



19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 349 329**

51 Int. Cl.:  
**H02P 7/28** (2006.01)  
**F03D 7/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **08164152 .4**  
96 Fecha de presentación : **11.09.2008**  
97 Número de publicación de la solicitud: **2058939**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **13.05.2009**

54 Título: **Instalación de energía eólica con circuito de control para un funcionamiento con número de revoluciones limitado y protección de la fuente de tensión de un motor devanado en serie para la regulación de las palas en caso de pares generadores.**

30 Prioridad: **08.11.2007 DE 10 2007 053 613**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**30.12.2010**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**30.12.2010**

73 Titular/es: **MOOG UNNA GmbH**  
**Max-Born-Strasse 1**  
**59423 Unna, DE**

72 Inventor/es: **Rosmann, Tobias**

74 Agente: **Carpintero López, Mario**

ES 2 349 329 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

Circuito de control para un funcionamiento con número de revoluciones limitado y protección de la fuente de tensión de un motor devanado en serie para la regulación de las palas en caso de pares generadores, que comprende un motor devanado en serie, con devanado del inducido y devanado excitador que pueden conectarse de forma independiente entre sí, una resistencia  $R_{11}$  de carga, conectada fundamentalmente en serie con el devanado excitador y en paralelo con el devanado del inducido, así como una fuente de tensión, especialmente una batería o un acumulador.

En general, en los motores devanados en serie, también denominados motores excitados en serie, el devanado del inducido y el devanado excitador se conectan en serie. Debido a ello, la corriente del excitador y la corriente del inducido y, con ello, también los campos magnéticos generados por estos, cambian su sentido de forma sincrónica, de modo que es posible una alimentación con corriente alterna con un sentido de giro fijo. El devanado excitador es normalmente de baja impedancia, a diferencia del motor en derivación. El número de revoluciones de los motores devanados en serie depende en gran medida de la carga. Si el par de giro suministrado disminuye, por ejemplo, en caso de marcha en ralentí, se incrementa el número de revoluciones del inducido debido a la reducida corriente y a la atenuación del campo que se produce con ello. Esto puede conducir a que el motor “se embale”, lo que significa que el número de revoluciones sigue aumentando y puede romperse el motor debido a las fuerzas centrífugas que se producen. Por tanto, los motores devanados en serie según el estado de la técnica se hacen funcionar con una carga básica, tal como, por ejemplo, los ventiladores a motor, los engranajes o las resistencias de carga conectadas en paralelo al inducido, para contrarrestar una atenuación del campo magnético del excitador. Por tanto, del estado de la técnica se conocen en principio dos medidas para evitar el embalamiento de un motor devanado en serie: por una parte, un aumento artificial de la carga mecánica, por ejemplo, a través del engranaje o ventilador mecánico, y, por otra parte, mediante la conexión eléctrica en paralelo de una resistencia de carga en paralelo al devanado del inducido de modo que también circule corriente al devanado excitador en caso de una corriente decreciente del inducido para mantener el campo magnético del excitador. En este caso, mediante conexiones técnicas se creará un tipo de motor híbrido que combina las propiedades de un motor devanado en serie y un motor en derivación.

En la figura 1 se muestra un circuito de control típico de un motor devanado en serie para la regulación de las palas de una instalación de energía eólica que puede alimentarse tanto con corriente trifásica a partir de la red como también con corriente continua mediante un acumulador. Para conseguir una inversión del sentido de giro del motor devanado en serie, el devanado excitador está conectado con un rectificador en puente como rectificador de campo. En

paralelo al circuito del inducido está conectada una resistencia  $R_{||}$  de carga paralela, de modo que, también en caso de una corriente decreciente a través del devanado del inducido o, por ejemplo, en caso de un defecto del circuito del inducido, circule una corriente mínima a través del devanado excitador y mantenga el campo magnético del excitador. En relación con esto, la figura 2 muestra la configuración básica de un circuito de control, conocido a partir del estado de la técnica, de un motor para la regulación de las palas devanado en serie. En la figura 3 se muestra el régimen de revoluciones del motor devanado en serie según la configuración básica del circuito de control según las figuras 1 y 2. Si se reduce el par de giro del motor devanado en serie, por ejemplo, durante la marcha en ralentí o por un par de giro externo, de modo que el motor pasa del funcionamiento motor al funcionamiento generador, entonces el número de revoluciones adquiere de forma asintótica el sentido del par de giro que se reduce, y el número de revoluciones aumenta superando todos los límites. Esto se denomina “embalamiento” del motor y normalmente conduce a la autodestrucción del motor.

El circuito de control típico, conocido a partir del estado de la técnica y mostrado en la figura 1, comprende una fuente de tensión de funcionamiento normal, por ejemplo, una unidad de control trifásica, que obtiene corriente continua a partir de corriente de red trifásica y que, en caso de que el interruptor K2 esté cerrado, asume la alimentación de energía al motor devanado en serie. Si, por ejemplo, se avería la red, mediante la conexión del interruptor K1 y la apertura del interruptor K2, una fuente de tensión de emergencia alimenta en caso de emergencia al motor devanado en serie. Un rectificador de campo, realizado mediante cuatro diodos, hace que el flujo de corriente fluya a través del devanado excitador siempre en el mismo sentido, independientemente de la polaridad de la fuente de tensión de alimentación, de modo que la orientación del campo  $\Psi$  magnético del excitador sea independiente del flujo de corriente a través del motor. Sin embargo, debido a una polaridad invertida, cambia el flujo  $I$  de corriente a través del devanado excitador de modo que el par de giro

$$M = \Psi \times I \text{ [Nm]}$$

(donde  $\Psi$  es el flujo magnético del devanado excitador e  $I$  es la corriente del inducido) también se invierte al invertir la polaridad de la fuente de tensión. Por tanto, es posible un funcionamiento en cuadrantes múltiples del motor devanado en serie. Sin rectificador de campo se produciría, en caso de una inversión de la tensión de alimentación, tanto una inversión del campo  $\Psi$  magnético del excitador como también de la corriente  $I$  del inducido, con lo que el sentido del par permanecería constante.

La resistencia  $R_{||}$  de carga conectada en paralelo al devanado del inducido que se muestra en la figura 1 se ocupa de que, incluso si no circula ninguna corriente en el inducido del motor, mediante la resistencia se mantenga una corriente en el excitador y, con ello, se genere

un campo de excitador que, según la ecuación:

$$U_{\text{ind}} = \Psi \times \omega \text{ [V]}$$

(donde  $\omega$  es la frecuencia de giro del motor), conduce a una tensión  $U_{\text{ind}}$  inducida en el inducido. Incluso si no se produce ningún caso de fallo, la tensión  $U_{\text{ind}}$  inducida del inducido durante la  
5 marcha en ralentí del motor devanado en serie proporciona un número de revoluciones limitado de forma estacionaria.

Durante una marcha en ralentí, el motor debe aplicar un par de fricción condicionado por la fricción de cojinete o engranaje o ventilador conectado. Por tanto, la corriente del excitador se divide, durante la marcha en ralentí, en una corriente de carga básica, ocasionada por la  
10 resistencia  $R_{\parallel}$  de carga, y en una corriente del inducido dependiente del número de revoluciones.

