



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 348 272**

51 Int. Cl.:
G05F 1/14 (2006.01)
H01F 29/04 (2006.01)
H01H 9/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07712455 .0**
96 Fecha de presentación : **06.03.2007**
97 Número de publicación de la solicitud: **1991919**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **19.11.2008**

54 Título: **Conmutador híbrido de regulación en carga y método para accionar el mismo.**

30 Prioridad: **08.03.2006 GB 0604671**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
02.12.2010

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
02.12.2010

73 Titular/es: **Areva T&D S.A.S.**
Tour Areva - 1, place Jean Millier
92084 Paris La Defense Cédex, FR

72 Inventor/es: **Oates, Donald Colin Murray y**
Saravolac, Milan

74 Agente: **Justo Bailey, Mario de**

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

Esta invención se refiere en particular, aunque no exclusivamente, a un conmutador "híbrido" de regulación en carga para su uso en transmisión de corriente alterna de alto voltaje, y a un procedimiento para accionar dicho conmutador de regulación.

La transmisión de potencia se caracteriza por niveles de voltaje de corriente alterna (AC) superiores a 200 kV, junto con altos niveles de voltajes y corrientes de arranque y transitorias. Estas condiciones de funcionamiento imponen exigencias particulares en los requerimientos de aislamiento de los componentes utilizados en dicha transmisión.

Un conmutador de regulación es un dispositivo acoplado a un transformador para regular el voltaje de salida del transformador a un nivel requerido. Tal regulación se consigue normalmente mediante la conexión selectiva a una toma concreta del transformador, controlando por lo tanto el número de vueltas de la porción activa del bobinado primario o secundario.

Un conmutador de regulación en carga se diseña para funcionar mientras conduce corriente y requiere que no se interrumpa el flujo de corriente al cambiar de toma.

En la figura 1 se muestra un esquema simplificado de un conmutador de regulación convencional. El conmutador convencional 10 de regulación incluye un primer selector 12 y un primer derivador 18 conectados en serie con un bobinado primario 14 de un transformador 16. El primer selector 12 y el primer derivador 18 dependen de un aislamiento por aceite para conseguir los niveles de aislamiento entre contactos requeridos por los voltajes de transformadores de potencia más elevados.

El primer derivador 18 tiene dos patas 20, 22, cada una de las cuales define una trayectoria de corriente respectiva, y un primer interruptor electromecánico 24. El primer interruptor electromecánico 24 conecta selectivamente una pata 20 o la otra pata 22 con el bobinado primario de modo que conecta selectivamente una toma dada, elegida por el selector, con el

bobinado primario 14, regulando por lo tanto el voltaje de salida del transformador al nivel requerido.

Con el fin de evitar una interrupción del flujo de corriente a través del bobinado primario 14 durante un cambio de
5 toma, el primer interruptor electromecánico 24 tiene una posibilidad de "cierre antes de apertura", mediante la cual el interruptor puentea momentáneamente ambas patas 20, 22, como se muestra en la figura 1. Cuando dicho puente se establece o rompe tiene lugar un elevado nivel de formación de arcos.

10 La formación de arcos conduce a la degradación de las propiedades aislantes del aceite de aislamiento en el que se ubica el primer derivador 18. Esto da como resultado la necesidad de segregar aceite para el primer derivador del aceite del transformador principal, y asimismo la necesidad de
15 remplazar el aceite del derivador regularmente.

Una variante de este montaje utiliza un interruptor en vacío accionado mecánicamente para limitar la formación de arcos y de este modo reducir la necesidad de mantenimiento. Sin embargo, la inclusión de un interruptor en vacío accionado
20 mecánicamente añade complejidad, lo que a su vez aumenta el coste de capital de dicho equipo. Además, es necesario reemplazar los interruptores en vacío accionados mecánicamente a intervalos regulares.

En cada uno de los montajes anteriormente mencionados, el
25 tiempo necesario para cada cambio de toma es de, aproximadamente, 5 segundos, de los cuales accionar el primer derivador 18 toma 150 ms. Como resultado, un conmutador convencional 10 de regulación tardaría, por ejemplo, más de 2 minutos y 15 segundos en llevar a cabo un cambio paso a paso en
30 un intervalo de toma de -12 a +12.

Los interruptores de semiconductor resultan atractivos por su capacidad de activarse rápidamente tras un comando electrónico bien definido, y de ser cortados, esto es, apagarse, sin formación de arcos.

35 La pérdida de potencia y el nivel de corrientes de arranque

presentes en sistemas de transmisión de potencia se traducen en que es deseable aislar dichos interruptores de semiconductor de dichos sistemas durante el funcionamiento en régimen permanente utilizando, por ejemplo, un interruptor electromecánico.

5 Por consiguiente, es conocido combinar interruptores de semiconductor con interruptores electromecánicos para crear un denominado conmutador de regulación en carga "híbrido", como se muestra en la figura 2. Dicho conmutador híbrido 30 de regulación en carga, conocido, se describe por ejemplo en el
10 documento EP 1.619.698. Éste incluye un segundo selector 32 y un segundo derivador 34 (indicados por las líneas discontinuas) dispuestos en serie, por ejemplo, en el bobinado primario 14 de un transformador 16. El conmutador híbrido 30 de regulación incluye asimismo un primer controlador 36 para controlar el
15 funcionamiento del segundo derivador 34.

El segundo selector 32 incluye varias tomas 38, tres en el ejemplo mostrado, e interruptores S1, S2, S3 para seleccionar una toma 38 concreta. El segundo selector 32 puede incluir asimismo dos segundos interruptores electromecánicos S4, S5 para
20 aislar selectivamente una pata dada del segundo derivador 34, para circunvalar los dispositivos semiconductores en el mismo.

El segundo derivador 34 tiene dos patas 40, 42 cada una de las cuales define una respectiva trayectoria de corriente. Cada pata 40, 42 incluye una pareja de interruptores de semiconductor
25 44, 46 primero y segundo opuestos. Los interruptores de semiconductor 44, 46 están dispuestos para establecer selectivamente una trayectoria de flujo de corriente en una pata 40, 42 dada del segundo derivador 34.

Un tipo deseable de interruptor de semiconductor es un
30 tiristor 48, 50. Dichos dispositivos son aptos para alto voltaje y corriente, poseen una elevada fiabilidad y pueden funcionar con una temperatura de unión superior a 150 °C. Además, son conmutables mediante un transformador de pulso, por lo que se elimina la necesidad de una fuente de alimentación auxiliar,
35 aislada. Además, se encuentran disponibles fototiristores que

son conmutables mediante un pulso de un diodo láser canalizado a través de un cable de fibra óptica.

5 Sin embargo, a pesar de las anteriores ventajas, una desventaja del tiristor es que continúa conduciendo hasta que se retira la corriente de ánodo. Esto provoca problemas para cortar dicho dispositivo.

10 Un procedimiento para cortar un tiristor es utilizar la denominada "conmutación natural". Durante la conmutación natural, tiene lugar de modo natural la retirada de la corriente de ánodo como resultado de, por ejemplo, la fluctuación durante un ciclo AC en el cual la corriente de ánodo cruza el cero, esto es, es retirada. Por consiguiente, es posible permitir que un tiristor en una pata 40, 42 se recupere a una condición de no conducción antes de activar un tiristor en la otra pata 40, 42.

15 Sin embargo, los tiristores tienden a recuperarse lentamente, lo que da como resultado un retardo durante el cual ninguna de las patas 40, 42 es capaz de proporcionar una trayectoria de flujo de corriente. Como resultado, es necesario puentear las patas con componentes pasivos voluminosos y caros con el fin de proporcionar el flujo continuo de corriente necesario, esto es, para evitar una interrupción del flujo de corriente. La duración de esta recuperación (de aproximadamente 0,6 ms) es tal que estos componentes pasivos deben ser lo suficientemente grandes (y consecuentemente voluminosos y costosos) para derivar la corriente y mantener el voltaje en un nivel dentro de las especificaciones del tiristor.

20 Un segundo procedimiento de cortar un tiristor emplea la denominada "conmutación forzada resonante". La conmutación forzada resonante implica llevar a cabo la acción de retirar o derivar la corriente de ánodo para permitir que el tiristor se recupere a una condición de no conducción.

30 Sin embargo, tal procedimiento requiere asimismo del puenteo de las patas 40, 42 con componentes pasivos voluminosos y caros con el fin de proporcionar un flujo de corriente continuo.

35

El volumen de los componentes de puenteo necesarios en cada uno de los procedimientos anteriores provoca problemas en la instalación. Además, su elevado coste aumenta el coste global de tal conmutador de regulación híbrido hasta un nivel
5 comercialmente inaceptable.

Otro tipo de conmutador de regulación en carga es el denominado conmutador de regulación en carga de estado sólido 60, como se muestra en la figura 3. El conmutador 60 de regulación, de estado sólido, incluye tan sólo tiristores 62 en
10 el montaje de conmutación para llevar a cabo las respectivas conexiones de toma. Los tiristores 62 se disponen en parejas opuestas 64, 66, 68. Dichos interruptores de regulación no son adecuados para aplicaciones de transmisión de potencia, ya que las limitaciones físicas de un tiristor dado limitan los cambios
15 de voltaje y corriente que es capaz de soportar.

En conexión con el montaje anteriormente mencionado, un procedimiento de conmutación propuesto implica conmutar sobre un tiristor 62 en una de las parejas 66 no conductoras de modo que dé lugar a una corriente circulante CC impulsada por el voltaje
20 de toma. En teoría, cuando la corriente circulante es igual en magnitud pero fluye en una dirección opuesta a la corriente de carga LC que fluye a través de un tiristor conductor 62, esto es, a través del tiristor 62 en la pareja conductora 68 que está conectada, entonces las corrientes respectivas CC, LC deberían cancelarse entre sí de modo que el tiristor conductor 62 sea
25 capaz de ser cortado. La conducción de la corriente de carga LC se mantendría por el tiristor 62 que fue activado en la pareja originalmente no conductora 66.

