

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 443 218**

51 Int. Cl.:

**F03D 7/00** (2006.01)

**F03D 7/02** (2006.01)

**F03D 9/02** (2006.01)

**F03D 11/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.06.2007** **E 07725985 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.10.2013** **EP 2032845**

54 Título: **Instalación de energía eólica con un suministro de energía autárquico para un dispositivo de regulación de palas**

30 Prioridad:

**12.06.2006 DE 102006027224**

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

**18.02.2014**

73 Titular/es:

**REPOWER SYSTEMS AG (100.0%)  
Überseering 10  
22297 Hamburg , DE**

72 Inventor/es:

**LETAS, HEINZ-HERMANN**

74 Agente/Representante:

**CARPINTERO LÓPEZ, Mario**

**ES 2 443 218 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

Instalación de energía eólica con un suministro de energía autónomo para un dispositivo de regulación de palas

La invención se refiere a una instalación de energía eólica con un generador accionado por un rotor con palas regulables para la generación de energía eléctrica, está previsto un dispositivo de regulación de paso para la regulación de las palas que presenta un circuito de emergencia con un acumulador de energía eléctrica para el accionamiento de las palas mediante un motor de ajuste de palas.

Por motivos de seguridad las instalaciones de energía eólica se montan en general con palas de rotor de paso regulable a fin de regular también las palas del rotor en caso de avería de la red mediante un acumulador de energía autónomo. Para poder detener de forma segura la instalación de energía eólica en un caso semejante está previsto un dispositivo de accionamiento de emergencia. Por el documento DE-B-103 35 575 se conoce un accionamiento de regulación de paso con un dispositivo de accionamiento de emergencia que presenta un acumulador como acumulador de energía eléctrica independiente para el accionamiento de regulación de paso. El acumulador está conectado a un convertidor de modo que en el caso de fallo se conecta el acumulador con el convertidor mediante un interruptor, y con ello se facilita la energía necesaria para el accionamiento del motor. Pero se ha mostrado que durante el funcionamiento del dispositivo de accionamiento de emergencia pueden parecer ciertos estados de carga en los que la pala de rotor a regular acciona el motor. Entonces se origina un estado de deslizamiento. En este caso se genera potencia eléctrica en el motor de ajuste de palas por lo que existe el peligro de que se realimente la potencia eléctrica generada al acumulador. Por varios motivos no se desea una realimentación semejante y puede conducir a deterioros. En el caso de la realimentación pueden aparecer elevadas corrientes de carga para las que no es apropiado el acumulador. En general es tal que la resistencia interna de un acumulador es mayor durante el funcionamiento de carga que aquella en la descarga, de modo que en la carga y en particular en una carga indeseada con elevadas corrientes de carga pueden aparecer de forma peligrosa tensiones de baterías elevadas. Otro efecto nocivo consiste en que en el caso de la realimentación se puede producir una subida de la velocidad de rotación en vacío del motor de ajuste de palas. Esto conduce a un deslizamiento de las curvas características y aumenta las cargas que actúan en el dispositivo de regulación de paso y sobre las palas.

Se ha propuesto aniquilar la potencia eléctrica generada por el motor de ajuste de palas en el funcionamiento de deslizamiento mediante un dispositivo de chopper, y proteger así el acumulador frente a una carga nociva de gran amperaje. Para el control del chopper de freno se puede medir la tensión o la corriente que fluye en el circuito de emergencia. Pero se ha mostrado que en un funcionamiento en tensión no se pueden dominar de forma segura y en todos los estados de funcionamiento los problemas por la corriente de carga demasiado elevada.

La invención tiene el objetivo de mejorar la protección del acumulador de energía eléctrica en una instalación de energía eólica del tipo mencionado al inicio.

La solución según la invención se encuentra en las características de las reivindicaciones independientes. Ampliaciones ventajosas son objeto de las reivindicaciones dependientes.

En una instalación de energía eólica con un generador accionado por un rotor con palas regulables para la generación de energía eléctrica, estando previsto un dispositivo de regulación de paso para la regulación de las palas, que está conectado a través de un circuito de emergencia con un acumulador de energía eléctrica para el accionamiento de las palas mediante el acumulador de energía, o está puesto a tierra o a otro disipador de corriente apropiado.

Si en caso de una regulación rápida de las palas del rotor, en particular a su posición de bandera, se produce un estado de deslizamiento debido a las fuerzas aerodinámicas que afectan a las palas, entonces el motor de ajuste de palas actúa como generador. Genera por consiguiente una corriente que fluye casi hacia atrás a través del circuito de emergencia al acumulador de energía eléctrica. Pero la corriente no alcanza el acumulador de energía eléctrica, sino que se evacua mediante la rama de derivación. El núcleo de la invención se sitúa en la idea de determinar el valor de la corriente conducida a través de la rama de derivación de modo que se corresponda a la corriente generada por el motor de ajuste de palas durante el funcionamiento de deslizamiento. La invención lo consigue gracias al dispositivo de espejo de corriente. De este modo se consigue que se pueda llevar a cero la corriente realimentada al acumulador de energía eléctrica, que se corresponde a la diferencia de la corriente generada por el motor de ajuste de palas y la corriente evacuada a través de la rama de derivación. Entonces se logra que no fluya una corriente de realimentación a la batería. La idea que sirve de base a la invención del espejo de corriente en la rama de derivación proporciona con ello de manera asombrosamente sencilla una protección segura del acumulador de energía eléctrica frente a corrientes de realimentación.

En este caso el dispositivo de espejo de corriente puede estar configurado en la forma más sencilla de modo que presentan una entrada y una salida, estando conectado a la entrada un dispositivo de determinación para la corriente de realimentación del motor de ajuste de palas y determinando su salida la corriente a través de la rama de derivación. Esto hace posible formar el dispositivo de espejo de corriente de manera sencilla a partir de componentes pasivos. Esto no sólo reduce el coste necesario para la fabricación, sino que también hace posible una elevada fiabilidad durante el

funcionamiento gracias a la baja complejidad.

Pero alternativamente o adicionalmente también se puede prever proveer el dispositivo de espejo de corriente con un control activo. Para ello el dispositivo de espejo de corriente está configurado convenientemente de modo que presenta un elemento de conmutación controlable, que se acciona mediante un control separado, en serie a un elemento de carga. Si el elemento de conmutación es excitado por el control conmuta de modo que en la rama de derivación puede fluir la corriente a través del elemento de carga; si no se excita el elemento de conmutación abre entonces y está interrumpido el flujo de corriente en la rama de derivación. El control no debe estar realizado forzosamente como una unidad separada espacialmente, sino que también puede estar integrado adecuadamente en una unidad de control ya existente, como por ejemplo, una unidad de control de la gestión de funcionamiento prevista en general.

