

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 548 128**

51 Int. Cl.:

F03D 7/02 (2006.01)

F03D 9/02 (2006.01)

H02M 7/5387 (2007.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.05.2009 E 09007254 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.07.2015 EP 2136075**

54 Título: **Circuito y procedimiento de control para inversores de instalaciones de energía eólica**

30 Prioridad:

19.06.2008 DE 102008028809

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

14.10.2015

73 Titular/es:

**SENVION GMBH (100.0%)
Überseering 10
22297 Hamburg, DE**

72 Inventor/es:

LETAS, HEINZ-HERMANN, DR.

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 548 128 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 y procedimiento de control para inversores de instalaciones de energía eólica

5 La invención se refiere a un circuito de control para convertidores de instalaciones de energía eólica, que comprende un inversor, que presenta varias fases para la conexión de un generador, en particular de un generador asíncrono de doble alimentación, y un circuito intermedio conectado con el inversor. La invención se refiere, además, a un procedimiento para el funcionamiento de un convertidor con un circuito de control de este tipo y a una instalación de energía eólica equipada con él.

10 Las instalaciones modernas de energía eólica están realizadas de forma variable en el número de revoluciones. Esto significa que el rotor del viento circula con un número de revoluciones determinado a través de la carga y el generador genera energía eléctrica con frecuencia correspondientemente variable. Para poder alimentar esta energía eléctrica de frecuencia variable a una red de suministro de frecuencia fija, está previsto un convertidor conectado en el generador. Tales convertidores comprenden normalmente dos inversores, uno de los cuales funciona como rectificador y que están conectados a través de un circuito intermedio de tensión continua o un circuito intermedio de corriente continua. En este caso sucede que uno de los inversores está conectado con la red y es impulsado en el funcionamiento con frecuencia de la red (inversor en el lado de la red), mientras que el otro inversor (inversor en el lado de la máquina) está conectado con el generador, de manera que la frecuencia aplicada al mismo está determinada, entre otras cosas, por el número de revoluciones del rotor eólico. Tales convertidores pueden estar realizados como convertidor completo o como convertidor parcial, este último especialmente en combinación con una máquina asíncrona de doble alimentación. Se ha mostrado que un funcionamiento en la zona del número de revoluciones de sincronización (punto de sincronización) plantea problemas. En la zona entorno al punto de sincronización, la frecuencia aplicada en el inversor en el lado de la máquina es muy baja y en el caso extremo puede convertirse exactamente en el punto de sincronización en la corriente continua. A través de las frecuencias bajas, las fases con carga térmica más fuerte y las fases con carga térmica más reducida no se intercambian ya con suficiente rapidez, con lo que especialmente los elementos de conmutación conectados en cada caso de forma conductora están expuestos a una carga térmica elevada. De esta manera, se perjudica la duración de vida útil de los elementos de conmutación y puede conducir a su fallo. Por lo tanto, durante un funcionamiento en la zona del punto de sincronización, cuando de manera correspondiente la frecuencia que actúa en el inversor en el lado de la máquina puede alcanzar valores muy pequeños, que pueden llegar hasta cero, se reduce la carga de corriente admisible de los elementos de conmutación. Esto puede conducir a que la carga de corriente admisible se reduzca hasta la mitad. Pero una reducción de la corriente admisible en el lado mecánico no significa otra cosa que se limita de manera correspondiente más fuertemente el par motor admisible que actúa sobre el rotor eólico. Por consiguiente, la zona regulable del número de revoluciones está limitada en torno al punto de sincronización a través del par motor limitado más fuertemente, es decir, más reducido. Esto contradice el concepto de la instalación de energía eólica variable en el número de revoluciones se impide la utilización del número de revoluciones / curvas características del par motor con pares motor altos más allá del punto de sincronización, como es necesario, por ejemplo, para un funcionamiento sin ruido, reducido en el número de revoluciones o para la transición rápida de zonas de números de revoluciones para la prevención de resonancias de la torre.

40 En efecto, se conoce realizar en convertidores de potencia, en particular para motores de corriente alterna, un desplazamiento de potencial en fases individuales, de manera que se fijan un potencial de circuito intermedio y de esta manera se puede exponer temporalmente el pulso (DE-A-102 43 602). En este caso, se fija la fase de importe máximo en uno de los potenciales de circuito intermedio, de manera que se puede exponer el pulso. Además, se fija la fase con el segundo importe de potencial máximo, en función de la posición de las fases, de manera alterna, a uno u otro potencial de circuito intermedio. La última fase es accionada, por lo tanto, con frecuencia de conmutación reducida. Esto es suficiente para la activación de motores, pero en el caso de instalaciones de energía eólica variables en el número de revoluciones, puede conducir a que durante el funcionamiento en la zona del número de revoluciones de sincronización se reduzca demasiado la frecuencia del impulso de los elementos de conmutación respectivos y de esta manera se eleva todavía la carga térmica precisamente de los elementos de conmutación de esta fase. De esta manera, este convertidor de potencia conocido no es adecuado precisamente para la utilización en instalaciones de energía eólica variables en el número de revoluciones.

50 La invención tiene el cometido de indicar un procedimiento mejorado para el funcionamiento del convertidor y un convertidor correspondiente para instalaciones de energía eólica así como una instalación de energía eólica provista con él, en el que se reduce este inconveniente.

La solución de acuerdo con la invención se encuentra en las características de las reivindicaciones independientes. Los desarrollos ventajosos son objeto de las reivindicaciones dependientes.

55 En un procedimiento para el funcionamiento de un convertidor de instalaciones de energía eólica que comprende un inversor, que activa un generador de la instalación de energía eólica a través de varias fases, y un circuito intermedio con una tensión de circuito intermedio entre un potencial superior de circuito intermedio y un potencial inferior de circuito intermedio, en el que el generador es activado con potenciales de fases de frecuencia variable,

está previsto de acuerdo con la invención calcular un valor de desplazamiento entre un potencia de fase extremo y uno de los potenciales de circuito intermedio, determinar un valor de la distancia del potencia de fase medio respecto de un potencial de circuito intermedio siguiente, generar una tensión adicional con el valor de la distancia como amplitud, y desplazar las fases en el valor de desplazamiento y añadir la tensión adicional al potencial de fase medio. Por un potencial extremo de las fases se entiende el potencial de fase máximo y mínimo.

