

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 533 471**

51 Int. Cl.:

H02P 9/10

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.01.2003** **E 09012812 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.03.2015** **EP 2244372**

54 Título: **Disposición de circuito para su uso en un aerogenerador**

30 Prioridad:

29.01.2002 DE 10203468

18.02.2002 DE 10206828

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.04.2015

73 Titular/es:

VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)

Hedeager 44

8200 AARHUS N, DK

72 Inventor/es:

FEDDERSEN, LORENZ

74 Agente/Representante:

ARIAS SANZ, Juan

ES 2 533 471 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

Disposición de circuito para su uso en un aerogenerador

La invención se refiere a una disposición de circuito destinada en particular para su uso en un aerogenerador de velocidad variable que comprende un generador asíncrono de doble alimentación, una resistencia adicional y un convertidor.

Este tipo de disposiciones de circuito previstas para su uso en aerogeneradores de velocidad variable se utilizan a menudo en la práctica y por tanto, por su uso previo manifiesto, pertenecen al estado de la técnica. Sin embargo, en funcionamiento, con el uso de máquinas asíncronas de doble alimentación (DASM) ha resultado desventajoso que éstas se separen de la red en el caso de un cortocircuito de la red a nivel de media tensión. Por tanto, no puede obtenerse la estabilización de red deseada mediante una turbina eólica, que se hace funcionar con una máquina asíncrona de doble alimentación.

Por tanto, en el pasado, la estabilización de red necesaria se producía por los operadores de red con centrales eléctricas convencionales. Sin embargo, debido al rápido aumento en el número de turbinas eólicas y el rápido aumento de la potencia relacionado con ello, que entretanto han alcanzado el tamaño de las centrales eléctricas convencionales, también las demandas de las turbinas eólicas tienen que adaptarse a las de las centrales eléctricas convencionales. En particular, cada vez más se exige un acoplamiento de redes duradero para que el aerogenerador, durante y después de finalizar un cortocircuito de red de media tensión, pueda restablecer y volver a estabilizar la red.

El documento JP 7 194 196 A describe una conversión para un generador asíncrono de doble alimentación de una turbina eólica, que en el caso de un cortocircuito de la red se desconecta provisionalmente de la red. Para evitar una sobretensión, en este periodo de tiempo puede disiparse energía a través de una resistencia. Por el documento JP 7 067 393 se conoce un convertidor similar para un hidrogenerador.

El documento JP 2001 268 992 describe un generador asíncrono de doble alimentación con un convertidor para un hidrogenerador. El convertidor vuelve a ponerse en funcionamiento en caso de cortocircuito para un soporte de red antes de finalizar el cortocircuito.

La invención se basa en el objetivo de crear una disposición de circuito para su uso en turbinas eólicas con una máquina asíncrona, con la que pueda cumplirse con las elevadas demandas para las turbinas eólicas modernas, en particular con respecto a la estabilización de red.

Este objetivo se alcanza según la invención con una disposición de circuito según las características de la reivindicación 1. Las reivindicaciones dependientes se refieren en particular a perfeccionamientos convencionales de la invención.

Por tanto, según la invención se prevé una disposición de circuito, en la que puede regularse la resistencia adicional por medio de un conmutador rápido de tal manera que el convertidor, en caso de cortocircuito de red, puede desconectarse provisionalmente al menos en parte, para asumir momentáneamente la corriente del rotor por medio de la resistencia adicional, y tras la atenuación de la corriente de cortocircuito del rotor, puede volver a conectarse para el acoplamiento activo de una corriente de cortocircuito a la red.

Con la disposición de circuito según la invención, en caso de cortocircuito de red, se suministra corriente capacitiva o corriente inductiva al cortocircuito, porque de este modo, según la demanda de los operadores de red, puede estabilizarse la red de manera óptima. Habitualmente se desea una corriente capacitiva para proveer a los consumidores de red inductivos.

Cuando al retornar la tensión de red se desconecta el inversor del rotor y entonces la resistencia regulable asume la sobrecorriente para, tras la atenuación de la sobrecorriente y la desconexión de la resistencia regulada, asumir activamente la corriente del rotor, se evita una posible desconexión o separación de la red del aerogenerador cuando retorna la tensión de red en particular de manera repentina.