El control puede presentar convenientemente un generador de ritmo que puede estar realizado en particular como modulador por ancho de pulsos (PWM). Esto hace posible generar de manera sencilla una señal de excitación para el elemento de conmutación. Entonces un modulador por ancho de pulsos permite en particular excitar el elemento de conmutación con una frecuencia fija de, por ejemplo, 4 kHz, y determinar mediante la relación de ritmo la corriente que se evacua a través de la rama de derivación. Por consiguiente existe una relación lineal entre la relación de ritmo del modulador por ancho de pulsos y la corriente en la rama de derivación. Un comportamiento de transmisión lineal semejante es ventajoso en particular luego si están previstas regulaciones adicionales.

Al control está conectado convenientemente un dispositivo de determinación para la corriente de realimentación. En este caso se tratará la mayoría de las veces de un sensor de medición para la corriente del motor de ajuste de palas. Pero no se debe excluir que en lugar de una medición directa de la corriente en el transcurso de un cálculo se constituya una medida para la determinación indirecta de la corriente de realimentación a partir de otras magnitudes que se puedan medir eventualmente más sencillamente, como una diferencia de tensión.

Según una forma de realización preferida de la invención, que merece eventualmente protección independiente, el control proporciona funciones adicionales que exceden de una función pura de espejo de corriente. En esta variante de la invención designada como "espejo de corriente modificado" puede estar previsto en particular que la función de transmisión del espejo de corriente presente un offset o se pueda modificar respecto a su gradiente. Para ello puede estar previsto convenientemente un módulo de offset que está configurado para regular una corriente base a través de la rama de derivación durante el funcionamiento de emergencia. Bajo corriente base se entiende aquí la corriente que fluye a través de la rama de derivación independientemente de si el motor de ajuste de palas se arrastra, y por consiguiente genera corriente de realimentación, o no. Bajo funcionamiento de emergencia se entiende en este caso el tipo de funcionamiento en el que el dispositivo acumulador de energía eléctrica facilita la energía eléctrica para el accionamiento del motor de ajuste de palas. La corriente base causada por el módulo de offset tiene el efecto de que siempre se consume algo de potencia durante el funcionamiento de emergencia, por lo que se reduce la tensión del acumulador de energía eléctrica. Esto tiene como consecuencia en particular que se reduce rápidamente la tensión partiendo de la tensión al final de la carga a la tensión nominal. Por consiguiente se crea un rango tampón adicional que protege el acumulador de energía eléctrica frente a una sobretensión en el caso de la realimentación de corriente por el motor de ajuste de palas arrastrado.

Para evitar una carga indeseada del acumulador de energía eléctrica, en particular en casos semejantes en los que el motor de ajuste de palas debe aplicar una potencia elevada para la regulación de las palas, puede estar previsto convenientemente un dispositivo de supresión que está configurado para reducir la corriente base en caso de plena carga del motor de ajuste de palas. Mediante la reducción de la corriente base que se lleva hasta un valor cero se consigue que en tales situaciones toda la corriente facilitada por el acumulador de energía eléctrica fluya al motor de ajuste de palas y por consiguiente se facilite la potencia máxima.

Convenientemente puede estar previsto además que el control presente un módulo de regulación de gradiente que esté configurado para amplificar linealmente la corriente de espejo en la rama de derivación. Por consiguiente se hace posible aumentar la relación entre la corriente en la rama de derivación y la corriente de realimentación del motor de ajuste de palas. Por consiguiente se pueden crear tampones para la compensación de tolerancias que se puedan producir debido a una determinación no óptima de la corriente de realimentación. Esto hace posible en particular usar también menos dispositivos de medición de mucho valor para la determinación de la corriente de realimentación, o generar la corriente de realimentación de forma indirecta a partir de otras magnitudes medidas presentes convenientemente de todos modos.

Además, el control puede presentar preferentemente un módulo de valor umbral que está configurado para excitar el elemento de conmutación de manera que no se supere una corriente máxima ajustable en la rama de derivación. Por consiguiente se consigue que también en el caso extremo se pueda impedir de forma segura una sobrecarga de los componentes en la rama de derivación. Con ello se puede contrarrestar el peligro de un fallo del espejo de corriente según la invención y el riesgo que se produce por ello de un fallo precipitado del acumulador de energía eléctrica o una modificación indeseada de la curva característica para la regulación del paso durante el funcionamiento de emergencia.

Además, el control presenta convenientemente un módulo de compensación para el acumulador de energía que está configurado para modificar la corriente de espejo en función de su estado de carga. Si como elemento de carga en la rama de derivación está prevista una resistencia, entonces la corriente que fluye a través de ella no sólo depende del accionamiento del elemento de conmutación, sino también de la tensión del acumulador de energía eléctrica. Al descender la tensión de las baterías esto conduce a una bajada correspondiente de la corriente en la rama de derivación. Para impedir que fluya una corriente demasiado baja en la rama de derivación está previsto el módulo de compensación, que en función de la tensión real modifica la señal de excitación para el elemento de conmutación de manera que se consigue una corriente más elevada en la rama de derivación. En el caso ideal el módulo de compensación está ajustado de manera que la corriente en la rama de derivación se vuelve independiente de la tensión real del acumulador de energía eléctrica. Para hacerlo posible está previsto preferentemente un dispositivo de medición de tensión en el acumulador de energía eléctrica.

Además, el control presenta preferentemente un módulo de protección que está configurado para disminuir la corriente de espejo en función del estado de carga del elemento de carga. La potencia eléctrica conducida a la rama de derivación, que se disipa por el elemento de carga depende de la corriente al cuadrado. En particular en el caso de corrientes elevadas se produce en este caso un fuerte ascenso de la potencia eléctrica a absorber. Esto puede conducir a una sobrecarga de los componentes en la rama de derivación, en particular del elemento de carga. En particular existe el peligro de una sobrecarga térmica, por lo que se puede producir fácilmente un fallo del elemento de carga y por consiguiente una falta de la rama de derivación. Para contrarrestarlo el módulo de protección supervisa el estado de carga del elemento de carga, y se ocupa en caso necesario de una disminución de la corriente en la rama de derivación. Para la supervisión del elemento de carga está previsto preferentemente un dispositivo de medición de la temperatura. Esto es válido en particular luego cuando el elemento de carga está realizado como una resistencia de freno. Por consiguiente está a disposición una posibilidad de medición directa y sencilla para el estado de carga. Pero alternativamente también puede estar previsto prever un dispositivo de estimación para el estado de carga a fin de evitar una unidad de sensores adicional. Está configurado para determinar una medida para el estado de carga térmica del acumulador de energía a partir de una señal de tensión del acumulador de energía eléctrica y la señal de salida del control. Para poder determinar mejor el estado de carga del elemento de carga no sólo en caso de picos de carga que actúan de forma breve, sino también en caso de cargas que actúan durante periodos de tiempo más largos, el dispositivo de estimación presenta convenientemente un elemento de paso bajo. Su constante de tiempo se selecciona de manera que se corresponde a la constante de tiempo térmica del elemento de carga. Por consiguiente se puede facilitar de manera sencilla y conveniente una función de integración para poder detectar también la carga a soportar por el elemento de carga durante un intervalo de tiempo más largo. Además, está previsto preferentemente un dispositivo de comparación en cuya entrada está colocada una salida del elemento de paso bajo y en su otra entrada una señal de valor límite de temperatura. Está configurado para emitir una señal de salida al sobrepasar la temperatura límite, por lo que el módulo de protección disminuye la corriente a través de a rama de derivación o incluso la reduce a cero.

