

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 385 823**

51 Int. Cl.:

H02P 3/22 (2006.01)

F03D 7/02 (2006.01)

H02K 3/47 (2006.01)

H02K 21/24 (2006.01)

H02P 3/12 (2006.01)

F03D 7/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02804292 .7**

96 Fecha de presentación: **02.12.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1459435**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **22.09.2004**

54 Título: **Generador de corriente alterna síncrono que incorpora un mecanismo de frenado**

30 Prioridad:
01.12.2001 GB 0128808
01.12.2001 GB 0128854

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.08.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.08.2012

73 Titular/es:
Iskra Wind Turbines Ltd.
Unit 13 Loughborough Innovation Centre Epinal
Way
Loughborough LE11 3EH, GB

72 Inventor/es:
WASTLING, Michael Andrew;
BALSON, John Charles;
CANN, Robert James y
IRVING, David

74 Agente/Representante:
Mir Plaja, Mireia

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).

ES 2 385 823 T3

DESCRIPCIÓN

Generador de corriente alterna síncrono que incorpora un mecanismo de frenado

5 **[0001]** La presente invención se refiere a un generador de corriente alterna síncrono que incorpora un mecanismo de frenado, por ejemplo, para su uso en una turbina eólica.

10 **[0002]** Es habitual que las turbinas eólicas utilicen un generador eléctrico de imanes permanentes con el fin de generar electricidad. Un requisito aparte en el diseño de una turbina eólica consiste en proporcionar un mecanismo de frenado para situar la turbina eólica en reposo durante su funcionamiento normal y/o en el caso de que se desarrolle una condición de avería.

15 **[0003]** Se conoce la provisión de frenado para un generador eléctrico simplemente aplicando una carga resistiva, o una carga capacitivo-resistiva, en la salida eléctrica del generador.

[0004] Para ciertos generadores, se puede identificar una resistencia adecuada que generará un par de frenado mayor que el proporcionado por el viento y que ralentizará la turbina.

20 **[0005]** Desafortunadamente, a medida que la velocidad de la turbina se reduce el voltaje eléctrico producido por el generador también se reduce y, consecuentemente, disminuye también el par de frenado generado por la resistencia. Potencialmente, la reducción del par de frenado generada por la resistencia es mayor que el par generado por el viento y el resultado puede ser que la turbina se ralentice, pero que no se detenga.

25 **[0006]** Para garantizar que la turbina eólica se ralentiza sustancialmente hasta detenerse, es necesario conectar una carga resistiva muy baja a la salida eléctrica del generador, potencialmente incluso un cortocircuito. Es probable que esto resulte eficaz, aunque presenta la desventaja de que se impone un par de frenado eléctrico muy alto sobre la turbina eólica si el cortocircuito se aplica cuando la máquina está funcionando a velocidad completa.

30 **[0007]** Para garantizar que la turbina eólica se ralentiza sustancialmente hasta detenerse, es una práctica habitual utilizar un freno mecánico. No obstante, un freno mecánico es caro, particularmente si el mismo está destinado a funcionar a velocidades de rotación elevadas y a velocidades elevadas del viento.

35 **[0008]** De aquí se deduce que es improbable que una simple carga resistiva sobre el generador ofrezca un rendimiento satisfactorio, y es probable que un freno mecánico resulte demasiado costoso. El documento US 5189360, que se considera como el documento más próximo de la técnica anterior, describe un aparato y un método para generar eléctricamente un par de frenado mecánico el cual utiliza accionamiento de campo directo que incorpora un alternador AC más un regulador de corriente. Los devanados del estátor del alternador están acoplados directamente al devanado de campo a través de un rectificador de onda completa y el regulador de corriente.

40 **[0009]** El documento US 4401927 describe un motor de corriente continua que incluye un troceador en serie con la bobina de campo del motor para regular la corriente que fluye a través de la armadura del motor durante un frenado eléctrico cuando el motor funciona como generador para producir corriente. Adicionalmente, un dispositivo de derivación está conectado a la bobina de campo para regular la corriente que fluye a través de la bobina de manera que la misma se mantenga en un valor menor que la corriente de la armadura.

45 **[0010]** El documento EP 0704961 describe un procedimiento y un aparato para frenar un motor síncrono magnetizado con imanes permanentes. Un resistor de frenado no lineal se conecta a los conectores de entrada del motor síncrono por medio de lo cual se cierran los devanados del estátor del motor síncrono.

50 **[0011]** Es un objetivo de la presente invención proporcionar un generador de corriente alterna síncrono que incorpore un mecanismo de frenado el cual supere o por lo menos atenúe las desventajas anteriores.

55 **[0012]** Según la presente invención, se proporciona un generador de corriente alterna síncrono que incorpora un mecanismo de frenado, en donde el mecanismo de frenado comprende una bobina que proporciona una inductancia predeterminada y una resistencia predeterminada, y medios de conmutación en donde los medios de conmutación están configurados para conectar la bobina en una salida de corriente alterna del generador, con lo cual la inductancia proporciona una reactancia que depende de la frecuencia de la salida de corriente alterna del generador, incrementándose a medida que la velocidad de rotación aumenta y reduciendo consecuentemente el par de frenado.

60 **[0013]** El generador puede ser un generador de imanes permanentes.

[0014] El generador puede incorporar bobinas con núcleo de aire.

[0015] La inductancia predeterminada y la resistencia predeterminada pueden estar incorporadas en una única bobina.

[0016] La bobina puede estar provista de un núcleo para sintonizar la inductancia de la bobina. El núcleo se puede construir para maximizar pérdidas por corrientes de Foucault y pérdidas asociadas al magnetismo residual inverso. De manera adicional o alternativa, el núcleo se puede construir de tal manera que, durante su uso, se sature con flujo magnético.

[0017] La resistencia predeterminada de la bobina se puede obtener determinando la relación de la longitud con respecto al área de sección transversal de un hilo metálico que forme la bobina. La resistencia predeterminada de la bobina se puede obtener adicionalmente seleccionando el material del hilo metálico.

[0018] La inductancia predeterminada de la bobina se puede obtener determinando el número de vueltas y dimensiones de la bobina. La inductancia predeterminada de la bobina se puede obtener adicionalmente proporcionando un núcleo para la bobina.

[0019] La masa de la bobina se puede seleccionar de manera que absorba suficiente energía para situar el generador en reposo sin sobrecalentamiento.

[0020] El generador puede proporcionar múltiples fases y una bobina y se pueden proporcionar medios de conmutación para cada fase.

[0021] La presente invención se refiere también a una turbina eólica que incorpora un generador de corriente alterna síncrono tal como se ha definido anteriormente en la presente.

[0022] Para entender mejor la presente invención y para mostrar más claramente cómo se puede llevar a la práctica la misma, a continuación se hará referencia, a título de ejemplo, a los dibujos adjuntos, en los cuales:

la Figura 1 es una vista en planta de parte de un conjunto de estátor de una realización de un generador eléctrico adecuado para su uso en la presente invención;

la Figura 2 es una sección tomada según la línea A-A mostrada en la Figura 1;

la Figura 3 es una vista en perspectiva de la parte de conjunto de estátor mostrada en las Figuras 1 y 2, fijada a un árbol principal para formar un conjunto de estátor;

la Figura 4 es una vista en perspectiva de un conjunto de rotor para su uso con el conjunto de estátor mostrado en las Figuras 1 a 3, apareciendo en sección de corte parcial, por claridad, una placa superior del conjunto de rotor;

la Figura 5 es una vista en perspectiva del generador eléctrico que incorpora el conjunto de rotor de la Figura 4 y el conjunto de estátor de las Figuras 1 a 3, apareciendo en sección de corte parcial, por claridad, una placa superior del conjunto de rotor;

la Figura 6 es una ilustración esquemática de una realización de un generador eléctrico provisto de un mecanismo de frenado de acuerdo con la presente invención;

la Figura 7 es una ilustración esquemática de otra realización de un generador eléctrico de acuerdo con la presente invención, provisto de un mecanismo de frenado según la presente invención;

la Figura 8 es una gráfica que ilustra una serie de relaciones entre la velocidad de rotación del generador con respecto al par; y

la Figura 9 es una gráfica que ilustra una serie de relaciones adicionales entre la velocidad de rotación de un generador con respecto al par.

