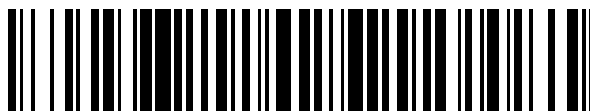


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 480 276**

51 Int. Cl.:

**H02H 7/06** (2006.01)

**G05F 1/70** (2006.01)

**H02P 9/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.10.2011 E 11776077 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.06.2014 EP 2633596**

54 Título: **Un generador de turbina eólica**

30 Prioridad:

**28.10.2010 US 407631 P**  
**28.10.2010 DK 201070460**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**25.07.2014**

73 Titular/es:

**VESTAS WIND SYSTEMS A/S (100.0%)**  
**Hedeager 44**  
**8200 Aarhus N, DK**

72 Inventor/es:

**GUPTA, AMIT KUMAR;**  
**TRIPATHI, ANSHUMAN;**  
**OPINA, GIL JR. LAMPONG;**  
**KARUPPANAN, YUGARAJAN;**  
**YANG, LIANG y**  
**QIAN, JI**

74 Agente/Representante:

**ARIAS SANZ, Juan**

**ES 2 480 276 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**

Un generador de turbina eólica

**Campo de la invención**

La presente invención se refiere a un sistema y/o a un procedimiento para un generador de turbina eólica (WTG).

**5 Antecedentes de la invención**

Los parques eólicos se sitúan habitualmente en áreas alejadas para aprovechar las buenas condiciones de viento. Esto puede requerir largas líneas de transmisión para conectar los parques eólicos con el resto de la red de suministro. Debido a las largas líneas de transmisión y las condiciones extremas en las áreas alejadas, los parques eólicos tienen que ser diseñados para soportar niveles relativamente elevados de condiciones de fallo, esto es necesario igualmente con el fin de asegurar una buena conectividad con la red. La sobretensión es una de tales condiciones de fallo que debe ser gestionada adecuadamente.

En la publicación de W. Sweet, "Danish Wind Turbines Take Unfortunate Turn", IEEE Spectrum, vol. 4, nº 11, pg. 30, 2004, se informaba de que un parque eólico marítimo en la costa oeste de Dinamarca, denominado Horns Rev 1, conectado mediante un cable submarino, experimentó sobre tensiones temporales (TOV) que llegaron a 2 p.u. cuando saltó el disyuntor del circuito principal en el punto de conexión en tierra y dejó el parque eólico en funcionamiento aislado con el cable y el transformador del parque eólico.

En la publicación de W. Wiechowski, J. C. Hygebjerg y P. Børre Eriksen, "Higher Frequency Performance of AC Cable Connections of Offshore", 7<sup>th</sup> Int. Conf. on Large Scale Integration of Wind Farms, pg. 211-217, 2008, se informó de que el operador del sistema de transmisión danés, Energinet.dk, realizó investigaciones acerca de tal sobretensión en conexión con la planificación del nuevo parque eólico marítimo Horns Rev 2. Estas investigaciones han mostrado que los niveles de sobretensión se ven influidos por muchos parámetros, incluyendo características operacionales del generador de turbina eólica (WTG) antes de la desconexión, sistemas de protección, control y la precisión de la representación del cable y de los transformadores en el intervalo de frecuencias relevante.

En cada país, el código de red especifica qué condiciones de fallo debe soportar el diseño de un parque eólico antes de desconectarse. Esto afecta directamente al diseño del WTG, como se muestra en la figura 1, la curva de puntos 1 corresponde a Australia, en donde se puede experimentar una sobretensión temporal de hasta 1,6 pu. Para Canadá, la sobretensión en la figura 1 podría ser de hasta 2 pu para una duración corta. En la figura 1, si no se tiene en cuenta Canadá y Australia, la curva sólida 2 cubre los requerimientos de red para sobretensión temporal del resto de los países.

Los dueños de parques eólicos y los fabricantes de turbinas eólicas pueden desear proteger la electrónica de potencia y los componentes de potencia en sistemas de convertidor de turbinas eólicas frente a daños provocados por la sobretensión. La solución más fácil para proteger las turbinas es su desconexión de la red. Sin embargo, los operadores de sistemas de transmisión pueden desear mantener la conectividad de red de parques eólicos en caso de sobretensión. Así pues, el código de red relevante puede requerir que la turbina permanezca conectada a la red durante tales eventos de sobretensión.

La publicación de patente internacional número 03/058789 da a conocer un número de limitadores de corriente en forma de impedancias en serie en paralelo con conmutadores electrónicos de potencia. Los limitadores de corriente funcionan independientemente para la fase respectiva cuando la corriente de línea en esa fase está por encima de un límite predeterminado. Durante una condición de fallo, el control de potencia se deshabilita, permitiendo un control de tensión con un controlador de corriente rápido. En esta publicación, las resistencias en serie parecen absorber la mayor parte de la potencia activa en las condiciones de fallo, lo que las hace voluminosas. Este problema aparece más seriamente con el tamaño creciente de los WTG.

**Resumen de la invención**

En términos generales la invención propone utilizar una estrategia de control de corriente para un WTG durante una condición de sobretensión. Esto puede tener la ventaja de que los componentes de potencia del WTG no se dañan, de que el WTG es capaz de permanecer conectado a la red durante el evento de sobretensión. Las resistencias en serie pueden ser utilizadas para el funcionamiento en precarga de los condensadores de enlace de CC si se requiere.

En una primera expresión específica de la invención se proporciona un sistema para un generador de turbina eólica que comprende:

un conjunto de elementos limitadores de tensión, y

un controlador configurado para circunvalar los elementos limitadores de tensión cuando una tensión de línea se

encuentra por debajo del umbral predeterminado, y configurado para conectar cada elemento limitador de tensión en serie entre un convertidor del lado de red y un transformador de turbina del generador de turbina eólica, y para determinar una señal de referencia de control de corriente para controlar el convertidor del lado de red (para generar una corriente determinada) cuando la tensión de línea se encuentra por encima del umbral predeterminado.

- 5 El controlador puede estar configurado para determinar la señal de referencia de control de corriente de acuerdo con al menos una de una impedancia de los elementos limitadores de tensión, la tensión de línea, una tensión del convertidor del lado de red y una frecuencia de red.

El controlador puede estar configurado para desconectar el generador de turbina eólica si la tensión de red se encuentra por encima de un umbral predeterminado durante más de un periodo de tiempo predeterminado.

- 10 Cada elemento limitador de tensión puede comprender una resistencia en paralelo con un conmutador de derivación.

Cada elemento limitador de tensión puede comprender además un conmutador en serie con la resistencia.

El controlador está configurado para abrir el conmutador de derivación y cerrar el conmutador en serie con la resistencia cuando la tensión de red está por encima del umbral predeterminado.

- 15 La turbina eólica puede ser multifásica, los terminales de puerta del conmutador conectado en serie para cada fase pueden estar acoplados entre sí y los terminales de puerta de cada conmutador de derivación para cada fase pueden estar acoplados entre sí y los conmutadores de derivación pueden ser operados simultáneamente utilizando una señal de control y los conmutadores de serie pueden ser operados simultáneamente utilizando una señal de conmutación.

Un generador de turbina eólica que comprende:

un generador eléctrico configurado para generar señales de corriente alterna;

- 20 un convertidor del lado del generador configurado para convertir o rectificar las señales de corriente alterna del generador de corriente alterna a señales de corriente continua a un enlace de CC,

un convertidor del lado de red configurado para convertir las señales de corriente continua de enlace de CC a una señal de corriente alterna de frecuencia fija,

- 25 un transformador de turbina configurado para transformar la señal de corriente alterna de frecuencia fija a un nivel de tensión adecuado, y

un sistema de acuerdo con lo anterior, en el que cada elemento limitador de tensión se sitúa entre el convertidor del lado de red y el transformador de turbina.

El controlador puede estar configurado para suministrar corrientes reactivas requeridas por un banco de condensadores de filtro entre el convertidor del lado de red y el transformador de turbina ya sea por el convertidor del lado de red o la red.

- 30 El generador de turbina eólica puede comprender además una resistencia de descarga, y el controlador puede estar configurado para conectar la resistencia de descarga con el enlace de CC de acuerdo con un ciclo de trabajo determinado basándose en una potencia que va a ser disipada cuando la tensión de línea esté por encima del umbral predeterminado.

En una segunda expresión específica de la invención se proporciona un procedimiento de control de un generador de turbina eólica que comprende:

- 35 determinar si existe una sobretensión;

si existe una sobretensión superior a un umbral predefinido:

proporcionar una señal de apertura a un conjunto de conmutadores de derivación de resistencias, conectando así un conjunto de resistencias entre un convertidor de potencia del generador de turbina eólica y una red; y

- 40 determinar una señal de referencia de control de corriente para controlar el convertidor de potencia para suministrar una corriente determinada, permitiendo así que el generador de turbina eólica permanezca conectado a la red a lo largo de la sobretensión.

Se puede proporcionar una señal de control modulada por anchura de pulso a un conmutador de resistencia de descarga cuando se determina durante una sobretensión que hay un exceso de potencia activa que no puede ser alimentada a la red.

- 45 El procedimiento puede comprender además proporcionar una señal de cierre complementaria a un conjunto de conmutadores de resistencias en serie simultáneamente con la señal de apertura.

La señal de referencia de control de corriente puede ser al menos una de una señal de referencia de control de corriente activa y una reactiva.

5 El procedimiento puede comprender además determinar una señal de referencia de control de corriente reactiva para controlar la sobretensión absorbiendo potencia reactiva si la sobretensión se encuentra entre un umbral inferior y el umbral máximo.

La señal de referencia de control de corriente puede ser determinada basándose en al menos una de la sobretensión, un valor de impedancia de limitación de tensión, una tensión de convertidor del lado de red y una frecuencia de red.