De este modo puede cumplirse de manera óptima con las elevadas demandas de red durante el funcionamiento de la turbina eólica equipada con un generador asíncrono para la estabilización de red, porque, a este respecto, en caso de un cortocircuito de la red a nivel de media tensión no se produce ninguna separación de la red. Para ello, en el circuito del rotor se ha integrado por ejemplo una resistencia adicional realizada como resistencia de carga regulable o un circuito en corto (*crowbar*), que para ello está dotado de la resistencia adicional, que en el caso de producirse el caso de cortocircuito de la red recibe la energía de cortocircuito del rotor y a continuación, tras la atenuación de la corriente de cortocircuito, se desconecta. La resistencia de carga se regula con un conmutador que puede desconectarse en particular de manera activa que en particular no es un tiristor conmutado de manera natural. El inversor del rotor existente del convertidor de cuatro cuadrantes se desactiva momentáneamente de inmediato tras producirse el cortocircuito de la red y se reactiva tras la atenuación de la operación de compensación de cortocircuito, encontrándose el valor umbral ventajosamente por debajo de una corriente nominal del inversor del rotor, y a continuación, durante el cortocircuito de la red y cuando retorna la tensión de red, alimenta la potencia

necesaria a la red.

A este respecto, ha resultado especialmente ventajosa una variante de la presente invención, en la que la disposición de circuito presenta varias resistencias que pueden conectarse unas en función de otras o independientemente unas de otras. De este modo se consigue que la elevada corriente de cortocircuito del rotor, que a menudo sobrepasa los 1000 A, pueda repartirse entre varios conmutadores, porque estos conmutadores que pueden desconectarse tienen que conectarse en paralelo con mucha complejidad para la corriente total.

También es especialmente ventajosa una disposición de circuito con un regulador de dos posiciones, para la regulación de la resistencia adicional, porque de este modo puede establecerse una regulación muy sencilla, rápida y robusta.

A este respecto ha resultado especialmente conveniente otra variante en la que la regulación del conmutador activo se produce con una modulación de ancho de pulso con una frecuencia de reloj fija, porque de este modo puede producirse una regulación digital con una frecuencia de reloj fija.

Además también es especialmente prometedor que la regulación del conmutador activo se produzca con un regulador P, regulador PI o regulador PID. De este modo se consigue que al producirse el cortocircuito de la red, la corriente de cortocircuito del rotor o la tensión de borne del rotor puedan regularse de manera óptima.

Además, según una configuración adicional especialmente ventajosa en el circuito del estator se integra momentáneamente una impedancia adicional para limitar la corriente del estator y del rotor. Mediante la integración a demanda de la impedancia adicional puede limitarse la corriente del estator y del rotor cuando retorna la tensión de red.

También es especialmente conveniente una forma de realización, en la que en el circuito del estator, en paralelo a la impedancia adicional, está colocado un contactor rápido para, de este modo, puentear la impedancia adicional en el funcionamiento normal y no generar pérdidas.

Además también es especialmente prometedor que en el circuito del estator, en paralelo a la resistencia, esté colocado al menos un tiristor con conmutación natural. De este modo se consigue que, en comparación con los conmutadores que pueden desconectarse de manera activa, se produzcan menos pérdidas en el funcionamiento normal y que los costes sean inferiores.

Además, la disposición de circuito, de manera especialmente ventajosa, puede estar realizada de tal manera que en el circuito intermedio del convertidor se haga funcionar una resistencia regulada, porque de este modo pueden ahorrarse algunos componentes en el *crowbar* y la regulación del inversor del rotor mide de manera permanente la corriente de fase del rotor.

También se alcanza otra configuración especialmente conveniente de la invención cuando tanto en el *crowbar* como en el circuito intermedio del convertidor se hace funcionar una resistencia regulada. De este modo se consigue que se produzca una distribución de la potencia y que puedan utilizarse conmutadores individuales más pequeños. Hacia el final de la operación de compensación de la corriente de cortocircuito del rotor se asume toda la corriente del rotor y entonces, la regulación del inversor del rotor mide toda la corriente de fase.

La invención admite diferentes formas de realización. Para aclarar adicionalmente su principio básico se representa una de ellas en el dibujo y se describirá a continuación. Éste muestra en

la figura 1 una disposición de circuito según la invención;

la figura 2 un posible desarrollo del cortocircuito;

la figura 3 la disposición de circuito con resistencia del estator adicional y resistencia del rotor regulable;

la figura 4 un desarrollo en el tiempo de la tensión y la corriente con resistencia adicional;

la figura 5 la disposición de circuito con diodos inversores reforzados y resistencia de carga regulable en el circuito intermedio.