No obstante, el circuito de control conocido del estado de la técnica de un motor devanado en serie para la regulación de palas presenta una desventaja considerable en caso de pares generadores, es decir, durante la propulsión del motor desde fuera como es el caso, por ejemplo, al presentarse una elevada carga de viento en la pala del rotor. Si se produce un  
15 incremento del número de revoluciones, por ejemplo, debido a una propulsión externa del motor, disminuye la corriente del inducido. Debido a este principio, también disminuye con ello la excitación del motor, lo que conduce a una reducción de la tensión inducida. Un incremento adicional del número de revoluciones conduce a que el motor pase al estado generador, es decir, se invierte la corriente del inducido. Esto se produce cuando la tensión inducida en el inducido es  
20 superior al potencial en la resistencia  $R_{\parallel}$  paralela. En este caso, la corriente inducida conduce a una reducción de la corriente de la fuente de tensión. Si aumenta adicionalmente la corriente inducida en el inducido, el generador del inducido asume completamente la alimentación de la resistencia  $R_{\parallel}$  paralela y la corriente de la batería pasa a ser cero, o incluso negativa. Una corriente negativa de la batería conduce a una carga indeseada y/o una carga no controlada de la  
25 fuente de tensión, lo que reduce la vida útil de la batería o el acumulador.

Si la magnitud de la tensión inducida en el inducido se corresponde exactamente con la tensión de la fuente de tensión, entonces ya no fluye ninguna corriente a través de la bobina del excitador. Con ello, el campo magnético del excitador en el motor es cero, de modo que también es cero la tensión inducida y se obtiene el resultado ya conocido del "embalamiento" del motor.  
30 Por tanto, una carga generadora en un motor devanado en serie según el circuito conocido también conduce a un "embalamiento" y una posible autodestrucción del motor. En la práctica, esto conduce a que un funcionamiento generador de un motor devanado en serie, a pesar de la resistencia  $R_{\parallel}$  de carga paralela, solo sea posible en casos excepcionales muy limitados dado que, en la mayoría de los casos, se alcanza el número de revoluciones límite mecánicamente  
35 crítico por los motivos antes mencionados y se daña con ello el motor.

Para aumentar la estabilidad eléctrica del servomotor en caso de desaceleración generadora, el documento DE102004005169 propone una atenuación del par de giro mediante un diodo de marcha libre conectado en paralelo al devanado del inducido, pudiendo servir como diodo de marcha libre un diodo del rectificador que alimenta al devanado en serie.

5 Partiendo de este estado de la técnica, el objetivo de la presente invención es proporcionar una instalación de energía eólica con circuito de control para un motor devanado en serie para la regulación de las palas que tiene el objetivo de permitir un funcionamiento con número de revoluciones limitado también en caso de un funcionamiento generador del motor devanado en serie para la regulación de las palas. Además de esto, otro objetivo de la invención es proteger la fuente de tensión frente a la tensión inducida del motor. Otro objetivo de la invención es prolongar la vida útil de los acumuladores y/o las baterías que se utilizan para el funcionamiento de emergencia del motor devanado en serie. Finalmente, otro objetivo de la invención es proponer, mediante una pequeña modificación del circuito de control conocido del estado de la técnica y sin un coste adicional de componentes, un circuito de control para motores devanados en serie que proporcione, de forma económica y técnicamente fiable, propiedades similares a las de un motor de excitación mixta.

10 Este objetivo se alcanza mediante un circuito de control según las enseñanzas de la reivindicación 1.

Las reivindicaciones subordinadas muestran variantes ventajosas de la invención.

20 La instalación de energía eólica según la invención con circuito de control para un funcionamiento con número de revoluciones limitado y protección de la fuente de tensión de un motor devanado en serie para la regulación de las palas durante pares generadores comprende un motor devanado en serie en el que el devanado del inducido y el devanado excitador pueden conectarse de forma independiente entre sí, una resistencia  $R_{||}$  de carga que está conectada fundamentalmente en serie con el devanado excitador y en paralelo con el devanado del inducido, y una fuente de tensión, en especial, una batería o un acumulador. Para ello, la resistencia  $R_{||}$  de carga está conectada, con un primer contacto de conexión, con un primer contacto de conexión del devanado excitador y, con un segundo contacto de conexión, con un segundo contacto de conexión del devanado del inducido. El circuito de control se caracteriza porque un primer contacto de conexión del devanado del inducido está conectado, mediante un primer componente convertidor de corriente, con un primer contacto de conexión del devanado excitador y, además, el primer contacto de conexión del devanado del inducido está conectado, mediante un segundo componente convertidor de corriente, con un segundo contacto de conexión del devanado excitador. En este sentido, el primer componente convertidor de corriente está conectado de modo que, durante el funcionamiento motor, se conecta y, durante el

funcionamiento generador, se bloquea, y el segundo componente convertidor de corriente está conectado de modo que se conecta durante el funcionamiento generador y se bloquea durante el funcionamiento motor. La fuente de tensión está conectada entre el segundo contacto de conexión del devanado excitador y un segundo contacto de conexión del devanado del inducido.

5 Con ello, el circuito de control según la invención comprende un devanado del inducido, que puede controlarse de forma independiente del devanado excitador, y dos componentes convertidores de corriente, que, en cada caso, conectan la corriente solo en un sentido y la bloquean en el otro sentido, así como una resistencia de carga, que, durante el funcionamiento motor, está conectada en paralelo al devanado del inducido y en serie al devanado excitador. Sin embargo, durante el funcionamiento generador, la resistencia de carga solo está conectada en serie con el devanado excitador. Durante el funcionamiento normal, la corriente circula a través del devanado excitador, pasando a través del primer componente convertidor de corriente, al devanado del inducido conectado en serie y, de forma paralela, nuevamente a través de la resistencia  $R_{||}$  de carga, a la fuente de tensión. Sin embargo, si el motor se propulsa  
10 externamente mediante una carga generadora y, con ello, se induce tensión en el devanado del inducido de modo que la tensión del devanado del inducido prepondera respecto a la tensión a través de la resistencia  $R_{||}$  de carga, entonces se bloquea el primer componente convertidor de corriente y la corriente inducida del inducido fluye, pasando por el segundo componente convertidor de corriente, a través del devanado excitador y la resistencia  $R_{||}$  de carga conectada  
15 en serie a este, de modo que el sentido del flujo de la corriente permanece constante en el devanado excitador.

