

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 368 577**

51 Int. Cl.:  
**H01F 29/04** (2006.01)  
**H01H 9/54** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **06725430 .0**  
96 Fecha de presentación: **30.03.2006**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1864305**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **12.12.2007**

54 Título: **CAMBIADOR DE TOMA CON CARGA.**

30 Prioridad:  
**31.03.2005 GB 0506472**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**18.11.2011**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**18.11.2011**

73 Titular/es:  
**Schneider Electric Energy France**  
**35, rue Josef Monier**  
**92500 Rueil Malmaison, FR**

72 Inventor/es:  
**Oates, Donald Colin Murray**

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

**ES 2 368 577 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

Cambiador de toma con carga

5 La invención se refiere a los cambiadores de toma con carga, y en particular a la conmutación en los cambiadores de toma con carga.

10 Un cambiador de toma es un dispositivo encajado en un transformador para regular el voltaje de salida del transformador a un nivel requerido. Tal regulación se consigue normalmente conectando selectivamente a tomas particulares del transformador, controlando por ello el número de vueltas en la parte activa del devanado primario o secundario (ref. 1).

15 Un cambiador de toma con carga está diseñado para funcionar cuando conduce corriente y requiere que el circuito no debe ser abierto ni siquiera momentáneamente durante el cambio de toma.

20 Un ejemplo simplificado de un cambiador de toma convencional se muestra en la figura 1A. El cambiador de toma incluye un selector, que tiene dos trayectorias de corriente de salida para seleccionar una de un número de tomas en el devanado primario del transformador; y un desviador con una acción de "conexión antes de desconexión" para desviar corriente desde una trayectoria de corriente a otra sin interrumpir el flujo de corriente. La figura 1B ilustra el nivel de complejidad que es común dentro de los cambiadores de toma para la transmisión de potencia.

25 Los cambiadores de toma convencionales consiguen la acción de "conexión antes de desconexión" conectando resistencias a lo largo del devanado de toma durante el momento de relevo para limitar la corriente circulante que de otro modo se desarrollaría. La interrupción de esta corriente de carga combinada y corriente circulante que usa contactos de conmutador eléctricos de alto voltaje convencionales lleva a que se produzca un alto nivel de formación de arco. Ambos degradan la propiedad de aislamiento del aceite en el que el conmutador se coloca y ocasionalmente lleva al "atasco" de mecanismo. La primera de estas condiciones requiere que el aceite sea segregado desde el aceite del transformador principal y que debe ser reemplazado habitualmente, mientras que la segunda puede llevar a un fallo catastrófico de todo el sistema de transformador. Los sistemas modernos incluyen un conmutador de vacío para contener el arco pero esto añade complejidad y el conmutador de vacío requiere reemplazo regular (ref. 2).

35 El selector y el desviador para un cambiador de toma con carga convencional se basan en el aislamiento de aceite para conseguir los niveles de aislamiento contacto con contacto requeridos por el voltaje de transformador nominal mayor. El selector sólo funciona relativamente despacio, llevando varios segundos cambiar la conexión de toma, mientras que el desviador debe proporcionar un relevo rápido cuando el selector ha hecho la conexión de toma con el fin de limitar el nivel de corriente circulante. Sin embargo, esto todavía lleva varios ciclos de frecuencia de potencia completarlo.

40 Una red de potencia convencional puede ser descrita como una red de estaciones de potencia que proporciona potencia a una red de suministro eléctrico desde la que la potencia se dispersa después a los consumidores a través de una red de distribución. Hay una tendencia hacia una generación más localizada, apoyada por legislación nacional e internacional, que requerirá mucha más flexibilidad en la manera en que la potencia es manejada a un nivel local. Esto requerirá cambiadores de toma que son más pequeños, más baratos y más fáciles de instalar y mantener y que funcionarán con un intervalo más amplio de flujo de corriente y factores de potencia que los cambiadores de toma existentes. Además hay un requerimiento para cambiadores de toma con un rendimiento significativamente mayor para ser aplicado a aplicaciones más noveles tales como transformadores de cambio de fase en los que el requerimiento sería cubrir el intervalo completo de 25 tomas en el mismo tiempo que actualmente lleva hacer un cambio de toma.