La figura 1 muestra una disposición de circuito según la invención. En el funcionamiento normal, un conmutador V15, por ejemplo IGBT, GTO, IGCT, está desconectado y el *crowbar* está completamente inactivo. Toda la corriente del rotor fluye a un convertidor y se regula mediante el mismo. Siempre que se produzca un cortocircuito de la red a media tensión, un generador asíncrono, debido a la completa excitación, suministra una corriente de cortocircuito de compensación al cortocircuito. La corriente sólo se limita por las inductancias de dispersión del generador asíncrono y del transformador de media tensión, alcanzando la corriente máxima el siguiente valor:

$$I_{\text{estator}} \approx 1.8 \cdot \frac{U_{\text{red}}}{X_{tr} + X_1 + X_2'}$$

A este respecto X_{tr} es la impedancia de dispersión total del transformador, X_1 la impedancia de dispersión del estator y X_2' la impedancia de dispersión del rotor. La corriente del estator máxima se encuentra en el caso de un cortocircuito a tensión media en la práctica en el orden de magnitud de hasta 8 veces la corriente nominal del estator. La corriente del rotor está acoplada de manera transformadora con la corriente del estator y también alcanza hasta 8 veces la corriente nominal de rotor. Esta elevada corriente de compensación no puede conducirse o recibirse por el convertidor de manera útil desde el punto de vista técnico. En caso de producirse el cortocircuito se desconecta un inversor del rotor debido a la sobrecorriente. La corriente del rotor sigue fluyendo por diodos de marcha libre del inversor del rotor y carga un circuito intermedio C3. Al mismo tiempo aumenta la tensión por un condensador C10 en el *crowbar*. Al alcanzar un valor límite de tensión por el condensador C10 se conecta el conmutador V15. Una resistencia R15 asume toda la corriente del rotor rectificadora y la tensión por el condensador C10 disminuye por debajo del valor límite de tensión, de modo que se desconecta el conmutador V15. A continuación vuelve a aumentar la tensión por el condensador C10, debido a la corriente del rotor, y vuelve a conectarse el conmutador V15. L15 determina la velocidad de cambio de la corriente y con ello también la frecuencia de reloj. La frecuencia de reloj se sitúa hasta el intervalo de los kHz y no puede producirse por la conmutación natural de tiristores, porque la frecuencia del rotor se sitúa en como máximo 15 Hz. Con esta regulación de dos posiciones se genera una contratensión constante para la tensión del rotor y la corriente de compensación, debido a la elevada contratensión constante, se atenúa en un tiempo mínimo. Toda la corriente se conmuta por el inversor del rotor al *crowbar*. La corriente del convertidor es casi cero. La corriente del *crowbar* se mide y evalúa por la tarjeta de control. La resistencia de carga está diseñada para la corriente máxima y la duración de conexión del conmutador V15 está al principio cerca del 100%. A medida que disminuye la corriente de compensación se reduce la duración de conexión y en el caso de la corriente nominal de rotor se encuentra en aproximadamente el 12%, lo que corresponde a aproximadamente 1/8 de la corriente máxima. También serían concebibles varias resistencias, que pueden conectarse y desconectarse individualmente. En caso de que la corriente de compensación no alcance la corriente nominal de rotor, entonces el conmutador V15 se desconecta del todo y la corriente del rotor conmuta de vuelta al convertidor. El convertidor asume su funcionamiento y la regulación y realiza una alimentación activa al cortocircuito. Mientras que la resistencia regulable está activa puede desconectarse el inversor de red, aunque también es posible el funcionamiento simultáneo. Por motivos de seguridad, en el *crowbar* está previsto un tiristor V10, que mide la tensión de manera autónoma y que se dispara en caso de fallar el conmutador V15 o con un cortocircuito directo del generador. L10 evita un aumento demasiado rápido de la corriente, para no dañar el tiristor V10. A este respecto, D10 evita una descarga rápida de un condensador C10 por el conmutador V15. La regulación del conmutador V15 puede producirse o bien directamente en el *crowbar* o bien por la tarjeta de control del convertidor.