Sin embargo, el montaje mostrado en la figura 3 es
30 totalmente inadecuado para su aplicación en transmisión de potencia.

En aplicaciones de transmisión de potencia, el conmutador de regulación está acoplado al bobinado primario de un transformador. Esto es así ya que disponer las conexiones del
35 conmutador de regulación de este modo crea menores problemas de

aislamiento. Además, dicho montaje reduce el nivel de corriente lo que hace menos pesado el trabajo de los interruptores electromecánicos existentes.

5 Un conmutador de regulación de estado sólido del tipo
mostrado en la figura 3 dispuesto del modo anteriormente
mencionado daría como resultado exponer cada tiristor 62 a más
de 40 kV. Tal voltaje está más allá de la especificación de
funcionamiento práctico de cualquier tiristor conocido.

10 Por lo tanto, es un objeto general de la invención
proporcionar un conmutador de regulación en carga que permita la
utilización de interruptores de semiconductor sin los problemas
inherentes asociados con el funcionamiento de interruptores de
semiconductor adecuados.

15 De acuerdo con un primer aspecto de la invención se
proporciona un conmutador híbrido de regulación en carga para
ser usado en transmisión de corriente alterna de alto voltaje,
que comprende:

un selector;
un derivador que tiene dos patas que definen trayectorias
20 de corriente respectivas, incluyendo cada pata una pareja
de interruptores de semiconductor primero y segundo
opuestos; y
un controlador para activar selectivamente uno de los
interruptores de semiconductor primero o segundo de una
25 pata dada en un momento predeterminado del ciclo de
corriente alterna, de modo que se corte un interruptor de
semiconductor deseado en la otra pata.

El montaje anterior elimina la necesidad de componentes de
puenteo pasivos voluminosos y caros, por lo que se reduce el
30 coste de capital del conmutador de regulación en carga a un
nivel comercialmente aceptable.

El conmutador de regulación en carga proporciona esta
ventaja a la vez que facilita el uso de interruptores de
semiconductor, por lo que mejora la velocidad de funcionamiento
35 del conmutador de regulación.

Opcionalmente, cada pata incluye además al menos un elemento de protección dispuesto en comunicación eléctrica con la pareja de interruptores de semiconductor. Esto permite que los interruptores de semiconductor funcionen dentro de sus límites de funcionamiento normales.

Preferiblemente, el elemento de protección es, o incluye, un amortiguador dispuesto en paralelo con cada pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo. Esto limita la tasa de cambio de voltaje a lo largo del interruptor de semiconductor que está siendo cortado en un cambio de toma, a la vez que se suministra potencia a una carga de factor de potencia negativo.

Opcionalmente, el elemento de protección es, o incluye, una inducción dispuesta en serie entre la pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo. La inclusión de una inducción contribuye a limitar el aumento de corriente que fluye a través de una pareja dada de interruptores de semiconductor primero y segundo cuando se lleva a cabo un cambio de toma.

Convenientemente, cada pata incluye además un condensador dispuesto de modo que descansa en paralelo con un interruptor aislante electromecánico correspondiente del selector. Cada condensador limita la tasa de cambio de voltaje a lo largo de la pareja de interruptores de semiconductor correspondiente, de modo que contribuye a asegurar que cada interruptor de semiconductor funciona dentro de las condiciones de funcionamiento deseables.

En un modo de realización preferido de la invención, cada pata incluye además un limitador de sobretensión dispuesto de modo que descansa en paralelo con un interruptor aislante electromecánico correspondiente del selector. La inclusión de limitadores de sobretensión respectivos protege una pareja correspondiente de interruptores de semiconductor primero y segundo de sobretensiones, por ejemplo durante un rayo.

Opcionalmente, el selector incluye dos interruptores de aislamiento electromecánicos para aislar selectivamente una pata

respectiva del derivador de modo que se circunvalen los interruptores de semiconductor del mismo.

En otro modo preferido de realización de la invención cada interruptor aislante electromecánico del selector incluye una inducción dispuesta en serie con los mismos. La inducción limita la tasa de cambio de corriente mediante parejas respectivas de interruptores de semiconductor, por lo que contribuye a asegurar que dichos interruptores de semiconductor funcionan dentro de condiciones de funcionamiento deseables.

De acuerdo con un segundo aspecto de la invención se proporciona un procedimiento para accionar un conmutador de regulación en carga híbrido, durante transmisión de corriente alterna de alto voltaje, que comprende las etapas de:

- i. proporcionar un selector;
- ii. proporcionar un derivador que tiene dos patas, dada una de las cuales define una trayectoria de corriente respectiva;
- iii. proporcionar a cada pata de una pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo opuestos; y
- iv. activar selectivamente uno de los interruptores de semiconductor primero o segundo de una pata dada en un momento predeterminado del ciclo de corriente alterna de modo que se corte un interruptor de semiconductor deseado en la otra pata.

Opcionalmente, la etapa iii. incluye además proporcionar al menos un elemento de protección dispuesto en comunicación eléctrica con la pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo.

Preferiblemente, la etapa iii. incluye proporcionar un amortiguador dispuesto en paralelo con cada pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo.

Opcionalmente, la etapa iii. incluye proporcionar una inducción dispuesta en serie entre cada pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo y el selector.

Convenientemente, el procedimiento incluye además la etapa de proporcionar un condensador dispuesto de modo que se sitúe en paralelo con un interruptor aislante electromecánico correspondiente del selector.

5 Un procedimiento de la invención preferido incluye además la etapa de proporcionar un limitador de sobretensión dispuesto de modo que se sitúe en paralelo con un interruptor aislante electromecánico correspondiente del selector. Cada limitador de sobretensión protege a una respectiva pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo, de sobretensiones, que pueden
10 tener lugar, por ejemplo durante la caída de un rayo.

Otro procedimiento preferido de la invención incluye además la etapa de proporcionar a cada interruptor aislante electromecánico de una inducción dispuesta en serie con el
15 mismo.

El procedimiento de la invención comparte las ventajas de las características correspondientes del aparato de la invención.

Lo que sigue a continuación es una breve descripción de un modo preferido de realización de la invención, por medio de un ejemplo no limitativo, con referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

La figura 1 muestra una vista esquemática de un conmutador de regulación en carga convencional;

25 La figura 2 muestra una vista esquemática de un conmutador híbrido de regulación en carga conocido;

La figura 3 muestra un conmutador de regulación de estado sólido conocido;

La figura 4 muestra una vista esquemática de un conmutador de regulación en carga conocido de acuerdo con un modo de
30 realización de la invención;

Las figuras 5(a)(i) a 5(e)(ii) muestran posibles estados de conmutación;

La figura 6(a) muestra un diagrama de Lissajous para un
35 cambio a toma de baja;

La figura 6(b) muestra un diagrama de Lissajous para un cambio a toma de alta;

Las figuras 7(a) y 7(b) muestran los efectos combinados respectivos de corriente de carga y corriente circulante;

5 La figura 8 muestra las figuras de Lissajous para cargas de factor de alta potencia; y

La figura 9 muestra el efecto sobre una figura de Lissajous de cambiar el momento en el que un interruptor semiconductor no conductor concreto se activa.

10 Un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con un primer modo de realización de la invención se designa generalmente mediante el número de referencia 70, como se muestra en la figura 4.

15 El conmutador de regulación 70 incluye un tercer selector 72, un tercer derivador 74 y un segundo controlador 76. El conmutador de regulación híbrido comparte algunas características con el conmutador híbrido 30 de regulación, conocido. Tales características se designan utilizando los mismos números de referencia.

20 El tercer selector 72 tiene una pluralidad de tomas 78 e interruptores S1, S2, S3 correspondientes para seleccionar una toma concreta 78. En el ejemplo mostrado, se incluyen tres tomas. Otros modos de realización de la invención pueden incluir un número de tomas 78 mayor o menor.

25 El tercer selector 72 incluye asimismo dos interruptores electromecánicos S4, S5 segundos para aislar selectivamente una pata dada del tercer derivador 74, de modo que aíslan los dispositivos semiconductores del mismo.

30 El tercer derivador tiene dos patas 80, 82, cada una de las cuales define una respectiva trayectoria de corriente. Cada pata 80, 82 incluye una pareja P1, P2 de tiristores primero y segundo 84, 86, opuestos. Los tiristores 84, 86 están dispuestos para establecer selectivamente una trayectoria de flujo de corriente en una pata 80, 82 dada del tercer derivador 74. En otros modos
35 de realización de la invención se puede utilizar un tipo

diferente de interruptor de semiconductor.

5 Cada pata 80, 82 del tercer derivador 74 incluye un amortiguador 88 dispuesto en paralelo con la pareja P1, P2 de tiristores primero y segundo 84, 86. Cada amortiguador 88 incluye una resistencia 90 de amortiguador y un condensador 92 de amortiguador dispuestos en serie entre sí. Cada amortiguador 88 limita, en uso, la velocidad de cambio del voltaje a lo largo de una pareja P1, P2 respectiva de tiristores primero y segundo 84, 86.

10 Cada pata 80, 82 del tercer derivador 74 incluye asimismo un inductor 94 de reacción dispuesto en serie entre la pareja P1, P2 de tiristores primero y segundo 84, 86 y el tercer selector 72. Cada inductor 94 de reacción limita, en uso, la velocidad de cambio de la corriente que fluye a través de una
15 pareja P1, P2 respectiva de tiristores primero y segundo 84, 86.

Además, cada pata 80, 82 incluye un condensador limitador 96 dispuesto en paralelo con un segundo interruptor aislante electromecánico S4, S5 correspondiente del tercer selector 72. Cada condensador limitador 96 contribuye, en uso, a limitar
20 adicionalmente la velocidad de cambio de voltaje a lo largo de una respectiva pareja P1, P2 de tiristores primero y segundo 84, 86.

Cada pata 80, 82 del modo de realización del conmutador híbrido 72 de regulación en carga mostrado incluye además un
25 limitador 98 de sobretensión dispuesto en paralelo con un segundo interruptor aislante electromecánico S4, S5. En uso, cada limitador 98 de sobretensión protege una pareja P1, P2 respectiva de tiristores primero y segundo 84, 86 de un pico de tensión durante, por ejemplo, la caída de un rayo.