[0023] Las Figuras 1 y 2 muestran parte de un conjunto de estátor de un generador eléctrico de corriente alterna síncrono, de imanes permanentes, que comprende un cuerpo anular 3 de material plástico reforzado con fibra de vidrio u otro material adecuado no magnético y no conductor eléctricamente. Unida a un lateral del cuerpo anular 3 se encuentra una capa única de bobinas conductoras planas 1 que se presentan en forma de bobinas de hilo de cobre, con núcleo de aire, estando dispuestas las bobinas 1 sustancialmente lado con lado en una configuración anular coaxial con el eje del cuerpo anular 3. Unida al otro lateral del cuerpo anular 3 se encuentra una capa única adicional de bobinas conductoras planas 2 que también se presentan en forma de bobinas de hilo de cobre con núcleo de aire. Las bobinas 2 están dispuestas sustancialmente lado con lado en una configuración anular coaxial con el eje del cuerpo anular 3 y a un radio sustancialmente igual al de la capa de bobinas 1. El conjunto del cuerpo anular 3 y las capas de bobinas 1 y 2 está embebido en un material 4 de resina, tal como un material de resina epoxi u otro material de resina plástica, para

formar parte de un conjunto de estátor, de modo que el material de resina proporciona ubicación, protección y aislamiento eléctrico para las bobinas.

[0024] Tal como puede observarse a partir de la Figura 1, las dos capas de bobinas planas 1 y 2 están desplazadas circunferencialmente una con respecto a otra en una magnitud correspondiente a la mitad de la dimensión circunferencial de las bobinas, es decir, en una magnitud correspondiente de forma sustancial al paso de bobinas adyacentes dividido por el número de capas.

[0025] Si se desea, el conjunto de estátor puede estar provisto de paredes finas en las caras axiales del mismo, con el fin de proteger las bobinas y rigidizar el conjunto de estátor, sin reducir significativamente la capacidad de las bobinas de refrigerarse mediante flujo de aire.

[0026] Tal como puede observarse a partir de la Figura 3, el conjunto de estátor se completa afianzando el componente de estátor de las Figuras 1 y 2 a un árbol principal 5 por medio de un núcleo 6 de estátor radiado que se fija al componente de estátor de las Figuras 1 y 2 a través de medios de fijación adecuados. Los radios del núcleo 6 de estátor permiten que pase aire a cada lado del conjunto de estátor con fines relacionados con la refrigeración.

[0027] La Figura 4 muestra un conjunto de rotor que comprende dos placas paralelas 9 y 10 las cuales están afianzadas entre sí en torno a las periferias de las mismas mediante una pluralidad de espaciadores 12, de tal manera que las placas 9 y 10 no son giratorias una con respecto a otra. Las placas 9 y 10 están montadas giratoriamente en torno a un eje común en el árbol principal 5 por medio de un cojinete 11. Cada una de las placas 9 y 10 está realizada con una única pieza de material magnético blando, tal como acero dulce.

[0028] Con material magnético blando se pretende significar en la presente un material que es magnetizable en un campo magnético, pero no es magnetizable de manera permanente.

[0029] Una pluralidad de imanes permanentes 7 está afianzada a la placa 9 en aquella cara de la misma que está encarada a la placa 10, estando dispuestos los imanes 7 lado con lado en una formación anular coaxial con el eje del árbol principal 5 y a un radio correspondiente sustancialmente al de las de las bobinas 1 y 2. Los imanes 7 están dispuestos radialmente de tal manera que polos de polaridad opuesta son adyacentes en imanes contiguos.

[0030] Una pluralidad similar de imanes permanentes 8 está afianzada a la placa 10 en aquella cara de la misma que está encarada a la placa 9, estando dispuestos los imanes 8 lado con lado en una formación anular coaxial con el eje del árbol principal 5 y a un radio correspondiente sustancialmente al de los imanes 7 y las bobinas 1 y 2. Los imanes 8 están dispuestos radialmente de tal manera que polos de polaridad opuesta son adyacentes en imanes contiguos, y de tal modo que cada imán 8 está encarado a un imán correspondiente 7, quedando en oposición mutua los polos de polaridad opuesta.

[0031] La Figura 5 muestra el conjunto de estátor de la Figura 3 posicionado dentro del conjunto de rotor de la Figura 4, con las bobinas 1 y 2 posicionadas en un entrehierro de magnitud determinada entre las dos formaciones anulares de imanes 7 y 8 que están afianzadas a las placas 9 y 10.

[0032] La configuración de las bobinas 1 y 2 como bobinas planas y la posición de las bobinas situadas de plano en caras opuestas del cuerpo anular 3 permite que las bobinas se sitúen cerca de los imanes permanentes 7 y 8, permitiendo así mantener a un valor mínimo el tamaño del entrehierro, aunque al mismo tiempo presentando sustancialmente el área superficial completa de cada bobina con fines relacionados con la refrigeración. El cuerpo anular puede ser tan grueso como pueda ser necesario por motivos de estabilidad dimensional sin reducir la capacidad de las bobinas de refrigerarse mediante liberación de calor por la cara expuesta de las mismas.

[0033] El uso de una única pieza de material magnético blando para cada una de las placas 9 y 10, es decir, las placas no están laminadas, presenta la ventaja de que la producción de las placas 9 y 10 resulta económica y las mismas son suficientemente resistentes para soportar otros componentes, tales como un álabe de una turbina eólica. No obstante, una construcción unitaria para las placas 9 y 10 da origen a pérdidas por corrientes de Foucault dentro de las placas. A su vez, las pérdidas por corrientes de Foucault se reducen, proporcionando las dos capas de bobinas planas que están desplazadas circunferencialmente una con respecto a otra en una magnitud correspondiente a la mitad de la dimensión circunferencial de las bobinas.

[0034] El generador eléctrico ilustrado en las Figuras 1 a 5 es una máquina trifásica en la cual la separación angular entre bobinas adyacentes es una vez y un tercio la separación angular entre imanes adyacentes (definiéndose la separación angular como el ángulo entre los centros de bobinas o imanes adyacentes, según sea el caso, medido con respecto al eje de rotación). Así, en la realización ilustrada hay doce bobinas 1, doce bobinas 2 y dieciséis imanes 7 y dieciséis imanes 8. Las bobinas 1 y 2 están conectadas de tal manera que las fases alternan entre las capas de bobinas. Así, una primera fase puede ser una bobina 1, una segunda fase a continuación es una bobina 2 superpuesta parcialmente sobre la bobina 1 de la primera fase, una tercera fase es a continuación una bobina 1 adyacente a la

bobina 1 de la primera fase y superpuesta parcialmente sobre la bobina 2 de la segunda fase. El patrón continúa entonces con la primera fase siendo una bobina 2 adyacente a la bobina 2 de la segunda fase y superpuesta parcialmente sobre la bobina 1 de la tercera fase, y así sucesivamente.