En la figura 2 se representa un posible desarrollo del cortocircuito, representando la línea discontinua la media tensión y la línea continua la tensión de red. El cortocircuito se produce en el instante de 0 ms. La corriente salta de inmediato al valor máximo y entonces se atenúa, debido a la operación de compensación. La elevada corriente se recibe por el *crowbar* o la resistencia. Al no alcanzar la corriente nominal de rotor la corriente se asume y regula de nuevo por el convertidor. El generador se sobreexcita y suministra durante el cortocircuito de la red una potencia reactiva capacitiva a la red. Sin embargo también puede alimentarse una corriente inductiva al cortocircuito. La especificación puede elegirse libremente. La tensión de red, debido a la caída de tensión por el transformador de media tensión, se sitúa en el orden de ~ 20% de la tensión de red. En el instante en el que retorna la tensión, la tensión no aumenta de repente hasta el valor nominal, sino por un flanco dU/dt . Por la pendiente del flanco de la tensión de red de retorno y la constante de tiempo del generador se produce una sobrecorriente dinámica en el estator y el rotor. Esta sobrecorriente debe poder suministrarla el convertidor y no lleva a la desconexión del inversor del rotor. En caso de que la pendiente del flanco sea demasiado grande o exista un error de fase entre la tensión del generador y la tensión de red de retorno, entonces la corriente de compensación o sobrecorriente dinámica se vuelve demasiado elevada, se desconecta el inversor del rotor. La resistencia regulable asume también en este caso momentáneamente la corriente de compensación y cuando no alcanza la corriente nominal de rotor, se desconecta la resistencia y el inversor del rotor asume de nuevo su regulación. Durante la caída de tensión y en caso de retornar la tensión, la resistencia regulable se activa momentáneamente. Durante este tiempo el inversor del rotor está desconectado.

Con tiempos de aumento de tensión extremadamente rápidos, en el circuito del estator puede integrarse una impedancia adicional, por ejemplo mediante una resistencia o una bobina de inductancia. En la figura 3 se representa un sistema de este tipo. Entre el transformador de media tensión y el sistema generador-convertidor se integra un contactor K20. Por encima del contactor K20, en paralelo, se sitúa una resistencia R20. Cuando se produce el caso de cortocircuito, se abre el contactor K20 y la corriente del estator fluye por la resistencia R20.

En la figura 4 se representa el desarrollo en el tiempo de la tensión con resistencia adicional. La corriente del estator se limita y se atenúa más rápidamente que sólo con el *crowbar* regulado. El contactor debe conmutar muy

- rápidamente para que con caídas de tensión muy cortas la resistencia esté activa. También puede utilizarse un conmutador de tiristor antiparalelo con conmutación natural, que por ejemplo presente un tiempo de desconexión de 6,7 ms a 50 Hz. Esto da lugar a un conmutador rápido, pero tiene la desventaja de grandes pérdidas, en comparación con la solución del contactor. En la figura 4 el conmutador se abre tras 10 ms. Tras la operación de compensación el convertidor vuelve a asumir la regulación. La tensión de red residual, debido a la caída de tensión adicional por la resistencia, es mayor que sin impedancia adicional en el estator. Al retornar la tensión, la resistencia adicional limita el aumento dinámico de corriente del estator y permite flancos de tensión superiores o sobrecorrientes inferiores.
- 5
- Los diodos de marcha libre de módulos IGBT no están diseñados para corrientes pulsadas demasiado elevadas. Por tanto, se dispusieron los componentes de la resistencia regulada en el *crowbar*. La figura 5 muestra una disposición de circuito con diodos de marcha libre de alta potencia. El conmutador V15 se acopla directamente con el circuito intermedio del convertidor y regula directamente la tensión del circuito intermedio. Esto simplificaría toda la estructura. Se conserva el *crowbar* convencional adicional para situaciones extremas.
- 10
- También es concebible renunciar completamente al *crowbar*. En este caso la resistencia adicional tiene que diseñarse para todas las situaciones extremas. En caso de cortocircuito se desconectan los IGBT del inversor del rotor y la corriente de cortocircuito del rotor fluye por los diodos de marcha libre al circuito intermedio. Al sobrepasar un valor límite se activa la resistencia adicional y se recibe la energía del cortocircuito en la resistencia adicional. Tras la atenuación de la corriente de cortocircuito se reactiva el inversor del rotor y se desconecta la resistencia adicional. También puede desconectarse en primer lugar la resistencia adicional y conectarse el inversor del rotor.
- 15
- 20 También es posible un funcionamiento simultáneo de la resistencia adicional y del inversor del rotor.