La invención se refiere además a un procedimiento con las características de la reivindicación independiente sobre el procedimiento. Para la explicación del modo de funcionamiento se remite a las realizaciones anteriores.

A invención se explica a continuación en referencia al dibujo adjunto en el que están representados ejemplos de realización ventajosos. Muestran:

- Fig. 1 una vista esquemática de una instalación de energía eólica según la invención;
- Fig. 2 una vista esquemática de un dispositivo de regulación de paso según un primer ejemplo de realización;
- Fig. 3 una vista esquemática de un dispositivo de regulación de paso según un segundo ejemplo de realización;
- Fig. 4 un dispositivo de espejo de corriente según el ejemplo de realización representado en la fig. 3;
- Fig. 5 un dispositivo de espejo de corriente según el ejemplo de realización representado en la fig. 2;
- Fig. 6 una vista esquemática de un control para el segundo ejemplo de realización;
- Fig. 7 una vista esquemática de un módulo de protección;
- Fig. 8 una representación del funcionamiento para el control;
- Fig. 9 a 11 curvas características para diferentes dispositivos de espejo corriente regulados;
- Fig. 12 un par de curvas características que representan la propiedad del espejo de corriente y una señal de excitación correspondiente; y
- Fig. 13 curvas características de corriente en el circuito de emergencia.

Una instalación de energía eólica designada en su totalidad con la referencia 1 según la invención comprende una torre 10 con una góndola 11 dispuesta en el plano azimutal de forma rotativa en su extremo superior. En un lado frontal de la góndola 11 está dispuesto un rotor 2 de forma rotativa a través de un árbol de rotor 20. El rotor 2 comprende varias palas de rotor 21 (2 en el ejemplo mostrado). Un buje de las palas de rotor 22 conecta las palas de rotor 21 con el árbol de rotor 20. Éste acciona un generador 13 dispuesto en la góndola 11 para la generación de energía eléctrica. La energía eléctrica se conduce a un convertidor 14 y se le entrega a una red eléctrica 9 a través de una línea trifásica (sólo está representada una fase) 15 y un transformador 16. Además, en la góndola 11 todavía está dispuesto un dispositivo de control 18 para la instalación de energía eólica 1. Sirve de manera conocida en sí para la gestión del funcionamiento de la instalación de energía eólica.

Las palas de rotor 21 están dispuestas de forma regulable en el buje 22 respecto a su ángulo de ataque  $\theta$ . Para la regulación del ángulo de ataque está previsto un dispositivo de regulación de paso 3. Comprende motores de ajuste de palas 55 que están dispuestos en la zona de la raíz de la pala de rotor 21 correspondiente. El dispositivo de regulación de paso presenta un módulo de regulación de emergencia 5. Éste está configurado para conseguir también una regulación de emergencia de las palas de rotor 21 en el caso de un fallo de la red 9 o en el caso de una perturbación del suministro de energía del buje de las palas de rotor 22. A fin de tener a disposición para ello suficiente energía eléctrica, en el buje de las palas de rotor 22 está previsto un acumulador de energía eléctrica autárquico que está realizado como un acumulador 50 en el ejemplo de realización representado.

La estructura y modo de funcionamiento del dispositivo de regulación de paso durante el funcionamiento de emergencia se explican ahora en referencia a la fig. 2. El dispositivo de regulación de paso designado en su totalidad con la referencia 5 para el funcionamiento de emergencia comprende un contactor de baterías 51 a través del que está conectado el acumulador 50 con las líneas de conexión 52, y además a través de un contactor de motor 54 con el motor de ajuste de palas 55. Está previsto que durante el funcionamiento de emergencia el dispositivo de regulación de paso 5 se haga funcionar como sigue. La energía eléctrica facilitada por el acumulador 50 fluye a través del contactor de baterías 51 y las líneas de conexión 52 hacia el contactor de motor 54 y hacia el motor de ajuste de palas 55. El motor alimentado así con corriente gira la pala de rotor 21 a él asignada (o varias palas de rotor 21 a él asignadas en el caso de un motor de paso central), y a saber generalmente a la posición de bandera de las palas de rotor 21 prevista para la detención de la instalación energía eólica. Debido a las fuerzas del viento que afectan a las palas de rotor 21 se pueden generar cargas aerodinámicas por lo que la pala de rotor 21 se mueve más rápidamente en la dirección de la posición de bandera que la que se corresponde con la velocidad de rotación del motor de ajuste de palas 55. De este modo el motor de ajuste de palas 55 llega a un funcionamiento de arrastre. En este funcionamiento de arrastre actúa como un generador. Luego puede generar una corriente que está representada en la fig. 2 como corriente de motor IMR. Esta corriente de motor generada por el motor de ajuste de palas 55 durante el funcionamiento de arrastre se conduciría convencionalmente a través de las líneas de conexión 52 y el contactor de baterías 51 al acumulador 50. El acumulador 50 se cargaría de este modo. Dado que en este caso se puede tratar de corrientes proporcionalmente elevadas existe el peligro de carga nociva de gran amperaje para el acumulador 50. Además, existe el peligro de que durante el funcionamiento de arrastre se produzca una saturación magnética en el motor de ajuste de palas 55, por lo que se desplazaría su curva característica de funcionamiento de manera que ascendería su velocidad de rotación en vacío de manera indeseada.

Para contrarrestarlo según la invención está previsto un dispositivo de espejo de corriente 6. Está conectado de modo que una rama de derivación 60 está puesta entre las líneas de conexión 52. En la rama de derivación 60 está dispuesto el dispositivo de espejo de corriente 6. La estructura y modo de funcionamiento del dispositivo de espejo de corriente 6 se explica más en detalle a continuación.

Para la explicación sirve una realización especialmente sencilla, pero completamente suficiente para la finalidad según la invención, de un dispositivo de espejo de corriente con componentes pasivos, según está representado en su esquema base en la fig. 3 y en detalle en al fig. 4. Un dispositivo de espejo de corriente 6' pasivo semejante sólo comprende resistencias y transistores. Mediante un sensor de corriente 61 se mide la corriente de realimentación del motor que fluye a través de la línea de conexión 52. Es conveniente que el sensor de corriente 61 esté configurado como un transmisor con una relación de transmisión de 500:1. En caso de una corriente de realimentación del motor de, por ejemplo, 50 A genera una corriente de control de 0,1 A. El sensor de medición 61 está conectado a un colector de un transistor 77', cuyo emisor está conectado a masa a través de una resistencia 76'. Una resistencia 75' que conduce al colector, así como una conexión de control 78' está conectada con la base del transistor 77'. Este circuito consigue que se ajuste una tensión dependiente de la corriente del sensor de medición 61 en la conexión de control 78'. Además, está previsto un transistor de conmutación 73'. Esta realizado preferentemente como un transistor de potencia Darlington (por motivos de simetría el transistor 77' es convenientemente igualmente un transistor de potencia Darlington). El transistor de conmutación está conectado gracias a su colector con la línea de conexión 52 y gracias a su emisor a través de una resistencia 71' a masa. Por consiguiente el recorrido emisor – colector del transistor de conmutación 73' forma una rama de derivación 60 para el acumulador 50. La conexión de control 78' está aplicada en la base del transistor de conmutación 73'. Por consiguiente el transistor 77' y el transistor de conmutación 73' tienen un potencial de base común. La resistencia de carga 71' presenta en referencia a la resistencia 75' un valor de resistencia conforme a la relación de transmisión inversa. Esto significa con