### Breve descripción de los dibujos

10 Con el fin de que la invención se comprenda completamente y se ponga fácilmente en práctica se describirá a continuación, por medio tan solo de un ejemplo no limitativo, un modo de realización ejemplar descrito a continuación con referencia a los dibujos ilustrativos adjuntos, en los cuales:

la figura 1 muestra gráficos de la sobretensión de red frente al tiempo que debe satisfacer un WTG de acuerdo con códigos de red;

15 la figura 2 es un esquema eléctrico de un sistema de tren de accionamiento para un WTG basado en un convertidor a escala completa;

la figura 3 es un diagrama de vectores que ilustra cómo gestiona un controlador de un convertidor de potencia de un WTG una sobretensión absorbiendo potencia reactiva;

la figura 4 es un diagrama de vectores que ilustra cómo gestiona un controlador de un convertidor de potencia una sobretensión absorbiendo una potencia reactiva máxima;

20 la figura 5 es un diagrama de vectores de un evento de sobretensión que no puede ser gestionado ni siquiera absorbiendo una potencia reactiva máxima;

la figura 6 es un esquema eléctrico del sistema de tren de accionamiento para un convertidor a escala completa basado en un WTG con un equipo de manejo de sobretensión de acuerdo con un modo de realización;

25 la figura 7 es un diagrama de circuito de un conmutador (S1a, S1b, S1c, S2a, S2b o S2c) en la figura 6 de acuerdo con un modo de realización;

la figura 8 es un diagrama de vectores que ilustra cómo gestiona el WTG de la figura 6 un evento de alta sobretensión;

la figura 9 es un diagrama de vectores que ilustra cómo gestiona el WTG de la figura 6 un evento de alta sobretensión incluyendo la caída de tensión a través de la bobina de choque de red;

30 la figura 10 es un diagrama de vectores que ilustra cómo gestiona el WTG de la figura 6 un evento de alta sobretensión mediante el control tanto de la corriente activa como reactiva;

la figura 11 es un diagrama de flujo de la estrategia de control para la gestión de un evento de sobretensión de acuerdo con un modo de realización;

la figura 12 es un gráfico de la sobretensión (pu) frente a  $t_{ov}$  que muestra cuándo es aceptable desconectar el WTG de la red;

35 la figura 13 es un esquema de un funcionamiento en precarga de un condensador de enlace de CC de acuerdo con un modo de realización;

la figura 14 son formas de onda del funcionamiento en precarga de acuerdo con la figura 13, y

la figura 15 es un diagrama de flujo de la estrategia de control para gestionar un evento de sobretensión de acuerdo con otro modo de realización.

### 40 Descripción de modos de realización

Un WTG incluye generalmente un conjunto de palas, un generador y un convertidor de potencia. Las palas de la turbina giran alrededor de un árbol por efecto del viento y se montan en una góndola sobre una torre relativamente elevada por encima del terreno para asegurar un buen flujo de aire. El generador eléctrico es accionado por el árbol giratorio para producir típicamente una tensión de corriente alterna (CA) que varía en magnitud y frecuencia de acuerdo con la velocidad del viento. Se puede utilizar una caja de engranajes para subir la baja velocidad de giro del árbol a una velocidad de giro elevada adecuada para el funcionamiento del generador. El generador puede ser bien síncrono o asíncrono. El convertidor

de potencia convierte y transfiere potencia del generador a la red como se describe a continuación.

La figura 2 muestra un sistema eléctrico de la turbina eólica de acuerdo con un modo de realización. El sistema eléctrico incluye un generador 101, un convertidor de potencia 102 y un transformador principal 103. El convertidor de potencia 102 incluye un convertidor del lado del generador 110 y un convertidor del lado de red 111 conectados mediante un enlace de corriente continua (CC) 112. El enlace de CC 112 incluye un condensador de enlace de CC 113. El generador 101 convierte en energía mecánica en energía eléctrica que tiene una tensión y corriente de CA (corriente alterna) (denominadas colectivamente como "señales de CA"), y proporciona las señales de CA generadas al convertidor del lado del generador 110. Las señales de CA del generador tienen una frecuencia variable, debido al viento variable. El convertidor del lado del generador 110 convierte o rectifica las señales de CA a una tensión de CC (corriente continua) y una corriente de CC (conocidas colectivamente como "señales de CC") hacia el enlace de CC 112. Una resistencia  $R_{CH}$  y conmutador  $S_{CH}$  de descarga 114 se dispone para controlar la tensión de CC en el enlace de CC 112 absorbiendo cualquier cantidad excesiva de potencia activa. El convertidor del lado de red 111 convierte las señales de CC del enlace de CC 112 en señales de CA de frecuencia fija para una red de suministro 107. El transformador 103 transforma la tensión de red a un nivel adecuado en el lado de baja tensión de acuerdo con el diseño del equipo del sistema de tren de accionamiento. La salida de potencia del convertidor del lado de red 111 es alimentada a la red de suministro 107 mediante el transformador principal 103. Las líneas de transmisión pueden estar conectadas directamente a la red o, en un parque eólico, se unen con otras líneas de transmisión en un punto de conexión común antes de conectarse a la red. Asimismo se ubican filtros 115 en forma de condensadores, inductores y resistencias entre el convertidor del lado de red 111 y la red de suministro 102. Normalmente, un filtro pasivo porta dos ramas: una rama de filtrado de armónico principal (banco de condensadores) para absorber armónicos, y una rama de resonancia (condensadores, pequeñas bobinas de choque y pequeñas resistencias) para amortiguar fenómenos de resonancia. El filtro puede incluir igualmente otros componentes tales como contactos, fusibles, sensores, etc.

Se debe indicar que el sistema eléctrico descrito con referencia a la figura 2 es tan solo un ejemplo de la configuración eléctrica de la turbina eólica, y solo se muestran los componentes principales para ilustrar los modos de realización. La presente invención no debe quedar limitada a la configuración exacta del sistema eléctrico mostrada en la figura 2. Son posibles otras configuraciones eléctricas. Igualmente, muchos componentes en el sistema eléctrico de la turbina eólica no se muestran en la figura 2. Por ejemplo, el sistema eléctrico puede incluir filtros entre el generador 101 y el convertidor de potencia 102. Asimismo, puede haber conmutadores dispuestos en diversas posiciones para conectar o desconectar ciertos componentes de la turbina. Asimismo no se muestran en la figura 2 controladores para controlar los convertidores 110, 111.

Generalmente, la potencia generada por el WTG se determina por la referencia de potencia o velocidad del viento. Sin embargo puede ser deseable para el WTG variar la cantidad de potencia reactiva que se intercambia con la red para proporcionar un mejor soporte a la red. Por ejemplo, durante un estado estacionario o condiciones normales la red se beneficiará habitualmente de que el WTG intercambie potencia reactiva para satisfacer el factor de potencia demandado. La cantidad de potencia reactiva soportada se determina por los requerimientos de red, especialmente por lo demandado por la central eléctrica o el operador de red. En las condiciones de fallo de red de baja tensión la potencia reactiva se proporciona típicamente desde el WTG para elevar la tensión de red. Por el contrario, en las condiciones de fallo de red de alta tensión la potencia reactiva es absorbida típicamente por el WTG para reducir la tensión de red.

Durante una condición de sobretensión, puede ser deseable igualmente que el sistema de convertidor cambie su configuración para soportar la red para su estabilidad. Diversos términos que se usarán en la explicación que sigue de la idea propuesta se explican a continuación:

$V_G$  = tensión de salida del convertidor del lado de red

$V_L$  = caída de tensión a través de la bobina de choque de red

$V_C$  = tensión en los terminales del condensador

45  $V_T$  = tensión en los terminales de transformador de baja tensión

El intervalo de tensión nominal se encuentra típicamente entre 0,9 y 1,1 pu. Sin embargo, el intervalo de tensión nominal y el nivel de sobretensión varían de país a país. Un valor de tensión de línea que supere el intervalo de tensión nominal puede ser clasificado como una sobretensión. Con el fin de cumplir con el código de red mencionado anteriormente, el WTG debe ser capaz de funcionar a pesar de un evento de sobretensión durante un cierto período de tiempo. Un procedimiento para gestionar una sobretensión se describe a continuación.

Una situación de sobretensión se muestra en la figura 3. Mediante una cantidad adecuada de corriente reactiva  $I_r$ , utilizando la máxima capacidad de tensión del convertidor y límites de corriente, el balance de tensión queda asegurado, esto es,  $V_G = V_L + V_T$ . El círculo en esta figura corresponde a una tensión de salida del convertidor con una utilización máxima de la tensión de enlace de CC, esto es, funcionamiento a un índice de modulación posible máximo a una tensión

de enlace de CC dada.

Al aumentar la sobretensión  $V_T$ , la contribución de la corriente reactiva  $I_r$  aumenta y la corriente activa  $I_a$  disminuye. Finalmente, se alcanza un punto en el que  $I_a$  es nula y  $I_r$  es igual a la nominal del convertidor de potencia. Esta situación se muestra en la figura 4 en la que  $V_T = V_L + V_G$ . Esta es la máxima sobretensión que puede ser asumida por absorción de potencia reactiva, y para un WTG del estado de la técnica anterior típico esta tensión  $V_T$  podría representarse como  $V_{Tmax}$ . Por ejemplo,  $V_{Tmax}$  podría ser del orden de 1,2 a 1,4 pu o superior. Este límite de tensión puede no ser adecuado para cumplir con el código de red relativo a sobretensión en algunos países.

La situación en la cual  $V_T > V_L + V_G$  se muestra en la figura 5. En este caso es posible que el balance de tensión no pueda ser mantenido durante más tiempo y así se podría perder el control del convertidor. Esto puede conducir a un aumento súbito de tensión de enlace de CC, daños en componentes de potencia y/o que el WTG se desconecte.