La invención se basa en el reconocimiento de que las tensiones activas para el generador resultan a partir de las tensiones diferenciales de las conexiones de fases del inversor, dicho con mayor exactitud, de las tensiones diferenciales de los semipuentes de inversor, de manera que la posición absoluta de los potenciales en las fases del inversor no tiene ninguna importancia. La invención aprovecha en este caso que un desplazamiento simultáneo de los potenciales de fases del inversor hacia arriba o hacia abajo conduce, en efecto, a una modificación de la posición absoluta del potencial, pero no tiene ninguna influencia sobre la tensión de partida que actúa en el generador, puesto que se acorta un desplazamiento de potencial absoluto en la formación de la diferencia para el cálculo de la tensión. La invención aprovecha el conocimiento de que en el pulso de reloj con la frecuencia se desplazan al mismo tiempo los potenciales del inversor. Esto se realiza de forma separada con preferencia alternando hacia arriba y hacia abajo y, en concreto, para cada semionda, siendo calculado para una primera semionda un valor alto de desplazamiento entre el potencial de circuito intermedio alto y el potencial de fases máximo y para la segunda semionda un valor de desplazamiento bajo entre el potencial de circuito intermedio bajo y el potencial de fases mínimo. Además, se calculan un primero y un segundo valor de la distancia para el potencial medio de las fases y, en concreto, respectivamente, para el potencial de fases máximo y mínimo, siendo determinado a partir de ello un valor de la distancia mínima, que sirve de base para la generación de la tensión adicional. En este caso, en la primera semionda se desplazan las fases en torno al valor de desplazamiento alto hacia arriba y se añade la tensión adicional al potencial medio de las fases, mientras que en la segunda semionda se desplazan las fases en torno al valor de desplazamiento bajo hacia abajo y se resta el valor de la tensión adicional desde el potencial medio de las fases.

En el caso más sencillo, esto se realiza a través de la fijación de los potenciales absolutos del inversor de tal manera que un potencial extremo de las fases (por ejemplo, el potencial mínimo de las fases) es idéntico con un potencial del circuito intermedio (por ejemplo, su potencial de masas). Para la otra semionda se calcula un valor de desplazamiento de tal manera que el potencial extremo opuesto de las fases (por ejemplo, el máximo) es idéntico con el otro potencial del circuito intermedio (por ejemplo, su potencial alto). A través de este desplazamiento se consigue que una de las fases extremas (la fase con el potencial máximo) coincida con la tensión superior del circuito intermedio; de esta manera se puede conmutar el elemento de conmutación correspondiente del inversor y no es necesario ya que sea sincronizado. De esta manera se evitan las pérdidas de conmutación que se producen a través de la sincronización, que conducen a un calentamiento del elemento de conmutación. A la inversa, durante la semionda siguiente se suprime el desplazamiento y el potencial mínimo de las fases corresponde a la tensión inferior del circuito intermedio (por ejemplo, masa), de manera que se puede conectar de nuevo totalmente el elemento de conmutación correspondiente del inversor y no es necesario ya que sea sincronizado. De esta manera, visto sobre un periodo, el elemento de conmutación no tiene que ser ya sincronizado para el potencial máximo de las fases y para el potencial mínimo de las fases, respectivamente, para una semionda, es decir, la mitad de la duración del periodo, con lo que se dividen por la mitad de manera correspondiente las pérdidas de conmutación.

No obstante, con ello no se ha obtenido todavía nada para los elementos de conmutación del potencial medio de las fases. Para reducir adicionalmente también su carga térmica, la invención aplica una artimaña, conectando una tensión adicional. Ésta se selecciona de tal manera que en una de las dos semiondas reduce el potencial de la fase media hasta el potencial inferior del circuito intermedio (o lo eleva al potencial superior del circuito intermedio), con lo que no debe ya sincronizarse tampoco el elemento de conmutación correspondiente; para la compensación se añade (o bien se reduce) de manera correspondiente en la otra semionda la tensión adicional, de manera que, visto sobre todo el periodo, se eleva y, por lo tanto, carece de efecto en la práctica para el generador. Con esta artimaña, la invención consigue, por lo tanto, que en el caso de tres fases, la fase más baja, la fase más alta y la fase media, se divida por la mitad la duración de la conexión del funcionamiento sincronizado del elemento de conmutador del inversor. Las pérdidas de conmutación del inversor se dividen de esta manera por la mitad. Puesto que en la realización práctica de los convertidores, en general, las pérdidas de conmutación dominan al menos en la zona del punto de sincronización frente a las pérdidas de conducción de los elementos de conmutación, la reducción de acuerdo con la invención de las pérdidas de conmutación repercute en una medida significativa sobre la carga térmica de los elementos de conmutación. Gracias a la carga térmica reducida, se puede elevar, en cambio, el flujo de corriente. De esta manera, gracias a la técnica de conmutación de acuerdo con la invención se puede transmitir más par motor también en la zona del punto de sincronización. La invención consigue esto prácticamente sólo a través de la activación especial de los elementos de conmutación y con el gasto de hardware adicional insignificante para la obtención de la tensión adicional, y de esta manera provoca de una forma asombrosamente sencilla una elevación clara de la capacidad de carga de la corriente del convertidor en el punto de sincronización.

Por punto de sincronización se entiende un punto de funcionamiento, en el que la frecuencia en el rotor del generador es prácticamente cero, de manera que el generador rota con número de revoluciones sincronizado. En este caso, el número de revoluciones sincronizado se deriva a partir de la frecuencia de la red y del número de

5 parejas polares; para un generador asíncrono típico resultan 1400 1/min a 50 Hz. En este caso, el número de revoluciones sincronizado puede variar según el tipo de construcción del generador y la frecuencia de la red. Por una zona del punto de sincronización se entiende una frecuencia, que está aproximadamente 5 Hertzios por encima o por debajo del punto de sincronización. Dicho con mayor exactitud, esta zona depende del comportamiento temporal térmico de la fase del inversor y puede variar en una zona de aproximadamente 0,2 Hz a 5 Hz por encima o por debajo del punto de sincronización.

10 Con preferencia, el desplazamiento no sólo se realiza durante una semionda, sino simétricamente durante ambas semiondas. A tal fin se realiza en una de las semiondas el desplazamiento alto, como se ha descrito anteriormente, de manera que se lleva el potencial máximo de las fases al valor del potencial superior del circuito intermedio, mientras que en la otra semionda se realiza un desplazamiento hacia abajo, hasta el punto de que la fase con el potencial mínimo de las fases se lleva al valor del potencial inferior del circuito intermedio. Para la fase media se determinan de manera correspondiente una primera y una segunda distancia entre el potencial medio de las fases y el potencial máximo o bien mínimo de las fases, para seleccionar a partir de ello el valor más pequeño (distancia mínima) y genera la tensión adicional con este valor mínimo de la distancia como amplitud. De esta manera se consigue que a través de la conexión de una tensión adicional dimensionada de esta manera, el potencial medio de las fases sea idéntico al menos en una semiondas con el potencial máximo o bien mínimo de las fases, es decir, idéntico con el potencial superior o inferior del circuito intermedio, de manera que también se puede conmutar el elemento de conmutación correspondiente del potencial medio de las fases y no es necesario ya sincronizarlo.

20 En este caso, se selecciona con preferencia la frecuencia de la tensión adicional de tal manera que corresponde a la mitad de la frecuencia de la tensión aplicada en el generador.