REIVINDICACIONES

1. Aerogenerador de velocidad variable que comprende una disposición de circuito con un generador asíncrono de doble alimentación, una resistencia adicional y un convertidor con un inversor del rotor, en el que la disposición de circuito incluye un conmutador (V15) y medios para regular el funcionamiento de la resistencia adicional (R15), de modo que el inversor del rotor puede desconectarse provisionalmente en caso de cortocircuito de red y la corriente del rotor puede asumirla momentáneamente la resistencia adicional, caracterizado por que el inversor del rotor, tras la atenuación de la corriente de cortocircuito del rotor, puede volver a conectarse para el acoplamiento activo de una corriente de cortocircuito a la red, porque la disposición de circuito está configurada de tal modo que, en caso de un cortocircuito de la red, se proporciona al cortocircuito por el aerogenerador una corriente capacitiva o una corriente inductiva, y por que el inversor del rotor también puede desconectarse cuando retorna la tensión de red, para entonces asumir una sobrecorriente por la resistencia adicional (R15), y tras la atenuación de esta sobrecorriente la resistencia adicional (R15) puede desconectarse y la corriente del rotor puede asumirla el inversor del rotor.
2. Aerogenerador según la reivindicación 1, caracterizado por que puede conectarse el convertidor tras la atenuación de la corriente de cortocircuito del rotor por debajo de una corriente nominal del inversor del rotor.
3. Aerogenerador según las reivindicaciones 1 ó 2, caracterizado por que la disposición de circuito presenta varias resistencias (R15) que pueden conectarse unas en función de otras o independientemente unas de otras.
4. Aerogenerador según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por un regulador de dos posiciones para la regulación de la resistencia adicional (R15).
5. Aerogenerador según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la regulación del conmutador (V15) se produce con una modulación de ancho de pulso con una frecuencia de reloj fija.
6. Aerogenerador según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la resistencia adicional (R15) está realizada como componente de un *crowbar*.
7. Aerogenerador según la reivindicación 6, caracterizado por que el conmutador (V15) es un conmutador de conmutación forzada y los medios para el control del funcionamiento del *crowbar* están configurados para conmutar el conmutador (V15).
8. Aerogenerador según la reivindicación 6 ó 7, caracterizado por que el conmutador de *crowbar* (V15) se controla directamente con la tarjeta de control del convertidor.
9. Aerogenerador según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en el circuito del estator se integra momentáneamente una impedancia adicional (R20) para limitar la corriente del estator y del rotor.
10. Aerogenerador según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en el circuito del estator, en paralelo a la resistencia (R20), está colocado un contactor rápido (K20).
11. Aerogenerador según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en el circuito del estator, en paralelo a la resistencia (R20), está colocado al menos un tiristor con conmutación natural.
12. Aerogenerador según al menos una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que la resistencia adicional (R15) está dispuesta en el circuito intermedio del convertidor.
13. Aerogenerador según al menos una de las reivindicaciones 6 a 10, caracterizado por que tanto en el *crowbar* como en el circuito intermedio del convertidor está dispuesta una resistencia adicional (R15).
14. Procedimiento para hacer funcionar un aerogenerador de velocidad variable que comprende una disposición de circuito con un generador asíncrono de doble alimentación, una resistencia adicional (R15) y un convertidor con un inversor del rotor, en el que la disposición de circuito incluye un conmutador (V15) y medios para regular el funcionamiento de la resistencia adicional (R15), de modo que el inversor del rotor puede desconectarse provisionalmente en caso de cortocircuito de red y la corriente del rotor puede asumirla momentáneamente la resistencia adicional (R15), caracterizado por que el inversor del rotor, tras la atenuación de la corriente de cortocircuito del rotor, puede volver a conectarse para el acoplamiento activo de una corriente de cortocircuito a la red, porque en el aerogenerador en caso de un cortocircuito de la red se proporciona al cortocircuito por la disposición de circuito una corriente capacitiva o una corriente inductiva y por que el inversor del rotor se desconecta cuando retorna la tensión de red, para asumir una sobrecorriente por la resistencia adicional (R15), y por que tras la atenuación de esta sobrecorriente se desconecta la resistencia adicional (R15) y la corriente del rotor la asume el inversor del rotor.
15. Procedimiento según la reivindicación 14, caracterizado por que la resistencia adicional (R15) se regula por

un conmutador (V15).

16. Procedimiento según la reivindicación 15, caracterizado por que el conmutador (V15) se regula por un regulador de dos posiciones.

5 17. Procedimiento según una de las reivindicaciones 14 a 16, caracterizado por que el conmutador (V15) se regula por una modulación de ancho de pulso con una frecuencia de reloj fijada.