Para afrontar una sobretensión superior, la figura 6 muestra un WTG 600 de acuerdo con un modo de realización. Un conjunto de tres resistencias en serie 602 se conectan en serie con la salida del filtro 604. Se proporciona un conmutador de derivación para cada resistencia. Se debe indicar que los conmutadores de derivación  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$  se accionan conjuntamente con tan solo una señal de control. De modo similar, un conjunto de conmutadores en serie  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$ , en serie con las resistencias 602 se accionan conjuntamente con tan solo una señal de control. En condiciones normales, los conmutadores  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$  están cerrados y los conmutadores  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$  están abiertos, incluso en la situación de sobretensión mostrada en la figura 4. Se debe indicar que los conmutadores de derivación  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$  y los conmutadores en serie  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$  pueden ser accionados utilizando más de una señal de control en otros modos de realización.

En un modo de realización, el WTG 600 incluye un controlador 606. El controlador 606 controla el funcionamiento de los convertidores, los conmutadores de derivación y en serie  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$   $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$  y el conmutador de descarga  $S_{CH}$  114 para cada WTG.

El sistema eléctrico mostrado en la figura 6 es un sistema trifásico para cada fase, cada resistencia está conectada en serie entre la salida del filtro y el transformador para limitar la tensión  $V_C$  vista en los terminales del filtro mediante el funcionamiento del convertidor de potencia, esto es, incluso si la tensión  $V_T$  es muy alta, la tensión  $V_C$  está dentro de los límites de diseño del sistema de convertidor. Así pues, estas resistencias en serie 602 pueden ser denominadas elementos limitadores de tensión. La figura 6 muestra la posición sugerida de estas resistencias en serie 602. Sin embargo, pueden ser situadas en otras posiciones entre el convertidor de potencia del lado de red y el transformador.

Los conmutadores son conmutadores de potencia de semiconductor bidireccionales tales como el mostrado en la figura 7 de acuerdo con un modo de realización. Las transiciones de  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$  a  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$  o viceversa pueden ser realizadas en unos pocos microsegundos y por lo tanto es posible un control rápido. El conmutador electrónico de potencia puede ser un IGBT, IGCT, tiristor, etc. En la mayoría de los casos todos los conmutadores  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$  pueden ser encendidos y apagados conjuntamente utilizando la misma señal de control del controlador 606. Por ejemplo, en la figura 7 los dos IGBT utilizan la misma señal de control, y lo mismo se aplica a las otras dos fases ( $S_{1a}$  y  $S_{1c}$ ). Esto es aplicable igualmente a  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$ . Se debe indicar que los conmutadores de derivación  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$  y los conmutadores en serie  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$  pueden ser accionados utilizando más de una señal de control en otros modos de realización. Son posibles igualmente otras disposiciones. Se debe indicar igualmente que los conmutadores en serie  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$  son opcionales y pueden ser eliminados en otros modos de realización.

Para una tensión superior a la mostrada en la figura 4, los conmutadores  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$  se abren y los conmutadores  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$  se cierran. Al hacer esto, se introduce una resistencia adicional  $R$  entre la red y el convertidor de potencia. El funcionamiento del convertidor para abordar esta alta tensión se describe en la figura 8 y se explica aquí. El controlador del convertidor emite un comando de referencia de corriente activa  $I_a$  tal que se asegura el balance de tensión, como se muestra en la figura 8, esto es, la figura 8 propone gestionar la sobretensión modificando las referencias de control de corriente del convertidor. En la figura 8 la caída a través de  $L$  es significativamente pequeña en comparación con  $R$  y por ello se ignora para las explicaciones ofrecidas aquí. Bajo esta suposición, en el caso simplificado de la figura 8, el controlador determinará  $I_a$  basándose en (1):

$$I_a = (V_T - V_G)/R \quad (1)$$

en donde  $V_T$  es la tensión de línea,  $V_G$  es la salida de tensión del convertidor del lado de red y  $R$  es el valor de la resistencia en serie.  $I_a$  es la referencia de corriente activa que se determina basándose en la sobretensión para un valor dado de la resistencia en serie y la estrategia de control del convertidor.

Las siguientes conclusiones pueden ser extraídas de (1): (i) la corriente  $I_a$  es inversamente proporcional a  $R$ . Así pues, cuanto más alto sea el valor de  $R$  menor será el valor de  $I_a$ , y viceversa; (ii) para una  $R$  dada,  $I_a$  es directamente proporcional a  $(V_T - V_G)$ . Así pues,  $R$  y  $I_a$  se diseñan considerando tensiones extremas. Se puede observar igualmente de (1) para una sobretensión elevada, por ejemplo 2 pu o superior,  $(V_T - V_G)$  será igualmente elevada y esto puede ser

gestionado seleccionando valores adecuados de  $R$  y  $I_a$ .

Durante las condiciones de fallo de red, no toda la potencia del generador eléctrico puede ser alimentada a la red. Así pues, la resistencia de descarga en el enlace de CC se utiliza para absorber temporalmente el exceso de potencia activa. El controlador determinará un factor de trabajo adecuado para activar la resistencia de descarga para mantener la tensión de enlace de CC dentro de límites diseñados absorbiendo el exceso de potencia activa. Durante una sobretensión la corriente que fluye a la resistencia de amortiguación proviene principalmente de la potencia activa del generador de potencia eléctrica. Sin embargo, una pequeña corriente activa  $I_a$  puede fluir igualmente hacia la resistencia de descarga, lo cual es necesario para el balance de tensión a través de las resistencias en serie 602, como se muestra en la figura 8.

Sin embargo, si la caída a través de la bobina de choque de red  $L$  se incluye, entonces la figura resultante se dibuja en la figura 9. La figura 9 se puede explicar igualmente de modo similar a la figura 8.

Es posible asimismo gestionar la sobretensión tanto mediante la corriente activa como reactiva, como se muestra en la figura 10. En este caso,  $R I_a + j\omega L I_r$  es la caída de tensión a lo largo de la tensión  $V_T$ , mientras que  $-R I_r + j\omega L I_a$  es la caída de tensión perpendicular al vector de tensión  $V_T$ . La suma vectorial de  $R I_a + j\omega L I_r$  y  $-R I_r + j\omega L I_a$  viene dada como  $I_g(R + j\omega L)$ . La suma vectorial de vector de tensión  $V_T$  y el vector de caída de tensión  $I_g(R + j\omega L)$  decidirá la tensión que se aplicará desde el convertidor de potencia. En este caso, el diseño de la resistencia en serie será diferente de lo descrito para el caso anterior, esto es, (i) dependiendo del nivel de la sobretensión que necesita ser gestionado mediante una caída a través de  $R$  y  $L$ , y la estrategia de control, la resistencia tendrá un valor diferente con respecto al valor óhmico y la capacidad energética. (ii) Dependiendo de la estrategia de control y sobretensión que se va a gestionar las contribuciones de  $I_a$  e  $I_r$  diferirán consecuentemente.

Las variables de control en la figura 11 son:

$I_a$ : Referencia de corriente activa que se determina basándose en la sobretensión que necesita ser gestionada para un valor dado de la resistencia en serie y la estrategia de control.

$I_r$ : Referencia de corriente reactiva que se determina principalmente basándose en la cantidad de sobretensión que se va a gestionar dependiendo de la resistencia en serie  $R$ , la corriente  $I_a$  y la estrategia de control.

$I_g$ : Corriente total de red que es una suma vectorial de  $I_a$  e  $I_r$ , de modo que  $I_g$  no es una variable de control independiente. Nótese que  $I_g$  nunca debe superar la corriente nominal del convertidor de potencia.

$\omega$ : Frecuencia angular de la tensión de red.

Una vez que se han determinado las corrientes de referencia  $I_a$  e  $I_r$ , se suministran al control del convertidor del lado de red (que puede ser el controlador 106), que se utilizan por algoritmo de control del convertidor y se produce la tensión  $V_G$  requerida por el convertidor que gestionará finalmente la sobretensión de red, como se describió anteriormente con referencia a las figuras 8-10.

Se debe indicar que independientemente de la estrategia descrita en la figura 8 a figura 10, la corriente reactiva requerida por el banco de condensadores de filtro  $C$  en la figura 6 puede ser suministrada bien desde el convertidor o de la red. Por consiguiente, los requerimientos de corriente reactiva del convertidor o de la red se verán afectados.

La figura 11 muestra un procedimiento 1100 para controlar el WTG de acuerdo con un modo de realización. Cuando se detecta una sobretensión 1102 la turbina cambia del modo de generación de potencia normal 1104 al modo de control de sobretensión. En el modo de control de sobretensión, si  $V_T > V_{Tmax}$  1105 el controlador inserta las resistencias en serie 1106 y controla  $I_g$  consecuentemente, como se describió anteriormente en la figura 8 a la figura 10. La tensión  $V_{Tmax}$  depende de la tensión y corriente nominales del convertidor de potencia. Para evitar que la tensión del enlace de CC suba por encima de límites deseados, la resistencia de descarga se conecta al enlace de CC en un ciclo de trabajo determinado basándose en la potencia activa que se va a disipar.

En el modo de control de sobretensión, si  $V_T \leq V_{Tmax}$  1104 el controlador no necesita activar las resistencias en serie 1108 sino que controla  $I_g$  como se describió anteriormente con referencia a las figuras 3 y 4; absorbiendo de modo efectivo potencia reactiva para controlar la sobretensión.

Típicamente una sobretensión dura al menos unas pocas decenas a cientos de milisegundos. Dependiendo del nivel de sobretensión se puede proporcionar un tiempo de espera  $t_{ov}$ , como se muestra en la figura 12; típicamente cuanto más elevado sea el nivel de sobretensión más corto será el tiempo de espera. Si la sobretensión está todavía presente tras el  $t_{ov}$  1110 predeterminado, entonces se indica a la turbina que se desconecte 1112.

Con la estrategia de control normal de un WTG, cuando existe una sobretensión en la figura 5 la turbina debe ser desconectada ya que no puede absorber más potencia reactiva para bajar la tensión a límites seguros. En las figuras 8 a 9, en lugar de absorber potencia reactiva, el convertidor del lado de red dicta una pequeña corriente a través de las

resistencias en serie de modo que la tensión en el convertidor del lado de red o los terminales del condensador de filtro está dentro de un nivel seguro. Por consiguiente, el sistema de acuerdo con un modo de realización es capaz ahora de gestionar una elevada sobretensión.