Esta configuración de conexión conduce a que, incluso durante el funcionamiento generador, se mantenga un flujo de corriente en el devanado excitador y, con ello, el campo magnético del excitador se mantenga en el mismo sentido, de modo que puede impedirse un  
25 embalamiento del motor. En este sentido, resulta especialmente ventajoso que en el circuito de control ya conocido del estado de la técnica solo deban introducirse dos elementos adicionales convertidores de corriente para permitir un funcionamiento generador del motor devanado en serie. Únicamente, la resistencia  $R_{||}$  paralela se desacopla del inducido del motor a través de un elemento convertidor de corriente (primer componente convertidor de corriente), y el inducido del  
30 motor se conecta con el lado de la fuente de tensión del devanado excitador mediante un elemento convertidor de corriente de retroalimentación (segundo componente convertidor de corriente). Durante el funcionamiento motor, la corriente circula desde la fuente de tensión, pasando por el devanado excitador, y después se divide en una corriente de resistencia, a través de la resistencia  $R_{||}$  de carga, y en una corriente del inducido, pasando por el primer componente  
35 convertidor de corriente, a través del devanado del inducido. Durante el funcionamiento

generador, cuando prepondera la tensión inducida en el inducido, se bloquea el primer componente convertidor de corriente y la corriente inducida circula por el segundo componente convertidor de corriente en el sentido del flujo original de la corriente a través del devanado excitador y, a través de la resistencia  $R_{||}$  de carga conectada en serie al devanado excitador, nuevamente al devanado del inducido. Con ello, el circuito de control según la invención ayuda a mantener el campo magnético del excitador incluso cuando el motor pasa al funcionamiento generador.

Los componentes convertidores de corriente tienen la función de permitir el paso de la corriente solo en un sentido. De forma ventajosa, para al menos un componente convertidor de corriente, no obstante, en la mayoría de los casos, para todos los componentes convertidores de corriente, se utilizan diodos de potencia que pueden captar, en el sentido de paso, la corriente del devanado del inducido o el devanado excitador y, en el sentido de bloqueo, impiden de forma segura el paso la tensión de bloqueo que se presenta.

Sin embargo, de forma ventajosa también es posible que al menos un componente convertidor de corriente sea un elemento de conexión activo, en especial, un tiristor, un transistor, un contactor o similar, que se conecte en función del régimen de funcionamiento del motor. Esta realización requiere normalmente que, al menos en caso de componentes unipolares, esté previsto un control que determina el régimen de funcionamiento del motor devanado en serie y, en función del modo operativo determinado, conecta el componente convertidor de corriente.

Si, en lugar de un diodo de potencia como componente convertidor de corriente, se utiliza un elemento de conexión unipolar, por ejemplo, un contactor o un transistor, entonces es posible además de forma ventajosa que el circuito de control comprenda un dispositivo de medición de la corriente del inducido para determinar el régimen de funcionamiento del motor, que sirve para el control del componente convertidor de corriente. Por tanto, mediante un dispositivo de medición de la corriente del inducido se mide el sentido del flujo de la corriente en el inducido y, con ello, puede determinarse si existe un funcionamiento motor o generador. Tras determinar el régimen de funcionamiento, los componentes convertidores de corriente pueden conectarse de forma correspondiente.

Asimismo, en caso de componentes convertidores de corriente unipolares, resulta ventajoso que el dispositivo de medición de la corriente del inducido esté conectado con una unidad de control del modo de funcionamiento que determina un modo de funcionamiento motor o generador en función de los datos de medición del dispositivo de medición de la corriente del inducido y que, en función del modo operativo, conecta el primer y el segundo componente convertidor de corriente. Una unidad de control del modo operativo de este tipo puede ser, por ejemplo, un microcontrolador, un ordenador operativo o un dispositivo similar y, además del

control de los componentes convertidores de corriente, asume otras funciones de control relevantes para el motor, por ejemplo, el control de la tensión nominal de la fuente de tensión.

5 Los componentes convertidores de corriente están compuestos, tal como ya se ha indicado anteriormente, por un componente para garantizar un sentido deseado de la corriente, por ejemplo, diodos o elementos de conexión activos. En un ejemplo de realización destacado, resulta sumamente ventajoso que al menos un componente convertidor de corriente comprenda además un componente de protección frente a sobrecorriente o sobretensión y/o un componente de medición de la corriente o tensión. Un componente de protección frente a sobrecorriente o sobretensión controla el flujo de corriente o la tensión a través del circuito del componente convertidor de corriente y, en caso de corrientes o tensiones demasiado elevadas (también tensiones de bloqueo), puede separar el circuito, es decir, proteger el componente convertidor de corriente. Además, un componente de medición de la corriente o tensión puede medir las corrientes y tensiones en el circuito del componente convertidor de corriente y proporcionar información sobre el estado operativo de la instalación de energía eólica y, en caso de emergencia, por ejemplo, al superar un valor crítico, provocar una desconexión de emergencia. Es evidente que el elemento de protección de corriente o tensión y el elemento de medición de la corriente o tensión pueden combinarse. Como fuente de tensión se considera especialmente, en el funcionamiento de emergencia, un acumulador, una batería o un dispositivo similar. Además, para prolongar la vida útil de una fuente de tensión continua de este tipo es posible, de forma ventajosa, conectar previamente otro componente convertidor de corriente de la fuente de tensión de modo que se disponga en serie a la fuente de tensión. Asimismo, el componente convertidor de corriente impide que, en el funcionamiento generador, fluya corriente de retorno a la fuente de tensión. Mediante un componente convertidor de corriente adicional de este tipo se protege eficazmente la fuente de tensión frente a corrientes de sobrealimentación indeseadas debidas al funcionamiento generador del motor devanado en serie.

15 Si el devanado excitador y el devanado del inducido están conectados en serie, en principio, también al conmutar la fuente de tensión, solo es posible el funcionamiento del motor devanado en serie en un sentido de giro. Por tanto, el circuito de control según la invención puede complementarse de forma ventajosa mediante un rectificador de campo que conecta el devanado excitador mediante un circuito rectificador en puente, de modo que la corriente del excitador fluye siempre en el mismo sentido, independientemente de la polaridad de la fuente de tensión. Por tanto, es posible una marcha del motor hacia la derecha/izquierda mediante la inversión de la polaridad de la fuente de tensión.

30 El campo de aplicación de la instalación de energía eólica según la invención con circuito de control se sitúa en el funcionamiento de un motor de regulación de las palas que mueve la

pala de una instalación de energía eólica o también hidráulica de modo que, mediante el motor devanado en serie, puede modificarse el ángulo de incidencia de la pala del rotor respecto al medio que fluye (viento o agua). En relación con esto, tiene máxima prioridad la seguridad funcional del sistema regulador de las palas dado que el control del ángulo de incidencia de la pala del rotor influye fundamentalmente en el funcionamiento de la instalación de energía eólica. De forma ventajosa, el circuito de control puede conectarse, en un funcionamiento normal que permite conmutar el sentido de giro, con una fuente de tensión de funcionamiento normal, de modo que el rectificador en puente se conecta entre la fuente de tensión de funcionamiento normal y el devanado excitador, y, en un funcionamiento de emergencia con sentido de giro fijo, puede conectarse de modo que los diodos del rectificador en puente, como primer y segundo componentes convertidores de corriente, conectan una fuente de tensión de emergencia con el devanado excitador, el devanado del inducido y la resistencia  $R_{||}$  de carga. Con ello, esta instalación de energía eólica implementa un circuito de control con rectificador de campo según el estado de la técnica en el funcionamiento normal, es decir, durante el funcionamiento con una fuente de tensión de funcionamiento normal, y, en el funcionamiento de emergencia, debido a la alimentación invertida del rectificador de campo en los polos de conexión del devanado excitador, se recurre a los diodos del rectificador en puente para asumir la función de los componentes convertidores de corriente. Por tanto, el dispositivo de control en el funcionamiento normal se comporta como el circuito de control del estado de la técnica y, en el funcionamiento de emergencia, como el circuito de control según la invención. Esto tiene la ventaja de que, partiendo de un circuito de control conocido del estado de la técnica con rectificador de campo, mediante modificación de los puntos de alimentación de la fuente de tensión de funcionamiento de emergencia, se realiza un circuito de control según la invención sin componentes adicionales.