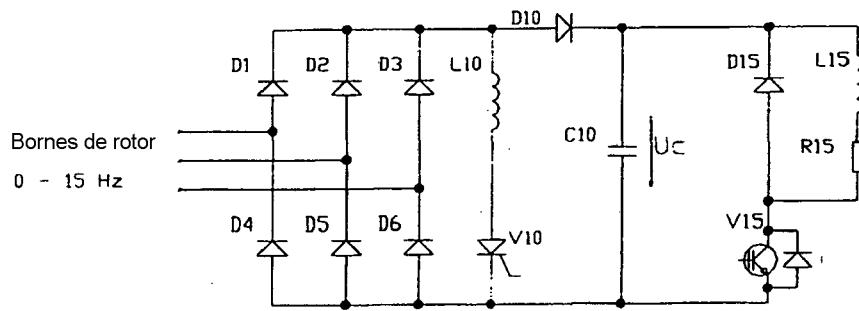


Fig. 1

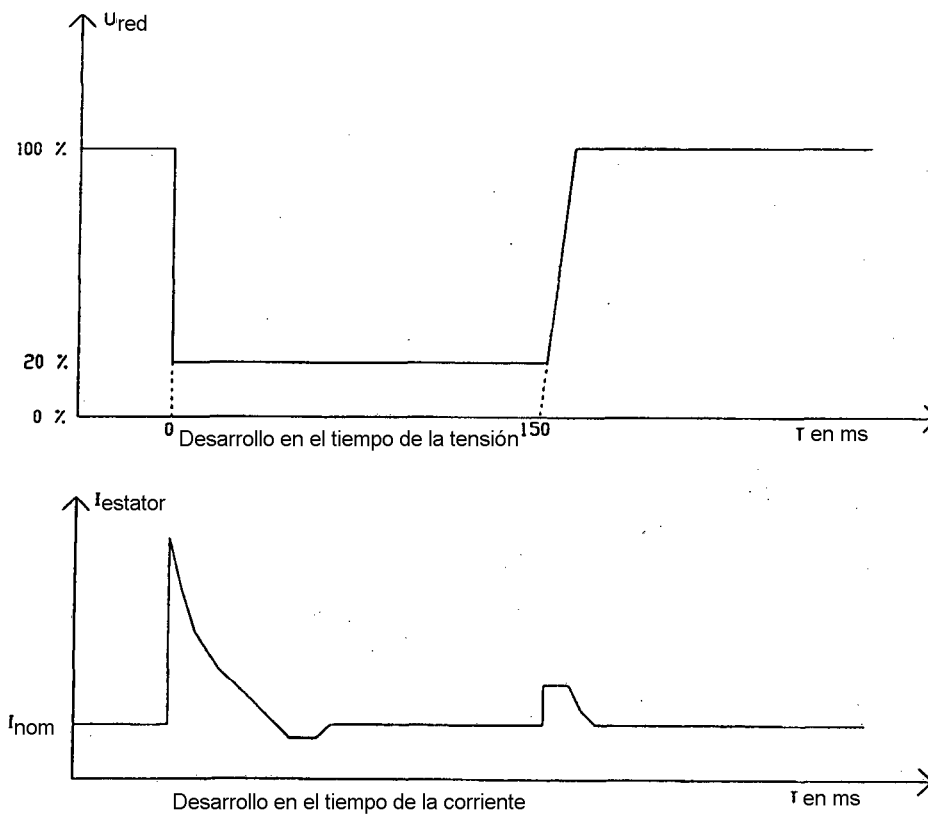