5 La figura 15 muestra un procedimiento 1500 para controlar el WTG de acuerdo con otro modo de realización. Cuando se detecta una sobretensión 1502 la turbina cambia del modo de generación de potencia normal 1504 al modo de control de sobretensión. En el modo de control de sobretensión el controlador inserta las resistencias en serie 1506 y controla  $I_g$  consecuentemente.

### Funcionamiento en precarga

10 Una ventaja adicional de utilizar la resistencia con conmutadores de derivación mostrada en las figuras 6 puede ser el funcionamiento en precarga de los condensadores de enlace de CC. El funcionamiento en precarga es necesario cuando se inicia el sistema de convertidor. Por ello, se puede observar que las resistencias con conmutadores de derivación de la figura 6 se pueden utilizar tanto para las operaciones de gestión de sobretensión (objetivo principal) y el funcionamiento en precarga (objetivo secundario).

15 La figura 13 muestra un diagrama que ilustra el funcionamiento en precarga de los condensadores de enlace de CC. Para este funcionamiento,  $[S_{1a}, S_{1b}, S_{1c}]$  están abiertos y  $[S_{2a}, S_{2b}, S_{2c}]$  están cerrados. El funcionamiento en precarga, esto es la carga de los condensadores de enlace de CC tiene lugar a través de las resistencias, bobinada de choque y rectificador de red. Nótese que los conmutadores de potencia del convertidor del lado de red están apagados (tan solo el diodo inverso participa la operación de precarga) y el convertidor del lado de máquina no juega ningún papel en esta operación. La figura 14 muestra las formas de onda de esta operación. La tensión de enlace de CC 1400 y la corriente 1402 que fluye entre el convertidor y la tensión del rectificador 1404 se muestra durante la operación de precarga que dura unos pocos segundos.

20 Aunque se han descrito en detalle modos de realización de la invención, son posibles muchas variaciones dentro del ámbito de la invención, como se reivindica, como será claro para un lector entendido. Por ejemplo, el diseño real de las resistencias, por ejemplo el valor óhmico y la capacidad energética, depende principalmente del rendimiento requerido para la gestión de sobretensión temporal, y secundariamente el funcionamiento en precarga de un sistema dado.

Uno o más modos de realización pueden tener la ventaja de que:

- esta propuesta puede gestionar sobretensiones elevadas (2 pu o superiores) con una solución sencilla;
- sólo se requieren dos señales de interfaz del controlador para operar el sistema de conmutador de derivación y resistencia propuesto. Sin embargo, se pueden utilizar más de dos señales de interfaz si se requiere;
- 30 • ninguno de los componentes de potencia debe enfrentarse a las elevadas sobretensiones, de modo que permanecen protegidos; y/o
- el convertidor de potencia no pierde el control, de modo que tan pronto como disminuye la sobretensión se puede reanudar la producción de potencia.



**REIVINDICACIONES**

1. Un sistema para un generador de turbina eólica que comprende:  
 un conjunto de elementos limitadores de tensión (602), y  
 un controlador (606) configurado para circunvalar los elementos limitadores de tensión (602) cuando una  
 5 tensión de línea está por debajo de un umbral predeterminado, y configurado para conectar cada elemento  
 limitador de tensión (602) en serie entre un convertidor del lado de red (111) y un transformador de turbina  
 (103) del generador de turbina eólica, y para determinar una señal de referencia de control de corriente para  
 controlar el convertidor del lado de red (111) (para generar una corriente determinada) cuando la tensión de  
 línea se encuentra por encima del umbral predeterminado.
- 10 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que el controlador está configurado para determinar la señal de  
 referencia de control de corriente de acuerdo con al menos una de una impedancia de los elementos  
 limitadores de tensión, la tensión de línea, una tensión del convertidor del lado de red y una frecuencia de red.
3. El sistema de la reivindicación 1 o 2, en el que el controlador está configurado para desconectar el generador  
 15 de turbina eólica si la tensión de línea se encuentra por encima del umbral predeterminado durante más de un  
 período de tiempo predeterminado.
4. El sistema de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada elemento limitador de tensión  
 comprende una resistencia en paralelo con un conmutador de derivación ( $S_{1a}$ ,  $S_{1b}$ ,  $S_{1c}$ ).
5. El sistema de la reivindicación 4, en el que cada elemento limitador de tensión comprende además un  
 conmutador en serie ( $S_{2a}$ ,  $S_{2b}$ ,  $S_{2c}$ ) con la resistencia.
- 20 6. El sistema de la reivindicación 5, en el que el controlador (606) está configurado para abrir el conmutador de  
 derivación ( $S_{1a}$ ,  $S_{1b}$ ,  $S_{1c}$ ) y cerrar el conmutador en serie ( $S_{2a}$ ,  $S_{2b}$ ,  $S_{2c}$ ) con la resistencia cuando la tensión de  
 línea está por encima de un umbral predeterminado.
7. El sistema de la reivindicación 5 o 6, en el que la turbina eólica es multifásica, los terminales de puerta de  
 25 conmutador conectados en serie para cada fase se acoplan entre sí y los terminales de puerta de cada  
 conmutador de derivación ( $S_{1a}$ ,  $S_{1b}$ ,  $S_{1c}$ ) para cada fase se acoplan entre sí y los conmutadores de derivación  
 ( $S_{1a}$ ,  $S_{1b}$ ,  $S_{1c}$ ) están configurados para funcionar simultáneamente utilizando una señal de interrupción y los  
 conmutadores en serie están configurados para funcionar simultáneamente utilizando una señal de  
 conmutación.
8. Un generador de turbina eólica que comprende:  
 30 un generador eléctrico (101) configurado para generar señales de CA;  
 un convertidor del lado del generador (110) configurado para convertir o rectificar las señales de CA del generador  
 de corriente alterna a señales de CC a un enlace de CC (112),  
 un convertidor del lado de red (111) configurado para convertir las señales de corriente continua del enlace de CC  
 (112) a una señal de CA de frecuencia fija,  
 35 un transformador de turbina (103) configurado para transformar las señales de CA de frecuencia fija a un nivel de  
 tensión adecuado, y  
 un sistema de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada elemento limitador de  
 tensión se sitúa entre el convertidor del lado de red (111) y el transformador de turbina (103).
- 40 9. El generador de turbina eólica de la reivindicación 8, en el que el controlador (106) está configurado para  
 suministrar corrientes reactivas requeridas por un banco de condensadores de filtro entre el convertidor del  
 lado de red (111) del transformador de turbina (103), ya sea por el convertidor del lado de red (111) o la red  
 (107).
10. El generador de turbina eólica de la reivindicación 8 o 9, que comprende además una resistencia de descarga  
 45 (114), y el controlador está configurado para conectar la resistencia de descarga (114) con el enlace de CC  
 (112) de acuerdo con un ciclo de trabajo determinado basándose en una potencia que va a ser disipada  
 cuando la tensión de línea está por encima del umbral predeterminado.
11. Un procedimiento de control de un generador de turbina eólica que comprende:

determinar si existe una sobretensión;

si existe una sobretensión superior a un umbral predefinido:

proporcionar una señal de apertura a un conjunto de conmutadores de derivación de resistencias ( $S_{1a}$ ,  $S_{1b}$ ,  $S_{1c}$ ), conectando así un conjunto de resistencias entre un convertidor de potencia del generador de turbina eólica y una red; y

- 5
- determinar una señal de referencia de control de corriente para controlar el convertidor de potencia para suministrar una corriente determinada, permitiendo así que el generador de turbina eólica permanezca conectado a la red a lo largo de la sobretensión.
- 10
12. El procedimiento de la reivindicación 11, que comprende además proporcionar una señal de control modulada por anchura de pulso a un conmutador de resistencia de descarga cuando se determine durante una sobretensión que hay un exceso de potencia activa que no puede ser alimentada a la red (107).
13. El procedimiento de la reivindicación 11 o 12, que comprende además proporcionar una señal de cierre complementaria a un conjunto de conmutadores de resistencias en serie simultáneamente con la señal de apertura.
- 15
14. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 13, en el que la señal de referencia de control de corriente es al menos una de una señal de referencia de control de corriente activa y una reactiva.
15. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 14, que comprende además determinar una señal de referencia de control de corriente reactiva para controlar la sobretensión absorbiendo potencia reactiva si la sobretensión está entre un umbral inferior y el umbral máximo.
- 20
16. El procedimiento de cualquiera de las reivindicaciones 11 a 15, en el que la señal de referencia de control de corriente se determina basándose en al menos una de la sobretensión, un valor de impedancia de limitación de tensión, una tensión del convertidor del lado de red y una frecuencia de red.