30 Cada interruptor aislante electromecánico segundo S4, S5 incluye una inducción 100 de selección dispuesta en serie con los mismos. Cada inducción 100 de selección contribuye, en uso, a limitar adicionalmente la velocidad de cambio de corriente en una respectiva pareja P1, P2 de tiristores primero y segundo 84,
35 86.

En uso, el segundo controlador 76 activa selectivamente uno de los tiristores 84, 86 primero o segundo de una pareja P1, P2 no conductora dada, en una pata 80, 82 dada en un momento predeterminado del ciclo de corriente alterna, de modo que se
5 corte un tiristor 84, 86 conductor deseado de la otra pareja P1, P2 en la otra pata 80, 82.

Tal conmutación permite que el número de vueltas en el bobinado primario 14 aumente o disminuya, como se requiera, sin interrumpir el flujo de corriente de carga LC.

10 En el tercer circuito de derivador 74 mostrado, el aumento en el número de vueltas en el bobinado primario provoca un cambio a toma de baja, mientras que la disminución en el número de vueltas provoca un cambio a toma de alta.

Dentro del tercer circuito de derivador 74, mostrado en la
15 figura 4, tienen lugar cuatro estados distintos de voltaje de toma y corriente de carga LC durante una mitad de un ciclo AC dado, por ejemplo, cuando el voltaje de alimentación es positivo. Los cuatro estados son: (i) tanto el voltaje de toma como la corriente de carga LC son positivos; (ii) el voltaje de
20 toma es negativo y la corriente de carga LC es positiva; (iii) tanto el voltaje de toma como la corriente de carga LC son negativos; y (iv) el voltaje de toma es positivo y la corriente de carga LC es negativa.

Dado que las dos mitades de un ciclo AC (esto es, cuando
25 el voltaje de alimentación es positivo y negativo, respectivamente) son simétricas, los cuatro estados adicionales de voltaje de toma y corriente de carga para la segunda mitad, negativa, del ciclo son esencialmente duplicados de los primeros cuatro estados.

30 Además, cuando tiene lugar retrogeneración, esto es, cuando la corriente de carga regenera potencia, surgen otros cuatro estados de voltaje de toma y corriente de carga LC. Cada uno de ellos corresponde a uno de los cuatro estados distintos de voltaje de toma y corriente de carga LC esbozados anteriormente.

35 La figura 5(a)(i) ilustra el primer estado de voltaje de

toma y corriente de carga LC. El segundo tiristor de la segunda pareja 86^{P2} es inicialmente conductor, esto es, está activado, y la corriente de carga LC es suministrada, esto es, sale del bobinado primario 14 del transformador, de modo que es
5 considerada positiva.

El voltaje de alimentación es positivo, de modo que el bobinado 15 de la primera toma que está conectado a través del segundo tiristor de la segunda pareja 86^{P2} es positivo con relación al bobinado 17 de la segunda toma a la que se desea
10 conmutar. Por consiguiente, en este estado el voltaje de toma se considera positivo.

La figura 5(a)(ii) muestra un esquema simplificado del estado mostrado en la figura 5(a)(i).

Las figuras 5(b)(i) y 5(b)(ii) ilustran el segundo estado.
15 La corriente de carga LC está en regeneración, esto es, fluye en el bobinado primario 14, y por tanto se considera negativa. El bobinado 15 de la primera toma es positivo con relación al bobinado 17 de la segunda toma a la que se desea conmutar. Por consiguiente, el voltaje de toma es considerado positivo.

20 Las figuras 5(c)(i) y 5(c)(ii) ilustran el tercer estado. La corriente de carga LC es suministrada desde el bobinado primario 14, de modo que se considera positiva. El bobinado 17 de la segunda toma es negativo con respecto al bobinado 15 de la primera toma a la que se desea conmutar. Por consiguiente, el
25 voltaje de toma se considera negativo.

Las figuras 5(d)(i) y 5(d)(ii) ilustran el cuarto estado. La corriente de carga LC está en regeneración de modo que se considera negativa. El bobinado 17 de la segunda toma es negativo con respecto al bobinado 15 de la primera toma a la que
30 se desea conmutar, de modo que el voltaje de toma es asimismo negativo.

Es posible representar la relación entre el voltaje de toma y la corriente de carga LC en cualquier instante particular de un ciclo AC dado de un sistema de transmisión de potencia en un
35 diagrama de Lissajous, como se muestra en las figuras 6(a) y

6(b) .

Cada diagrama de Lissajous incluye unos cuadrantes 102, 104, 106, 108 primero, segundo, tercero y cuarto que corresponden a estados de voltaje de toma y corriente de carga LC respectivos.

Los estados de voltaje de toma y corriente de carga LC en cada uno de los estados primero a cuarto corresponden a aquéllos en un respectivo cuadrante 102, 104, 106, 108. Por consiguiente, es posible mapear cada uno de los estados primero a cuarto en un diagrama de Lissajous.

Un primer diagrama 112 de Lissajous (figura 6(a)) es para un cambio a toma de baja, esto es, para reducir el voltaje en el bobinado secundario del transformador conmutando la conexión de toma de modo que aumente el número de vueltas en el bobinado primario 14.

Para una carga de inducción (como se ilustra), la relación entre voltaje de toma y corriente de carga LC varía con el tiempo a lo largo del lugar geométrico del primer diagrama 112 de Lissajous en una dirección contrahoraria.

Una carga capacitiva (no ilustrada) provocaría que la relación entre voltaje de toma y corriente de carga LC variara con el tiempo a lo largo del lugar geométrico del primer diagrama 112 de Lissajous en una dirección horaria.

Un segundo diagrama 114 de Lissajous (figura 6(b)) ilustra la relación entre voltaje de toma y corriente de carga LC en el tercer circuito de derivación 74 al llevar a cabo un cambio a toma de alta, esto es, cuando disminuye el número de vueltas en el bobinado primario 14.

El segundo diagrama 114 de Lissajous es una imagen especular del primer diagrama 112 de Lissajous, alrededor del eje vertical de voltaje de toma cero.

Para una carga de inducción (como se ilustra), la relación entre voltaje de toma y corriente de carga varía con el tiempo a lo largo de la segunda figura 114 de Lissajous en una dirección horaria.

Una carga capacitiva (no ilustrada) provocaría que la relación entre voltaje de toma y corriente de carga LC variara con el tiempo a lo largo del lugar geométrico del segundo diagrama 114 de Lissajous en una dirección contrahoraria.

5 El lugar geométrico de cada diagrama 112, 114 de Lissajous atraviesa cada cuadrante independientemente de si el cambio de toma es a baja o a alta. La naturaleza del cambio de toma determina meramente la cantidad de tiempo que el lugar geométrico de cada diagrama 112, 114 de Lissajous permanece en
10 un cuadrante concreto.

Dado que los estados primero y segundo (figuras 5(a) y 5(b)) son para un cambio a toma de baja, corresponden al primer diagrama 112 de Lissajous.

En el primer estado tanto la corriente de carga como el
15 voltaje de toma son positivos, de modo que corresponde al primer cuadrante 102 del primer diagrama 112 de Lissajous. En el segundo estado la corriente de carga es negativa y el voltaje de toma es positivo, de modo que corresponde al cuarto cuadrante 108 del primer diagrama 112 de Lissajous.

20 Dado que los estados tercero y cuarto (figuras 5(c) y 5(d)) son para un cambio a toma de alta, corresponden al segundo diagrama 114 de Lissajous.

En el tercer estado, la corriente de carga es positiva y el voltaje de toma es negativo, de modo que corresponde al segundo
25 cuadrante 104 del segundo diagrama 114 de Lissajous. En el cuarto estado tanto la corriente de carga como el voltaje de toma son negativos, de modo que corresponde al tercer cuadrante 106 del segundo diagrama 114 de Lissajous.

La polaridad del voltaje del bobinado primario 14 en cada
30 una de las figuras 5(a) a 5(d) se establece mediante el voltaje de alimentación, que es positivo durante el medio ciclo considerado.

En cada una de las figuras 5(a) y 5(b), un tiristor 84^{P2} , 86^{P2} de la segunda pareja P2 es inicialmente conductor, mientras
35 que cada uno de los otros tiristores 84^{P1} , 86^{P1} de la primera

pareja P1 puede ser activado, de modo que conduzca, esto es, inicialmente es no conductor. Consecuentemente, el voltaje de toma es positivo. Esto, en combinación con que la corriente de carga LC sea o suministrada o regenerada, esto es, sea positiva o negativa, determina si es posible la conmutación.

Por ejemplo, para los estados ilustrados en las figuras 5(a)(i) y (ii) (esto es, la corriente de carga es positiva y el voltaje de toma es positivo), activar el primer tiristor 84^{P1} no conductor de la primera pareja P1 provoca que una corriente circulante CC, impulsada por la polaridad de voltaje del bobinado primario 14, fluya en el circuito.

La corriente circulante CC refuerza la corriente de carga LC para dar lugar a una corriente combinada global aumentada, como se muestra en la figura 7(a).

Para los estados ilustrados en las figuras 5(b)(i) y (ii), activar el primer tiristor 84^{P1} no conductor de la primera pareja P1 provoca que una corriente circulante CC, impulsada por la polaridad de voltaje del bobinado primario 14, fluya en el circuito.

La corriente circulante CC cancela la corriente de carga LC, como se muestra en la figura 7(b), permitiendo por lo tanto el corte del tiristor conductor (en este ejemplo, el primer tiristor conductor 84^{P2} de la segunda pareja P2).

Mientras tanto, el tiristor recién activado (el primer tiristor 84^{P1} de la primera pareja P1) puede conducir la corriente de carga principal, esto es, el primer tiristor 84^{P1} de la primera pareja P1 define una nueva trayectoria de flujo para la corriente de carga, como se muestra mediante la línea discontinua LC' en la figura 5(b)(i). De este modo, el flujo de corriente de carga se mantiene mientras aumenta el número de vueltas sobre el bobinado primario 14, esto es, mientras se lleva a cabo un cambio de toma.

