10, n.º 3, 1 de enero de 2007, páginas 247-269, XP055158691 se conoce un procedimiento para accionar una

turbina eólica, en el que para amortiguar oscilaciones se regula a una velocidad de giro.

Por eso, es deseable amortiguar vibraciones de torsión en un componente del sistema de propulsión de la manera más sencilla y efectiva posible.

5

Revelación de la invención

De acuerdo con la invención, se propone un procedimiento con las características de la reivindicación 1. Configuraciones ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes así como de la siguiente descripción.

10

Aunque la presente invención se describe en el contexto de esta solicitud particularmente con respecto a aerogeneradores, en ningún caso está limitada a aerogeneradores o equipos para generar energía, sino que en principio puede utilizarse en todos los dispositivos en los que pueden producirse vibraciones de torsión de árboles, ejes y similares, en particular también de árboles y ejes con transmisiones intercalados.

15

Ventajas de la invención

En el marco de la invención, se presenta una posibilidad de cómo pueden amortiguarse de manera sencilla y efectiva vibraciones de torsión en un componente del sistema de propulsión. La invención se desenvuelve de manera especialmente ventajosa con mediciones de velocidad de giro sencillas, para lo cual en la mayoría de las instalaciones están presentes de todos modos sensores o pueden reequiparse fácilmente. No tiene que conocerse una rigidez. La solución es robusta frente a incertidumbres en el modelo matemático del sistema de propulsión.

20

Por la modificación de una carga del lado de salida, la diferencia de velocidad de giro entre el árbol de entrada y el árbol de salida del componente del sistema de propulsión, en particular de una transmisión, se regula a un valor teórico, en particular a cero (en el caso de una relación de transmisión de 1 o en el caso de la normalización de las velocidades de giro medidas con la relación de transmisión) o a un valor correspondiente a la relación de transmisión de la transmisión. De manera conveniente, se forma un circuito regulador con la diferencia de velocidad de giro como variable controlada y un valor de carga aditivo para la carga del lado de salida como variable activa.

25

30

La diferencia de velocidad de giro puede medirse de manera especialmente sencilla, lo cual revela ventajas especiales. Por una parte, se detectan vibraciones a través de todo el componente de sistema de propulsión, mediante lo cual pueden amortiguarse de manera efectiva por intervenciones sobre la carga. Por otra parte, la diferencia de velocidad de giro representa una variable proporcional respecto a la derivada temporal del momento de torsión, por lo cual no es necesaria una diferenciación adicional de la señal de medición por razones de reacción de regulación más rápida (como está extendido en el estado de la técnica). La desventaja de una diferenciación posterior de la señal de medición se encuentra en la amplificación forzosa del ruido de medición, lo cual repercute negativamente en la calidad de la señal de ajuste generada y, por lo tanto, en la calidad de reglaje.

35

40

Un regulador adecuado para la invención puede realizarse ventajosamente por un regulador proporcional («regulador P») sencillo. Además, preferentemente se utilizan filtros adaptativos a la velocidad de giro y no adaptativos adicionales, que dan como resultado una mejora considerable de la calidad de reglaje. En particular, con ello pueden filtrarse frecuencias de engrane dentado estimulantes a partir del contacto dentado en el componente del sistema de propulsión, que, de lo contrario, se amplificarían asimismo, lo cual daría como resultado recorridos de momento de alta frecuencia en el generador y, por lo tanto, también fluctuaciones de alta frecuencia de una potencia generada por el generador. Filtros ventajosos son en particular filtros de muesca («notch filter»), así, filtros supresores de banda estrecha, cuya frecuencia de supresión se adapta a un múltiplo de una velocidad de giro medida en el sistema de propulsión. De manera conveniente, el respectivo múltiplo se determina correspondientemente a las frecuencias de engrane dentado que se producen en el componente del sistema de propulsión, por ejemplo, transmisión.

45

50

En otras formas de realización, en lugar de la diferencia de velocidad de giro, también puede medirse una diferencia de aceleración y la diferencia de velocidad de giro puede determinarse por integración. En este sentido, se propone colocar al menos dos sensores en el respectivo lugar de medición, por ejemplo, en el lado de entrada de la transmisión en el árbol principal del aerogenerador, para compensar señales de interferencia, como gravitación o vibraciones de flexión, y para hacerlas así invisibles para la regulación.