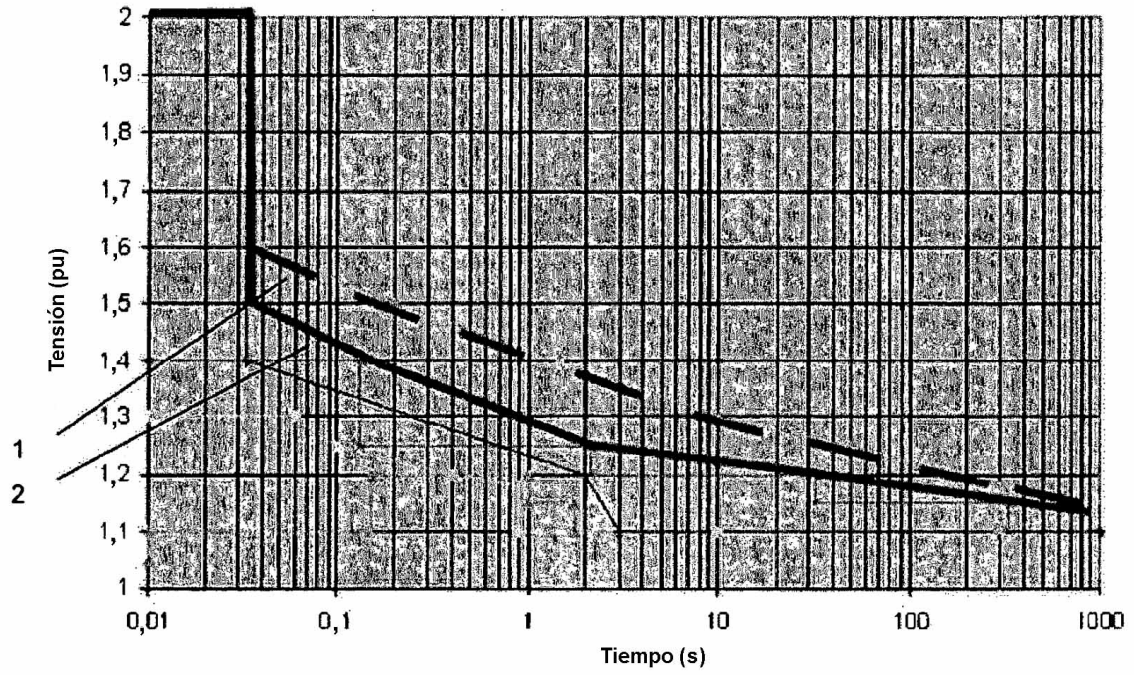


Figura 1

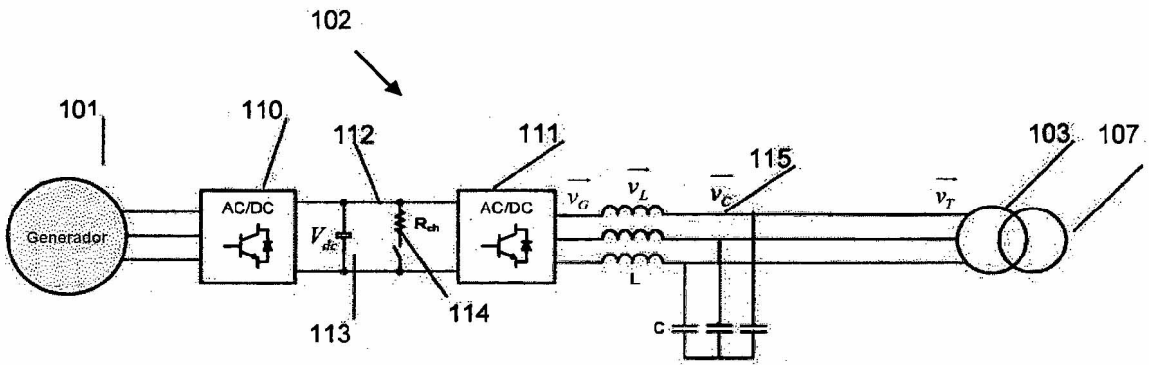


Figura 2

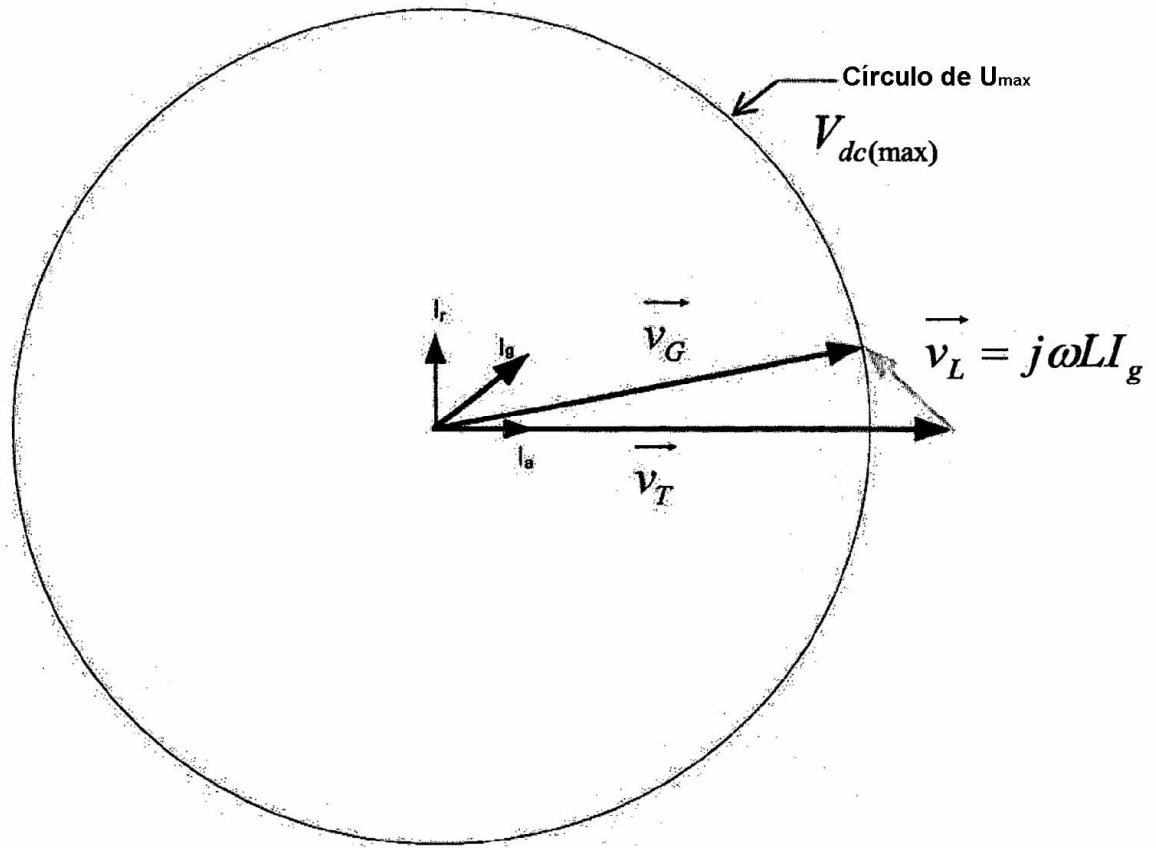
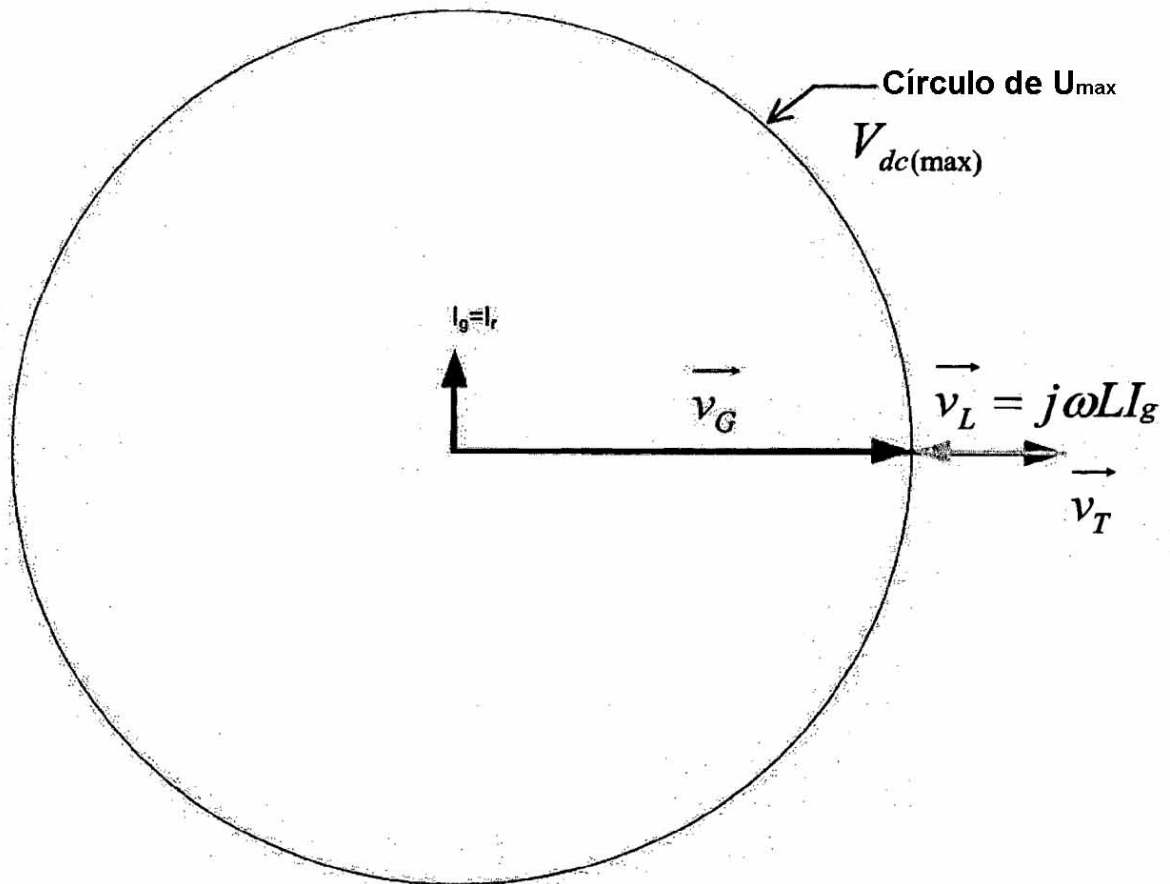
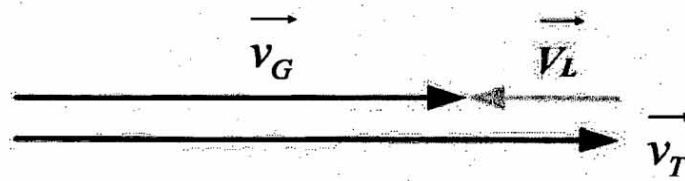


Figura 3



(a)



$$\vec{v}_T = \vec{v}_G + \vec{v}_L$$

(b)