5 **[0035]** Se apreciará que en la presente invención se pueden utilizar otras formas de generadores de corriente alterna síncronos, y que los mismos pueden ser, por ejemplo, generadores de imanes permanentes o generadores de electroimanes.

10 **[0036]** El generador de corriente alterna síncrono está conectado a un mecanismo de frenado según se ilustra, por ejemplo, en la Figura 6 ó en la Figura 7.

15 **[0037]** La Figura 6 ilustra esquemáticamente el mecanismo de frenado en combinación con un generador trifásico 16 conectado en estrella. Las tres fases 17, 18 y 19 están conectadas, cada una de ellas, a una línea neutra 20 por medio de una bobina combinada inductiva y resistiva 21 y un conmutador 22. Cada una de las bobinas 21 tiene una inductancia predeterminada y una resistencia predeterminada tal como se explicará de forma más detallada posteriormente en la presente. Los conmutadores 22 están conectados todos ellos para conmutar y retener simultáneamente.

20 **[0038]** La Figura 7 ilustra esquemáticamente el mecanismo de frenado en combinación con un generador trifásico 16 conectado o bien en triángulo o bien en estrella. Las tres fases 17, 18 y 19 están interconectadas por medio de una bobina combinada inductiva y resistiva 21 y un conmutador 22. Cada una de las bobinas 21 tiene una inductancia predeterminada y una resistencia predeterminada tal como se explicará de forma más detallada posteriormente en la presente. Los conmutadores 22 están conectados todos ellos para conmutar y retener simultáneamente.

25 **[0039]** Las bobinas 21 pueden presentarse en forma de bobinas de hilo metálico de cobre u otro material adecuado, con un núcleo opcional para sintonizar la inductancia de la bobina. Puede que resulte deseable maximizar las pérdidas en el núcleo, incluyendo aquellas asociadas a corrientes de Foucault y al magnetismo residual inverso, con el fin de reducir la proporción de la energía que es necesario disipar dentro de la propia bobina. Esto puede permitir el uso de una bobina más pequeña. La relación de la longitud del hilo metálico con respecto a su área de sección transversal se puede seleccionar para producir una resistencia predeterminada, mientras que el número de vueltas, las dimensiones de la bobina y la naturaleza de cualquier núcleo se pueden seleccionar para producir una inductancia predeterminada. La masa total del hilo metálico debería ser suficiente para absorber la energía disipada por la carga durante el frenado sin calentarse demasiado. Así, no se requiere una carga resistiva aparte.

35 **[0040]** La Figura 8 es una gráfica que ilustra una serie de relaciones entre la velocidad de rotación S del generador como porcentaje de la velocidad de diseño máxima con respecto al par T en calidad relación del par real con respecto al par nominal. La línea continua A de la Figura 8 representa el par aerodinámico máximo que tiene una turbina eólica particular que incorpora el generador a su velocidad de viento de diseño en función de la velocidad de rotación.

40 **[0041]** Con el fin de reducir la velocidad de rotación de la turbina eólica, y por tanto la velocidad de rotación del generador, el generador debe proporcionar un par mayor que el par aerodinámico, es decir, el generador debe producir un par que se sitúe por encima de la línea continua A de la Figura 8.

45 **[0042]** La línea de trazos más superior B representa el par de frenado producido por el generador en el caso de un cortocircuito. La línea B muestra que el generador es capaz de aplicar un par muy alto a velocidades de rotación altas. Un par tan alto a velocidades elevadas no resulta satisfactorio debido a que puede provocar desperfectos en el generador y/o el resto de la turbina eólica.

50 **[0043]** Comparando la línea B con la línea continua A que representa el par aerodinámico máximo, resulta evidente que, con un cortocircuito aplicado, el generador es capaz de ralentizar la turbina eólica hasta una velocidad de rotación muy baja. De aquí se deduce que un cortocircuito resulta útil para evitar que la turbina eólica se ponga en marcha en caso de que inicialmente esté parada, aunque no resulta adecuado como parte de un mecanismo de frenado para ralentizar la turbina a partir de velocidades de rotación elevadas.

55 **[0044]** La línea de trazos más inferior C representa el par de frenado producido por el generador para una carga resistiva que se selecciona para lograr un par de frenado de sustancialmente 1,4 veces el par aerodinámico a velocidad de rotación total. La línea C está por encima de la línea continua A únicamente cuando la velocidad de rotación está por encima aproximadamente el 60 por ciento de la velocidad de rotación máxima. De aquí se deduce que, en este caso, la turbina eólica no se puede ralentizar por debajo de esta velocidad.

60 **[0045]** En los casos en los que una bobina 21 está provista de un núcleo, puede resultar deseable diseñar el núcleo de tal modo que la densidad de flujo magnético sature el mismo a velocidades elevadas del generador. Esto puede proporcionar un control adicional sobre la curva de frenado de velocidad/par del generador.

[0046] Así, una carga puramente resistiva no es satisfactoria como mecanismo de frenado ya que una carga que genera un par suficiente para ralentizar la turbina sustancialmente hasta detenerla genera un par de frenado potencialmente dañino a velocidades de rotación elevadas, mientras que una carga que genere un par de frenado inferior a velocidades de rotación elevadas resulta insuficiente para ralentizar la turbina sustancialmente hasta detenerla.

[0047] La línea de trazos intermedia D ilustra el par de frenado del generador resultante de una carga inductiva y resistiva combinada en la cual el elemento resistivo de la carga se puede usar para determinar la forma de la parte inferior de la línea D, mientras que el elemento inductivo de la carga se puede usar para determinar la forma de la parte superior de la línea D. La inductancia proporciona una reactancia que depende de la frecuencia de la salida del generador, y por lo tanto depende de la velocidad de rotación de la turbina eólica, incrementándose a medida que aumenta la velocidad de rotación y reduciendo consecuentemente el par de frenado. Así, la línea D presenta claramente en la parte superior de la línea el mismo par de frenado máximo que la línea C, aunque presente claramente en la parte inferior de la línea características similares a la línea B. La línea C está siempre por encima de la línea continua A que representa el par aerodinámico y por lo tanto es capaz de aplicar par de frenado a todas las velocidades de la turbina desde velocidades de rotación elevadas bajando hasta velocidades de rotación muy reducidas.

[0048] De este modo, la línea D demuestra claramente que es posible utilizar una carga combinada resistiva e inductiva para posibilitar que un generador de corriente alterna síncrono ralentice una turbina eólica tanto a velocidades de rotación elevadas como a velocidades de rotación bajas sin provocar desperfectos potencialmente en el generador y/o el resto de la turbina, y de una manera particularmente sencilla y cómoda sin necesitar el uso de múltiples resistencias, o una combinación de resistencia y capacidad, y sin necesitar un freno mecánico aparte. De este modo, la carga combinada resistiva e inductiva funciona como un mecanismo combinado de emergencia y de frenado de estacionamiento.

[0049] Para aplicar el freno en el caso de que se desarrolle una condición de avería serían necesarios circuitos adicionales de monitorización y conmutación. No obstante, dichos componentes y su uso son bien conocidos para aquellos expertos en la materia. También puede que sean necesarios componentes adicionales para reducir la magnitud de transitorios de voltaje y posibles interferencias electromagnéticas asociadas a la conmutación. No obstante, nuevamente dichos componentes y su uso son bien conocidos para los expertos.