55

Aunque la invención se describe fundamentalmente con referencia a las velocidades de giro, también es adecuada de la misma manera para momentos de torsión o sus diferencias. En este caso, puede utilizarse ventajosamente en particular la medición de momentos de torsión, por ejemplo, por galgas extensométricas. Es concebible formar un momento de torsión o una diferencia del momento de torsión en la entrada de la transmisión y en la salida de la transmisión y ponerlos a disposición del regulador.

60

Se ponen a disposición varias posibilidades para detectar la señal de medición. Por regla general, en las instalaciones de generación de energía se conoce la velocidad de giro en el lado de accionamiento y/o en el lado de salida. En el lado de accionamiento, por ejemplo, en el caso del rotor de un aerogenerador con velocidad de giro

65

variable, se registra por el transmisor de revoluciones y se transmite al regulador de la instalación, que, sobre la base de este valor, controla o regula el funcionamiento de la instalación. En el lado del generador, la velocidad de giro puede derivarse de variables eléctricas en el generador, a no ser que no se determine asimismo a través de un transmisor de revoluciones. En algunas instalaciones, es habitual determinar la velocidad de giro solo en el lado del generador y alimentarla al control o regulación de la instalación.

En el marco de esta solicitud, se denomina «rotor» la parte de la instalación de generación de energía sometida a y accionada, por ejemplo, por agua o viento. Por el contrario, la parte móvil del generador se denomina con el término «inducido».

Si, en el caso de la carga del lado de salida, se trata de un generador, la velocidad de giro del generador puede usarse como velocidad de giro del árbol de salida, que puede medirse a través de un codificador rotatorio presente de todos modos en el generador. En este sentido, la ventaja se encuentra en el diseño posterior muy sencillo del regulador usado, puesto que entonces se trata de un denominado sistema coubicado, es decir, el lugar de la medición y del engrane de ajuste son idénticos. Con ello, en el caso de la retroalimentación de la señal de medición proporcional y la negligencia de retardos temporales entre la medición y la acción de la magnitud de ajuste, siempre se produce un circuito de regulación estable y cerrado.

Si no se tiene en cuenta la evaluación del codificador rotatorio en el generador o no está presente ningún tal codificador rotatorio, entonces la velocidad de giro del árbol de salida puede determinarse directamente por tecnología de sensores adicional. Hay que observar entonces que el acoplamiento y el disco de freno presentes frecuentemente en instalaciones de generación de energía entre el árbol de salida y el árbol del generador pueden tener una influencia considerable en la dinámica del sistema. Por eso, de manera conveniente, en el caso del trazado del regulador, deberían tenerse en cuenta si provocan frecuencias propias adicionales en el intervalo del ancho de banda del regulador. A causa de los distintos lugares de la señal de medición y de la señal de ajuste, se habla de un sistema no coubicado, que ya no garantiza ningún comportamiento de regulación estable para reguladores sencillos. En estos casos, resulta ventajoso utilizar reguladores basados en modelos, puesto que estos últimos pueden tener en cuenta estos efectos. El modelo matemático necesario para ello puede obtenerse o bien a base de una derivación teórica, de una identificación de sistema mediante señales de medición o bien a partir de simulaciones de múltiples cuerpos. También es posible la combinación de tales procedimientos de modelización.

Además, se ofrece la alternativa de usar sensores presentes para deducir aceleraciones o momentos de torsión en el lado del rotor o en el lado de entrada de la transmisión.

Para las aceleraciones, por ejemplo, puede recurrirse a sensores de aceleración en cajas de ejes o equipos de control de sistemas de paso en el buje del rotor. En este caso, la ventaja es que tales sistemas están integrados generalmente por razones de seguridad y, por lo tanto, ya son redundantes, así, están a disposición en la realización múltiple. A partir de la aceleración del rotor determinada, puede deducirse entonces por integración a su vez la velocidad de giro del rotor.