Figura 4

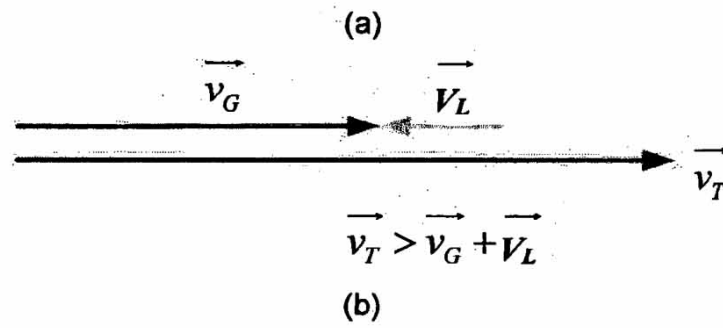
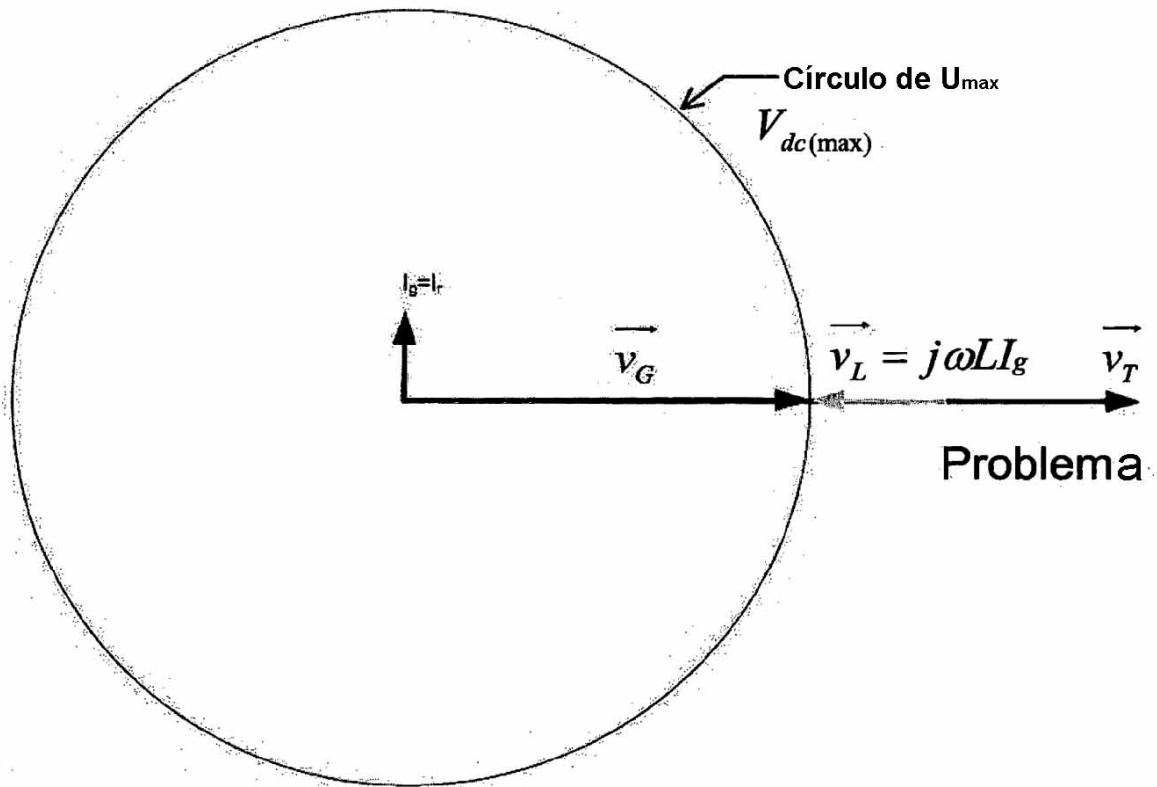