[0050] La Figura 9 es una gráfica similar a la Figura 8, que ilustra una serie de relaciones adicionales entre la velocidad de rotación S del generador en función de la velocidad máxima en relación con el par como proporción del par real con respecto al par que se debe proporcionar para decelerar la máquina. En la práctica, se requiere un freno que logre $T=1,4$ a $S=1$ y que tenga un par lo más alto posible (menor que $T=1,4$) a velocidades de rotación menores. Las diversas líneas B, D, E y E' de la Figura 9 se muestran para ilustrar los efectos de varios parámetros de diseño.

[0051] Cualquier generador síncrono tiene una inductancia y una resistencia características. Si las salidas del generador se cortocircuitan, entonces el generador proporcionará un par de reacción, o frenado, que varía con la velocidad de rotación. A velocidades de rotación bajas, el par de reacción es pequeño, aunque inicialmente se incrementa de manera sustancialmente lineal al aumentar la velocidad de rotación. La velocidad de aumento del par se reduce finalmente y existe una velocidad de rotación de par de frenado máximo, más allá de la cual el par disminuye al aumentar la velocidad de rotación.

[0052] Se ha observado que, sustituyendo el cortocircuito por una inductancia y resistencia combinadas, la relación entre el par de frenado y la velocidad de rotación se puede modificar para lograr características de frenado deseadas. El aumento de la inductancia reduce el par de frenado máximo y reduce también la velocidad de rotación a la cual se logra el par de frenado máximo. El aumento de la resistencia no tiene ningún impacto sobre el par de frenado máximo, aunque hace que aumente la velocidad de rotación a la cual se logra el par máximo.

[0053] La proporción de la energía total disipada durante el frenado, que se usa para calentar la inductancia y la resistencia combinadas, depende únicamente de la resistencia de la carga en comparación con la resistencia del generador.

[0054] Así, en referencia a la Figura 9, se puede usar el siguiente procedimiento para diseñar un freno combinado inductivo/resistivo adecuado.

[0055] La primera etapa es garantizar que el generador se diseña con capacidad de producir un par de frenado máximo que supera el par de frenado requerido y garantizar que la resistencia de los devanados del generador es suficientemente baja de modo que el par de frenado requerido se puede lograr a una velocidad de rotación que está por debajo de la velocidad a la cual se requiere este par de frenado. La línea B de la Figura 9 ilustra las características de cortocircuito de un generador que cumple estos requisitos.

[0056] La segunda etapa es identificar la inductancia a añadir para lograr el par de frenado máximo requerido. El efecto de la inductancia consiste en modificar la línea B que representa la condición de cortocircuito con el fin de que dé como resultado la línea E.

5 **[0057]** La tercera etapa consiste en identificar la resistencia que se requiere para ajustar la velocidad de rotación a la cual se logra el par de frenado máximo. De este modo, la línea D ilustra que la línea E se modifica simplemente aumentando la resistencia.

10 **[0058]** La cuarta etapa consiste en calcular la energía total a disipar durante el frenado y en calcular la proporción de esta energía a disipar en la carga, basándose en la resistencia de la carga como proporción de la resistencia del circuito total. A continuación, la cifra correspondiente a la energía se usa para calcular la masa requerida de la carga basándose en una elevación de temperatura permisible.

15 **[0059]** Dados los valores para la inductancia, la resistencia y la masa, se pueden diseñar las bobinas.

20 **[0060]** En una tercera etapa alternativa, la resistencia se mantiene lo más baja posible y el inductor se diseña de modo que el flujo sature el núcleo de la inductancia un poco por encima de la velocidad a la cual se logra el par máximo. Esto da como resultado una modificación de la línea E en la cual el par de frenado no disminuye al aumentar la velocidad de rotación según se ilustra de forma idealizada en forma de la línea E'. En la práctica, la forma del lado derecho de la línea es sensible a las características magnéticas del material o materiales del núcleo y la geometría del inductor y el núcleo. Claramente, la forma de la línea E' es preferible a la de la línea D. Esta alternativa también presenta las ventajas de que, puesto que el calor generado en la bobina durante el frenado (que está relacionado directamente con la resistencia de la bobina) se reduce, la bobina puede ser más pequeña puesto que no requiere una masa térmica tan grande. Así, esta alternativa puede dar origen a un mecanismo de frenado menos caro así como a unas características de frenado mejoradas.

30 **[0061]** El uso de bobinas 1 y 2 con núcleo de aire en el generador da como resultado una menor inductancia en el generador con respecto a la que se obtendría en otro caso, y se cree que esto hace que aumente el par de frenado resultante de un cortocircuito. Así, el uso de una carga combinada resistiva e inductiva resulta particularmente eficaz con generadores en los cuales la inductancia es suficientemente baja de modo que un cortocircuito produciría un par de frenado mayor que el mínimo necesario para ralentizar la máquina. El uso de una resistencia e inductancia combinadas permite sintonizar la forma de la curva de par/velocidad para obtener unas características de frenado mejoradas en un intervalo de velocidades amplio.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Generador de corriente alterna síncrono que incorpora un mecanismo de frenado, caracterizado porque el mecanismo de frenado comprende una bobina (21) que proporciona una inductancia predeterminada y una resistencia predeterminada, y medios (22) de conmutación caracterizados porque los medios (22) de conmutación están configurados para conectar la bobina en una salida de corriente alterna del generador, con lo cual la inductancia proporciona una reactancia que depende de la frecuencia de la salida de corriente alterna del generador, incrementándose a medida que la velocidad de rotación aumenta y reduciendo consecuentemente el par de frenado.
- 10 2. Generador según la reivindicación 1, caracterizado porque el generador es un generador de imanes permanentes.
3. Generador según la reivindicación 1 ó 2, caracterizado porque el generador incorpora bobinas (1, 2) con núcleo de aire.
- 15 4. Generador según cualquier reivindicación anterior, caracterizado porque la inductancia predeterminada y la resistencia predeterminada están incorporadas en una única bobina (21).
5. Generador según cualquier reivindicación anterior, caracterizado porque la bobina (21) está provista de un núcleo.
- 20 6. Generador según la reivindicación 5, caracterizado porque el núcleo está construido para maximizar las pérdidas por corrientes de Foucault y pérdidas asociadas a magnetismo residual inverso.
- 25 7. Generador según la reivindicación 5 ó 6, caracterizado porque el núcleo está construido de tal manera que, durante el uso, se satura con flujo magnético.
8. Generador según cualquier reivindicación anterior, caracterizado porque la resistencia predeterminada de la bobina (21) se obtiene determinando la relación de la longitud con respecto al área de sección transversal de un hilo metálico que forma la bobina.
- 30 9. Generador según la reivindicación 8, caracterizado porque la resistencia predeterminada de la bobina (21) se obtiene adicionalmente seleccionando el material del hilo metálico.
- 35 10. Generador según cualquier reivindicación anterior, caracterizado porque la inductancia predeterminada de la bobina (21) se obtiene determinando el número de vueltas y dimensiones de la bobina.
11. Generador según la reivindicación 10, caracterizado porque la inductancia predeterminada de la bobina (21) se obtiene adicionalmente proporcionando un núcleo para la bobina.
- 40 12. Generador según cualquier reivindicación anterior, caracterizado porque la masa de la bobina se selecciona de manera que absorba suficiente energía para situar el generador en reposo sin sobrecalentamiento.
13. Generador según cualquier reivindicación anterior, caracterizado porque el generador proporciona múltiples fases (17, 18, 19) y una bobina (21) y se proporcionan medios (22) de conmutación para cada fase.
- 45 14. Turbina eólica que incorpora un generador de corriente alterna síncrono según cualquier reivindicación anterior.