Si la instalación de energía eólica con circuito de control para la regulación de las palas se equipa con dos fuentes de tensión diferentes, la fuente de tensión para el funcionamiento de emergencia y la fuente de tensión para el funcionamiento normal, resulta especialmente ventajoso que esté previsto al menos un elemento de conexión que conmute entre el funcionamiento normal con sentido de giro conmutable con una fuente de tensión de funcionamiento normal, y el funcionamiento de emergencia con sentido de giro predeterminado con una fuente de tensión de funcionamiento de emergencia, alimentando con corriente el primer o el segundo componente convertidor de corriente, al menos en el funcionamiento de emergencia, al devanado excitador en el funcionamiento motor o generador con un sentido constante. Para ello, sencillamente es posible separar totalmente el estado de funcionamiento normal del estado de funcionamiento de emergencia del circuito de control, de modo que los dos modos operativos puedan realizarse de forma independiente entre sí.

Si, tal como se ha indicado, se utiliza al menos un elemento de conexión para la conmutación entre el funcionamiento normal y el funcionamiento de emergencia, entonces resulta ventajoso que la resistencia de carga se conecte adicionalmente mediante un elemento de conexión, al menos en el funcionamiento normal, en serie con el devanado excitador y en paralelo con el devanado del inducido. Con ello, durante el funcionamiento normal puede ahorrarse corriente, pueden alcanzarse elevados pares de giro de arranque y controlarse la regulación del motor devanado en serie con ayuda de la fuente de tensión de funcionamiento normal, mientras que, durante el funcionamiento de emergencia, se conecta adicionalmente la resistencia de carga paralela para impedir un embalamiento del motor en el régimen generador.

A continuación, se explica detalladamente la invención mediante dibujos que simplemente ilustran ejemplos de realización.

Muestran:

la fig. 1 un circuito de control para un accionamiento de las palas de una instalación eólica según el estado de la técnica con rectificador de campo;

la fig. 2 un circuito básico de un circuito de control de un motor devanado en serie para el accionamiento de las palas de una instalación eólica según el estado de la técnica;

la fig. 3 un diagrama de la dependencia del par de giro respecto al número de revoluciones en un circuito de control según el estado de la técnica;

la fig. 4 un primer ejemplo de realización de un circuito de control según la invención;

la fig. 5 un segundo ejemplo de realización de un circuito de control según la invención con rectificador de campo;

la fig. 6 un tercer ejemplo de realización de un circuito de control según la invención;

la fig. 7 un cuarto ejemplo de realización de un circuito de control según la invención.

La figura 1 muestra un circuito de control convencional para un motor devanado en serie para el accionamiento de las palas de una instalación de energía eólica que comprende un rectificador de campo. En este caso, la alimentación del motor devanado en serie se realiza mediante una fuente de tensión nominal en forma de una unidad de control trifásica o mediante una fuente de tensión de funcionamiento de emergencia. La unidad de control trifásica toma las tres fases de red de la red de corriente trifásica y las transforma en una corriente continua para el funcionamiento del motor devanado en serie. En este caso, sirve como fuente de tensión de funcionamiento normal que está activa cuando el contactor K2 está cerrado. En este caso, el contactor K1 permanece abierto y, por tanto, la fuente de tensión de funcionamiento de emergencia, que puede ser, por ejemplo, una batería o un acumulador, permanece separada del circuito de control. En caso de avería, por ejemplo, en caso de avería de una o varias fases de red, se abre el contactor K2 y se separa el circuito de control de la fuente de tensión de

funcionamiento normal, y se cierra el contactor K1 y, con ello, se alimenta energía al circuito de control mediante la fuente de tensión de funcionamiento de emergencia. La fuente de tensión de funcionamiento de emergencia comprende en este caso una fuente  $U=$  de tensión continua y una resistencia  $R_i$  interna. La fuente de tensión suministra su tensión al devanado excitador, que está conectado en serie con el circuito del inducido. En paralelo al circuito del inducido está conectada una resistencia  $R_{||}$  de carga. En este caso, el devanado excitador, que puede representarse como esquema de conexión sustitutivo mediante la conexión en serie de una resistencia  $R_e$  de carga óhmica y una inductancia  $L_e$ , está conectado con un rectificador de campo conectado como rectificador en puente. Este provoca que, en función de la polaridad de la fuente de tensión, siempre circule corriente a través del devanado excitador en el mismo sentido y, por tanto, el campo magnético del excitador siempre tenga la misma orientación. Una vez que la corriente ha fluído a través del devanado excitador, se divide en una corriente de carga a través de la resistencia  $R_{||}$  de carga y una corriente de inducido a través del devanado del inducido, que se muestra a su vez como esquema de conexión sustitutivo mediante la conexión en serie de una inductancia  $L_a$  y una resistencia  $R_a$  óhmica.

La figura 2 muestra un estado operativo del circuito de control del estado de la técnica mostrado en la figura 1. La figura 2 se corresponde en este caso con el funcionamiento normal del circuito mostrado en la figura 1, es decir, un funcionamiento con el contactor K1 cerrado y el contactor K2 abierto. En este caso, la fuente de tensión de funcionamiento normal, compuesta por la fuente  $U=$  de tensión continua y la resistencia  $R_i$  interna, está conectada en serie con el devanado excitador, que comprende una inductancia  $L_e$  y una resistencia  $R_e$  interna, a continuación, se conecta el circuito paralelo, formado por la resistencia  $R_{||}$  de carga y el circuito del inducido, que comprende la resistencia  $R_a$  óhmica y la inductancia  $L_a$ . La corriente alimentada por la fuente de tensión circula a través del devanado excitador y genera un campo magnético de excitador, y después se divide en una corriente a través de la resistencia  $R_{||}$  de carga y en una corriente de inducido a través del circuito del inducido. En la marcha en ralentí, se reduce la corriente a través del circuito del inducido, de modo que el campo magnético del excitador se genera principalmente a través de la corriente de la resistencia  $R_{||}$  de carga.

La figura 3 muestra el régimen de revoluciones del motor devanado en serie al usar el circuito de control según el estado de la técnica mostrado en la figura 2 de una instalación de energía eólica con un par de carga decreciente. Con un par de carga elevado, por ejemplo, a 90 Nm, el número de revoluciones es de aproximadamente 400 revoluciones por minuto. Si se reduce el par de carga, el número de revoluciones aumenta de forma casi exponencial y, con un par de carga despreciable, es decir, en una marcha en ralentí ideal, el número de revoluciones se incrementa superando todos los límites, lo que finalmente conduce a una destrucción del motor.