Una unidad aritmético-lógica de acuerdo con la invención, por ejemplo, un aparato de control de una instalación de generación de energía, está configurada, en particular desde el punto de vista técnico del programa, para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con la invención. La unidad aritmético-lógica está configurada como equipo para procesar la señal de medición y generar señales del regulador en particular para ajustar una carga en un sistema de propulsión dependiendo de una diferencia entre una velocidad de giro del árbol de entrada y una velocidad de giro del árbol de salida, en particular por el control correspondiente de un generador eléctrico.

Como forma de realización integrada para el concepto de amortiguación propuesto, se propone una transmisión equipada con sensores de aceleración, de velocidad de giro y/o de momento de torsión que, junto con una tal unidad aritmético-lógica, se adapta por sí misma de manera inteligente al entorno, por ejemplo, el aerogenerador, y proporciona señales de ajuste para el momento del generador y también otros actuadores posibles en el aerogenerador para reducir vibraciones que pueden disminuir la durabilidad de la transmisión.

Otras ventajas y configuraciones de la invención se deducen de la descripción y del dibujo adjunto.

Se entiende que las características anteriormente mencionadas y las que se van a explicar a continuación pueden utilizarse no solo en la combinación respectivamente indicada, sino también en otras combinaciones o solas sin abandonar el contexto de la presente invención.

La invención está representada esquemáticamente en el dibujo mediante un ejemplo de realización y se describe en detalle a continuación con referencia al dibujo.

Descripción de las figuras

figura 1 muestra una primera forma de realización preferente de un aerogenerador de acuerdo con la invención.

figura 2 muestra una segunda forma de realización preferente de un aerogenerador de acuerdo con la invención.

Descripción detallada del dibujo

5 En las figuras 1 y 2, los mismos elementos se denominan con las mismas referencias. A este respecto, una forma de realización preferente de un aerogenerador de acuerdo con la invención está representada en cada caso esquemáticamente en un diagrama de bloques y está denominada en conjunto con 100 o 200.

10 Están representados un rotor 109 y un generador 102 de un aerogenerador 100, 200, que están unidos entre sí mecánicamente, dado el caso, por acoplamiento, a través de un sistema de propulsión que consta de un árbol de salida de rotor 110, una transmisión 101, un árbol 111. El rotor está colocado en un extremo del lado del rotor del sistema de propulsión; el generador está colocado en un extremo del lado del generador. El generador 102 está equipado con un sensor de velocidad de giro 108 (codificador rotatorio), que detecta la velocidad de giro del generador 103 y la transmite a una unidad aritmético-lógica 105, que está configurada para el control del aerogenerador y, por eso, se denomina «control de la instalación». El control de la instalación 105 está configurado para influir en la disminución de potencia del generador 102 a través de señales de ajuste 104, que controlan correspondientemente en particular un convertidor de corriente y/o un inducido del generador.

20 En la figura 1, en el lado de entrada de la transmisión está dispuesto un primer sensor 106 y, en el lado de salida, un segundo sensor 107, que detectan respectivamente una señal de medición 113, 114 (en particular, una serie de valores de medición) y la transmiten a una regulación de amortiguación 112, en la que se determina un engrane 115 para el generador 102 y se transmite al control de la instalación 105. En particular, a partir de las señales de medición 113 y 114 en el regulador de amortiguación 112 se calcula como engrane un momento de ajuste 115 aditivo para el generador y se transmite al control de la instalación 105. Esto superpone un momento de carga teórico del generador con el momento de ajuste aditivo. El momento de carga teórico del generador puede provenir, por ejemplo, de una regulación de potencia y/o de velocidad de giro, que puede estar implementada en aerogeneradores. En una forma de realización, cabe señalar que la regulación de amortiguación 112 puede estar implementada como parte del control de la instalación 105. En el caso de las señales de medición 113 y 114, se trata preferentemente de señales de velocidad de giro, pero también puede tratarse de señales de aceleración o señales de momento de torsión.