En cada una de las figuras 5(c) y 5(d), un tiristor 84^{P1} , 86^{P1} de la primera pareja P1 es inicialmente conductor, mientras que cada uno de los otros tiristores 84^{P2} , 86^{P2} de la segunda

pareja P2 puede ser activado, de modo que conduzca, esto es, inicialmente es no conductor. Consecuentemente, el voltaje de toma es negativo. Esto, en combinación con que la corriente de carga LC sea o suministrada o regenerada, esto es, sea positiva o negativa, determina si es posible la conmutación.

Por ejemplo, para los estados ilustrados en las figuras 5(c)(i) y (ii), activar el segundo tiristor 86^{P2} no conductor de la segunda pareja P2 provoca que una corriente circulante CC, impulsada por la polaridad de voltaje del bobinado primario 14, fluya en el circuito.

La corriente circulante CC cancela la corriente de carga LC, permitiendo por lo tanto el corte del tiristor conductor (en este ejemplo, el segundo tiristor conductor 86^{P1} de la primera pareja P1).

Para los estados ilustrados en las figuras 5(d)(i) y (ii), activar el segundo tiristor 86^{P2} no conductor de la segunda pareja P2 provoca que una corriente circulante CC, impulsada por la polaridad de voltaje del bobinado primario 14, fluya en el circuito.

La corriente circulante CC refuerza la corriente de carga LC para dar lugar a una corriente combinada global aumentada.

Por consiguiente, con el fin de cortar un tiristor conductor deseado 84^{P2} , 86^{P1} es necesario activar un tiristor no conductor concreto 84^{P1} , 86^{P2} cuando los estados de voltaje de toma y corriente de carga corresponden con un estado concreto, esto es, aquéllos en el cuarto cuadrante 108 del primer diagrama 112 de Lissajous; y aquéllos en el segundo cuadrante 104 del segundo diagrama 114 de Lissajous.

Como resultado, es necesario controlar cuándo está activando un tiristor no conductor 84^{P1} , 86^{P2} durante el ciclo AC. Esto es así con el fin de asegurar que hay suficiente tiempo para completar el corte de un tiristor conductor 84^{P2} , 86^{P1} concreto mientras la corriente de carga y el voltaje de toma del sistema de transmisión de potencia corresponden a los estados en los cuadrantes segundo o cuarto 104, 108.

El instante concreto en cada uno de los cuadrantes 104, 108 segundo y cuarto en el cual el tiristor no conductor 84^{P2} , 86^{P1} concreto es activado se elige con el fin de minimizar la velocidad de cambio de corriente y voltaje experimentada por el
 5 tiristor de cada pareja P1, P2.

Por ejemplo, es deseable activar el tiristor no conductor 84^{P1} , 86^{P2} concreto mientras el voltaje de toma es bajo, de modo que se limite la subida de corriente experimentada por las respectivas parejas de tiristores P1, P2.

10 A llevar a cabo un cambio a toma de baja (figuras 5(a) y 5(b)) se muestra en el lugar geométrico del primer diagrama 112 de Lissajous (figura 6(a)) un primer período de tiempo 122, durante la cual es deseable cortar un tiristor conductor 84^{P2} concreto.

15 Este periodo se elige de modo que se limite la velocidad de cambio de corriente experimentada por cada pareja de tiristores P1, P2 durante la conmutación.

Al limitar la velocidad de cambio de corriente durante la conmutación, se reduce el tamaño del inductor 94 de reacción
 20 necesario, y de aquí el coste de tal inducción. Una velocidad de cambio de corriente baja tiene lugar junto al eje de voltaje de toma cero.

Por consiguiente, activando el segundo tiristor no conductor 86^{P1} de la primera pareja P1 cuando el ciclo AC es
 25 contiguo al eje de voltaje de toma cero, es posible limitar la velocidad de cambio de corriente experimentada por cada pareja de tiristores P1, P2 al intervalo de parámetros de funcionamiento físicos de cada tiristor 84^{P1} , 86^{P1} , 84^{P2} , 86^{P2} utilizando tan sólo un inductor 94 de reacción de tamaño
 30 moderado y menos costoso.

A llevar a cabo un cambio a toma de alta (figuras 5(c) y 5(d)) es deseable cortar el tiristor conductor 86^{P1} durante un
 segundo período de tiempo 124, como se muestra en el lugar geométrico de segundo diagrama 114 de Lissajous de la figura
 35 6(b).

Con el fin de limitar la velocidad de cambio de corriente experimentada por cada pareja de tiristores P1, P2 durante la conmutación es deseable que la conmutación tenga lugar mientras el voltaje de toma es bajo, esto es, contiguo al eje de voltaje de toma cero. Sin embargo, para que la conmutación tenga lugar dentro de un cuadrante deseado, por ejemplo, el segundo cuadrante 104 del segundo diagrama 114 de Lissajous, esto debe ocurrir antes de que el voltaje de toma alcance los cero voltios.

10 Como resultado, existe una alta velocidad de cambio de voltaje a lo largo de cada pareja de tiristores P1, P2.

Con el fin de limitar el grado en el que cada pareja de tiristores P1, P2 experimenta esta velocidad de cambio de voltaje, es deseable incluir un amortiguador 88 en paralelo con cada pareja de tiristores P1, P2.

15 La simetría de cada mitad del ciclo AC significa que cuando se lleva a cabo un cambio a toma de baja es posible asimismo cortar el tiristor conductor 86^{P2} durante el medio ciclo negativo, como se muestra en las figuras 5(e)(i) y (ii).

20 Los estados de corriente de carga y voltaje de toma durante este período corresponden a aquéllos en el segundo cuadrante 104 del primer diagrama 112 de Lissajous (figura 6(a)). En el lugar geométrico del primer diagrama 112 de Lissajous se muestra un tercer periodo de tiempo 123 durante el cual es deseable cortar el tiristor conductor 86^{P2} .

25 De modo similar, cuando se lleva a cabo un cambio a toma de alta es posible asimismo cortar el tiristor conductor durante el segundo medio ciclo negativo.

Los estados de corriente de carga y voltaje de toma durante este período corresponden a aquéllos en el cuarto cuadrante 108 del segundo diagrama 114 de Lissajous (figura 6(b)).

30 Por consiguiente es posible cortar un tiristor conductor respectivo durante cada medio ciclo, esto es un tiristor conductor en cada uno de los cuadrantes 104, 108 segundo y 35 cuarto. Esto significa que la conmutación del tercer derivador

podría tener lugar dos veces durante cada ciclo AC.

Por consiguiente es posible llevar a cabo dos cambios de toma durante cada ciclo AC, sujetos al rendimiento seleccionado, esto es, al tiempo necesario para seleccionar una toma concreta, del tercer selector 72.

Al activar un tiristor no conductor como se esbozó anteriormente, es necesario que los estados de corriente de carga y voltaje de toma del sistema de transmisión de potencia permanezcan dentro del cuadrante deseado 104, 108 durante un tiempo suficiente para permitir que tenga lugar la conmutación. El tiempo mínimo necesario en un cuadrante deseado 104, 108 está determinado por el tiempo que tarda en cortar un tiristor conductor dado, esto es, en recuperar un estado de no conducción. Típicamente, éste es de, aproximadamente, 650 μ s.

Esto impone una restricción sobre la relación de fase entre la corriente de carga y el voltaje de toma, o el denominado "factor de potencia" del sistema.

La figura 8 muestra figuras de Lissajous 126, 128, 130 cuarta a sexta.

Las figuras de Lissajous 126, 128 cuarta y quinta son para relaciones de fase de +0,98 y -0,98 entre corriente de carga y voltaje de toma. Los signos + y - se refieren a cambios a toma de baja y de alta, respectivamente.

El periodo de tiempo que el lugar geométrico de, por ejemplo, la cuarta figura de Lissajous 126 está en el segundo cuadrante 104, como se indica mediante un cuarto periodo de tiempo 132, es de 650 μ s. Por consiguiente, una carga de factor de potencia de +/- 0,98 es el factor de potencia más alto que permite que la conmutación tenga lugar totalmente dentro de un cuadrante deseado 104, 108.

Relaciones de fase superiores entre corriente de carga y voltaje de toma, esto es, factores de potencia superiores, dan como resultado una figura de Lissajous crecientemente estrecha que pasa menos de 650 μ s en un cuadrante deseado 104, 108, como se muestra mediante la sexta figura de Lissajous 130, que es

para una unidad, esto es, una carga de factor de potencia + 1,0.

Esta limitación en la relación de fase puede ser superada activando el tiristor no conductor, esto es, iniciando la conmutación, antes de cruzar el eje de voltaje de toma cero y
5 antes de entrar en el tercer cuadrante 106, como se indica mediante un quinto periodo de tiempo 134.

Preferiblemente, tal conmutación tiene lugar aproximadamente a mitad del tiempo de recuperación del tiristor, esto es, 325 μ s antes de cruzar el eje de voltaje de toma cero.

10 Durante tal modo de funcionamiento, el inductor 94 de reacción, la autoinductancia del transformador y la conmutación de la polaridad de voltaje del bobinado primario 14 (esto es, el voltaje de toma) a medida que el voltaje de alimentación se invierte, contribuyen todos ellos a limitar la subida de
15 corriente resultado del cortocircuito creado.

Cuando se lleva a cabo un cambio a toma de baja, conmutar el voltaje de toma al cruzar el eje de voltaje de toma cero crea el estado ilustrado en la figura 5(e). Esto genera una corriente circulante CC que cancela la corriente de carga LC, permitiendo
20 por lo tanto que se corte el tiristor conductor 86^{P2}.