Figura 5

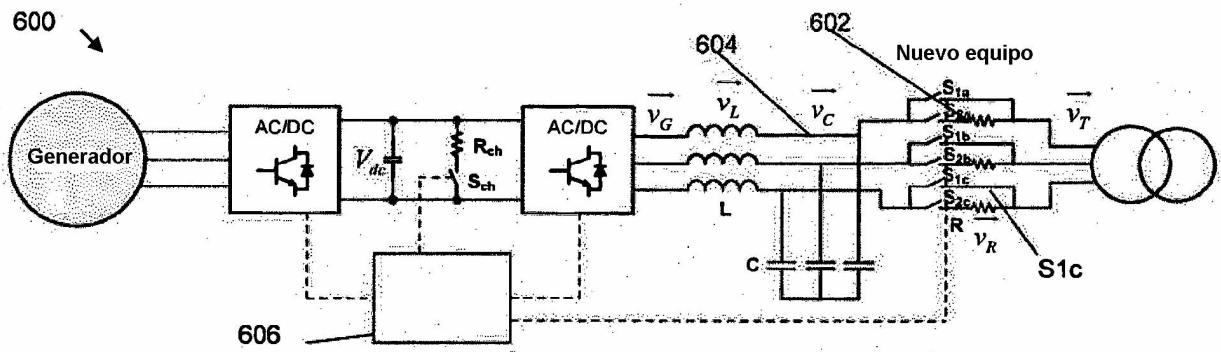


Figura 6

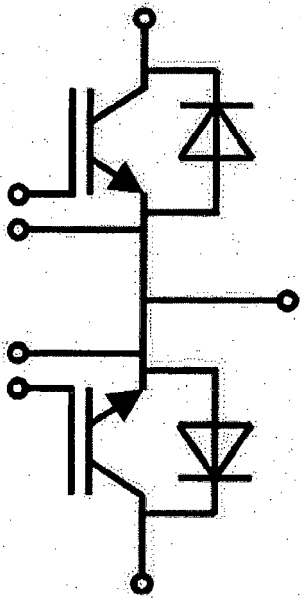


Figura 7

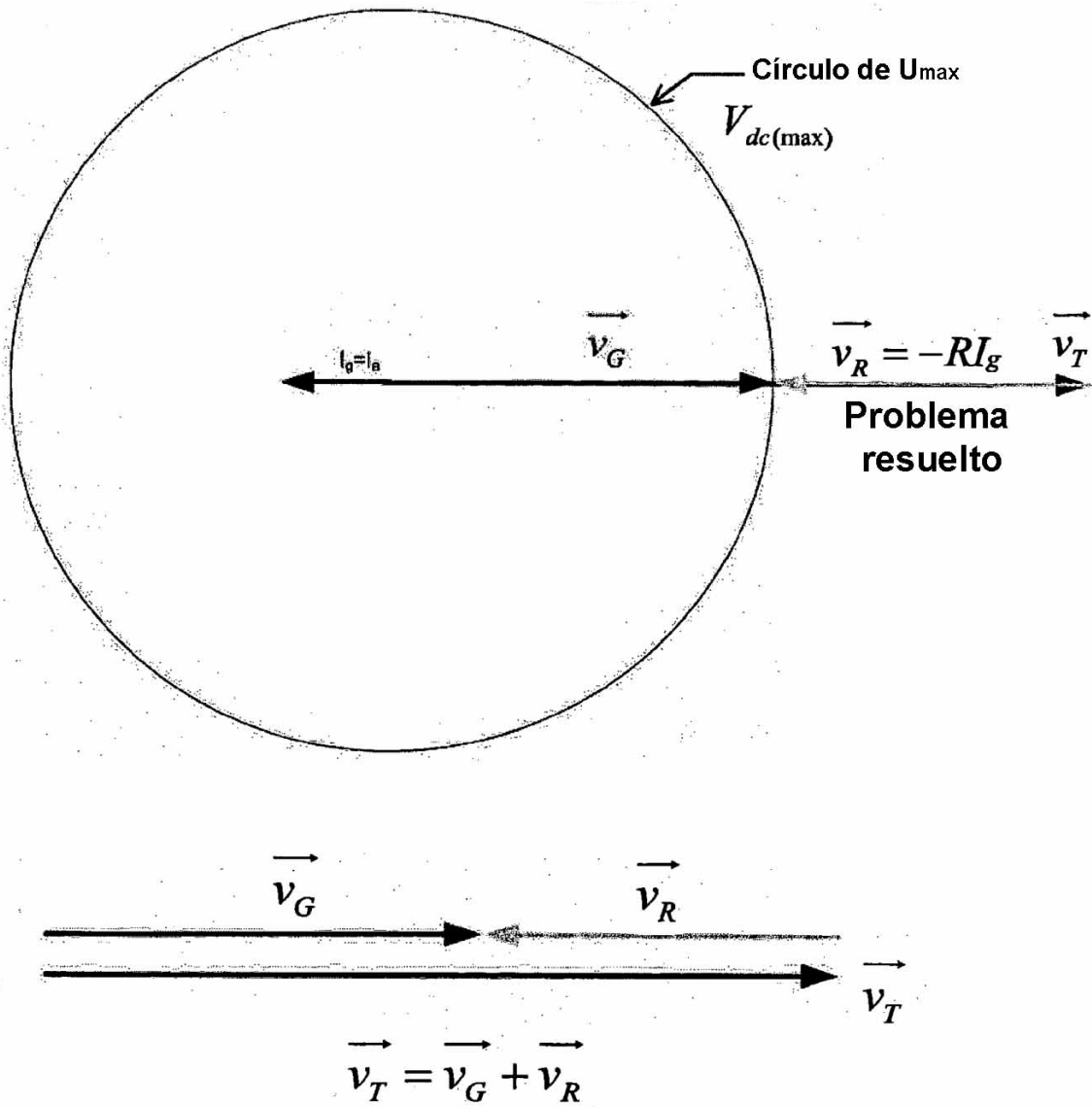


Figura 8



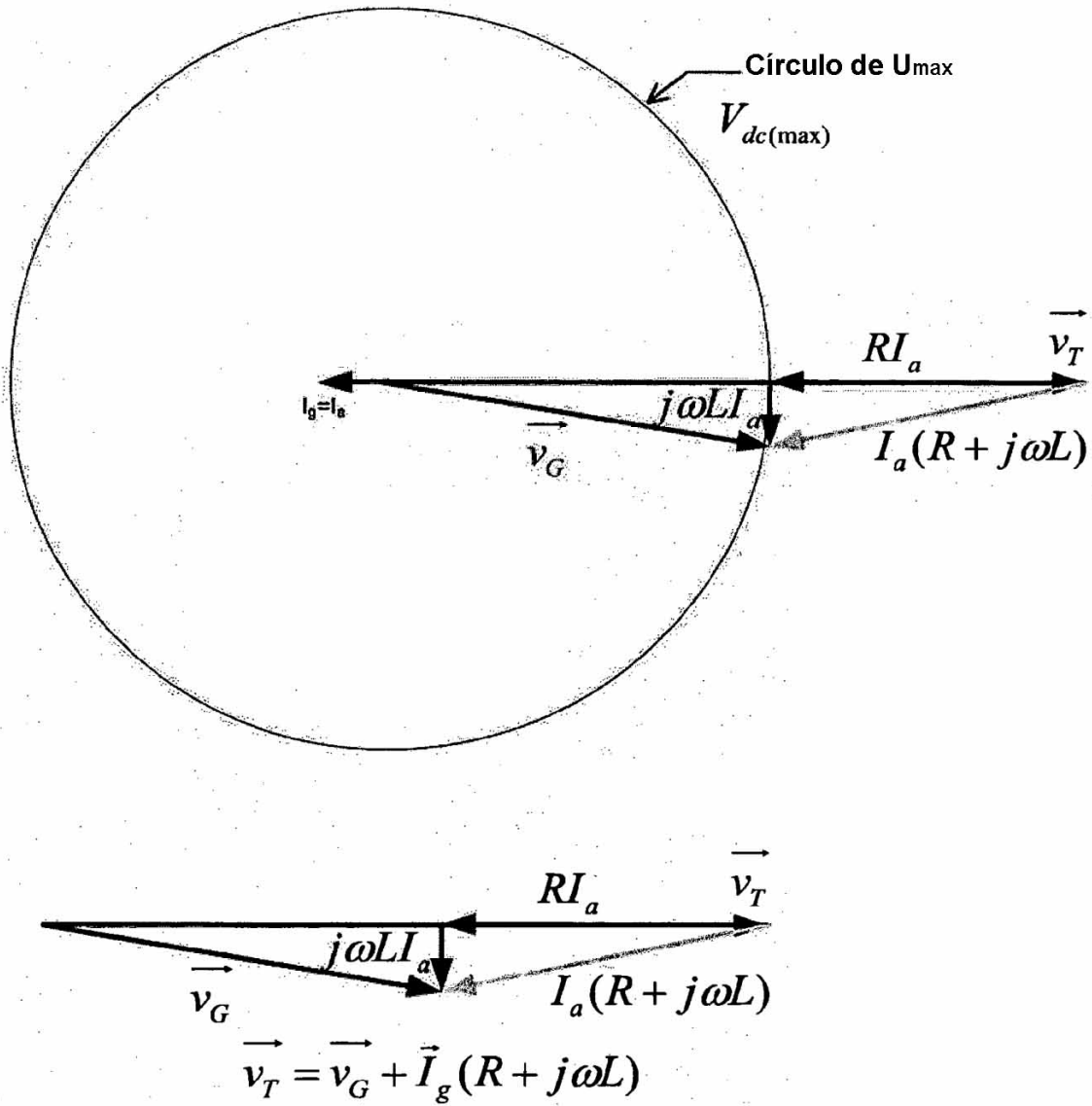


Figura 9

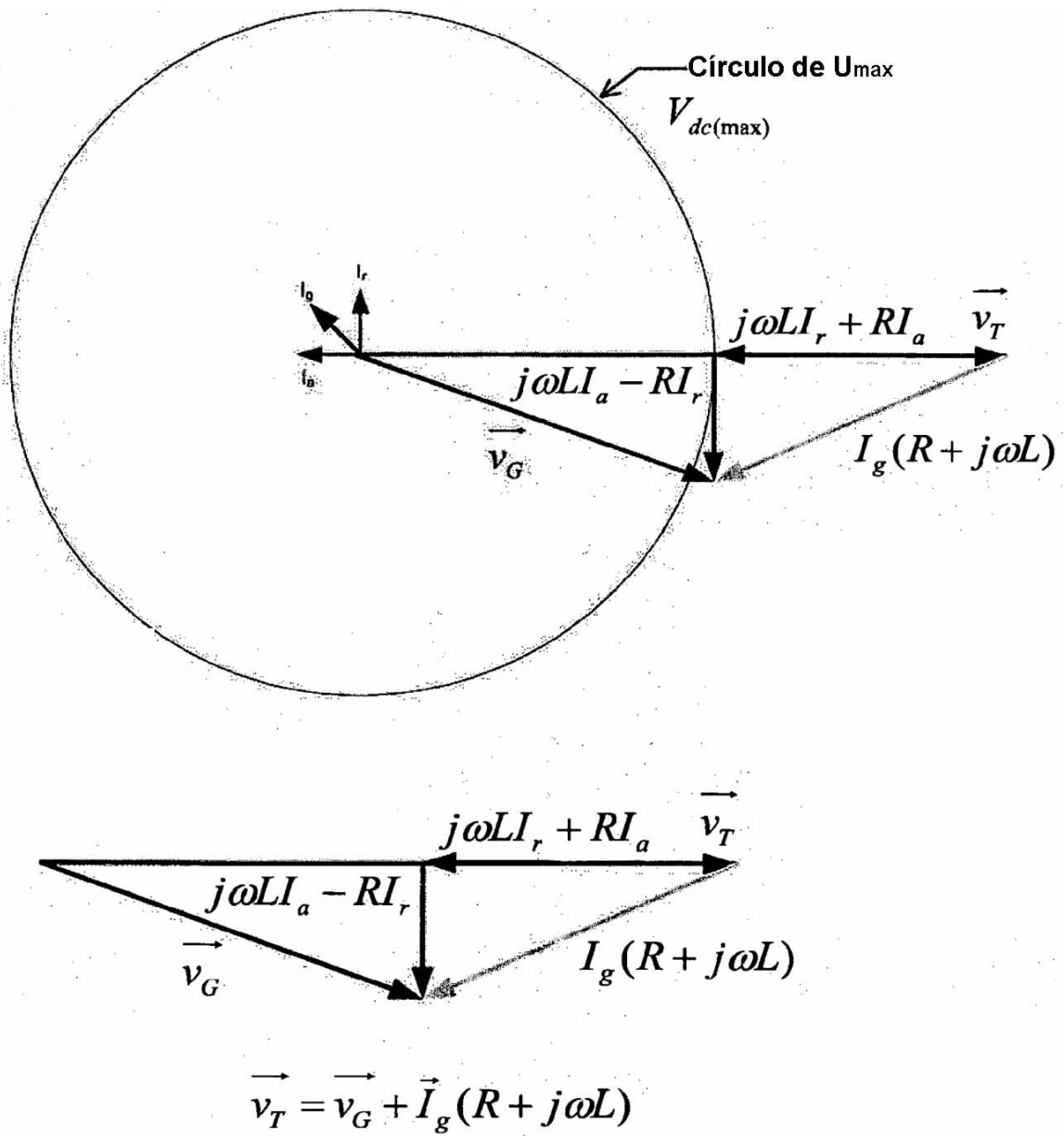


Figura 10