50 El documento DE 4124431 divulga un circuito de protección que incluye al menos una resistencia conectada en serie con uno de un contacto de conmutador de escalonamiento de transformador y asociado con un filtro de paso alto para desviar el transitorio sobre el voltaje.

55 Un objeto de la invención es superar los problemas descritos anteriormente y conocer las peticiones previstas de solicitar generación distribuida para distribución de potencia localizada.

60 Otro objeto de la invención es proporcionar un cambiador de toma con mejores propiedades que los descritos anteriormente, proporcionando un cambio más rápido en la conexión de tomas sin interrumpir el circuito de transformador.

65 La invención puede usarse tanto para reemplazar el desviador como para reemplazar el sistema de cambiador de toma con carga completo. La última opción requeriría un número suficientemente pequeño de conmutadores de potencia eléctrica para hacerlo competitivo en tamaño y coste a la técnica anterior en cambiadores de toma con carga descritos anteriormente.

De acuerdo con la invención, se proporciona un cambiador de toma con carga de acuerdo con la reivindicación 1.

El cambiador de toma con carga puede comprender además un selector y un desviador, comprendiendo el desviador un par de elementos opuestos de conmutador y un circuito de conmutación, siendo accionable el circuito de conmutación para establecer una corriente resonante al cerrarse un elemento de conmutador no conductor para apagar por conmutación un elemento de conmutador de formación de arco.

El cambiador de toma está destinado para la asociación con un transformador para conexión a un sistema de potencia que tiene una o más fases.

Los elementos opuestos de conmutador pueden estar dispuestos para proporcionar un relevo "desconexión antes de conexión" en la que abrir los contactos de conmutador con corriente provoca un arco entre contactos que mantienen la conducción pasada la primera acción de interrupción. El concepto es que el cierre del segundo conmutador obligará al circuito de conmutación a suprimir el arco en los primeros contactos de conmutador. Con un circuito de conmutación suficientemente rápida el resultado es dar un relevo instantáneo ideal entre los conmutadores.

De acuerdo con la invención, se proporciona un cambiador de toma con carga que comprende uno o más pares de elementos opuestos de conmutador para conexión a respectivos devanados de tomas de un transformador, incluyendo el cambiador de toma un circuito de conmutación que es accionable para establecer una corriente resonante al cerrarse un elemento de conmutador no conductor para apagar por conmutación un elemento de conmutador de formación de arco.

El circuito de conmutación se incluye con cada elemento de conmutador opuesto para proporcionar un relevo ideal de corriente en el que el contacto de conmutador cerrado se abrió con carga y mantiene la conducción provocando un arco entre sus contactos. Cerrar los segundos contactos de conmutador obliga al circuito de conmutación a apagar por conmutación el arco a través de los primeros contactos de conmutador. Usando una matriz de tomas de transformador eléctricamente abiertas como parte de una red de tales elementos opuestos de conmutador, puede ensamblarse un cambiador de toma completo, sin el requisito de distinguir entre un selector y un desviador. Además, empleando devanados de tomas aislados con valores de vueltas que varían de uno a otro de acuerdo con una secuencia preestablecida, por ejemplo binaria, puede reducirse significativamente el número requerido de devanados y elementos de conmutador sobre el de un cambiador de toma convencional.

El funcionamiento del circuito de conmutación debería ser muy rápido haciendo el relevo de corriente en el elemento de conmutador opuesto una cuestión relacionada con los valores de voltaje y corriente en el instante del relevo más que con la consideración convencional de factor de potencia de carga. Así, el esquema de relevo proporciona una transición fiable rápida, que permite el funcionamiento a alta velocidad haciendo el cambiador de toma resultante adecuado para aplicaciones de alto rendimiento tal como en el cambio de fase de transmisión de potencia, transformadores de transmisión D.C de alto voltaje y transformadores de horno de arco.

Podría emplearse una gama de diferentes tipos de contacto eléctrico y es posible usar un conmutador semiconductor tal como un tiristor, para el que el término "formación de arco" debería sustituirse por "conducción no controlada".