Activar el tiristor no conductor 86 antes de cruzar el eje de voltaje de toma cero desplaza la figura de Lissajous (como se muestra en la figura 9), de modo que cambia el punto en el que el lugar geométrico de la misma entra en un cuadrante deseado
25 104, 108 (en este caso, el cuarto cuadrante 108) con el fin de proporcionar un tiempo suficiente dentro del cuadrante 108 deseado para que tenga lugar la conmutación.

Reivindicaciones

1. Un conmutador híbrido de regulación en carga, para su uso en transmisión de corriente alterna de alto voltaje, que comprende:
 - 5 un selector (72);
un derivador (74) con dos patas (80, 82) que definen respectivas trayectorias de corriente, incluyendo cada pata una pareja de interruptores opuestos primero y segundo (84, 86) de semiconductor; y
 - 10 un controlador (76) configurado para activar uno de los interruptores de semiconductor primero o segundo de una pata dada en un momento predeterminado del ciclo de corriente alterna, de modo que se corte un interruptor de semiconductor deseado de la otra pata,
 - 15 caracterizado porque incluye un amortiguador (88) dispuesto en paralelo con cada pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo.
2. Un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con la reivindicación 1, en el que el elemento de protección es un
20 inductor dispuesto en serie entre cada pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo y el selector.
3. Un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada pata incluye además un condensador dispuesto en paralelo con un
25 interruptor aislante electromecánico correspondiente del selector.
4. Un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que cada pata incluye además un limitador de sobretensión dispuesto en
30 paralelo con un interruptor aislante electromecánico correspondiente del selector.
5. Un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el selector incluye dos interruptores aisladores electromecánicos
35 para aislar selectivamente una pata respectiva del derivador de

modo que se circunvalen los interruptores de semiconductor del mismo.

6. Un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con la reivindicación 5, en el que cada interruptor aislante
5 electromecánico del selector incluye una inducción dispuesta en serie con el mismo.

7. Un procedimiento para el funcionamiento de un conmutador híbrido de regulación en carga, durante transmisión de corriente alterna de alto voltaje, que comprende las etapas de:

- 10 i. disponer un selector (72);
- ii. disponer un derivador (24) con dos patas (80, 82), definiendo cada una de ellas una trayectoria de corriente respectiva; y
- 15 iii. proporcionar a cada pata de una pareja (P1, P2) de interruptores de semiconductor primero y segundo opuestos (84, 86);
caracterizado porque dicho procedimiento comprende además la siguiente etapa de:
- 20 iv. activar selectivamente uno de los interruptores de semiconductor primero o segundo de una pata dada en un momento predeterminado del ciclo de corriente alterna de modo que se corte un interruptor de semiconductor deseado en la otra pata,
y porque el momento predeterminado en el que los
25 interruptores de semiconductor (84, 86) son accionados es justo antes de que aparezca un voltaje cero a través de los terminales de toma.

8. Un procedimiento de funcionamiento de un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con la reivindicación 7, en el
30 que la etapa (iii) incluye disponer una inducción en serie entre cada pareja de interruptores de semiconductor primero y segundo y el selector.

9. Un procedimiento de funcionamiento de un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con cualquiera de las
35 reivindicaciones 8 a 10, que incluye además la etapa de disponer

un condensador de modo que se sitúe en paralelo con un interruptor aislante electromecánico correspondiente del selector.

5 10. Un procedimiento de funcionamiento de un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 y 11, que incluye además la etapa de disponer un limitador de sobretensión de modo que se sitúe en paralelo con un interruptor aislante electromecánico correspondiente del selector.

10 11. Un procedimiento de funcionamiento de un conmutador híbrido de regulación en carga de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, que incluye además la etapa de proporcionar a cada interruptor aislante electromecánico del selector de una inducción dispuesta en serie con el mismo.