25 Con preferencia, está previsto, además, que se detecte un funcionamiento en la zona del punto de sincronización y a continuación se realice el procedimiento de acuerdo con la invención. De esta manera se puede accionar el convertidor de manera convencional en la zona de funcionamiento sincronizada superior o inferior, mientras que la reducción de acuerdo con la invención de los ciclos de conmutación de los elementos de conmutación entran en juego cuando amenaza una carga térmica crítica, a saber, durante el funcionamiento en la zona del punto de sincronización.

30 Con preferencia, el convertidor es accionado con frecuencia de conmutación fija. Esto ofrece la ventaja de que se puede realizar una implementación del procedimiento fácilmente en una regulación digital con frecuencia de pulso de reloj fija. Es especialmente preferido que la regulación sea sincronizada con la frecuencia de conmutación. Gracias a la invención se puede mantener de esta manera la relación entre la frecuencia de exploración de la regulación digital y la frecuencia de conmutación del convertidor, consiguiendo, a pesar de todo, gracias a la reducción de acuerdo con la invención de la frecuencia de la conmutación sincronizada de los elementos de conmutación individuales la capacidad de carga de corriente elevada deseada.

35 La invención se refiere, además, a un convertidor para instalaciones de energía eólica con un circuito de control correspondiente, que comprende una corredera de potencial así como un generador de tensión adicional. Para la explicación del modo de funcionamiento y de los desarrollos ventajosos se remite a la descripción anterior. Además, la invención se extiende a una instalación de energía eólica con un generador, con un control del funcionamiento así como a un inversor accionado de forma correspondiente, estando previsto en el convertidor un módulo de zonas de funcionamiento con zona de funcionamiento separada del número de revoluciones / par motor. El módulo de zonas de funcionamiento colabora de acuerdo con la invención con una corredera de potencial y con un generador de tensión adicional. El módulo de zonas de funcionamiento posibilita accionar la instalación de energía eólica también con par motor relativamente alto en un punto de funcionamiento, en el que el número de revoluciones está en la zona del número de revoluciones de sincronización. Tal número de revoluciones es con frecuencia favorable con respecto a la emisión de ruido de la instalación de energía eólica, y gracia al circuito de acuerdo con la invención, se puede utilizar también con carga más elevada, puesto que gracia a la invención no hay que temer ya un recalentamiento de los elementos de conmutación en un funcionamiento en la zona del número de revoluciones de sincronización. Para otros detalles se remite a la descripción anterior.

50 De manera más conveniente, está previsto un módulo de conmutación, que está configurado para reconocer un funcionamiento en la zona del punto de sincronización y para emitir una señal al módulo de la zona de funcionamiento, para que éste se conmute de acuerdo con la invención a la zona de funcionamiento especial, en la que frente a la zona de funcionamiento normal se ha incrementado el par motor permitido en la zona del punto de sincronización. Con preferencia, el módulo de conmutación presenta al menos otra entrada para el par motor y/o la temperatura de elementos de conmutación del convertidor y reconoce si se ha alcanzado un valor límite. Si la frecuencia se encuentra en la zona del punto de sincronización y el valor teórico de la corriente como medida para el par motor está por encima del valor límite, se conmuta a la zona de funcionamiento especial para la realización del procedimiento de acuerdo con la invención. Si no se cumplen ambas condiciones, se lleva a cabo una conmutación de retorno al funcionamiento normal.

A continuación se explica la invención con referencia al dibujo adjunto, en el que se representa un ejemplo de

realización ventajoso de la invención. En este caso:

La figura 1 muestra una instalación de energía eólica de acuerdo con un ejemplo de realización de la invención.

La figura 2 muestra un diagrama de conexiones de un inversor, conectado en un generador, de la instalación de energía eólica según la figura 1.

5 La figura 3 muestra diagramas de conexiones para el control de elementos de conmutación del inversor según la figura 2.

La figura 4 muestra diagramas de conexiones para los elementos de conmutación según la figura 3.

La figura 5 muestra un diagrama esquemático de un control de acuerdo con la invención de los elementos de conmutación según la figura 3; y

10 La figura 6 muestra un diagrama esquemático de un módulo de conmutación para el inversor.

Un ejemplo de realización para una instalación de energía eólica de acuerdo con la invención se representa en la figura 1. Comprende una torre 10, sobre la que está fijada una góndola 11 pivotable en dirección azimutal. En uno de sus lados frontales está dispuesto de forma giratoria un rotor eólico 12. Comprende un cubo 13 con una o varias palas de rotor 14 y acciona un generador 15 a través de un árbol de rotor (no representado). Este generador 15 convierte la potencia mecánica generada por el rotor eólico 12 a partir del viento en potencia eléctrica. En el generador 15 se trata de una máquina asíncrona de doble alimentación, pero también pueden estar previstos otros tipos de construcción de generador, en particular máquinas síncrona. En el generador 15 está conectado un convertidor 2. En el generador 15 y en el convertidor 2 está conectada una línea 17, que transporta la potencia eléctrica generada a través de la torre 10 a un transformador de tensión media 18 dispuesto en la base para la transmisión a una red (no representada). Además, en la góndola 11 está dispuesto un control del funcionamiento 19, que supervisa el funcionamiento de toda la instalación de energía eólica. Está conectado con un control de convertidor 3, que aplica señales de control en el convertidor 2.

El generador 15 está realizado como máquina asíncrona de doble alimentación y comprende un estator y un rotor. La potencia eléctrica generada por él es transportada esencialmente a través del estator y la línea 17 conectada allí. Una parte de la potencia fluye a través del rotor y el convertidor 2 conectado allí.

El convertidor 2 comprende un inversor 21 en el lado del generador y un inversor en el lado de la red (no representado), que están conectados entre sí por medio de un circuito intermedio 23 (ver la figura 2). El inversor 21 en el lado del generador está conectado sobre tres fases en el generador 15 y está conectado sobre el circuito de tensión continua 23 con el inversor en el lado de la red, que está conectado de nuevo en la línea 17. No se representa el inversor en el lado de la red, que está conectado con preferencia a través de un circuito de filtro en la red eléctrica. El circuito de filtro está diseñado de manera más conveniente de tal forma que se eliminan por filtración los armónicos superiores. Adicionalmente, el circuito de filtro debe estar diseñado de tal forma que en la instalación de energía eólica en los procedimientos representados a continuación no se produzcan fenómenos de resonancia. Por lo tanto, deben observarse las oscilaciones y armónicos superiores a la mitad de la frecuencia de conmutación o a la frecuencia normal de conmutación del inversor en el lado del generador.