35 El regulador de amortiguación 112 está configurado para determinar, teniendo en cuenta una relación de transmisión de la transmisión 101, una diferencia de velocidad de giro entre la velocidad de giro 113 del árbol de salida del rotor 110 como árbol de entrada de la transmisión 101 y la velocidad de giro 114 del árbol 111 como árbol de salida de la transmisión 101. «Teniendo en cuenta una relación de transmisión» significa que la diferencia de velocidad de giro es teóricamente cero. El regulador de amortiguación 112 está configurado además para regular esta diferencia de velocidad de giro a un valor teórico que es preferentemente cero. A saber, puede partirse de la base de que las vibraciones de torsión a través de la transmisión son mínimas si no existe ninguna desviación de la velocidad de giro. De esta manera, puede amortiguarse una vibración de torsión a través de un componente del sistema de propulsión, como, en este caso, la transmisión. En este caso, el trazado del regulador de amortiguación se realiza preferentemente de acuerdo con el enfoque para sistemas no coubicados y presenta, por ejemplo, un regulador basado en modelos. En lugar de la diferencia de la velocidad de giro, también puede regularse a cero una diferencia de momento de torsión medida o un momento de torsión medido individual.

45 En la figura 2 está mostrado un aerogenerador 200, en el que no está presente ningún sensor en el árbol 111. En su lugar, la velocidad de giro del generador 103 se suministra al regulador de amortiguación 212.

50 El regulador de amortiguación 212 está configurado ahora, para determinar, teniendo en cuenta las relaciones de transmisión de la transmisión implicadas, una diferencia de velocidad de giro entre la velocidad de giro 113 del árbol de salida del rotor 110 como árbol de entrada de la transmisión 101 y la velocidad de giro 103 del generador 102, por así decirlo, como árbol de salida de la transmisión 101. El regulador de amortiguación 212 está configurado además para regular esta diferencia de velocidad de giro a un valor teórico que es preferentemente cero. A saber, puede partirse de la base de que las vibraciones de torsión entre el árbol de entrada de la transmisión y el árbol del generador son mínimas si no existe ninguna desviación de la velocidad de giro. De esta manera, puede amortiguarse una vibración de torsión a través de un componente del sistema de propulsión, como, en este caso, la transmisión junto con el árbol del generador. En este caso, el trazado del regulador de amortiguación se realiza preferentemente de acuerdo con el enfoque para sistemas coubicados y presenta, por ejemplo, un regulador P.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para amortiguar vibraciones de torsión en un componente de sistema de propulsión (101), en particular una transmisión, en particular en una instalación de generación de energía (100, 200), presentando el componente de sistema de propulsión (101) un árbol de entrada (110) y un árbol de salida (111), ajustándose una carga (102) del lado de salida en el sistema de propulsión dependiendo de una diferencia entre una velocidad de giro (113) del árbol de entrada (110) y una velocidad de giro (114, 103) del árbol de salida (111), caracterizado por que, por el ajuste de la carga (102) del lado de salida, se regula la diferencia de velocidad de giro a un valor teórico.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, determinándose la diferencia de velocidad de giro teniendo en cuenta una relación de transmisión, siendo el valor teórico cero.
- 15 3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, midiéndose la velocidad de giro (113) de árbol de entrada (110) y/o la velocidad de giro (114, 103) del árbol de salida (111), en particular mediante sensores (106, 107, 180).
- 20 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, midiéndose una aceleración de árbol de entrada (110) y/o una aceleración del árbol de salida (111), en particular mediante sensores (106, 107, 180).
- 5 5. Procedimiento según la reivindicación 4, midiéndose la aceleración del árbol de entrada (110) mediante al menos dos sensores y/o la aceleración del árbol de salida (111) mediante al menos dos sensores.
- 25 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones, usándose un filtro de supresión de banda, en particular un filtro de muesca, cuya frecuencia de supresión se ajusta dependiendo de una velocidad de giro medida en el sistema de propulsión.
- 30 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, ajustándose como carga del lado de salida un momento de carga de un generador.
- 35 8. Procedimiento según la reivindicación 7, ajustándose un momento de ajuste aditivo para el momento de carga.
9. Unidad aritmético-lógica (112, 212, 105), que está configurada para llevar a cabo un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.
- 40 10. Componente de sistema de propulsión (101) con un árbol de entrada (110) y un árbol de salida (111), con un primer sensor (106) para detectar una velocidad de giro (113) o aceleración del árbol de entrada (110) y/o un segundo sensor (107) para detectar una velocidad de giro (114, 103) o aceleración del árbol de salida (111), y una unidad aritmético-lógica (112, 212, 105) según la reivindicación 9.
11. Instalación de generación de energía (100, 200), en particular aerogenerador, con una unidad aritmético-lógica (112, 212, 105) según la reivindicación 9 y/o un componente de sistema de propulsión (101) según la reivindicación 10.