Sin embargo, en una realización preferida, cada elemento de conmutador es un conmutador de vacío. Un conmutador de vacío formará arco fácilmente entre los contactos cuando se abren con corriente, manteniendo la conducción hasta que se suprime la formación de arco. Los conmutadores de vacío requieren poco movimiento de armadura para obtener altos niveles de aislamiento eléctrico entre contactos, así que la acción de armadura puede ser muy rápida. La separación de contacto pequeña también significa que forman arco muy fácilmente cuando se abren con corriente y se han introducido varios aspectos de su diseño para permitir que la formación de arco tenga lugar sin deteriorar su rendimiento, tales como usar metales de contacto especiales que tienen propiedades ventajosas bajo la formación de arco. Siendo plasma en esencia, la formación de arco de contacto es propensa a la inestabilidad bajo ciertas condiciones. Los conmutadores de vacío están diseñados para mantener un alto nivel de estabilidad de arco a niveles muy bajos de corriente y voltaje (0,5 A a 2,5 A y 60 V siendo citado). Excepto la formación de arco que tiene lugar en el aire, el tiempo para recobrar el voltaje de ruptura completo para la separación entre los contactos es muy corto. También el confinamiento del arco dentro de la cámara de vacío significa que la posibilidad de contaminar el aceite del transformador en el que está situado no es posible.

El cambiador de toma puede incluir una red de elementos opuestos de conmutador para conexión a devanados de tomas con números ponderados de vueltas, de manera que puede obtenerse un intervalo completo de valores enteros de tomas por los voltajes de tomas siendo hechos substraer o añadir. La red puede incluir una disposición de devanado de diferencia, una disposición de devanado de suma, o una disposición de devanado de suma-diferencia. Los devanados de tomas pueden tener números de vueltas de igual valor o ponderados como una secuencia numérica, que puede ser binaria.

Hay varios modos diferentes en los que pueden combinarse las tomas de transformador con valores desiguales para

producir una gama de valores de toma usando un mínimo de elementos opuestos de conmutador. Porque todos los voltajes de devanado de toma tienen la misma polaridad, pasar la corriente de carga a través de ellos en una dirección significa que los devanados de toma se añaden al devanado de transformador principal, mientras que pasar la corriente en la dirección opuesta significa que se sustraen desde el devanado de transformador principal.

5 El esquema más simple es el "esquema de diferencia" en el que la corriente pasa alternativamente arriba y abajo a través de los devanados como se ilustra en la figura 3A. Los valores de devanado aumentan como  $3N$ , en una secuencia 1, 3, 6, 9... Por ejemplo para obtener un valor de devanado de toma de 2 los devanados se disponen como 3-1, y para 7 la disposición es 9-3+1. Un esquema más complejo es el "esquema de suma" que está ilustrado en la figura 3B y usa devanados binarios verdaderos. Aquí los devanados de paso alto de conmutadores que no se

10 requieren. Para ilustrar el grado de reducción posible en el número de conmutadores es bien conocido que las disposiciones binarias se elevan como  $2^N$ . Así con 5 elementos opuestos de conmutador debería ser posible obtener 32 combinaciones de toma diferentes. Con el circuito mostrado en la figura 3B se ha añadido una función de inversión que requiere un par de conmutador opuesto extra, para cubrir un intervalo típico de -12 a +12 requeriría seis conjuntos de combinación opuestos de conmutador y cinco devanados de toma. La figura 3C muestra un esquema que combina los esquemas de suma y diferencia para reducir el número de devanados a un mínimo. Desafortunadamente esto es a costa de números de conmutadores aumentados.

El circuito de conmutación puede incluir un circuito LC que tiene un condensador dispuesto para descargar al cerrarse el elemento de conmutador no conductor para crear la corriente resonante, oponiéndose la polaridad de la corriente resonante a la de la corriente de formación de arco.

20

Dependiendo de la polaridad de la corriente de carga de transformador, la corriente resonante cancelará la corriente de carga de transformador antes del primer pico resonante del circuito de conmutación, o en el segundo pico resonante o antes.