La estructura del inversor 21 en el lado del generador se representa en la figura 2. Presenta dos carriles de potencial 24, 25, en los que está conectado el circuito intermedio de la tensión continua 23. El carril de potencial superior 24 se encuentra sobre el potencial más alto del circuito intermedio, y al carril de potencial inferior 25 se encuentra sobre su potencial más bajo, de manera que entre ellos se aplica la tensión del circuito intermedio. Los potenciales en el circuito intermedio de la tensión continua 23 no están definidos frente a masa, sino que se determinan en el potencial entre sí. La diferencia de los potenciales de los carriles de potencial 24, 25, es decir, la tensión del circuito intermedio, se deriva en este caso desde la tensión de salida en el inversor en el lado de la red y se puede derivar de acuerdo con la fórmula $U_{DC} = U_{red} * \sqrt{2} * \text{reserva de regulación}$. Por ejemplo, el potencial máximo entre los carriles de potencial 24, 25 con una reserva de regulación de 120% y una tensión de salida de $U_{red} = 690V$ es aproximadamente $U_{DC} = 1170V$. Los carriles de potencial 24, 25 pueden adoptar frente a masa en sí un valor discrecional, no teniendo que ser constante el valor sobre el tiempo, sino que puede saltar "en vaivén" muy rápidamente durante la sincronización del inversor en el lado de la red. En el ejemplo de realización representado, para la simplificación de las explicaciones, el potencial más bajo se coloca a masa y en el potencial más alto se aplica una tensión de circuito intermedio U_{DC} de 1100 voltios.

Entre los carriles de potencial 24, 25 están conectados seis elementos de conmutación 26, que están conectados en paralelo en tres grupos X, Y, Z, respectivamente, con dos elementos de conmutación disjuntos en serie. En los elementos de conmutación 26 se trata de semiconductores discrecionales adecuados para inversores, con preferencia de IGBTs. En el punto medio 28 de cada grupo X, Y, Z están dispuestos dos diodos de marcha libre 27, que están conectados, respectivamente, antiparalelos a los elementos de conmutación 26. En los puntos medios 28 está conectada, respectivamente, una línea de fases 29, que está conectada, respectivamente, con un arrollamiento

de rotor 15X, 15Y, 15Z del generador 15. Las líneas de fases 29 presentan, respectivamente, un potencial U_x , U_y y U_z , respectivamente. Cada uno de los arrollamientos del rotor 15X, 15Y, 15Z presenta una inductividad L y una resistencia R , que están enlazadas en este ejemplo en forma de estrella y se representan por medio de elementos equivalentes correspondientes. Las relaciones se aplican según el sentido también para un enlace en forma de triángulo, pero entonces solamente se pueden describir con dificultad. En los arrollamientos de rotor 15X, 15Y, 15Z se aplica una tensión U_{xy} , U_{yz} y U_{zx} , respectivamente.

Para el control de los elementos de conmutación 26 del convertidor 2, el control del convertidor 3 presenta un modulador de la anchura de impulso 30. Está configurado para controlar elementos de conmutación del convertidor, en función de señales de guía, que son transmitidas desde el control del funcionamiento 19. Se acciona por una frecuencia de conmutación, que está sincronizada con una frecuencia de exploración del control del funcionamiento 19. Los instantes para los pulsos de reloj de frecuencia de conmutación T correspondientes resultan a partir del valor recíproco de la frecuencia de conmutación y se representan para un ejemplo monofásico en la figura 3a. En la figura 3b se representa una señal portadora C en forma de triángulo con la frecuencia de conmutación. Además, con una línea de trazos se representa una señal de magnitudes de ajuste S aplicada por el control del funcionamiento 19 para el convertidor. La señal portadora C se modula con la señal de magnitudes de ajuste S , interrumpiéndose una señal de control siempre exactamente cuando la señal portadora es mayor que la señal de magnitudes de ajuste. La señal de control digital que resulta de esta manera se aplica como pareja complementaria de señales a entradas de control de los elementos de conmutación 26 de los grupos X , Y , Z . La línea de fases correspondiente 29 recibe de esta manera una curva de la tensión, como se representa en la figura 3c. A través de la comparación con la señal de magnitudes de ajuste original, representada de nuevo con línea de trazos, se reconoce que las superficies de tensión y tiempo de las señales coinciden. La tensión media efectiva en un miembro similar a un paso bajo, como los arrollamientos de rotor 15X, 15Y, 15Z, corresponde entonces exactamente a la señal de magnitudes de ajuste.

De la manera descrita anteriormente son accionados los elementos de conmutación 26 del inversor 21, y en las líneas de fases 29 se ajustan tensiones U_{xy} , U_{yz} y U_{zx} concatenadas que corresponden a la señal de magnitudes de ajuste. Esto se conoce en sí como convertidor modulado en la anchura del impulso y, por lo tanto, no es necesario describirlo en detalle.

De acuerdo con la invención, para el convertidor 2 está previsto un circuito de control adicional 4 con una corredera de potencial 5 y con un generador de tensión adicional 6. Se representa en detalle en la figura 5. Como señales de entrada para el potencial en las líneas de fases 29 pueden estar previstos sensores de la tensión 40, como se representa en la figura 2, cuyos valores de medición están aplicados como señales de entrada en la corredera de potencial 5 y en el generador de la tensión adicional 6. Pero se prefiere no utilizar valores de medición directos, sino en su lugar evaluar señales de magnitudes de ajuste S_x , S_y , S_z del modulador de la anchura del impulso 30.

La corredera de potencial 5 presenta un selector máximo 51, que calcula la línea de fases, que presenta la distancia mínima con respecto al carril de potencial superior, y por medio de una primera unidad de cálculo 53 determina qué diferencia existe entre el potencial de esta línea de fases (U_H) y el potencial del carril de potencial superior ($U_{DC} = 1100$ voltios) y a partir de ello determina un valor de desplazamiento alto HV . De manera correspondiente, está previsto un selector de mínimo 52, que calcula la línea de fases, que presenta la distancia mínima con respecto al carril de potencial inferior (masa), y una segunda unidad de cálculo 54, que determina qué diferencia existe entre el potencial de esta línea de fases (U_L) y el carril de potencial inferior y a partir de ello determina un valor de desplazamiento hacia abajo RV . De esta manera se determina el valor en el que el potencial de la fase que presenta el valor máximo del potencial (fase más alta) debe desplazarse hacia arriba, para ser elevado al nivel del carril de potencial superior y, por lo tanto, a la tensión del circuito intermedio. De manera correspondiente se determina el valor, en el que debe reducirse el potencial de la fase que presenta el valor de potencial más bajo (fase más baja) para ser bajado al nivel del carril de potencial inferior (potencial de masa). Estos valores se aplican de manera alterna a través de un miembro de conmutación 57 sincronizado de semiondas en la corredera de potencial 58, que desplaza en una semionda las líneas de fases en torno al valor de desplazamiento alto hacia arriba y en la semionda siguiente las desplaza en el valor de desplazamiento bajo hacia abajo.