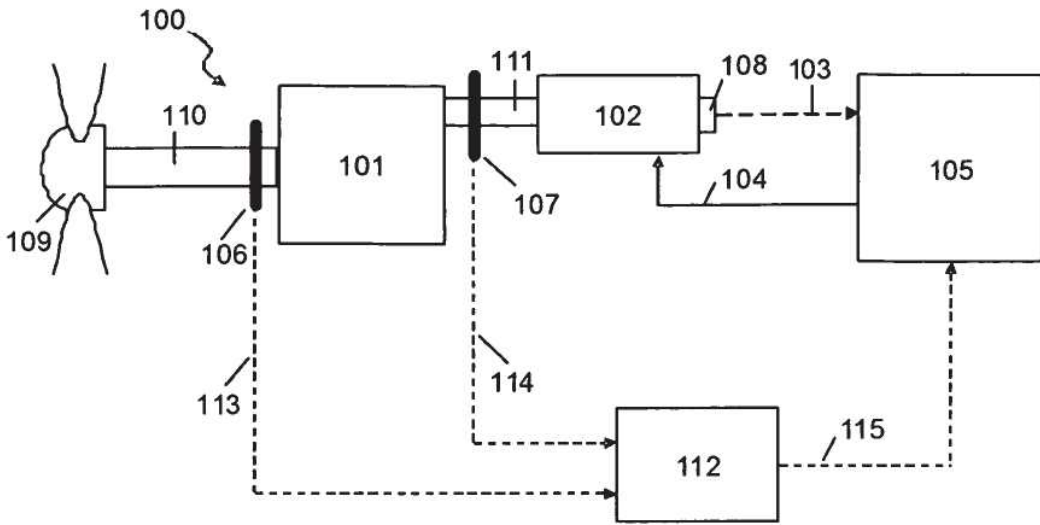


FIG. 1

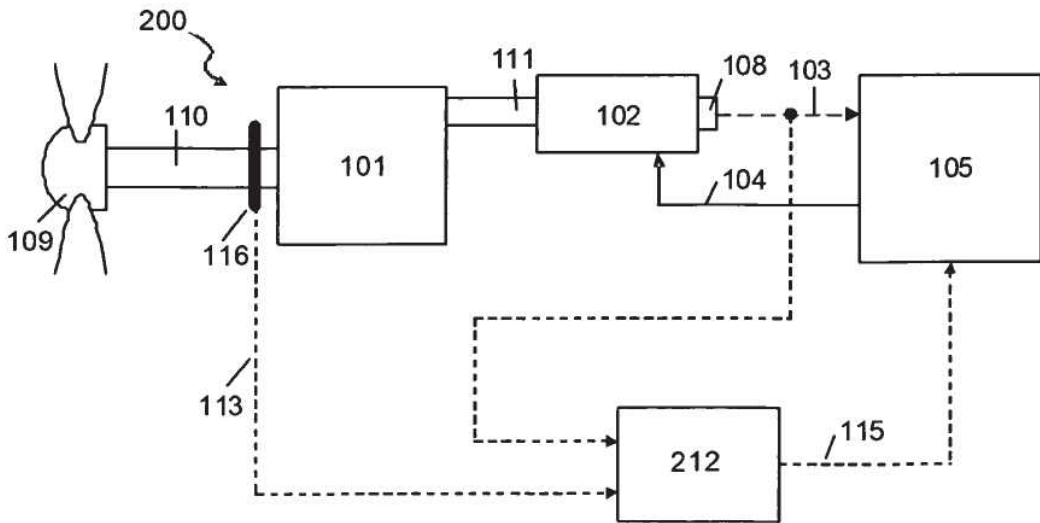


FIG. 2