Esta situación se atenúa en el estado de la técnica porque la resistencia  $R_{||}$  de carga, conectada en paralelo al circuito del inducido, permite una corriente básica a través del devanado excitador incluso con el circuito del inducido sin corriente y, con ello, el motor se opera con un número de revoluciones limitado al menos en pares de carga reducidos. Sin embargo, la resistencia  $R_{||}$  de carga conectada en paralelo no puede impedir que, durante un funcionamiento generador del motor devanado en serie, es decir, un accionamiento externo del árbol del motor y, con ello, un incremento del número de revoluciones forzado desde fuera, se presente el fenómeno descrito al principio de "embalamiento" del motor.

La figura 4 muestra un primer ejemplo de realización de una instalación de energía eólica según la invención con circuito de control para un motor devanado en serie para el accionamiento de las palas. En el circuito básico mostrado en la figura 4, el motor devanado en serie se alimenta con energía a través de una fuente de tensión de funcionamiento normal que comprende una fuente  $U=$  de tensión continua y una resistencia  $R_i$  interna. En el funcionamiento motor, es decir, en el funcionamiento normal, la corriente circula a través del devanado excitador primero desde la fuente de tensión, a través de un segundo contacto E2 de conexión en el devanado excitador, y sale en un primer contacto E1 de conexión. Después, la corriente del excitador se divide a través de una resistencia  $R_{||}$  de carga conectada en paralelo al circuito del inducido y fluye, a través del primer contacto R1 de conexión de la resistencia de carga, a la resistencia de carga y sale en el segundo contacto R2 de conexión. Una segunda parte de la corriente de excitador fluye desde el primer contacto de conexión del devanado E1 excitador, pasando por un componente S1 convertidor de corriente, al primer contacto de conexión del devanado del inducido. Allí, entra en el circuito inducido, que comprende una resistencia  $R_a$  interna y una inductancia  $L_a$ , y sale en el segundo contacto de conexión del devanado A2 del inducido. En este punto, se unifica la corriente del inducido con la corriente que proviene de la resistencia  $R_{||}$  de carga conectada en paralelo, y fluye nuevamente a la fuente de tensión. Por tanto, en el funcionamiento motor, el primer componente S1 convertidor de corriente está conectado en el sentido de paso. Además, un segundo componente S2 convertidor de corriente está conectado desde el primer contacto A1 de conexión del circuito del inducido al segundo contacto E2 de conexión del devanado excitador y, con ello, directamente al contacto de conexión de la fuente de tensión. En el funcionamiento motor, este segundo componente convertidor de corriente está conectado en el sentido de bloqueo.

Por tanto, durante el funcionamiento motor, la corriente circula a través del devanado excitador al inducido y se divide allí, al igual que en el circuito de control conocido del estado de la técnica, en una corriente de resistencia y una corriente del inducido generadora de par. A la resistencia  $R_{||}$  en paralelo, dado que el devanado excitador normalmente es de baja impedancia,

se conecta fundamentalmente la tensión de los bornes de la batería. Esta solo se reduce la caída de tensión en la resistencia de conexión en serie del devanado excitador. Si los pares se incrementan, aumenta la corriente a través del devanado de conexión en serie. Con ello, también se incrementa la caída de tensión en el devanado de conexión en serie de modo que, al incrementarse los pares, la tensión en la resistencia  $R_{||}$  paralela disminuye en relación con la tensión de la batería. Esta disminución se intensifica adicionalmente mediante la resistencia  $R_i$  interna de la fuente de tensión. Con ello, se reduce la corriente a través de la resistencia  $R_{||}$  paralela al incrementarse los pares. Si el motor se aproxima ahora al régimen de ralentí, la corriente de la batería se reduce adicionalmente, con lo que también se reduce la excitación del motor. En la marcha en ralentí ideal, la corriente del inducido es cero y la excitación del motor viene dada únicamente por la corriente de la resistencia en paralelo. Hasta el régimen de ralentí, el comportamiento del circuito de control se corresponde con el comportamiento del circuito de control conocido del estado de la técnica.

Si ahora se incrementa adicionalmente el número de revoluciones del motor, por ejemplo, cuando el motor devanado en serie sirve como motor de accionamiento de las palas para el ajuste de las palas del rotor y la pala actúa en una posición perpendicular, esto conduce a un incremento adicional de la tensión inducida en el circuito del inducido con una excitación primero constante del circuito excitador. A continuación, la corriente en el inducido cambia su sentido, con lo que el componente S2 convertidor de corriente pasa a ser conductor y el componente S1 convertidor de corriente pasa al estado de bloqueo. La corriente generada en el inducido se divide en un circuito a través de la fuente de tensión y un circuito a través del devanado excitador y la resistencia  $R_{||}$  de carga paralela, y fluye nuevamente al circuito del inducido. El potencial en la resistencia paralela es, debido a la caída en el devanado de conexión en serie, primero menor que el potencial de la fuente de tensión, con ello, la corriente generadora del inducido toma primero el camino a través de la resistencia  $R_{||}$  de carga. En este caso, la corriente en la resistencia paralela permanece prácticamente constante, lo que conduce a una reducción de la corriente de la batería. En esta situación, la alimentación de la resistencia en paralelo, al igual que en el circuito de control conocido del estado de la técnica, cambia de la batería al inducido. Sin embargo, a diferencia de los circuitos de control conocidos del estado de la técnica, esto no conduce a una reducción de la excitación. La excitación permanece prácticamente constante dado que la corriente de la resistencia permanece constante. En caso de una carga generadora suficientemente elevada, la corriente del inducido asume totalmente la alimentación de la resistencia  $R_{||}$  en paralelo y la corriente de la batería se vuelve cero. En cuanto se presenta una corriente negativa en el inducido, el motor se encuentra en el estado generador. La potencia generadora producida es captada, en este intervalo de tiempo, por la resistencia  $R_{||}$  en paralelo, y

no carga la fuente de tensión, es decir, la batería o el acumulador. Solo cuando el par generador se incrementa adicionalmente, se produce un flujo de corriente a la batería. En este caso, la corriente en la resistencia permanece prácticamente constante. Como consecuencia, el motor está en condiciones de absorber pares generadores sin que se produzca un número excesivo de revoluciones. En este caso, prácticamente pueden evitarse los picos de corriente generadores. Si en el circuito de control, especialmente durante el funcionamiento en un sistema de regulación de las palas, se emplean acumuladores, estos se protegen. Partiendo del circuito de control conocido del estado de la técnica, solo son necesarios adicionalmente otros dos componentes convertidores de corriente, especialmente diodos, para implementar una forma de realización de la invención.