De manera necesaria existe una fase, que se encuentra en su potencial entre la fase más alta y la fase más baja. Esta fase (fase media) se determina por el generador de tensión adicional 6 por medio de una tercera unidad de cálculo 61 y se calcula si el potencial de la fase media está más próximo al de la fase más alta (U_H) o al de la fase más baja (U_L). A tal fin, están previstos miembros diferenciadores 62, 63, que calculan la diferencia de potencial con respecto a la fase más alta y la fase más baja y la aplican en un detector de mínimo 64. Éste determina el valor menor y lo emite como valor de la distancia A . Este valor de la distancia A está conectado en un modulador 66 de un generador de la tensión sinusoidal 67, que genera una tensión sinusoidal con una amplitud correspondiente al valor de la distancia y la frecuencia de las líneas de fases. A través de un circuito de acoplamiento 68 se secciona con la ayuda de una señal de control suministrada por la tercera unidad de cálculo 61 (línea de puntos en la figura 5) la línea de fases, sobre la que debe sumarse la tensión adicional sinusoidal con un miembro sumador 69. Hay que indicar que la tensión adicional no tiene que ser necesariamente de forma sinusoidal, sino que se conecta para cada semionda como valor constante en el tiempo.

Las señales modificadas de esta manera son aplicadas como señales de magnitudes de ajuste S_x , S_y y S_z en el modulador de la anchura del impulso

Esto se explica en detalle con la ayuda de un ejemplo numérico. Se supone un convertidor con una tensión del circuito intermedio de 1100 voltios y con una resistencia óhmica R de los arrollamientos del rotor de 0,010 ohmios. Como ejemplo se selecciona un estado de funcionamiento, en el que las corrientes en las líneas de fases 29 individuales deben ser $I_x = 500$ A, $I_y = -300$ A e $I_z = -200$ A. A tal fin, deben aplicarse como tensiones sobre la resistencia del rotor 5V, -3 V y -2 V, respectivamente. De ello resultan como tensiones concatenadas $U_{xy} = 8$ V, $U_{yz} = 1$ - V y $U_{zx} = -7$ V. Hay que indicar que en estos valores se trata de tensiones diferenciales entre las líneas de fases 29, de manera que la posición absoluta de las tensiones sobre las líneas de fases 29 en sí es discrecional. Con frecuencia será así, y en el presente caso se supone que las tensiones están en la zona en torno a la mitad de la tensión del circuito intermedio ($U_{DC} = 1100$ V), por lo tanto aproximadamente 550 V. De esta manera resultan para las líneas de fases individuales valores de $U_x = 555$ V, $U_y = 547$ V y $U_z = 548$ V.

Sobre la base de estos valores, la primera unidad de cálculo 51 determina la línea de fases X como la línea con el potencial máximo (U_H) y se calcula un valor de desplazamiento alto HV de 1100 V - 555 V = 545 V. De manera correspondiente, la segunda unidad de cálculo 52 determina la línea de fases U_y como la línea con el potencial más bajo (U_L) y se calcula un valor de desplazamiento hacia abajo RV de 547 V - 0 V (masa) = 547 V. La fase media es entonces la fase con una tensión en la altura de 548 V. Su distancia, calculada por los miembros diferenciales 62, 63, con respecto a la tensión U_H de la fase más alta es 555 V - 545 V = 7 y la distancia con respecto a la tensión U_L de la fase más baja es 548 V - 547 V = 1 V. La fase más baja U_L está, por lo tanto, más cerca y el valor de la distancia es de esta manera $A = 1$ V. Ésta es la amplitud de la tensión adicional, que es generada por el generador de tensión adicional 5 y se conecta a la fase media.

Por lo tanto, en resumen, resultan los siguientes valores para una primera semionda:

Fase	Tensión	Potenciales de las fases entre sí	Estado	Después del desplazamiento +545 V	Después del desplazamiento y la adición de la tensión adicional +1V	Potenciales de las fases entre sí
X	555V	$U_{xy} = +8V$	Más alto	1100V	1100V = CONECTADO	$U_{xy} = +8V$
Y	547V	$U_{yz} = -1V$	Más bajo	1092V	1092V = PULSO	$U_{yz} = -2V$
Z	548V	$U_{zx} = -7V$	Medio	1093V	1094V = PULSO	$U_{zx} = -6V$

Gracias al desplazamiento alto se puede mantener conectado (CONECTADO), por lo tanto, el elemento de conmutación 26, que conecta la fase X con el carril de potencial superior y no es necesario que sea sincronizado. Las pérdidas provocadas a través de la sincronización (PULSO) se eliminan, por lo tanto, para la fase X.

Se hace referencia a la figura 4. Allí se representan las pérdidas, que resultan durante la conexión del elemento de conmutación 26 (periodo de tiempo I), en el estado conductor del elemento de conmutación 26 (periodo de tiempo III) y durante su desconexión (periodo de tiempo III), teniendo en cuenta al mismo tiempo adicionalmente las pérdidas que se producen en el diodo de marcha libre 27. Puesto que el elemento de conmutación 26 de la fase X permanece conectado de forma duradera, se producen solamente las pérdidas de conducción (II), mientras que se suprimen las pérdidas de conexión y desconexión (I, III) más elevadas en cuanto al importe. Por lo tanto, las pérdidas se pueden reducir casi en dos tercios.

El ejemplo se prosigue ahora para la segunda semionda siguiente. El selector de mínimo 52 determina la línea de las fases, que presenta el potencial más bajo. Ésta es la línea de las fases Y con 547 V, de donde resulta por medio de la segunda unidad de cálculo 52, 54 un valor de desplazamiento hacia abajo RV hasta el potencial del carril de potencial inferior (masa) de -547 V. La amplitud de la tensión adicional permanece inalterada 1 V, pero ahora está girada en la fase alrededor de 180 grados y es, por lo tanto -1 V en la representación de signo corregido. De esta manera resultan los siguientes valores para la segunda semionda:

Fase	Tensión	Potenciales de las fases entre sí	Estado	Después del desplazamiento -547 V	Después del desplazamiento y la adición de la tensión adicional +1V	Potenciales de las fases entre sí
X	555V	$U_{xy} = +8V$	Más alto	8V	8V = PULSO	$U_{xy} = +8V$
Y	547V	$U_{yz} = -1V$	Más bajo	0V	0V = DESC.	$U_{yz} = 0V$
Z	548V	$U_{zx} = -7V$	Medio	1V	0V = DESC.	$U_{zx} = -8V$

5 El desplazamiento hacia abajo en la segunda semionda conduce, por lo tanto, a que la fase más baja, fase Y, esté en potencial de masa. Su elemento de conmutación 26 puede estar, por lo tanto, desconectado (DESC.) y, por consiguiente, no tiene que ser sincronizado. La fase Z, la fase media, estaría después del desplazamiento en sí en una tensión de 1 voltio, pero a través de la adición de la tensión adicional (seleccionada de acuerdo con la invención) de -1V, la invención fuerza una bajada al mismo potencial que la fase más baja que, gracias al desplazamiento de acuerdo con la invención no tiene que ser ya sincronizada. Por consiguiente, gracias a la tensión adicional de acuerdo con la invención, tampoco la fase media tiene que ser sincronizada. Por lo tanto, los dos
10 elementos de conmutación 26 para las fases Y y Z no están sincronizados (DESCONECTADOS), de manera que se eliminan las pérdidas de conmutación correspondientes (ver la figura 4).