15

1/12

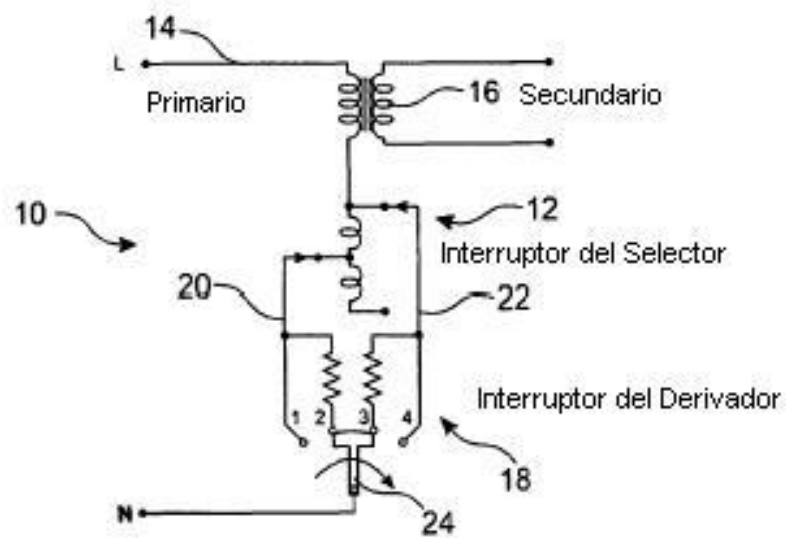


FIG.1

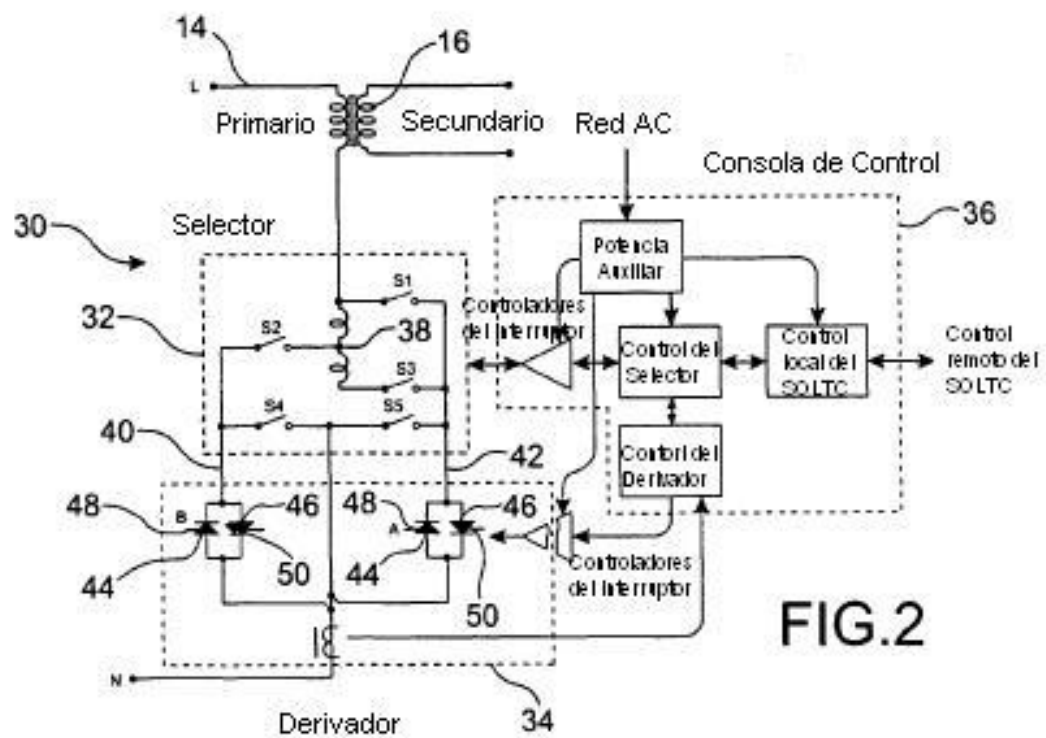


FIG.2

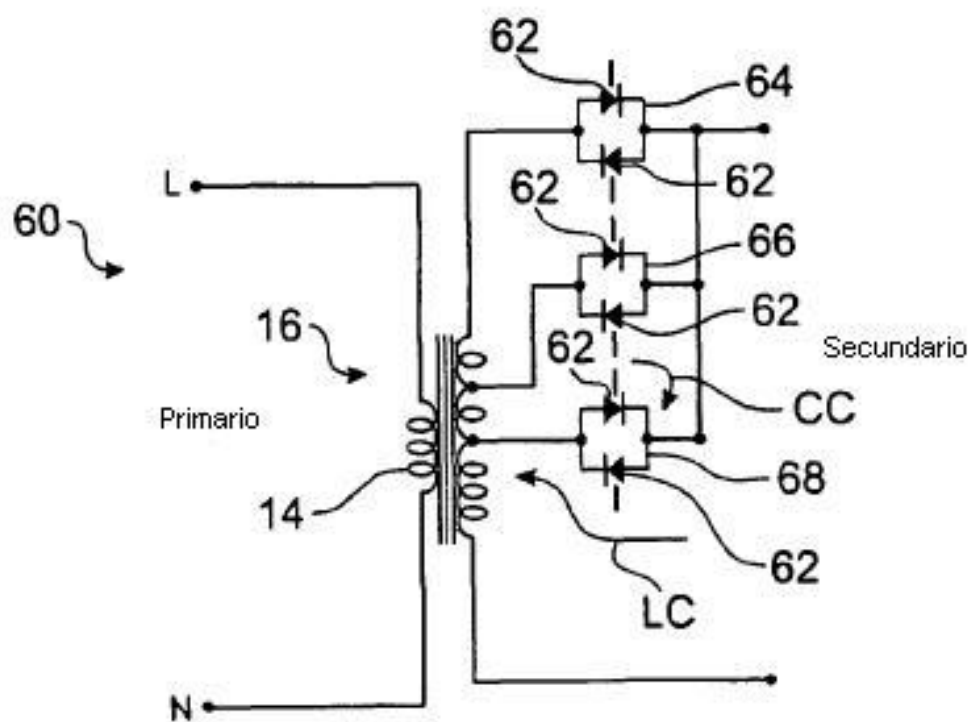


FIG.3

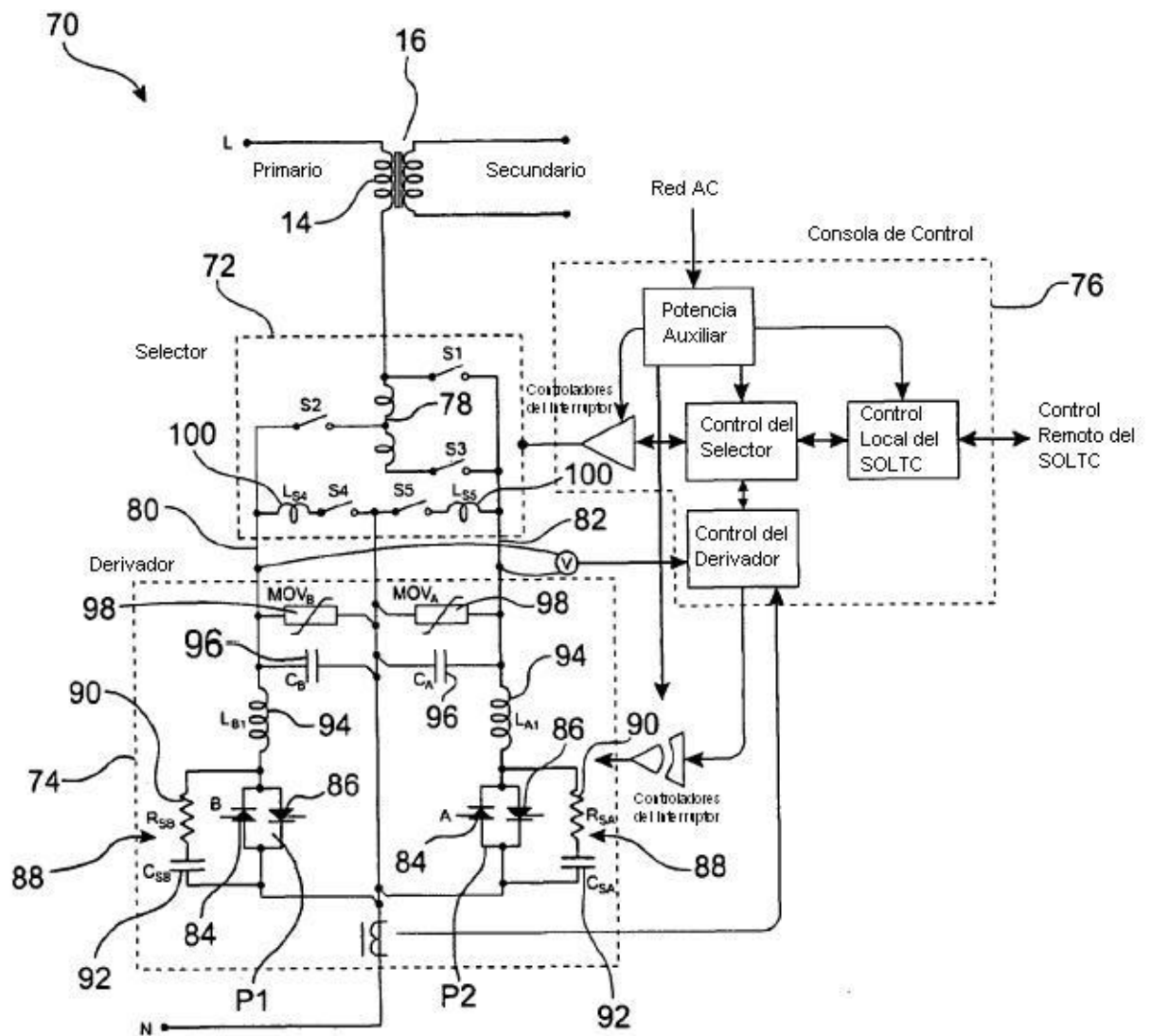


FIG.4

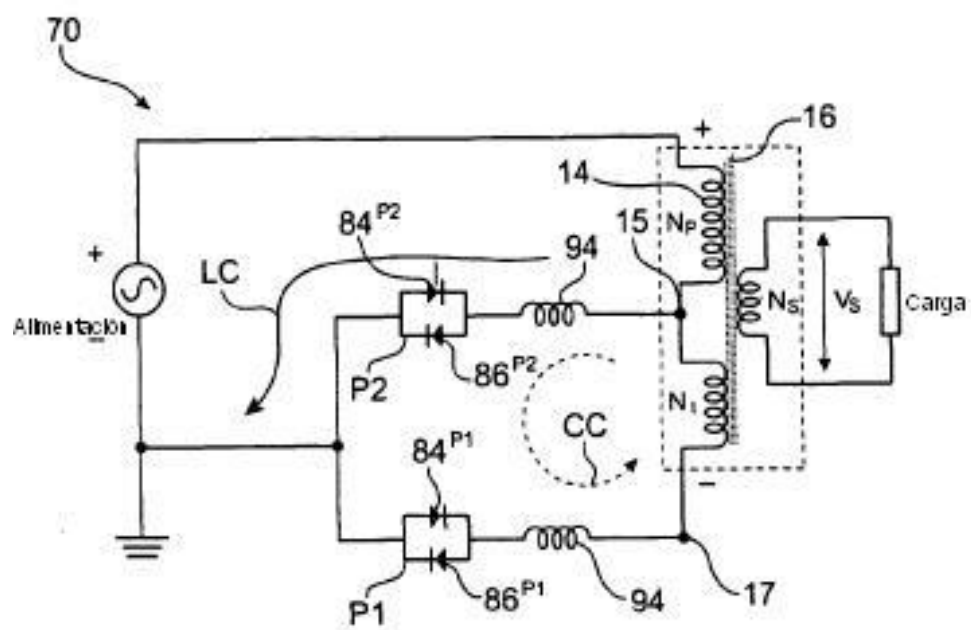


FIG.5(a)(i)

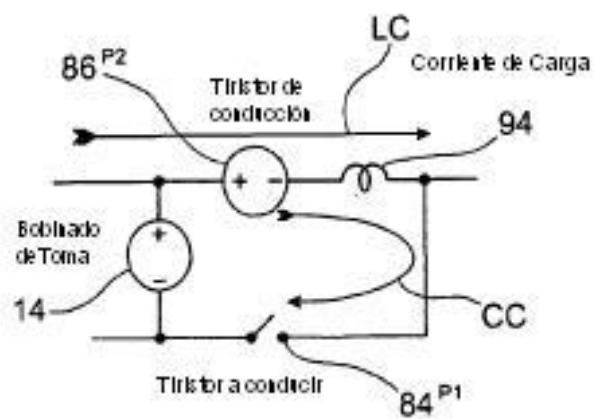


FIG.5(a)(ii)

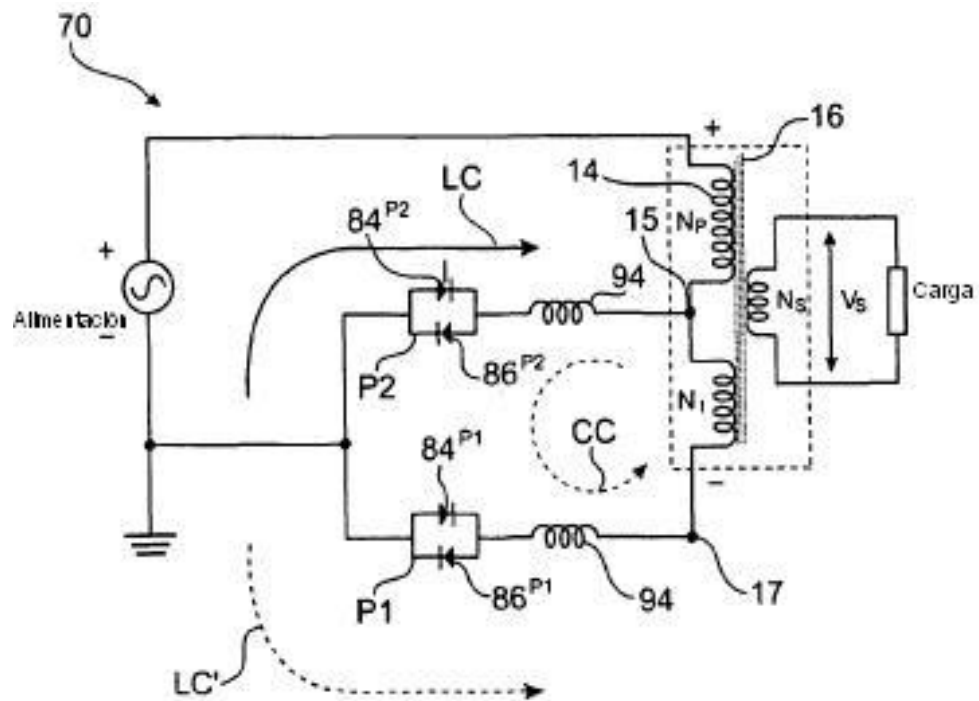


FIG. 5(b)(i)

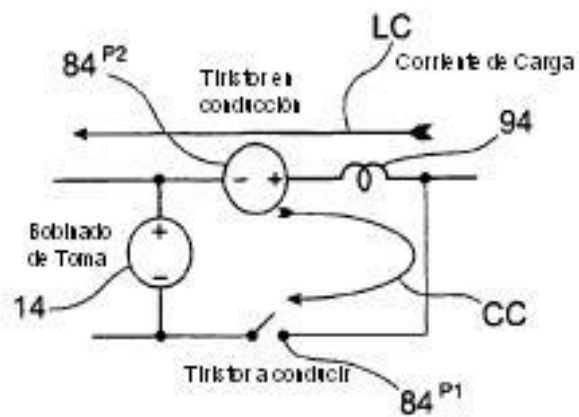


FIG. 5(b)(ii)