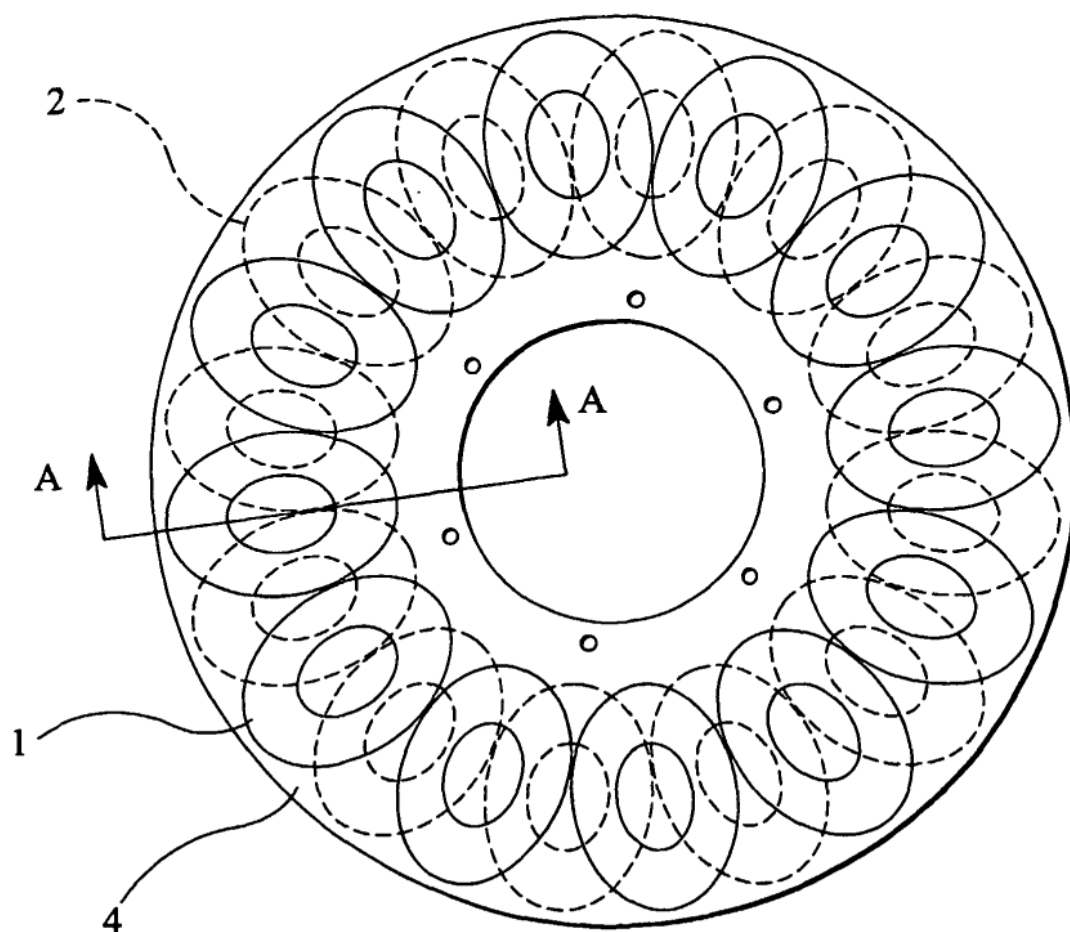


FIG 1

FIG 2

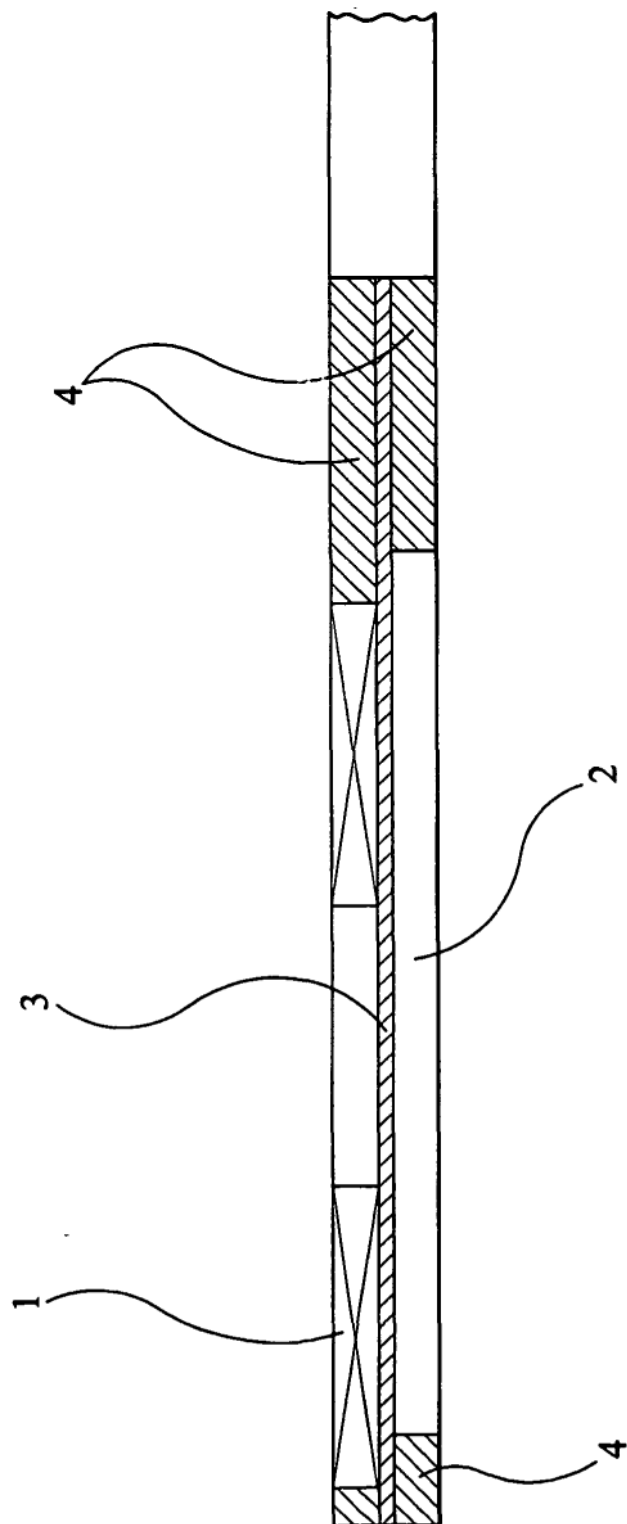


FIG 3