Visto sobre toda la semionda, la invención consigue, por lo tanto, a través de la combinación de desplazamiento alto / bajo y tensión adicional, que los elementos de conmutación 26 de todas las fases X, Y y Z para una semionda puedan permanecer no sincronizados, y solamente todavía deben ser accionados sincronizados (PULSO) en la otra
15 semionda. Las pérdidas provocadas a través de la sincronización pueden ser reducidas a la mitad gracias a la invención, lo que debido a la influencia dominante de las pérdidas de sincronización sobre las pérdidas de conmutación, esto conduce, en general, (ver la figura 4) a una reducción considerable de las pérdidas de conmutación. Gracias a esta reducción se puede elevar de manera correspondiente la corriente, con lo que se puede elevar de la misma manera el par motor en el generador. Por lo tanto, la invención permite una elevación
20 considerable del par motor también y precisamente en un funcionamiento en la zona del punto de sincronización, que apenas se podría aprovechar anteriormente debido al peligro de recalentamiento de los elementos de conmutación.

De esta manera también con una carga mayor se posibilita un funcionamiento silencioso con número de revoluciones reducido en la zona del punto de sincronización.

25 El convertidor 2 no tiene que ser accionado durante todo el tiempo con el procedimiento de acuerdo con la invención. Más bien para simplificación se desea que sea accionado de la manera convencional durante la mayor parte de la zona de funcionamiento (funcionamiento normal) y solamente se aplica el procedimiento de acuerdo con la invención durante el funcionamiento en una zona de funcionamiento crítica (funcionamiento especial). A tal fin está previsto un módulo de conmutación 7 para el convertidor 2 (ver la figura 6). Presenta una entrada para la
30 frecuencia f en las líneas de fases 29 y una entrada para el valor teórico de la corriente I_s previsto por el control del funcionamiento 19 y, además, puede estar prevista opcionalmente una entrada para un sensor de temperatura (no representado), que mide la temperatura de los elementos de conmutación 26 del convertidor. De esta manera supervisa la frecuencia en las líneas de fases 29, es decir, la frecuencia que actúa sobre el arrollamiento del rotor 15X, 15Y, 15Z del generador 15. Si se encuentra el generador 15 en la zona del punto de sincronización, es decir,
35 que la frecuencia está por debajo de un valor límite predeterminado de por ejemplo un valor de la frecuencia de 5Hz, y al mismo tiempo el valor teórico de la corriente está por encima de un umbral mínimo, entonces el módulo de conmutación 7 emite una señal de salida correspondiente al convertidor 2, para que éste realice el procedimiento de acuerdo con la invención. A tal fin, el módulo de conmutación 7 presenta una unidad lógica con conmutadores de valor umbral 71, 72, que se conmutan cuando tanto la frecuencia está en la zona del punto de sincronización f_s
40 como también la corriente está por encima de un umbral I_{min} regulable (miembro de enlace-Y 75). Opcionalmente, a través de otro conmutador de valor umbral 73 y un miembro de enlace-O 76 se puede añadir todavía la señal de medición de la temperatura, de manera que independientemente del valor actual de la corriente en el caso de que se exceda una temperatura límite ϑ_0 de los elementos de conmutación 26, se aplica el procedimiento de acuerdo con la invención. La señal de salida del módulo de conmutación 7 está conectada en el circuito de control 4, que en función
45 de la señal de salida del módulo de la zona de funcionamiento 31 se conmuta a una zona especial del par motor del número de revoluciones y de esta manera colabora con la corredera de potencial 5 y con el generador de la tensión adicional 6, de manera que de acuerdo con la invención, se desplaza el potencial y se añade la tensión adicional. Si no existen ya las condiciones en las entradas del módulo de conmutación 7, por ejemplo porque la frecuencia está

ahora fuera de la zona de sincronización, entonces cae la señal de salida y se conmuta a la zona de funcionamiento normal, de manera que el convertidor 2 funciona en el modo normal.

- 5 El módulo de conmutación 7 presenta opcionalmente una conexión de entrada 74, en la que puede estar conectado el control de funcionamiento 19. Si se coloca una señal de solicitud correspondiente en ésta entrada, el módulo de conmutación 7 se conmuta al modo especial, de manera que el convertidor 2 se conmuta al procedimiento de acuerdo con la invención con la zona de funcionamiento especial. Esto se puede utilizar para una prueba o, por ejemplo, para un funcionamiento de emergencia, cuando debe prepararse una reserva de corriente adicional en el convertidor 2.

REIVINDICACIONES

- 1.- Procedimiento para el funcionamiento de un convertidor (2) de instalaciones de energía eólica, que comprende un inversor (21), que activa un generador (15) a través de varias fases (x, y, z), y un circuito intermedio (23) con una tensión de circuito intermedio entre un potencial superior de circuito intermedio y un potencial inferior de circuito intermedio, en el que el generador es activado con potenciales de fases de frecuencia variable, caracterizado por
- 5 calcular un valor de desplazamiento entre un potencia de fase extremo y uno de los potenciales de circuito intermedio,
- determinar un valor de la distancia del potencia de fase medio respecto de un potencial de circuito intermedio siguiente,
- 10 generar una tensión adicional con el valor de la distancia como amplitud,
- en el que los potenciales de fases son desplazados en el valor de desplazamiento y la tensión adicional se añade al potencial de fase medio.
- 2.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por
- 15 calcular un valor de desplazamiento alto entre un potencial superior del circuito intermedio y el potencial de fase más alto,
- calcular un valor de desplazamiento bajo entre el potencial inferior del circuito intermedio y el potencial de fase más bajo,
- 20 en el que la determinación del valor de la distancia del potencial de fase medio comprende una determinación de una primera y una segunda distancias con respecto al potencial de fase más alto y más bajo y una formación de un valor mínimo de la distancia, que se utiliza como amplitud para la generación de la tensión adicional.
- 3.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por
- el desplazamiento de las fases en el desplazamiento máximo durante una primera semionda y la suma de la tensión adicional al potencial de fase medio, y
- 25 el desplazamiento hacia debajo de las fases en una segunda semionda en el valor del desplazamiento inferior y la sustracción de la tensión adicional desde el potencial de fase medio.
- 4.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la tensión adicional es generada con la mitad de la frecuencia de la tensión aplicada en el generador.
- 5.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el reconocimiento de un funcionamiento en la zona del punto de sincronización y la ejecución del desplazamiento de acuerdo con la invención y de la generación de la tensión adicional.
- 30 6.- Procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el control del convertidor en una frecuencia de conmutación fija.
- 7.- Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por que la frecuencia de conmutación está sincronizada con un circuito de control.
- 35 8.- Convertidor para instalaciones de energía eólica, que presenta un inversor (21), que presenta varias fases (X, Y, Z) para la conexión de un generador (15) y que está sincronizado por un circuito de control (4), y comprende un circuito intermedio (23), que presenta una tensión de circuito intermedio entre un potencial superior y un potencial inferior de circuito intermedio, caracterizado por que están prevista una corredera de potencial (5) y un generador de tensión adicional (6), en el que la corredera de potencial (5) está configurada para calcular un valor de desplazamiento entre un potencial extremo de las fases y uno de los potenciales de circuito intermedio, y el generador de tensión adicional (6) está configurado para determinar un valor de la distancia (A) del potencial de fase medio respecto del potencial de circuito intermedio siguiente y para generar una tensión adicional con el valor de la distancia (A) como amplitud.
- 40 9.- Inversor de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado por que está previsto un módulo de conmutación (7), en cuyas entradas están aplicadas señales para la frecuencia y con preferencia para una corriente teórica y que está configurado para reconocer un funcionamiento en la zona del punto de sincronización y para emitir una señal de conmutación correspondiente.
- 45 10.- Inversor de acuerdo con la reivindicación 8 ó 9, caracterizado por que la corredera de potencial (5) y el

generador de tensión adicional (6) están configurados para ejecutar un procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7.