la relación de transmisión anterior 500:1 y una resistencia a modo de ejemplo de 50 ohmios para la resistencia 76', un valor de 0,1 ohmios para la resistencia de carga 71'. En el caso del dispositivo de espejo de corriente 6' se trata según la figura 4 de un circuito de espejo de corriente clásico, que está configurado para detectar la corriente de motor  $I_{MR}$  generada por el motor de ajuste de palas 55 durante el funcionamiento de arrastre con su rama que contiene el transistor 77', y evacuar una corriente  $I_S$  igualmente grande a través de la rama de derivación 60 vía la otra rama que contiene el transistor de carga 73'. En el caso ideal esto significa que toda la corriente generada por el motor de ajuste de palas 50 durante el funcionamiento de arrastre se evacua a través de la rama de derivación 60 gracias al dispositivo de espejo de corriente 6'. Hacia el acumulador 50 no fluye por consiguiente una corriente, es decir, la corriente  $I_{BR}$  es cero. El acumulador 50 está protegido por consiguiente frente a la carga indeseada de alto amperaje mediante el motor de ajuste de palas 55 que trabaja en funcionamiento de arrastre. Además, mediante la derivación según la invención de la corriente generada por el motor de ajuste de palas 55 durante el funcionamiento de arrastre se consigue que no aumenta la tensión entre las líneas de conexión 52 y por consiguiente la tensión en el motor de ajuste de palas 55 también durante el funcionamiento de arrastre. De este modo se contrarresta el ascenso indeseado de la velocidad de rotación en vacío del motor de ajuste de palas 55 durante el funcionamiento de arrastre debido a fenómenos de saturación magnética.

En muchos casos es suficiente un dispositivo de espejo de corriente 6' sencillo semejante, según está representado en la fig. 3, para la protección del acumulador 50 y para el mantenimiento de propiedades de funcionamiento propicias durante el funcionamiento de emergencia. Pero según un aspecto especialmente ventajoso de la invención, que merece igualmente una protección independiente, también puede estar previsto un dispositivo de espejo de corriente 6 ampliado. Comprende un control activo 8 que acciona un elemento de conmutación 7 dispuesto en la rama de derivación 60. Se menciona que el control 8 no debe estar realizado forzosamente como una unidad separada, sino que puede estar integrado adecuadamente en un dispositivo de control ya presente para la gestión del funcionamiento 18.

En primer lugar se explica la estructura del elemento de conmutación 7. A lo largo de la rama de derivación 60 está comprendida una resistencia de carga 71 y un interruptor de estado sólido 73 dispuesto en serie a ésta que está realizado preferentemente como un IGBT. Además, para la protección frente a picos de tensión está dispuesto de marcha libre 72 sobre la resistencia 71. Más allá está previsto un condensador 79 que sirve para la homogeneización de la corriente sincronizada por el interruptor de estado sólido. La resistencia de carga 71 sirve, por un lado, para disipar la potencia eléctrica conducida a través de la rama de derivación 60 y, por otro lado, sirve para la protección del interruptor de estado sólido 73 frente a sobrecarga. Esto significa que el valor para la resistencia de carga 71 se debe seleccionar al menos tan grande que no se sobrepasa la corriente máxima permitida del interruptor de estado sólido 73 en caso de tensión máxima del acumulador 50. Por otro lado, la resistencia se debe seleccionar suficientemente pequeña para que tanto en caso de una tensión reducida del acumulador 50 siempre se consiga una corriente mínima a través de la rama de derivación 60. Para un dispositivo de regulación de paso con un acumulador con una tensión final de 320 V y una resistencia interna de 0,5  $\Omega$  ha probado su eficacia un valor de resistencia de  $R = 10 \Omega$ . El IGBT usado como interruptor de estado sólido 73 presenta una conexión de control 78. A ésta está conectado el dispositivo de control del dispositivo de espejo de corriente 6 ampliado.

El control 8 presenta un módulo principal 80 así como un generador de ritmo como escalón de salida, que está realizado preferentemente como modulador por ancho de pulsos 89. La salida del modulador por ancho de pulsos 89 conduce una señal de salida A a la salida de control 78 del elemento de interruptor de estado sólido 73 a través de la línea de conexión 88. El modulador por ancho de pulsos 89 está configurado para generar una señal de ritmo con una frecuencia de, por ejemplo 4 kHz, a partir de una señal de control S normalizada (que puede adoptar valores entre 0 y 1), y variar en función de la magnitud de la señal de control normalizada la relación duración – periodo de la señal de ritmo entre 0 y 100%. El modulador por ancho de pulsos 89 realiza preferentemente en este caso una conversión lineal. Como señal de entrada en el módulo principal 80 está previsto respectivamente un sensor de medición para la corriente de realimentación del motor 61 y para la tensión 62. El módulo principal 80 trabaja de manera que determina la señal de control S para el modulador por ancho de pulsos 89 en base al valor de corriente medido con el sensor 61, pudiéndose tener en cuenta diferentes factores de corrección. Un factor de corrección consiste en el ajuste de un offset. Para ello está previsto un módulo de offset 83. Mediante el ajuste de un offset mediante el módulo de offset 83 se consigue que luego también fluye una corriente determinada (la corriente de offset) a través de la rama de derivación 60, cuando el motor de ajuste de palas 55 no trabaje en funcionamiento de arrastre. Con la corriente de offset se consigue una carga definida del acumulador 50. Esto tiene el efecto deseado de que la tensión en el acumulador 50 puede bajar rápidamente de la tensión al final de la carga proporcionalmente elevada a la tensión nominal. La tensión nominal forma un punto de funcionamiento estable para el acumulador 50 dado que la tensión sólo se disminuye lentamente con descarga progresiva del acumulador 50. Con el módulo de offset 83 coopera convenientemente un módulo de supresión 84. Está configurado para reducir la corriente de offset en caso de carga elevada del acumulador 50, y a saber en caso necesario llevar hasta un valor cero. Por consiguiente se garantiza que toda la potencia del acumulador 50 esté a disposición cuando se necesite para el accionamiento del motor de ajuste de palas 55.