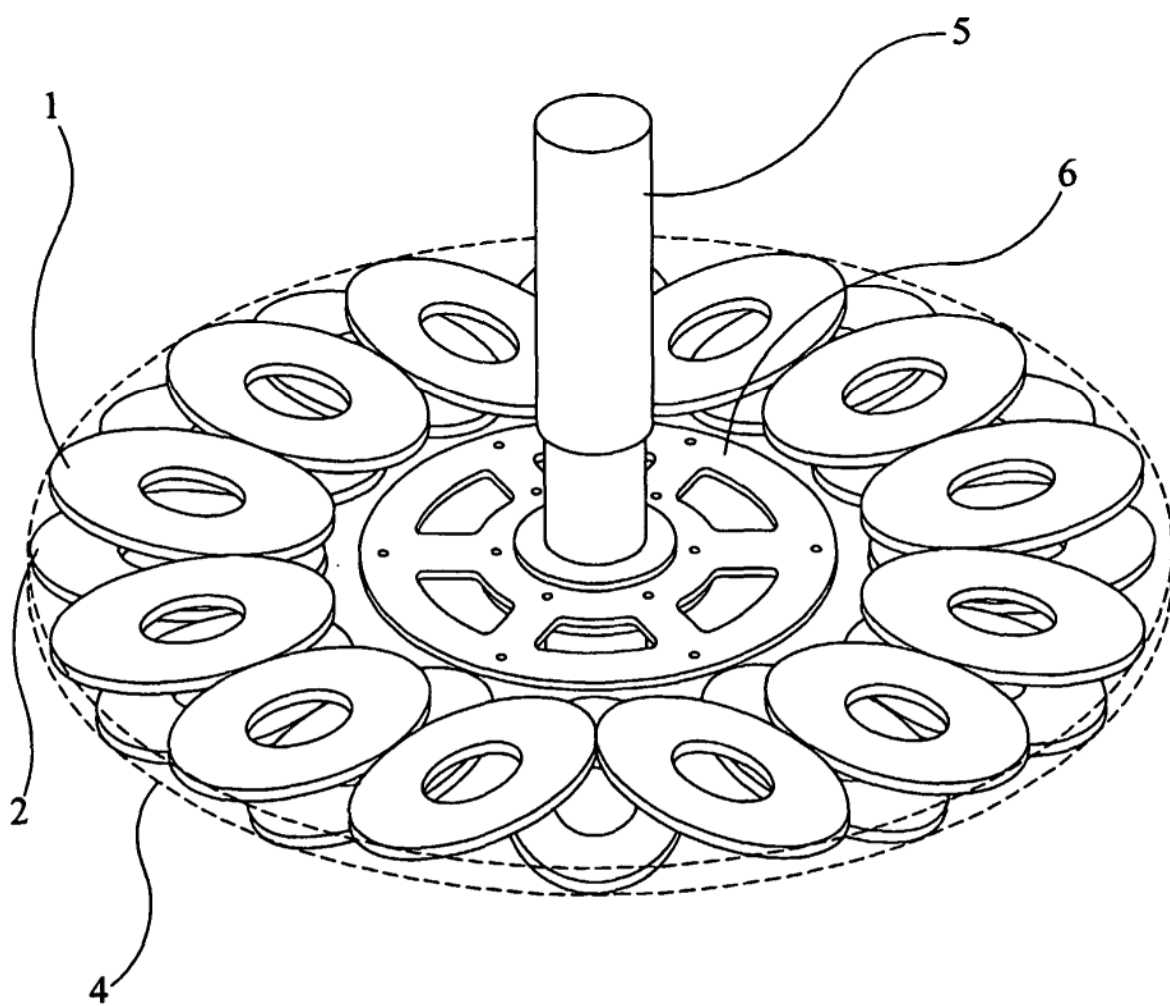


FIG 4

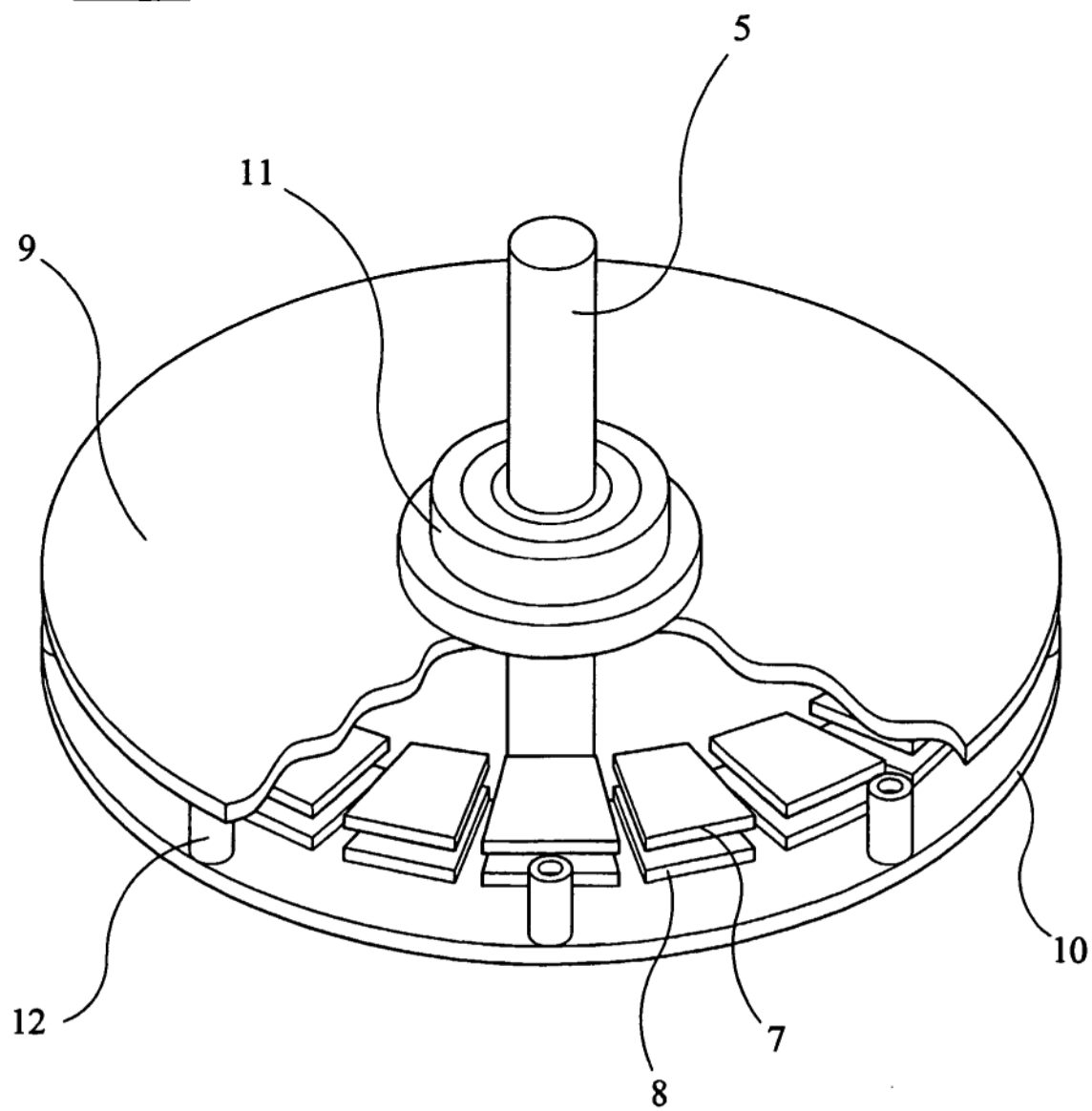


FIG 5