Para integrar de forma ventajosa la variante de circuito de la figura 4 antes descrita en un sistema de regulación de las palas de una instalación de energía eólica o hidráulica, puede llevarse a cabo una realización tal como la mostrada en la figura 5. En la figura 5, un circuito de control típico, que se ha conectado según la figura 1 de acuerdo con el estado de la técnica, se ha modificado de modo que se ha puesto en práctica la idea según la invención. El circuito de control según la figura 5 se opera, en el funcionamiento normal, mediante una fuente de tensión de funcionamiento normal, en este caso, mediante una unidad de control trifásica. Para ello, el contactor K2 está cerrado y el contactor K1 está abierto. En el funcionamiento normal, la unidad de control trifásica alimenta corriente al circuito de control, alimentando la corriente, de forma independiente del potencial, al devanado excitador a través de un rectificador de campo que comprende, entre otros elementos, los diodos S1, S2, de modo que la orientación del campo magnético del excitador permanece constante incluso al conmutar la fuente de tensión. Una vez que la corriente ha circulado a través del devanado excitador y el rectificador de campo, fluye a través del circuito del inducido nuevamente a la unidad de control trifásica. En caso de avería, es decir, en el funcionamiento de emergencia, se abre el contactor K2 y se cierra el contactor K1. Para ello, se conecta adicionalmente una fuente de tensión de funcionamiento de emergencia, por ejemplo, una fuente de tensión continua tal como el acumulador o la batería. Además, la resistencia  $R_{||}$  de carga se conecta adicionalmente en serie al devanado excitador y en paralelo al circuito del inducido. En este caso, la corriente de la fuente de tensión de funcionamiento de emergencia circula, a diferencia del funcionamiento con la fuente de tensión de funcionamiento normal, en el lado de tensión continua del rectificador de campo y, con ello, alimenta corriente directamente el devanado excitador y a la resistencia  $R_{||}$  de carga conectada en serie con este. Asimismo, la fuente de tensión está acoplada con el circuito del inducido mediante el diodo S2 y mediante el devanado excitador y el diodo S1. Los dos diodos restantes del rectificador en puente carecen de función en este caso dado que, en relación con la polaridad de la fuente de tensión

de funcionamiento de emergencia, están conectados en el sentido de bloqueo.

Con ello, partiendo del circuito de control mostrado en la figura 1, mediante un circuito de control apenas modificado del rectificador de campo, se realiza un circuito de control según la invención mediante la fuente de tensión de funcionamiento de emergencia conectada al lado de tensión continua sin que sean necesarios componentes adicionales. Básicamente, esta realización ofrece la posibilidad de hacer funcionar el motor en el estado operativo generador e impedir una autodestrucción del motor.

Mediante la elección del tamaño de la resistencia de carga puede influirse del modo que se desee en el número de revoluciones del par de giro y las características del motor devanado en serie. No obstante, debe tenerse en cuenta la potencia de pérdida relativamente elevada en la resistencia  $R_{||}$  de carga que se produce en este caso. El intervalo operativo en el que la resistencia  $R_{||}$  de carga absorbe la potencia que se produce conduce a una protección activa de los acumuladores dado que se impiden elevadas corrientes de carga. La magnitud de este intervalo operativo también puede determinarse mediante el dimensionado de la resistencia de carga. En el funcionamiento generador restante, las elevadas corrientes de carga del acumulador se reducen en cada caso mediante la corriente de la resistencia en paralelo. En sistemas de 216 V habituales en la industria, esta variante de circuito puede implementarse sin un coste adicional de hardware. En comparación con los sistemas alternativos de conexión doble, el sistema presenta una mayor fiabilidad dado que el número de contactores que debe utilizarse es menor y se suprime el riesgo de una rotura del hilo en un devanado de conexión en derivación, que normalmente conduce a un número excesivo de revoluciones en los motores de conexión en derivación. Además, en el circuito de control según la invención no se presentan efectos complejos como en el caso de un motor de conexión doble. Finalmente, un circuito de conexión según la invención se caracteriza por un esfuerzo de realización y costes muy reducidos.

En la figura 6, se muestra una modificación del ejemplo de realización mostrado en la figura 4. Además de los dos componentes S1 y S2 rectificadores que están realizados como diodos, para la protección de la fuente de tensión de funcionamiento de emergencia se incorpora un tercer diodo S3. Este protege la fuente de tensión de corrientes generadoras que, por ejemplo, en el caso de las baterías, pueden conducir a la destrucción de la fuente de tensión. El diodo S3 está conectado en serie a la fuente de tensión de funcionamiento de emergencia y solo permite un flujo de corriente activo de la fuente de tensión.

En la figura 7, se muestra finalmente un cuarto ejemplo de realización de un circuito de control según la invención. Este amplía, partiendo del ejemplo de realización mostrado en la figura 4, el concepto de la invención en el sentido de que los dos componentes S1 y S2 convertidores de corriente, en lugar de mediante diodos, se han realizado mediante elementos de

conexión activos, por ejemplo, transistores, tiristores, contactores o dispositivos similares. En este caso, los componentes convertidores de corriente, además de los elementos de conexión activos, pueden contener también dispositivos de control de la corriente o tensión y/o dispositivos de protección tales como instrumentos de medición, fusibles, etc. El control de los elementos de conexión activos se lleva a cabo mediante una unidad de control del modo operativo. Para ello, en el circuito del inducido está dispuesta una unidad de medición de la corriente que mide la corriente del inducido que circula a o desde el primer contacto A1 de conexión del circuito del inducido. Con ayuda de la corriente del inducido medida por la unidad de medición de la corriente, la unidad de control del modo operativo puede determinar el estado operativo del motor devanado en serie, por ejemplo, en caso de corriente positiva, funcionamiento motor y, en caso de corriente negativa, funcionamiento generador y, en función del estado operativo, conectar de forma correspondiente los dos componentes S1, S2 convertidores de corriente. En el funcionamiento normal (funcionamiento motor), está conectado el componente S1 convertidor de corriente y el componentes S2 convertidor de corriente está bloqueado (funcionamiento generador). Con ello, la corriente circula desde la fuente de tensión, pasando por el devanado excitador, a través de la resistencia  $R_{||}$  de carga y, a través del componente S1 convertidor de corriente, al circuito del inducido. Si fluye corriente generadora al circuito del inducido, se abre el componente S1 convertidor de corriente y se cierra el componente S2 convertidor de corriente de modo que la corriente inducida del circuito del inducido puede fluir nuevamente, pasando por el devanado excitador y la resistencia de carga, al circuito del inducido para mantener el campo magnético del excitador. Mediante una realización de este tipo es posible una materialización del concepto de la invención incluso en motores en los que, debido a las corrientes y tensiones de conexión, no pueden emplearse los diodos convencionales.