Además, está previsto un módulo de regulación de gradiente 85. Sirve para modificar linealmente la relación de la corriente de espejo en la rama de derivación 60 respecto a la corriente de realimentación generada por el motor de ajuste

de palas 55. En general esta modificación significa una elevación de la corriente de espejo, no obstante, no debe estar excluida completamente una disminución. Con un aumento de la corriente de espejo mediante el módulo de regulación de gradiente 85 se puede generar un tampón para tolerancias respecto a la medición de la corriente de realimentación u otras magnitudes. De este modo se garantiza que también bajo influencia de tolerancias o inexactitudes de medición la corriente siempre es suficientemente grande en la rama de derivación a fin de absorber la corriente de realimentación generada por el motor de ajuste de palas 55. Con ello también se garantiza en circunstancias adversas que el acumulador 50 no se cargue por la corriente de realimentación.

Además, puede estar previsto convenientemente un módulo de compensación 82. Está configurado para aplicar un factor de corrección en el cálculo de la señal de control a fin de compensar las oscilaciones de la tensión actual del acumulador 50. De este modo se pueden compensar las oscilaciones de la corriente en la rama de derivación 60 debido a la tensión modificada del acumulador 50. Para detectar la tensión del acumulador 50 el módulo de compensación 82 está conectado convenientemente con el sensor de tensión 62.

Además, en el módulo principal 80 puede estar previsto un módulo de protección 81. Está configurado para reducir la corriente en la rama de derivación en función de un estado de carga de la resistencia de carga 71. Para ello en la resistencia de carga puede estar dispuesto un sensor de temperatura 74. Si la temperatura en la resistencia de carga 71 amenaza con sobrepasar una medida inadmisiblemente elevada, y por consiguiente con sobrecargarse la resistencia de carga 71, entonces mediante el módulo de protección 81 se limita en caso necesario la corriente de espejo en la rama de derivación 60. Esto se basa en el conocimiento de que puede ser más favorable aceptar una reducción temporal de la corriente de espejo que arriesgarse a un fallo del dispositivo de espejo en conjunto debido a la destrucción de la resistencia de carga 71. Pero no es necesario forzosamente que se use un costoso sensor de temperatura 74 para la resistencia de carga 71. También puede estar previsto estimar el estado de carga de la resistencia de carga 71 a partir de magnitudes medidas presentes. Para ello puede estar previsto un dispositivo de estimación 86 correspondiente. Un diagrama esquemático está representado en la fig. 7. Comprende una medición de la tensión del acumulador 50, preferentemente mediante el sensor de medición 62, y además una detección de la señal de excitación A mediante el elemento de conmutación 73, por ejemplo, de la línea 88. Basándose en las magnitudes de entrada una unidad de cálculo 811 determina una señal de potencia, por ejemplo, al elevar al cuadrado la tensión medida dividida por el valor de la resistencia de carga 71 y multiplicado con la relación duración – periodo de la señal de excitación A. Esto es una medida para la potencia disipada en la resistencia de carga 71. Mediante el elemento de multiplicación 812 se puede determinar una señal de diferencia de temperatura  $\Delta T$  teniendo en cuenta un parámetro para la resistencia térmica. Es una medida para el aumento de temperatura estacionario que se produce teóricamente. Para tener en cuenta la dinámica puede estar previsto un elemento de paso bajo 813 que tiene en cuenta la constante de tiempo térmica de la resistencia de carga 71. A su salida se encuentra luego una medida para el aumento dinámico de la temperatura. Se coloca en una entrada de un comparador 814 en cuya otra entrada está aplicada una medida para un aumento de temperatura límite permitido  $\Delta T_{\max}$ . Si el aumento dinámico real de la temperatura sobrepasa este valor límite entonces el comparador emite una señal de modo que se activa el módulo de protección 81. Con este cálculo no son necesarios sensores de temperatura 74 adicionales para la resistencia de carga 71.

El modo de funcionamiento básico del módulo principal 80 está representado en resumen en la fig. 8. Como magnitud de entrada sirve una medida para la corriente de realimentación del motor  $I_{MR}$ . Mediante el módulo de offset 83 se añade una corriente base G que fluye adicionalmente en la rama de derivación 60. Mediante el módulo de regulación de gradiente 85 se ajusta un factor de amplificación k para la curva característica del espejo de corriente. Si para el cálculo se usan magnitudes normalizadas entonces se realiza una limitación en el rango entre 0 y 1. Mediante el módulo de compensación 82 se tiene en cuenta una bajada de la tensión del acumulador 50 partiendo de la tensión nominal. Esto provoca un aumento de la señal de control S y por consiguiente de la señal de excitación A cuando cae la tensión del acumulador 50. Después de nueva limitación al rango 0 y 1 se forma una señal de salida S del módulo principal 80. Está aplicada a la entrada del modulador por ancho de pulsos 89. Éste forma la señal de excitación A de frecuencia fija a partir de la señal de control S normalizada, cuya relación duración – periodo está determinada por la magnitud de la señal de control.

A continuación mediante diferentes curvas características se explica de qué manera se puede hacer funcionar el espejo de corriente ampliado según la invención teniendo o sin tener en cuenta los módulos adicionales.

En la fig. 9 está representada la curva característica del espejo de corriente puro, según se deduce, por ejemplo, en la forma de realización sencilla según la fig. 3. En la abscisa está representada la corriente de realimentación del motor  $I_{MR}$  como valor normalizado, y en la ordenada la corriente  $I_S$  en la rama de derivación igualmente como valor normalizado. Si no fluye una corriente de realimentación  $I_{MR}$ , su valor es así 0 o menor, la corriente de espejo a través de la rama de derivación 60 es correspondientemente igualmente 0. Si la corriente de realimentación  $I_{MR}$  asciende entonces se aumenta linealmente la corriente de espejo  $I_S$  que fluye a través de la rama de derivación 60 hasta que se alcanza finalmente respectivamente el valor normal. Ya con esta función base del espejo de corriente se garantiza una protección del acumulador 50 frente a las cargas nocivas de gran amperaje durante el funcionamiento de arrastre.

5 En la fig. 10 está representada una curva característica para un espejo de corriente ampliado según la fig. 2. Como en la fig. 9 están representadas de forma normalizada la corriente de realimentación del motor y la corriente en la rama de derivación. Adicionalmente está previsto el módulo de offset 83. Conduce a un desplazamiento hacia la izquierda de la curva característica en el diagrama. Esto significa que también en el caso de una corriente de realimentación  $I_{MR}$  de 0 también fluye ya una corriente (una corriente normalizada en el ejemplo representado) a la altura de 0,2 en la rama de derivación 60. Si aparece adicionalmente una corriente de realimentación del motor entonces se aumenta correspondientemente linealmente la corriente en la rama de derivación 60 debido al dispositivo de espejo de corriente 6.

10 En la fig. 11 está representada otra variante. Como en la fig. 9 están representadas de forma normalizada la corriente de realimentación del motor y la corriente en la rama de derivación. Aquí está previsto adicionalmente el módulo de regulación de gradiente 85. Conduce a que al aparecer una corriente de realimentación del motor se amplifique la corriente de espejo en un factor constante. De este modo fluye más corriente a través de la rama de derivación 60 que se genera por el motor de ajuste de palas 55 en el estado de arrastre. Por consiguiente se consigue que tampoco fluya una corriente de realimentación hacia el acumulador 50 teniendo en cuenta las tolerancias.