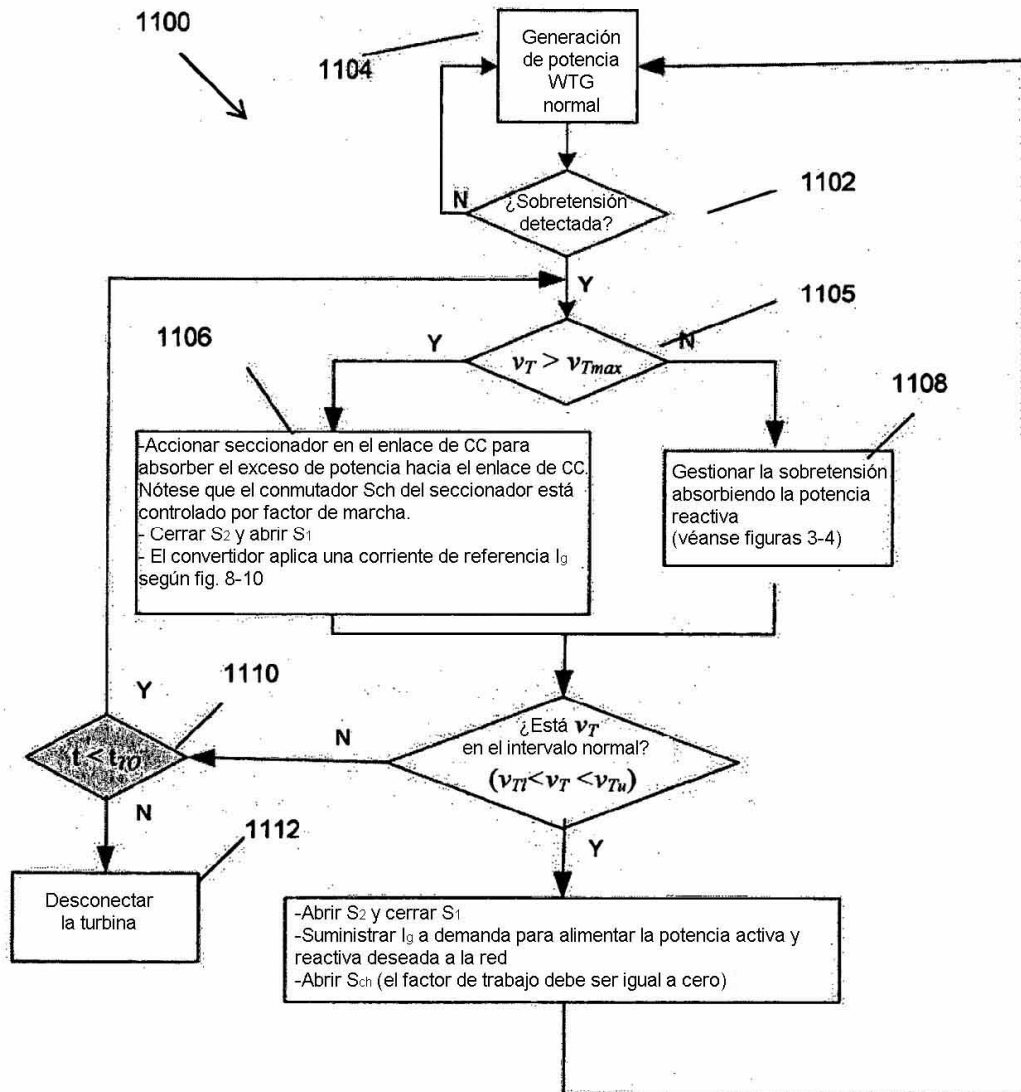


Figura 11

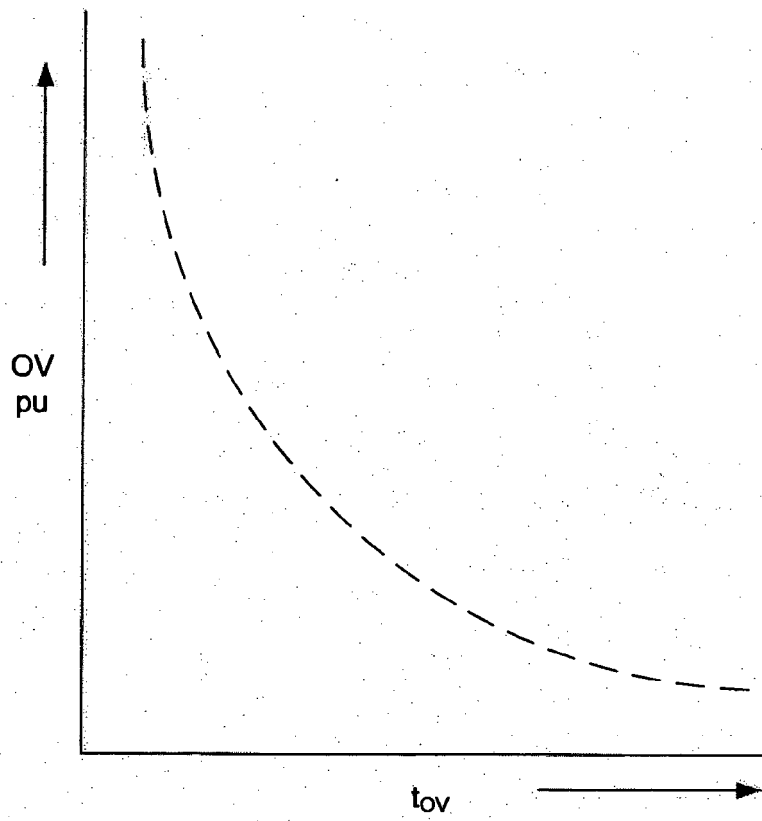


Figura 12

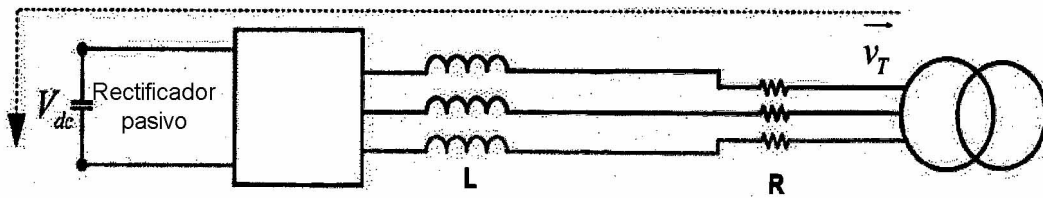


Figura 13

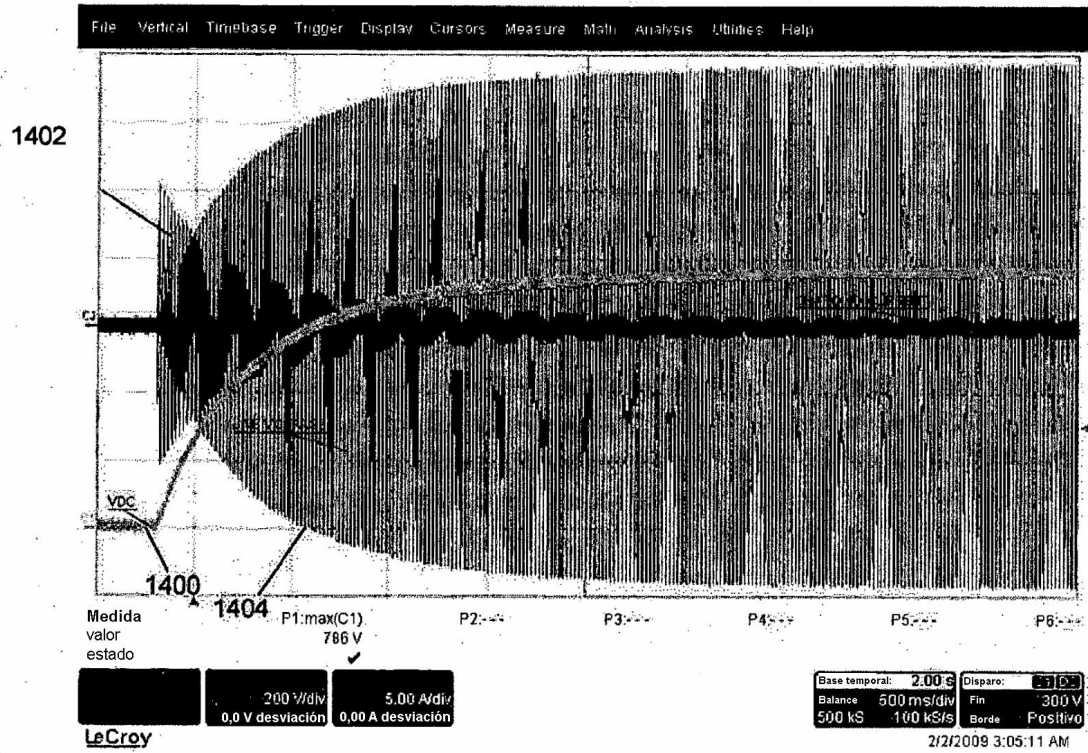


Figura 14

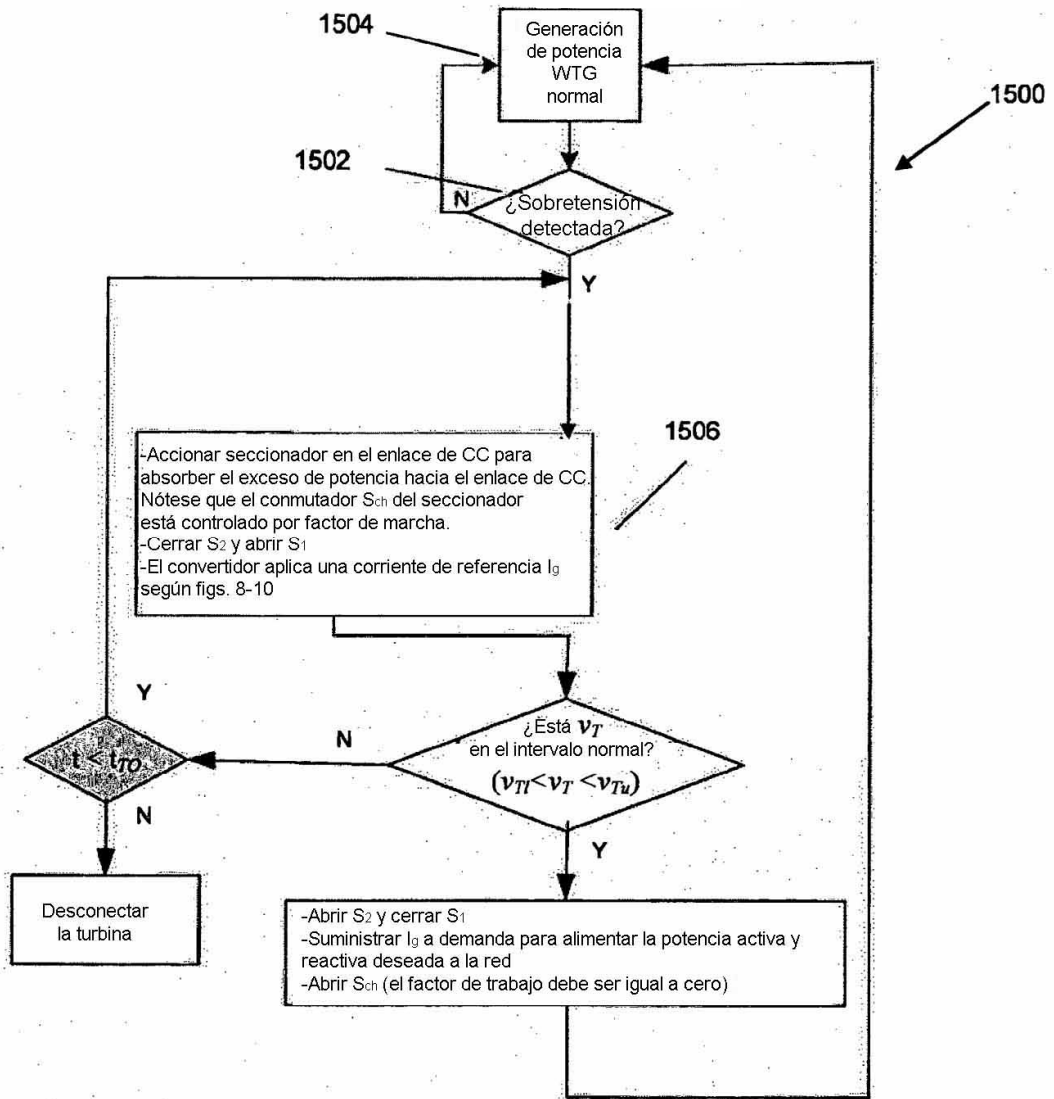


Figura 15