5 11.- Instalación de energía eólica con un generador (15), un convertidor (2) y un control del funcionamiento, en la que el control del funcionamiento aplica al menos una señal de guía al inversor (2), en la que el inversor comprende un convertidor (21), que presenta varias fases (X, Y, Z) para la conexión de un generador (15) y que está sincronizado por un circuito de control (4), y un circuito intermedio (23), que presenta una tensión de circuito intermedio entre un potencial superior y un potencial inferior de circuito intermedio, caracterizado por que para el inversor está previsto un módulo de zona de cálculo (31), que colabora con una corredera de potencial (5) y con un generador de tensión adicional (6), en la que la corredera de potencial (5) está configurada para calcular un valor de desplazamiento entre un potencial extremo de las fases y uno de los potenciales de circuito intermedio, y el generador de tensión adicional (6) está configurado para determinar un valor de la distancia (A) del potencial de fase medio y para generar una tensión adicional con el valor de la distancia (A) como amplitud.

10 12.- Instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 11, caracterizada por que está previsto un módulo de conmutación (7), en cuyas entradas están aplicadas señales para la frecuencia y con preferencia para una corriente teórica y que está configurado para reconocer un funcionamiento en la zona del punto de sincronización y para emitir una señal de conmutación correspondiente al módulo de la zona de funcionamiento (31).

15 13.- Instalación de energía eólica de acuerdo con la reivindicación 11 ó 12, caracterizada por que la corredera de potencial (5) y el generador de tensión adicional (6) están configurados para ejecutar un procedimiento de acuerdo de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7.