Fig. 2

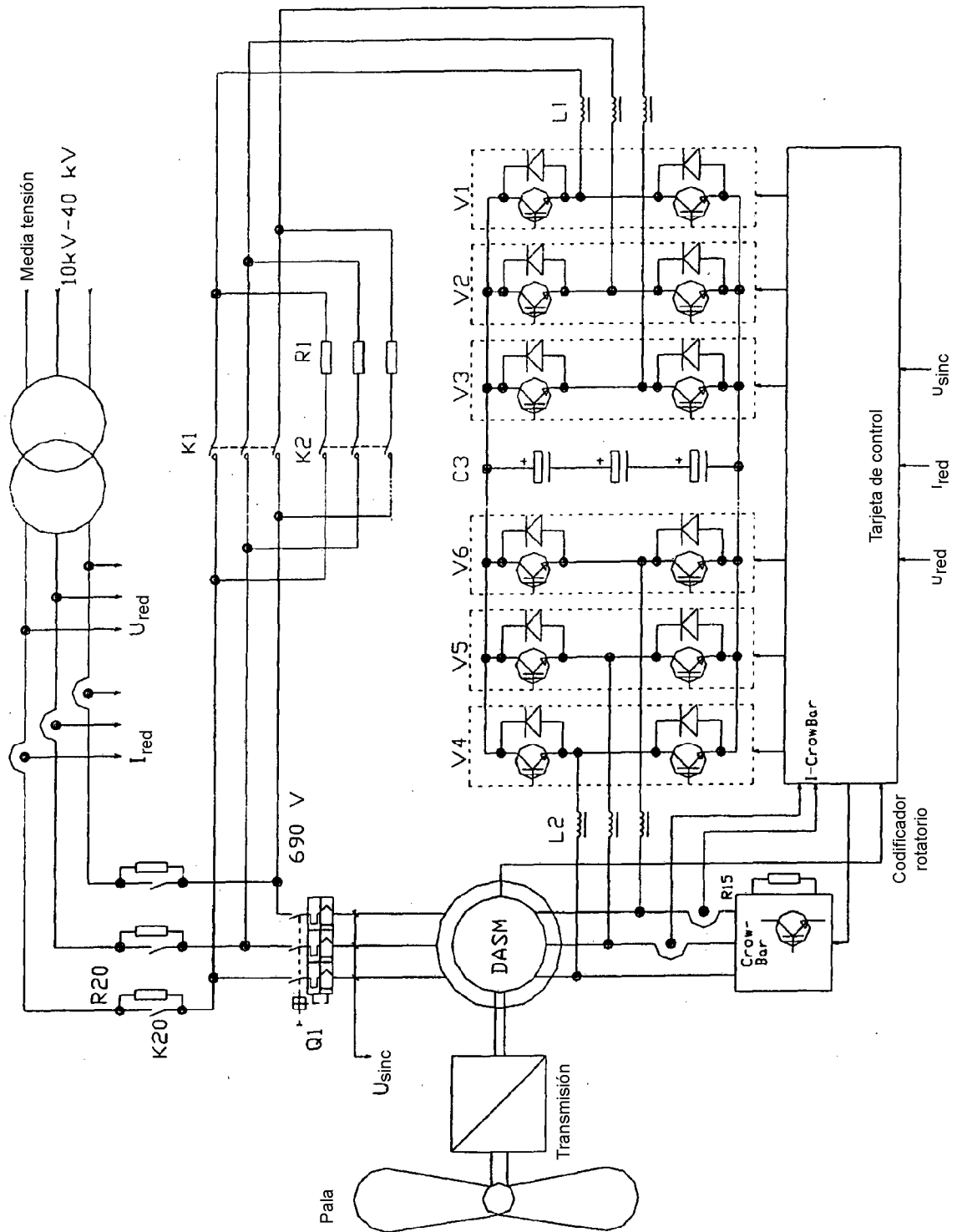


Fig. 3