15 En la fig. 12 a) está representada una curva característica según se deduce teniendo en cuenta el módulo de offset 83 y el módulo de compensación 87. Debido al módulo de offset 83 la curva característica está desplazada hacia la izquierda (compárese la curva característica ascendente a trazos). Además está previsto el módulo de compensación 81. Esto conduce a que con una tensión del acumulador por debajo de la tensión nominal permanece completamente la corriente en la rama de derivación 60, y no se baja conforme a la tensión más pequeña. En la fig. 12 b) está representada la señal de control S correspondiente que se transmite del módulo principal 80 al modulador por ancho de pulsos 89. La línea continua representa el caso cuando la tensión del acumulador 50 se corresponde con la tensión nominal, y la línea a trazos el caso cuando la tensión es menor.

20 En la fig. 13 se muestra finalmente a modo de ejemplo el efecto de las dos formas de realización representadas en las figuras 2 y 3. La línea continua muestra la forma de realización según la fig. 3 con un espejo de corriente sencillo. En tanto que el motor de ajuste de palas 55 absorbe corriente del acumulador 50 ( $I_{MR}$  es negativa), no fluye una corriente  $I_S$  en la rama de derivación 60 (véase la curva continua en la sección izquierda de las figuras a), b) y c)). Sólo cuando la corriente de realimentación del motor  $I_{MR}$  se vuelve positiva fluye una corriente de espejo  $I_S$  a través de la rama de derivación 60. Ésta se corresponde en su valor justamente a la parte positiva de la corriente de realimentación del motor, de modo no fluye una corriente hacia el acumulador 50 (véase zona central en los diagramas a), b) y c)). La zona derecha se corresponde con la zona izquierda.

30 Con la curva a trazos y puntos está representado el flujo de corriente en la rama de derivación en la segunda forma de realización según la fig. 2. En esta forma de realización con el así denominado "espejo de corriente ampliado" siempre fluye una corriente base a través de la rama de derivación 60 gracias al módulo de offset 83, si el motor de ajuste de palas 55 genera una corriente de realimentación  $I_{MR}$  durante el funcionamiento de arrastre, o cuanto la corriente  $-I_{MR}$  que acciona el motor sobrepasa un valor de -0,2 de la corriente de motor normalizada. Por consiguiente se garantiza que también en el caso del funcionamiento de arrastre del motor fluye una corriente de descarga desde el acumulador 50.

35



## REIVINDICACIONES

- 5 1.- Instalación de energía eólica con un generador (13) accionado por un rotor (2) con palas de rotor (21) regulables para la generación de energía eléctrica, en el que está previsto un dispositivo de regulación de paso (3) para la regulación de las palas que comprende un circuito de emergencia (5) con un acumulador de energía eléctrica (50) para el accionamiento de un motor de ajuste de palas (55), **caracterizada porque** en paralelo al acumulador de energía (50) está prevista una rama de derivación (60) con un dispositivo de espejo de corriente (6, 6'), estando configurado el dispositivo de espejo de corriente (6, 6') para controlar la corriente en la rama de derivación (60) en función de la corriente de realimentación del motor de ajuste de palas (55).
- 10 2.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el dispositivo de espejo de corriente (6') presenta una entrada y una salida, estando conectado en la entrada un dispositivo para la determinación de la corriente de realimentación del motor de ajuste de palas (55) y determinando la salida la corriente a través de la rama de derivación (60).
- 15 3.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, **caracterizada porque** el dispositivo de espejo de corriente (6) presenta un elemento de carga (71) y un elemento de conmutación (73) conectado en serie que se acciona mediante un control (8) separado.
- 4.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 3, **caracterizada porque** el control (8) presenta un modulador por ancho de pulsos (89).
- 5.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 3 ó 4, **caracterizada porque** el control (8) presenta un dispositivo de determinación (81) para la corriente de realimentación del motor de ajuste de palas (55).
- 20 6.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 3 a 5, **caracterizada porque** el control presenta un módulo de offset (83) que está configurado para regular una corriente base en la rama de derivación (60) durante el funcionamiento de emergencia.
- 25 7.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 6, **caracterizada porque** el módulo de offset (83) presenta un dispositivo de supresión (84) que está configurado para reducir la corriente base en caso de plena carga del motor de ajuste de palas (55).
- 8.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 3 a 7, **caracterizada porque** el control presenta un módulo de regulación de gradiente (85) que está configurado para amplificar linealmente la corriente en la rama de derivación.
- 30 9.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 3 a 8, **caracterizada porque** el control presenta un módulo de compensación (82) que está configurado para modificar la corriente de espejo en la rama de derivación en función del estado de carga del acumulador de energía (50).
- 10.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 9, **caracterizada porque** el módulo de compensación (82) presenta un dispositivo de medición de tensión (62) para la determinación del estado de carga del acumulador de energía eléctrica (50).
- 35 11.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones 3 a 10, **caracterizada porque** el control presenta un módulo de protección (81) que está configurado para disminuir la corriente de espejo en la rama de derivación (60) en función de un estado de carga del elemento de carga (71).
- 12.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 11, **caracterizada porque** está previsto un dispositivo de medición de la temperatura (74) para el elemento de carga (71) a fin de determinar el estado de carga.
- 40 13.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 11, **caracterizada porque** está previsto un dispositivo de estimación (86) para el estado de carga y está configurado para determinar una medida para el estado de carga térmica a partir de la tensión del acumulador de energía eléctrica (50) y de una señal de salida del control (8).
- 45 14.- Procedimiento para la operación de un dispositivo de regulación de paso para las palas de un rotor de una instalación de energía eólica, en el que el rotor (2) acciona un generador (13) para la generación de energía eléctrica, y en el que un motor de ajuste de palas (55) se acciona a través de un circuito de emergencia (5) con un acumulador de energía eléctrica (50) durante un funcionamiento de emergencia, **caracterizado por** la disposición de un dispositivo de espejo de corriente (6, 6') en paralelo al acumulador de energía eléctrica (50) en una rama de derivación (60) y la operación del dispositivo de espejo de corriente (6, 6') a fin de controlar la corriente en la rama de derivación (60) en función de una corriente de realimentación del motor de ajuste de palas (55).
- 50 15.- Procedimiento según la reivindicación 14, **caracterizado por** la operación del espejo de corriente en un modo

ampliado en el que se regula una corriente base en la rama de derivación (60).

16.- Procedimiento según la reivindicación 14 ó 15, **caracterizado por** la amplificación lineal de la corriente en la rama de derivación (60).

5 17.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 16, **caracterizado por** la determinación del estado de carga del acumulador de energía eléctrica (50) y el aumento de la corriente en la rama de derivación (60) en función del estado de carga.

18.- Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 17, **caracterizado por** la disminución de la corriente en la rama de derivación (60) en función de un estado de carga del dispositivo de espejo de corriente (6, 6').