## REIVINDICACIONES

1.- Instalación de energía eólica con circuito de control para un funcionamiento con número de revoluciones limitado y protección de la fuente de tensión de un motor devanado en serie para la regulación de las palas durante pares generadores, que comprende un motor devanado en serie en el que el devanado del inducido y el devanado excitador pueden conectarse independientemente entre sí, una resistencia  $R_{||}$  de carga que está conectada fundamentalmente en serie con el devanado excitador y en paralelo con el devanado del inducido de modo que, en el funcionamiento motor, proporciona una corriente de excitador mínima, estando conectada la resistencia  $R_{||}$  de carga, con un primer contacto (R1) de conexión, con un primer contacto (E1) de conexión del devanado excitador y, con un segundo contacto (R2) de conexión, con un segundo contacto (A2) del devanado del inducido, y una fuente de tensión, en especial, una batería o un acumulador, **caracterizada porque** el primer contacto (A1) de conexión del devanado del inducido está conectado, mediante un primer componente (S1) convertidor de corriente, con el primer contacto (E1) de conexión del devanado excitador y con el primer contacto (R1) de conexión de la resistencia  $R_{||}$  de carga, y porque el primer contacto (A1) de conexión del devanado del inducido está conectado además, mediante un segundo componente (S2) convertidor de corriente, con el segundo contacto (E2) de conexión del devanado excitador, estando conectado el primer componente (S1) convertidor de corriente de modo que, en el funcionamiento motor, se conecta y, en el funcionamiento generador, se bloquea, y el segundo componente (S2) convertidor de corriente está conectado de modo que, en el funcionamiento generador, se conecta y, en el funcionamiento motor, se bloquea, y porque la fuente de tensión está conectada entre el segundo contacto (E2) de conexión del devanado excitador y un segundo contacto (A2) de conexión del devanado del inducido.

2.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 1, **caracterizada porque** al menos un componente (S1, S2) convertidor de corriente es un diodo de potencia.

3.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** al menos un componente (S1, S2) convertidor de corriente es un elemento de conexión activo, en especial, un transistor, un tiristor, un contactor o un dispositivo similar, que se conecta en función del régimen operativo del motor (motor o generador).

4.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 3, **caracterizada porque** el circuito de control comprende además un dispositivo de medición de la corriente del inducido para determinar el régimen operativo del motor que sirve para controlar el componente (S1, S2) convertidor de corriente.

5.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 3 ó 4, **caracterizada porque** el

dispositivo de medición de la corriente del inducido está conectado con una unidad de control del modo operativo que determina un modo operativo motor o generador en función de los datos de medición del dispositivo de medición de la corriente del inducido y conecta el primer y el segundo componente (S1, S2) convertidor de corriente en función del modo operativo.

5           6.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** al menos un componente convertidor de corriente comprende además un componente de protección frente a sobrecorriente o sobretensión y/o un componente de medición de la corriente o tensión.

10           7.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** la fuente de tensión comprende otro componente (S3) convertidor de corriente que está conectado en serie a la fuente de tensión e impide que durante el funcionamiento generador fluya corriente a la fuente de tensión.

15           8.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** el devanado excitador está conectado con un rectificador en puente que sirve como rectificador de campo.

20           9.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 8, **caracterizada porque** el rectificador en puente está conectado, en un funcionamiento normal que permite la conmutación del sentido de giro, entre una fuente de tensión de funcionamiento normal y el devanado excitador y, en un funcionamiento de emergencia con sentido de giro predeterminado, está conectado de modo que sus diodos, como primer y segundo componentes (S1, S2) convertidores de corriente, conectan una fuente de tensión de funcionamiento de emergencia y el devanado excitador con el devanado del inducido.

25           10.- Instalación de energía eólica según una de las reivindicaciones precedentes, **caracterizada porque** está previsto al menos un elemento (K1, K2) de conexión que se conmuta entre el funcionamiento normal que permite un cambio del sentido de giro con una fuente de tensión de funcionamiento normal, y el funcionamiento de emergencia con sentido de giro predeterminado con una fuente de tensión de funcionamiento de emergencia, alimentando corriente el primer o segundo componente (S1, S2) convertidor de corriente, al menos en el funcionamiento de emergencia, al devanado excitador en el funcionamiento motor o generador.

30           11.- Instalación de energía eólica según la reivindicación 9, **caracterizada porque**, al menos en el funcionamiento de emergencia, la resistencia  $R_{||}$  de carga se conecta adicionalmente mediante un elemento (K1) de conexión en serie al devanado excitador y en paralelo al devanado del inducido.