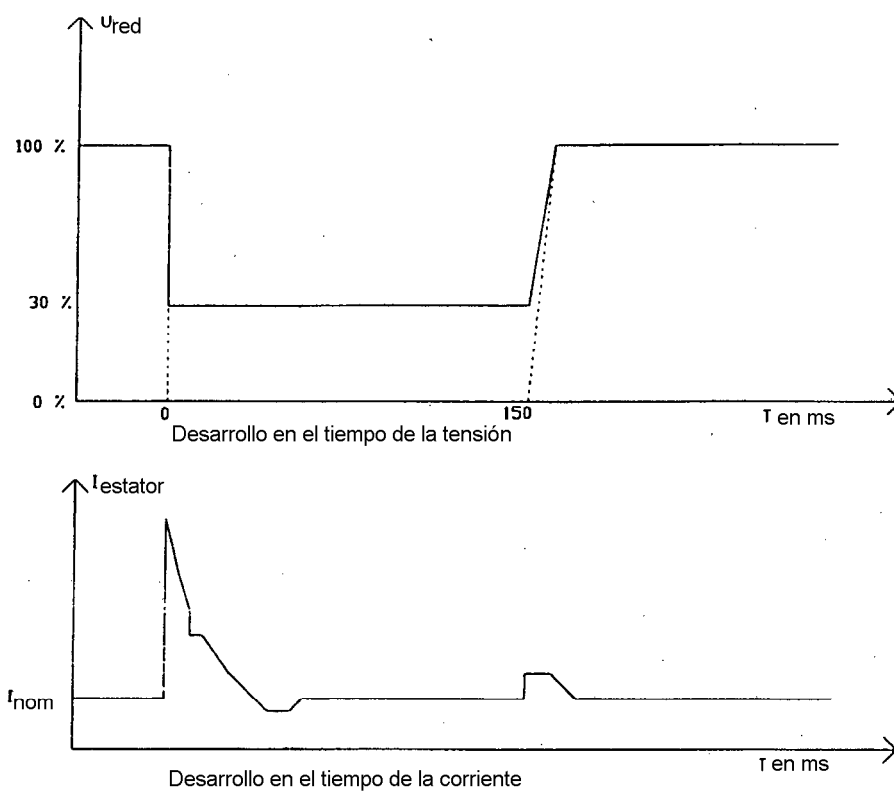


Fig. 4

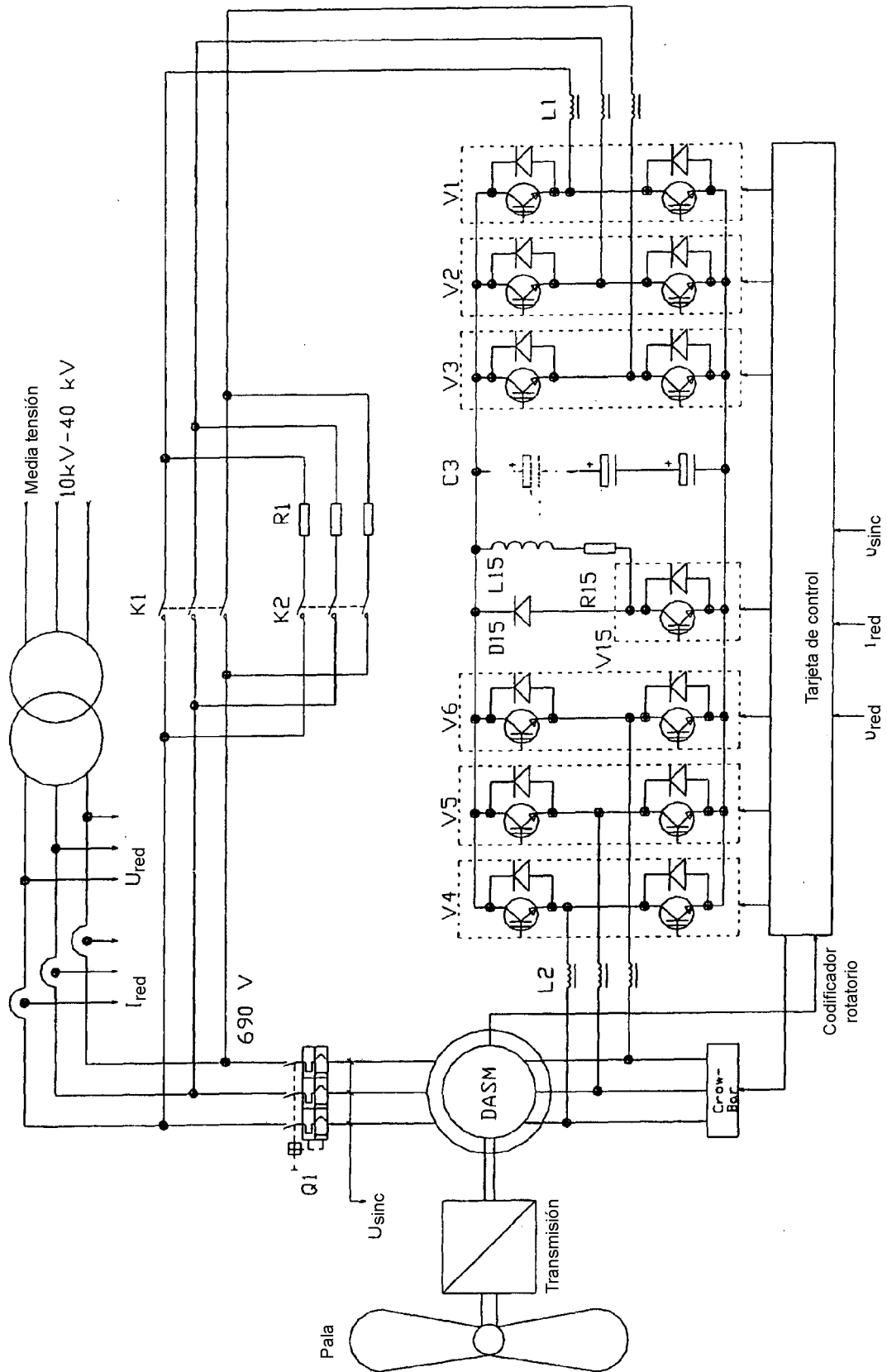


Fig. 5