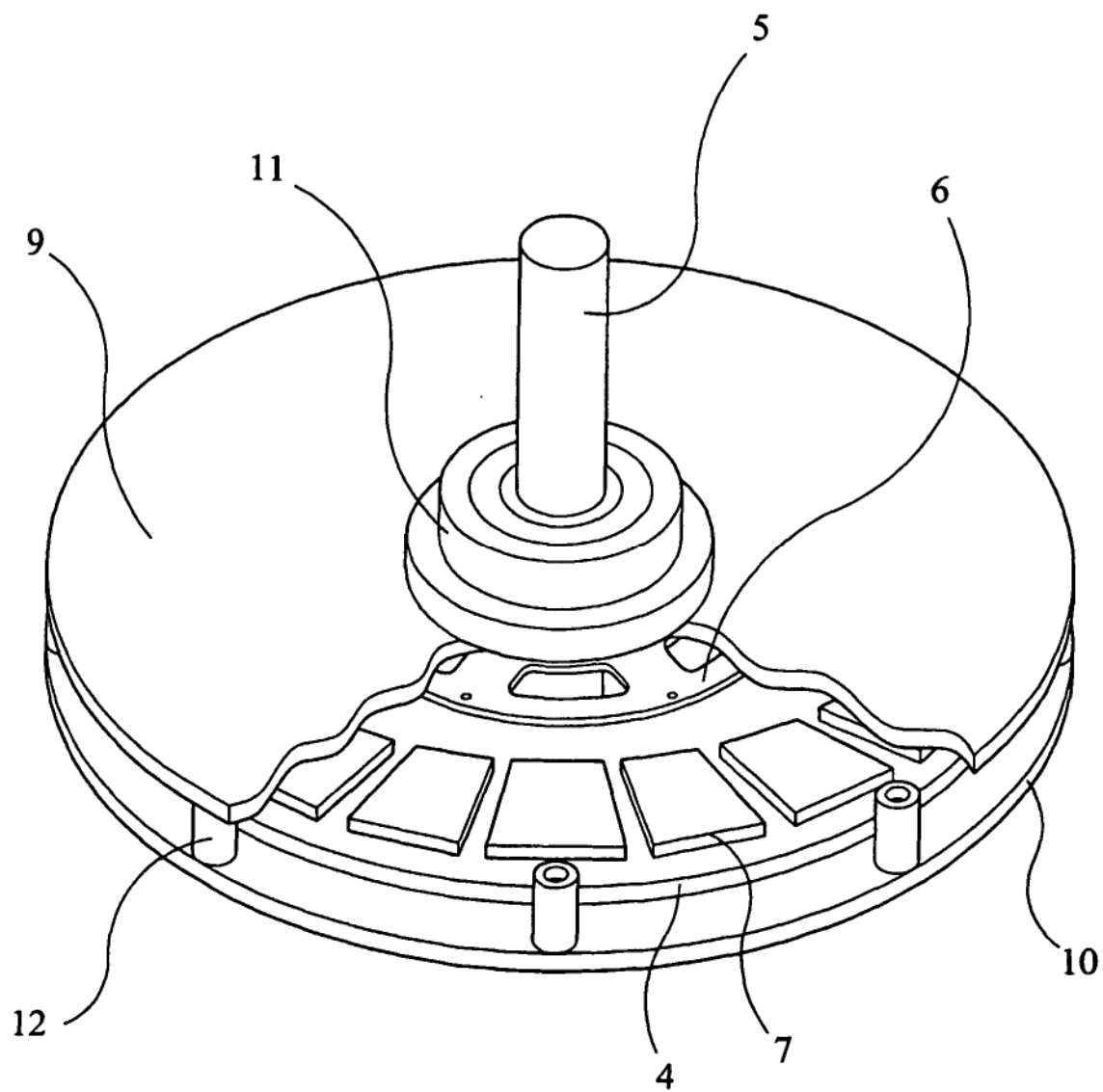


FIG 6

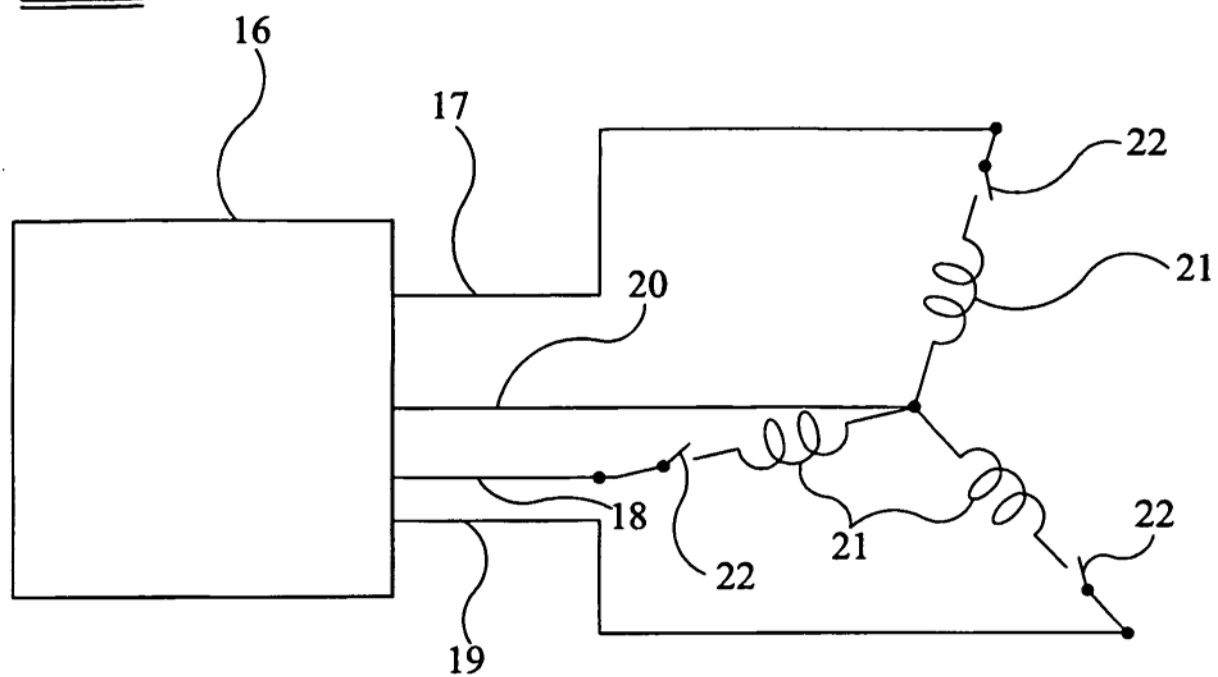
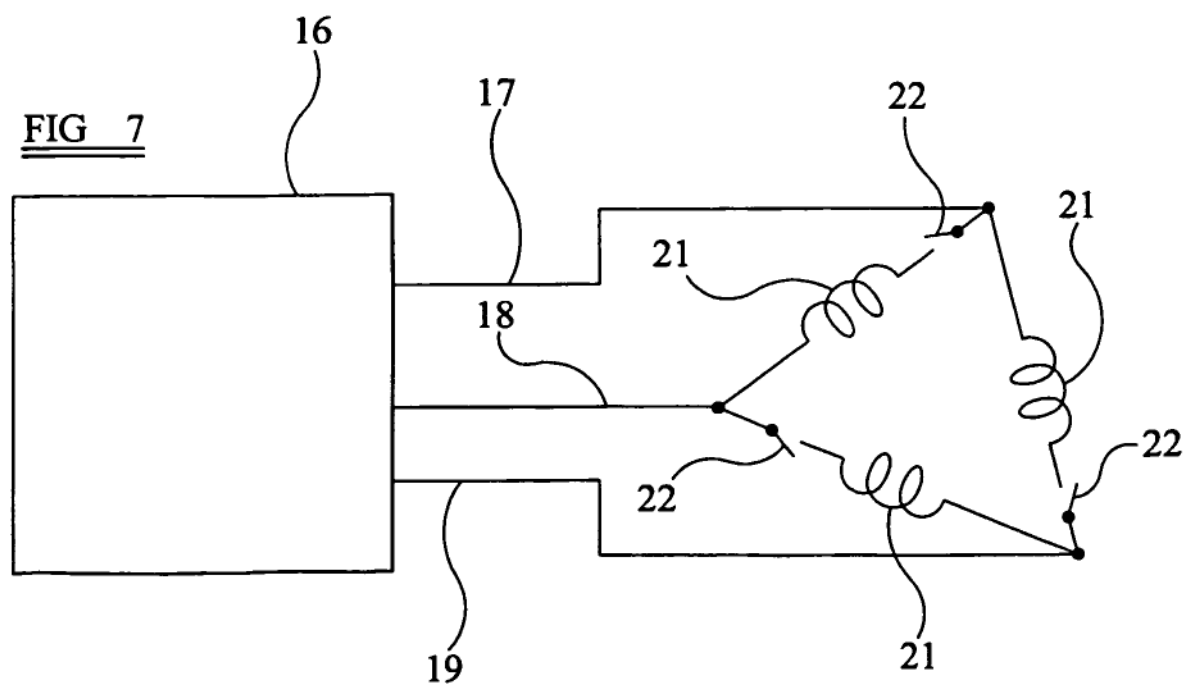