20

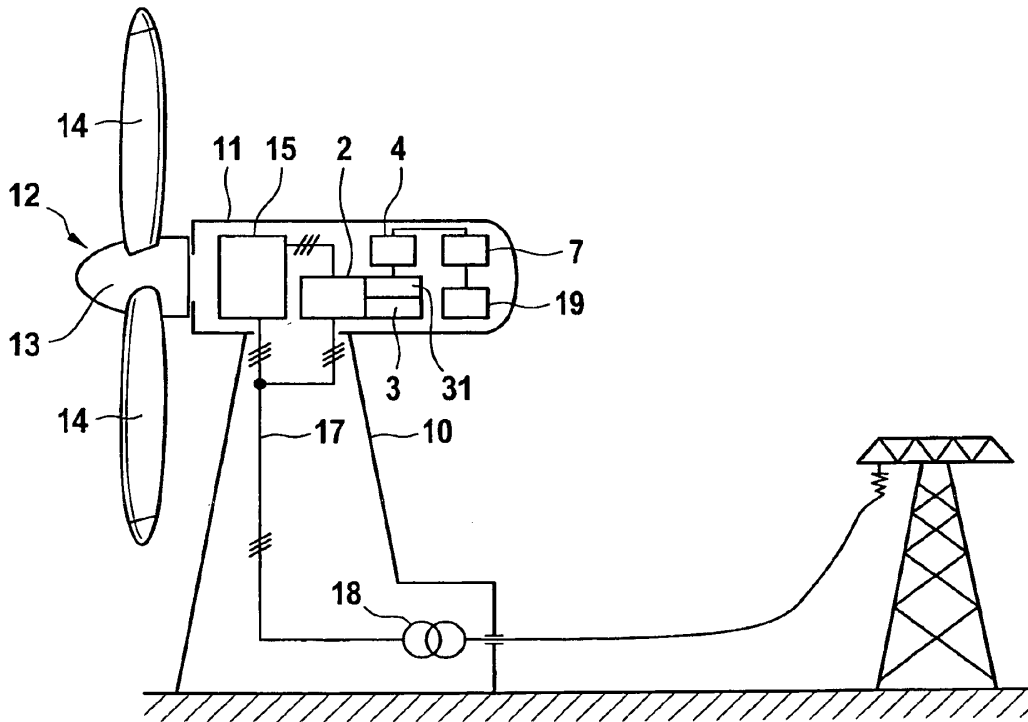


Fig. 1

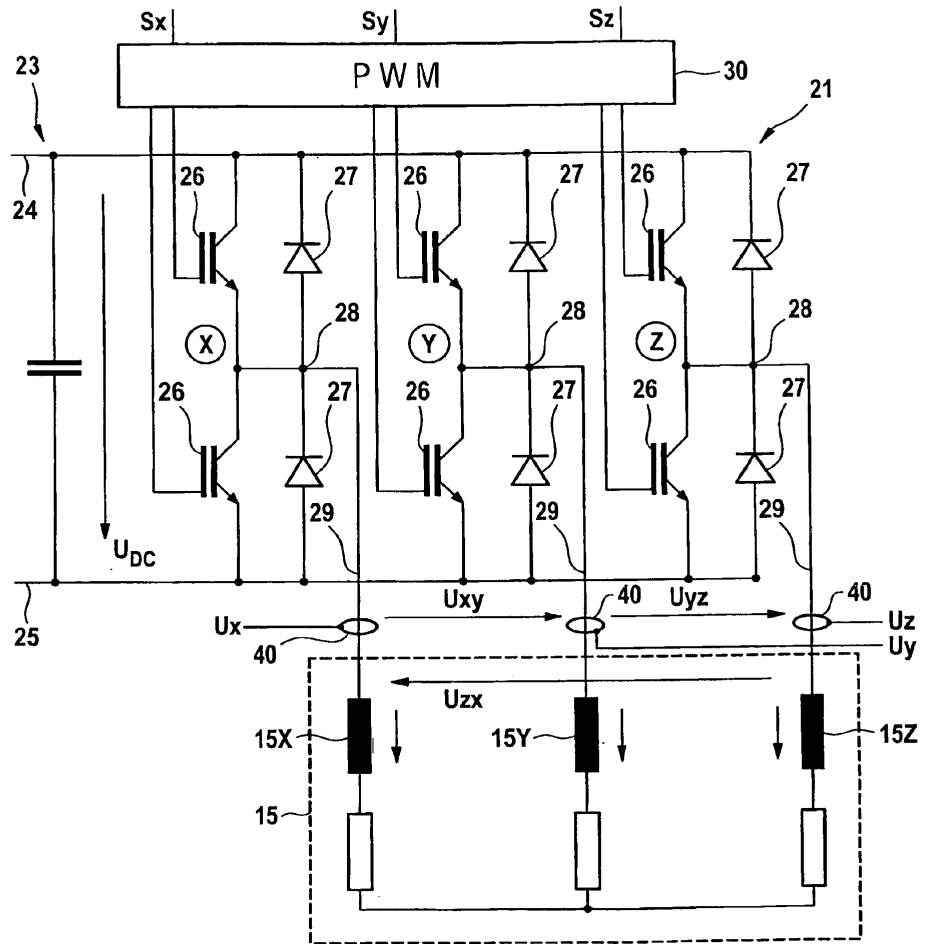
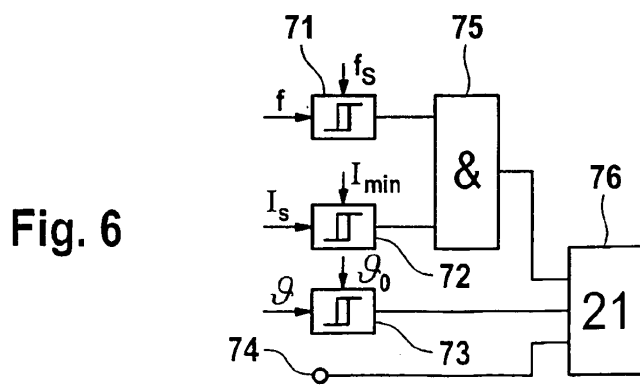
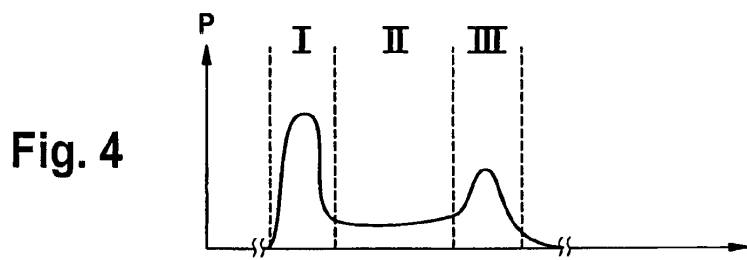
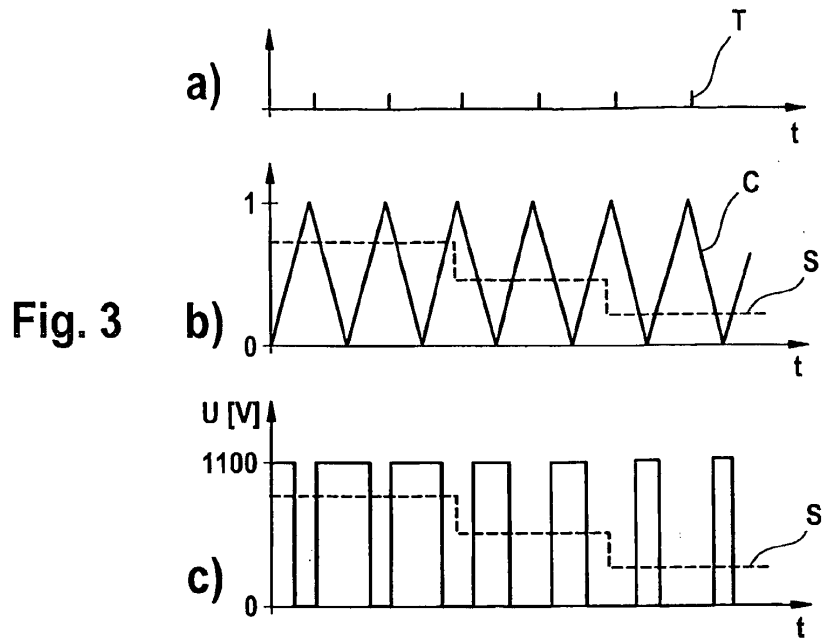


Fig. 2



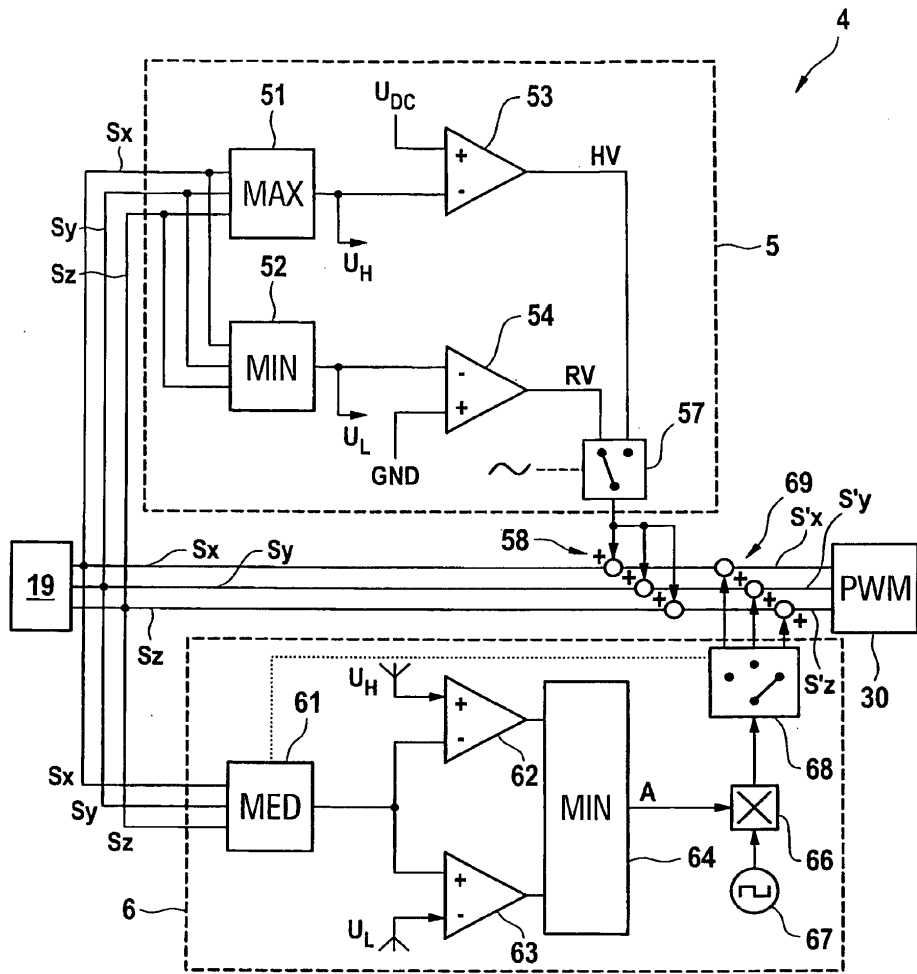


Fig. 5