10 19.- Procedimiento según la reivindicación 18, **caracterizado por** la estimación del estado de carga mediante la determinación de una medida en base a una tensión del acumulador de energía eléctrica (50) y una señal de salida de un control (8) del dispositivo de espejo de corriente (6).

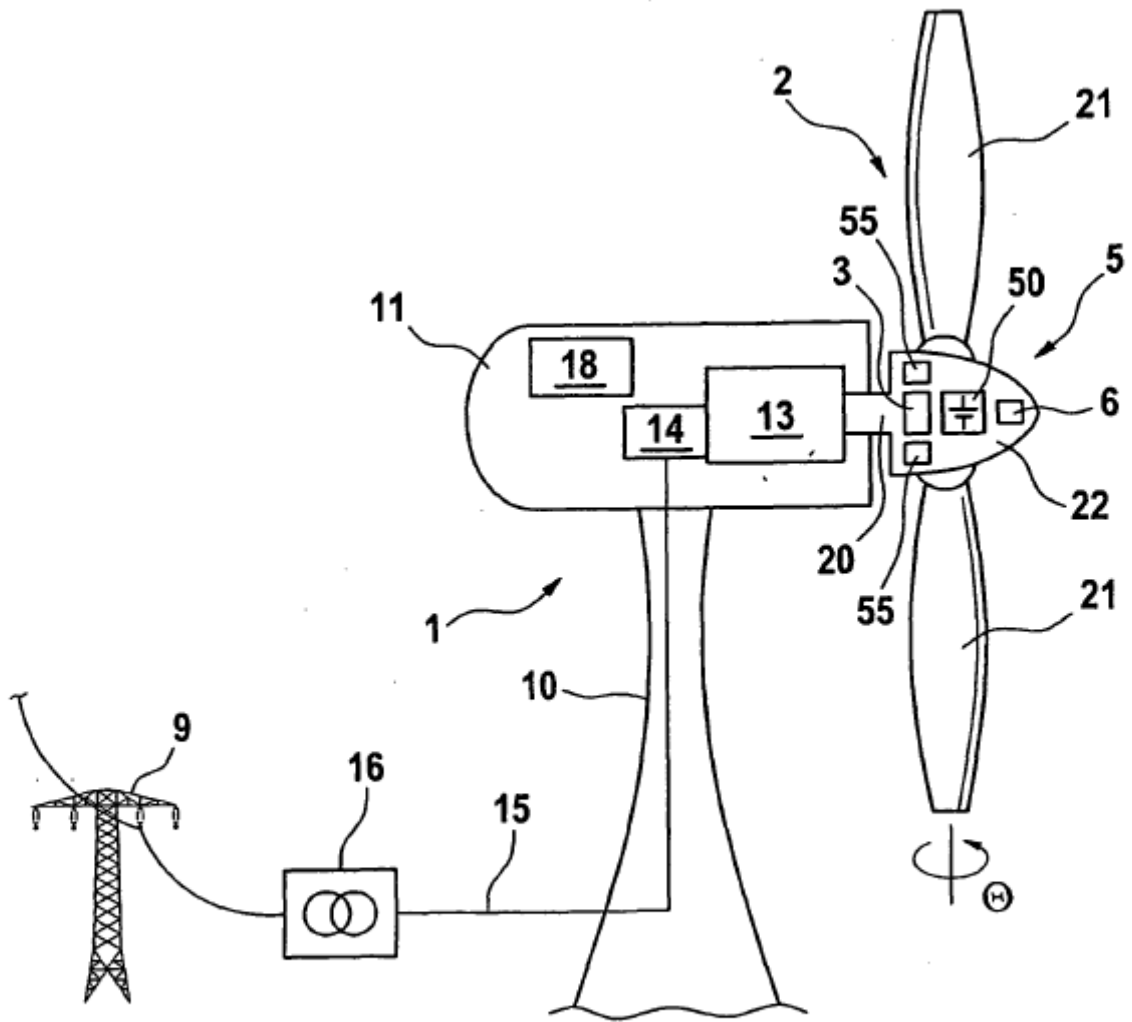