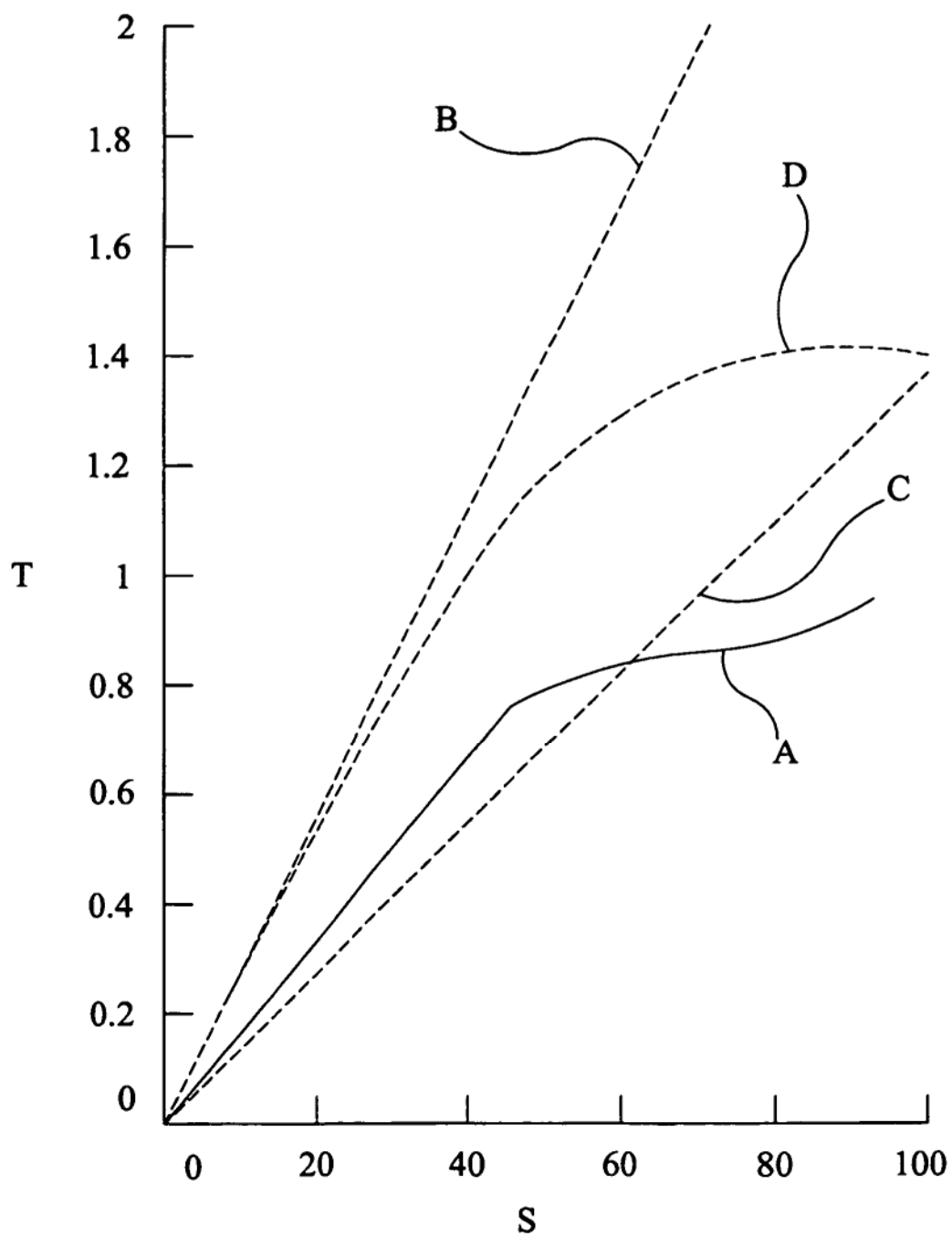
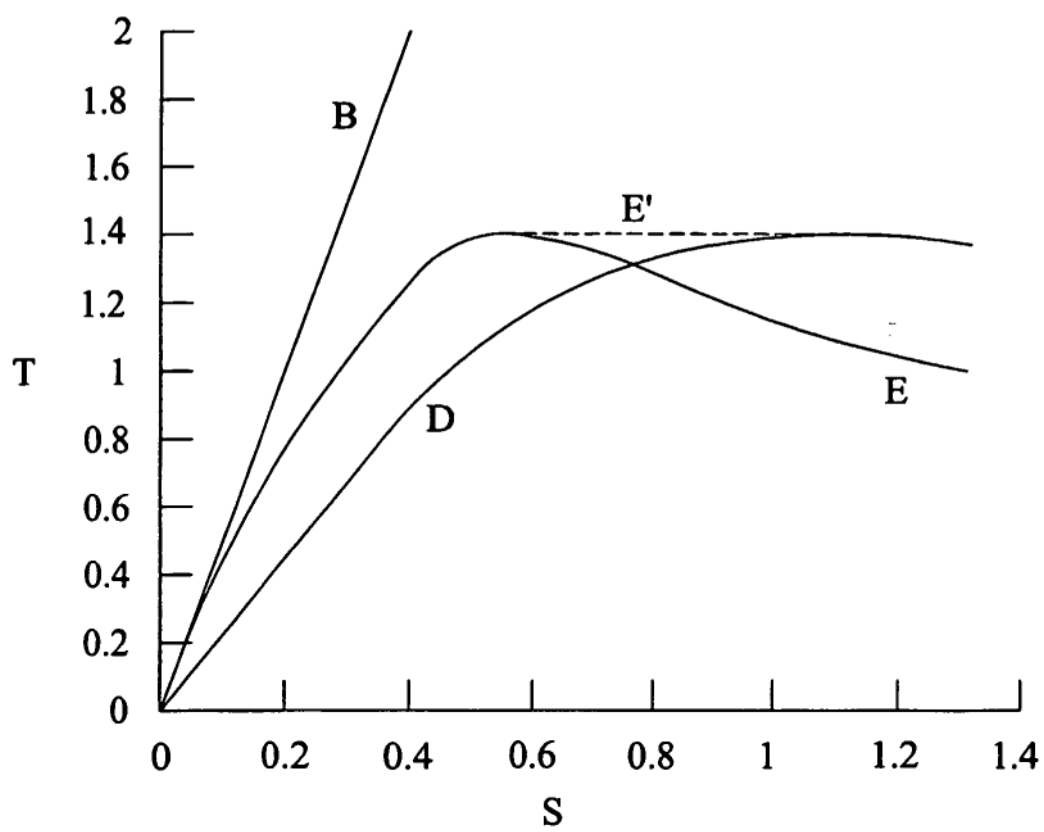


FIG 7



**FIG 8**

FIG 9