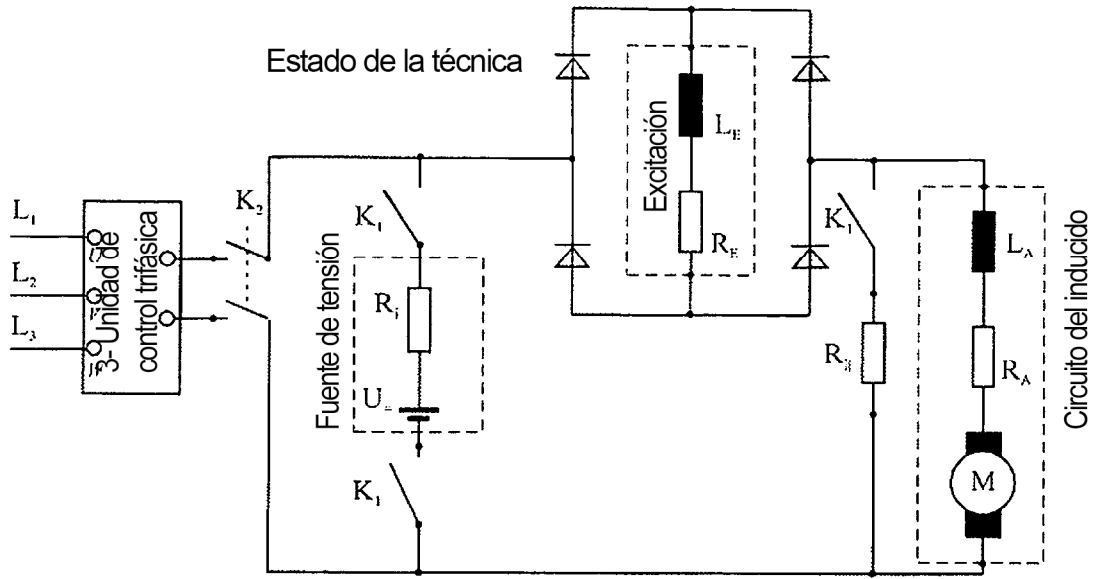


Fig. 1

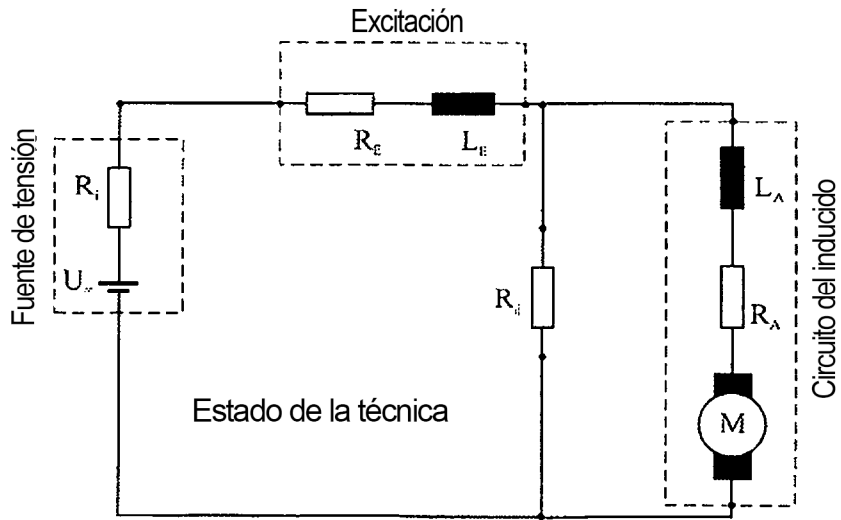


Fig. 2

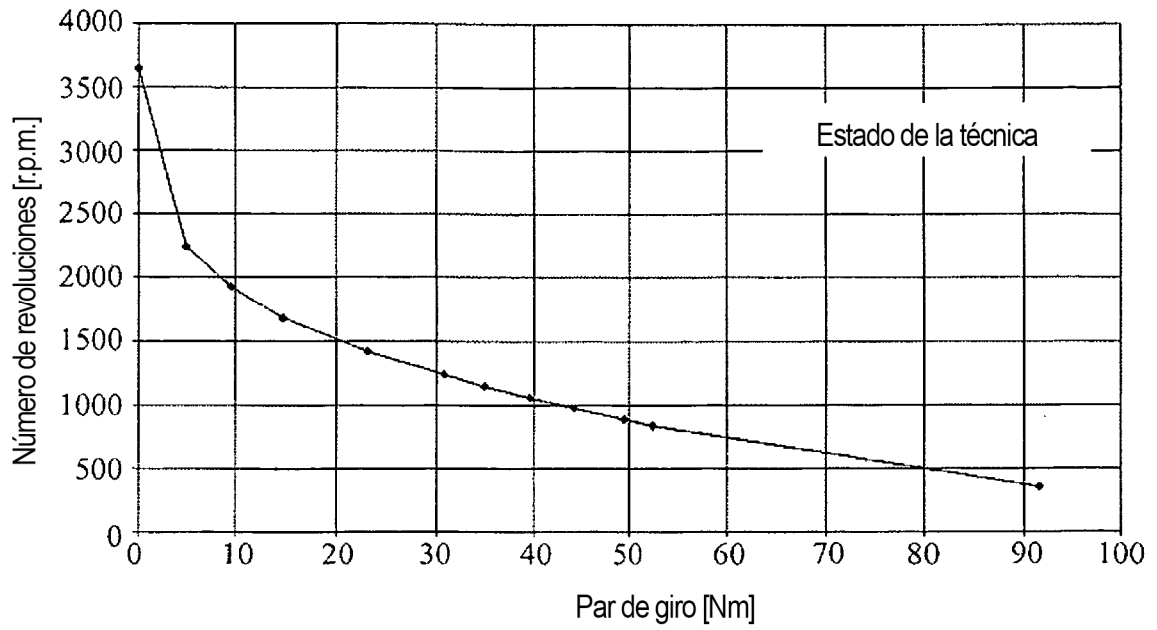


Fig. 3

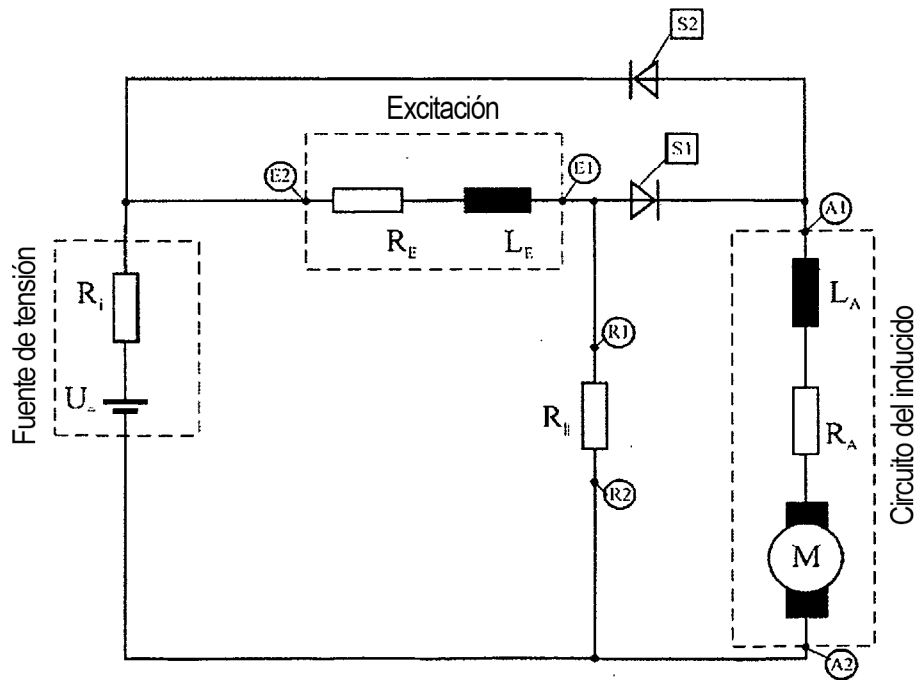


Fig. 4



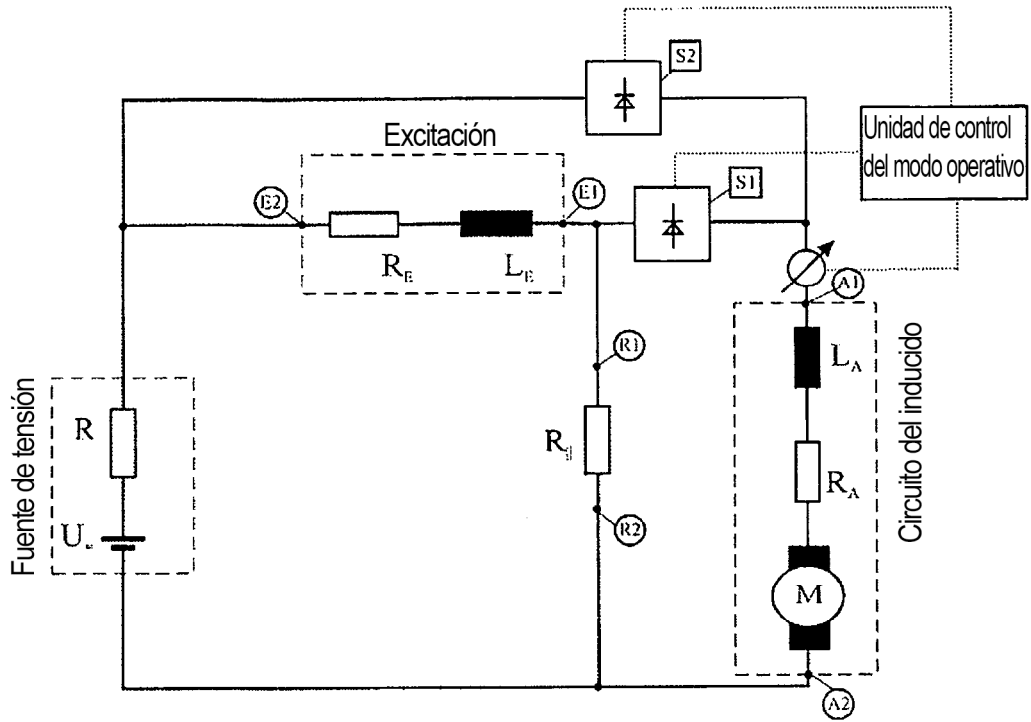


Fig. 7