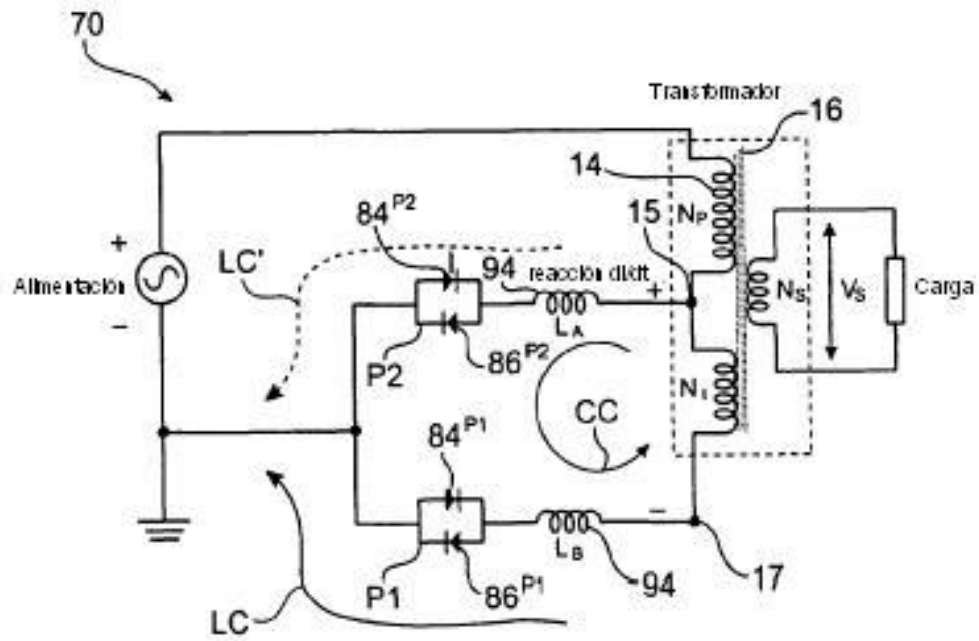


FIG.5(c)(i)

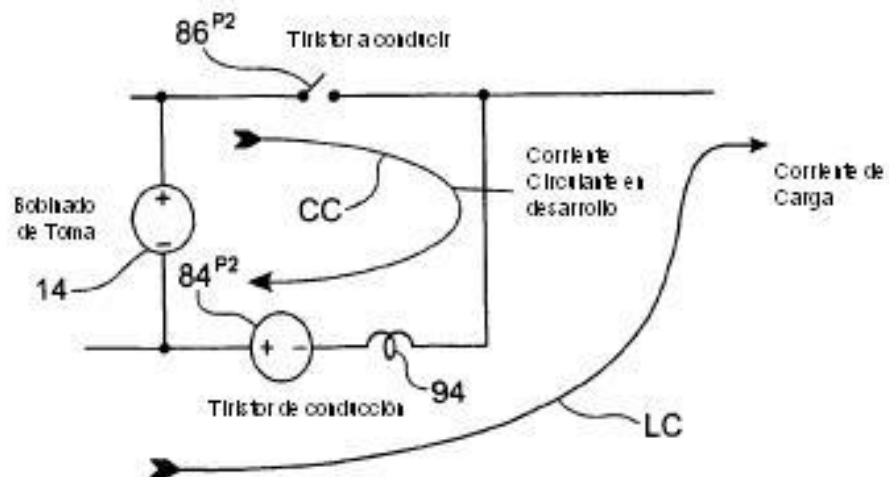


FIG.5(c)(ii)

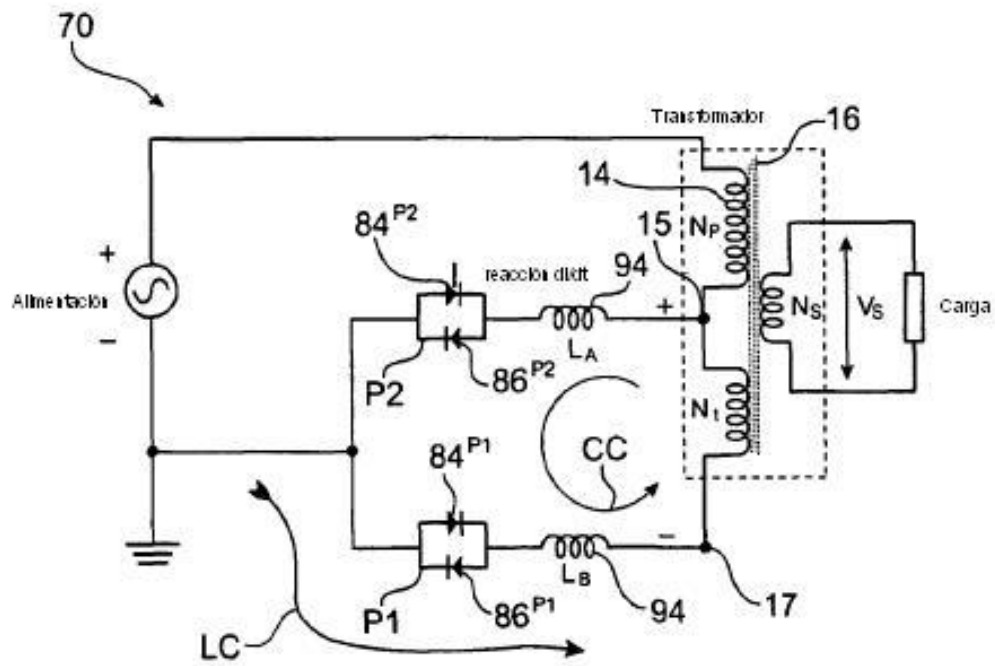


FIG.5(d)(i)

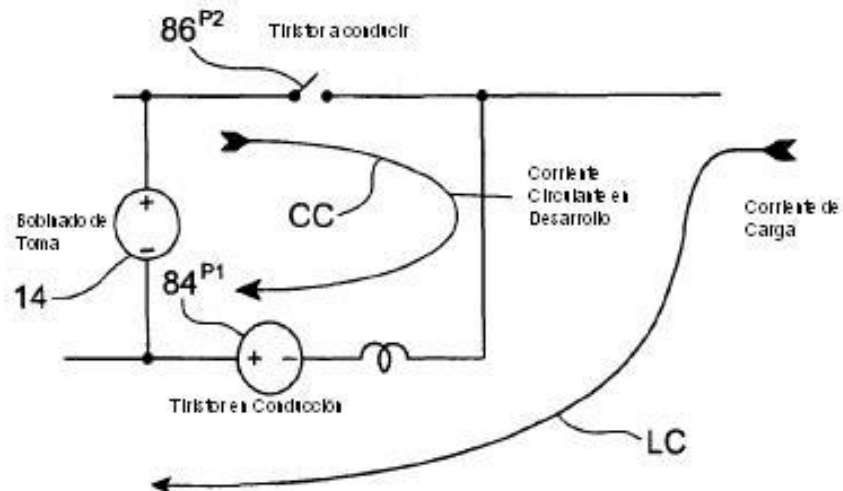


FIG.5(d)(ii)

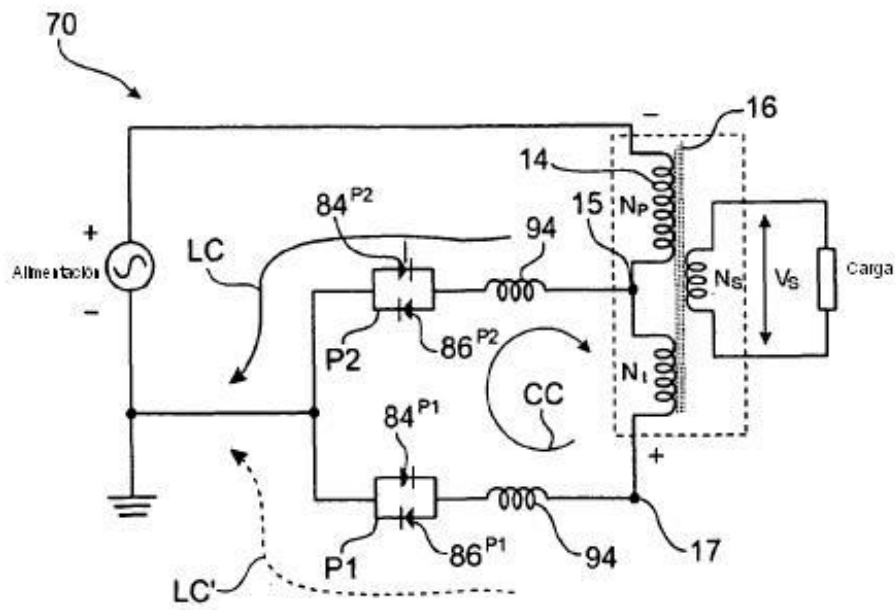


FIG.5(e)(i)

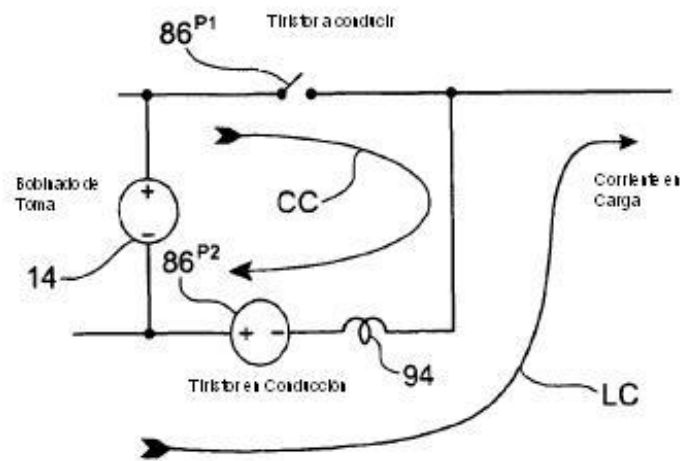


FIG.5(e)(ii)