Fig. 1

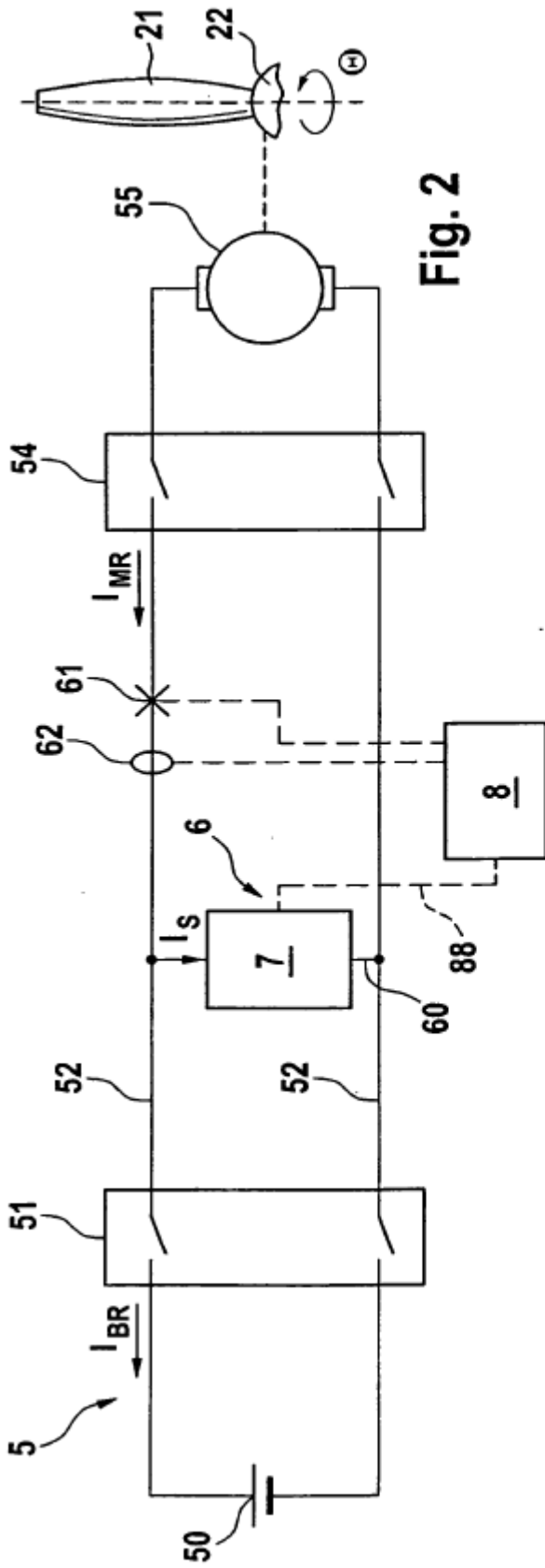


Fig. 2

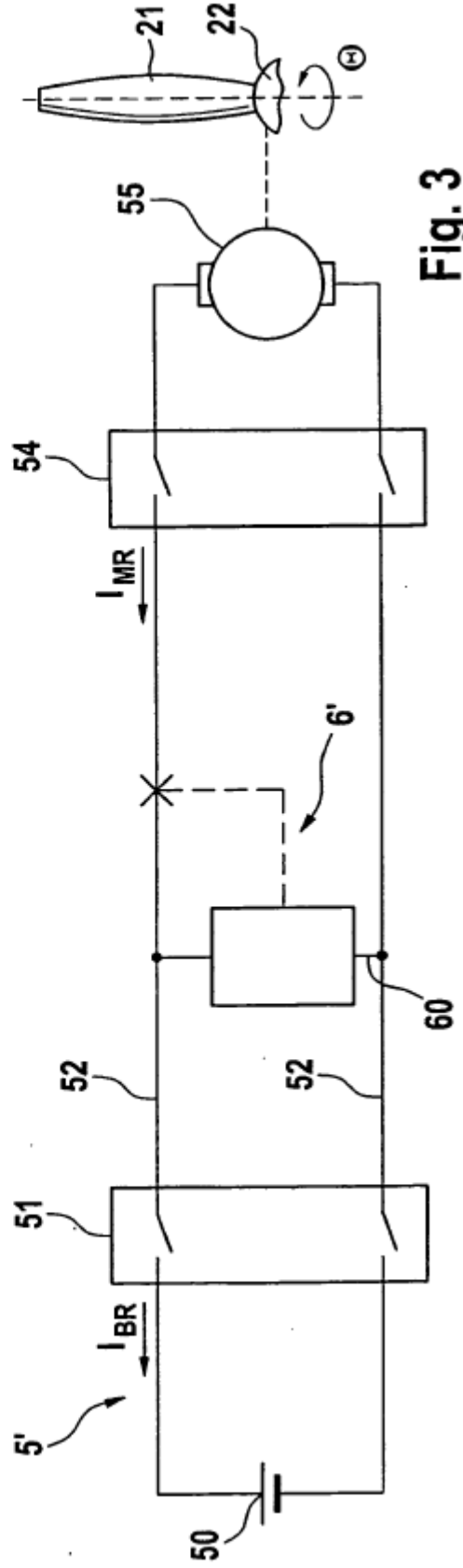


Fig. 3

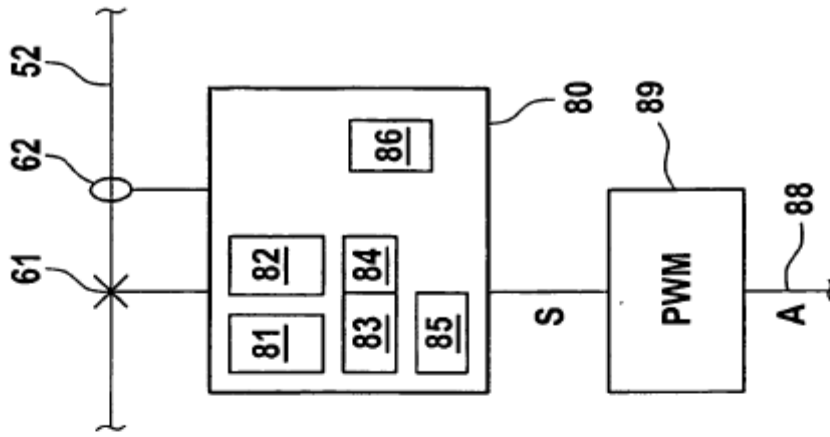


Fig. 6

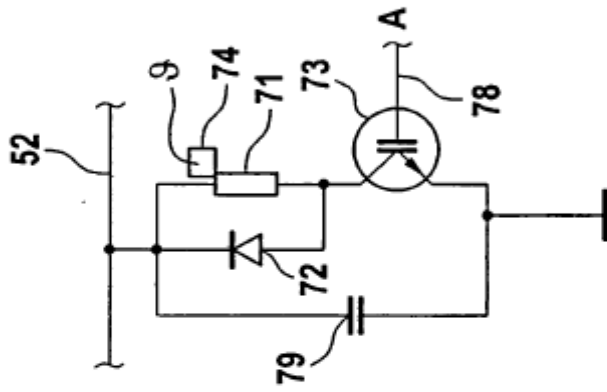


Fig. 5

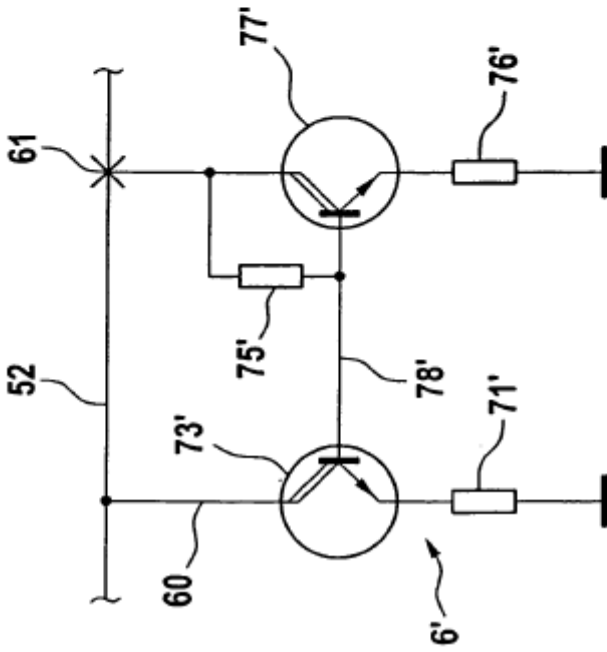


Fig. 4

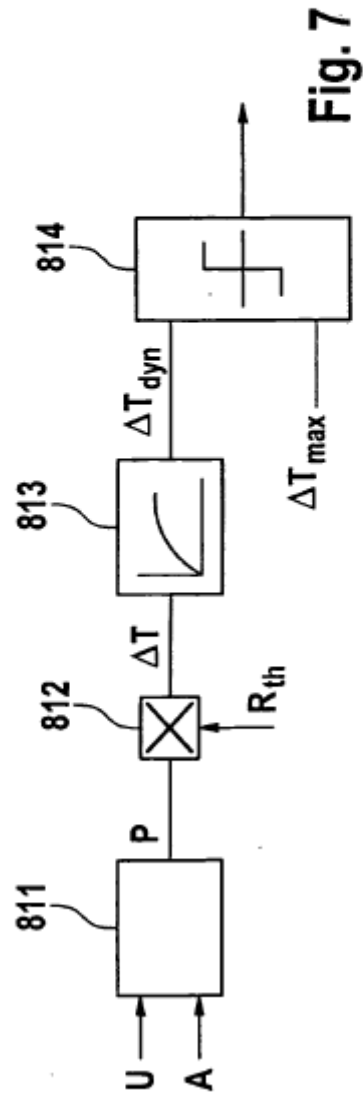


Fig. 7