9/12

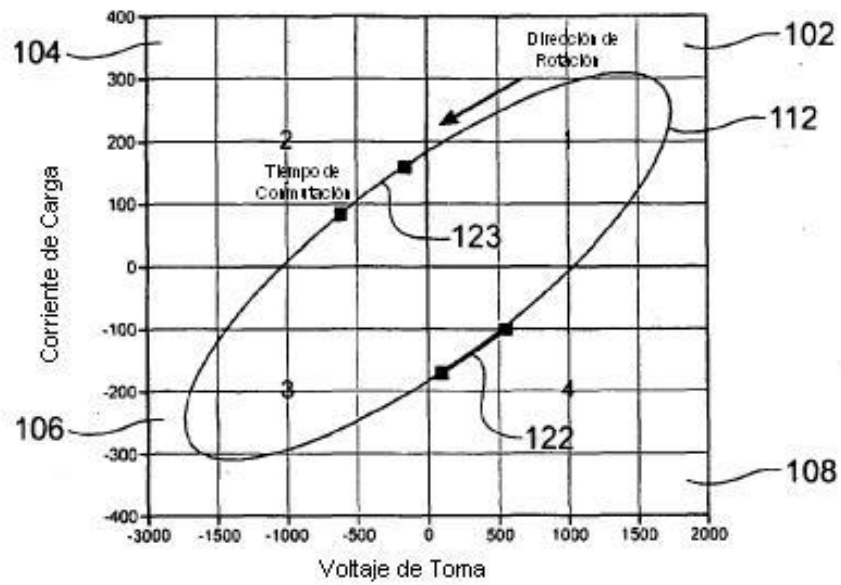


FIG. 6(a)

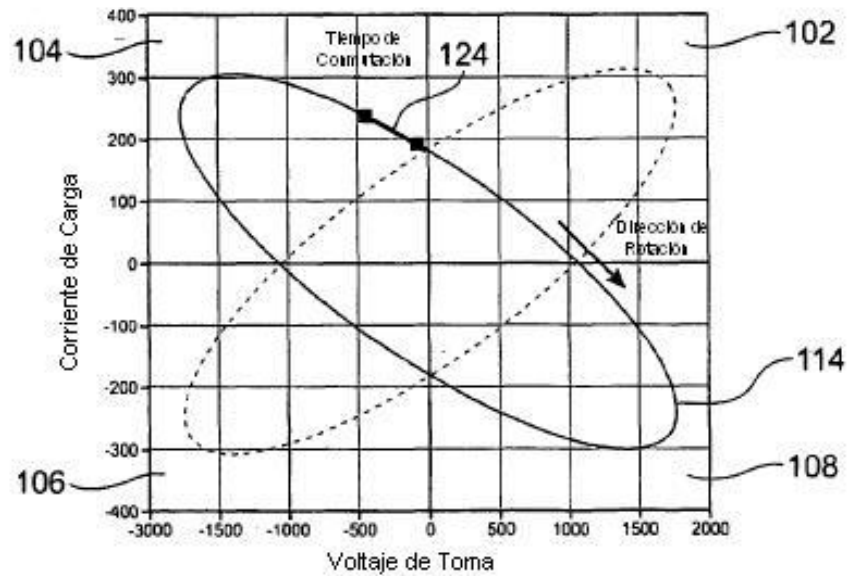


FIG. 6(b)

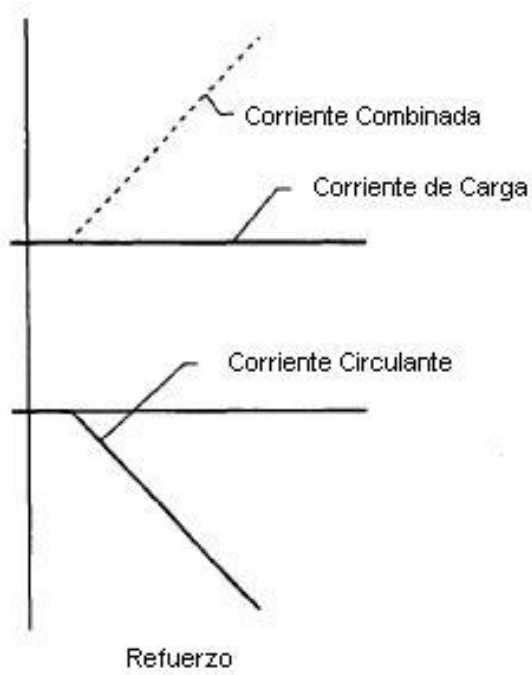


FIG.7(a)

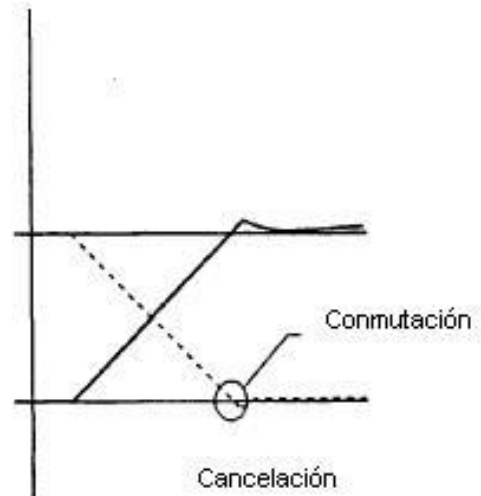


FIG.7(b)

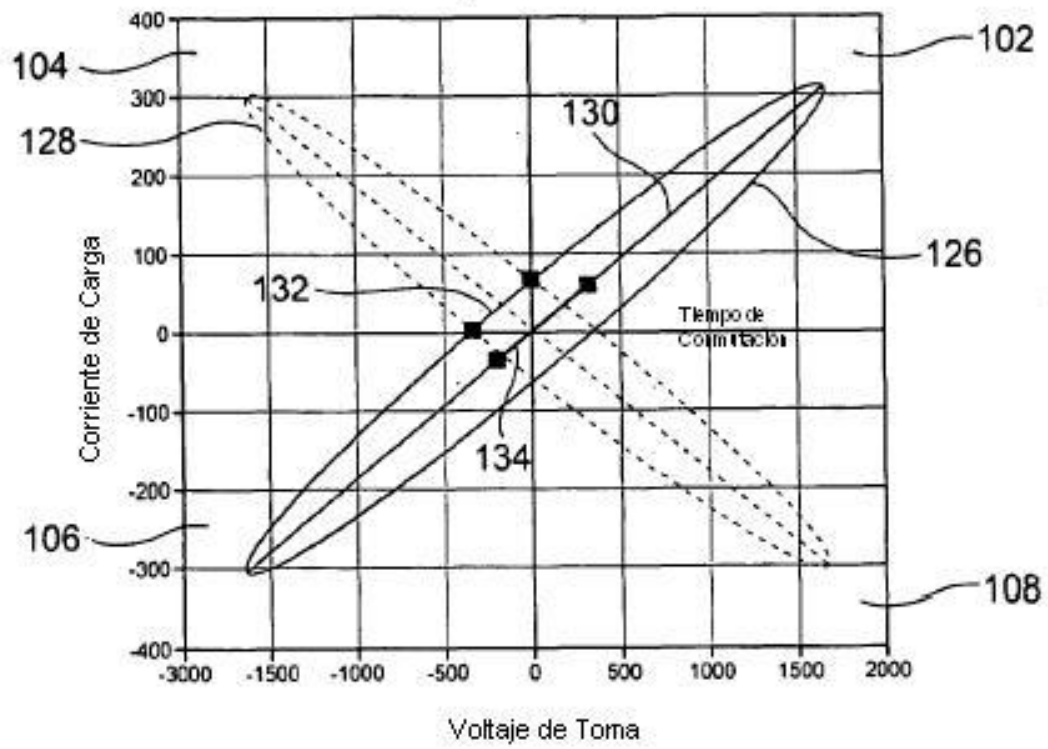


FIG. 8

12/12

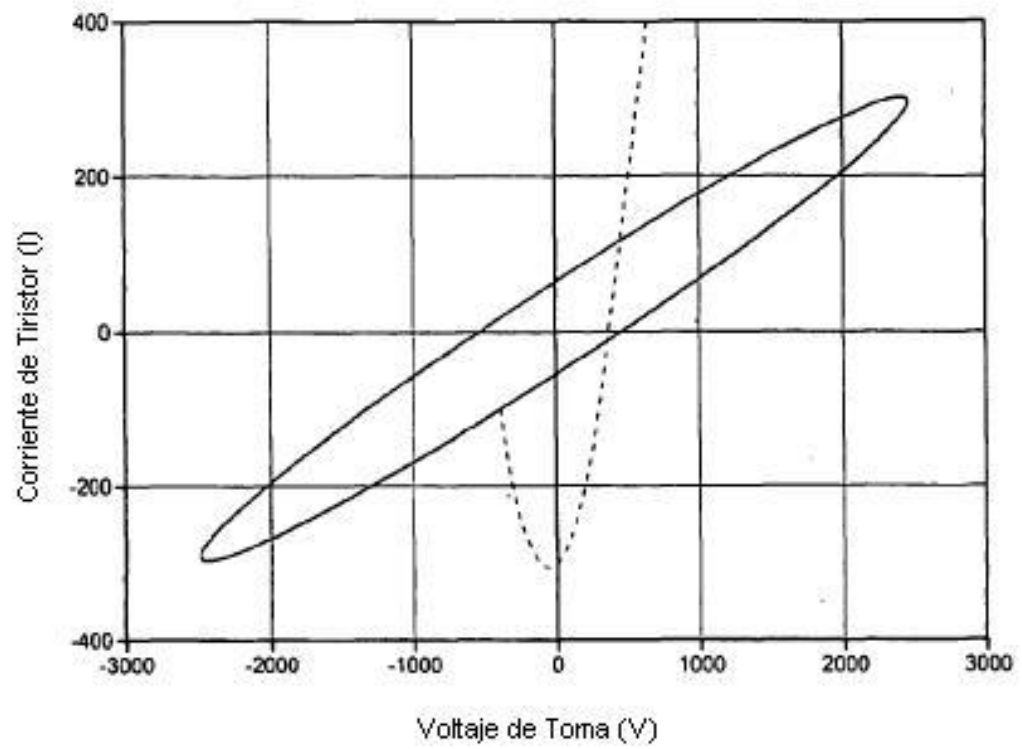


FIG.9