25

El condensador puede almacenar suficiente carga para la magnitud de la corriente resonante para cancelar suficientemente la corriente de carga de transformador durante al menos un ciclo de manera que la corriente combinada a través de un elemento de conmutador de formación de arco se reduce a menos que la corriente de corte para el elemento de conmutador. La corriente de corte es establecida por las propiedades del conmutador usado, pero se considerará que es aproximadamente cero amperios.

30

El circuito de conmutación debe invertir el potencial debido a la formación de arco a través de contactos del elemento de conmutador abierto al cerrarse el elemento de conmutador opuesto con el fin de suprimir el arco. La inversión de este potencial requiere que toda la corriente que pasa a través de los contactos de elemento de conmutador debe conducirse hasta por debajo de la corriente de corte citada para el elemento de conmutador. Una vez que el arco se extingue, el tiempo para que el elemento de conmutador se recobre es excepcionalmente corto.

35

Un método propuesto utiliza la propiedad de los condensadores para proporcionar baja impedancia a alta frecuencia y alta impedancia a baja frecuencia en contraste con la propiedad de los inductores para dar alta impedancia a alta frecuencia y baja impedancia a baja frecuencia. Así con los contactos de elemento de conmutador conductores abiertos y formando el arco para mantener la conducción la acción de cerrar los contactos de elemento opuestos de conmutador aplica un voltaje de paso a través de un par de condensadores que momentáneamente invierten el voltaje en los contactos de formación de arco. Esto es permitido que ocurra debido a la presencia de dos inductores. La constante de tiempo de esta acción es muy corta así que estos componentes no interferirían con el funcionamiento normal del cambiador de toma.

40

45

Un condensador situado dentro de una red de inductores y condensadores (red LC) puede estar dispuesto para cargar el voltaje de toma y para descargar después al cerrarse un elemento de conmutador no conductor para crear una corriente resonante.

50

El circuito de conmutación puede estar equilibrado. Por "equilibrado" se quiere decir que dos o más trayectorias de conducción del circuito de conmutación tienen idéntica impedancia.

La ventaja de tal esquema es que toda la corriente resonante circula alrededor de la red LC y no molesta a la corriente de carga. También, la extensión de la resonancia es determinada por la polaridad de la corriente de carga, así una resonancia completa no ocurrirá cuando la corriente circulante debida a la descarga de condensador ya se opone a la dirección de la corriente de carga. Cuando esta corriente circulante inicial está en la misma dirección que la corriente de carga el condensador necesita tener disponible suficiente carga para conducir la resonancia a través de, por ejemplo, una corriente de pico positiva y de vuelta a una corriente de pico negativa, teniendo la corriente de pico negativa suficiente magnitud para conducir la carga combinada y la corriente resonante dentro de los contactos de formación de arco a través de cero, conmutando así el arco. Este proceso resultará en un proceso de conmutación fiable.

55

60

En una primera realización, una primera trayectoria de corriente de carga ha conectado en serie los inductores primero y segundo y un primer elemento de conmutador de un par opuesto. Una segunda trayectoria de corriente de carga ha conectado en serie los inductores tercero y cuarto y un segundo elemento de conmutador de un par

65

opuesto. Las conexiones de entrada a los inductores primero y tercero están colocadas en ambos lados de un devanado de toma de transformador aislado. Un condensador puentea un punto entre los inductores primero y segundo con un punto entre los inductores tercero y cuarto.

5 Una primera resistencia puede estar conectada en derivación con el primer inductor, y una segunda resistencia puede estar conectada en derivación con el tercer inductor, para eliminar por atenuación la resonancia entre estos inductores y la capacitancia resonante una vez que se ha apagado el arco por conmutación y el voltaje en el condensador vuelve a ser el voltaje de toma. Una resistencia limitadora de voltaje puede estar conectada en derivación con el condensador.

10 Para proporcionar un circuito equilibrado los valores de inductancia de los inductores primero y tercero ( $L_1$  y  $L_3$  respectivamente) deben ser iguales y de manera similar los valores de inductancia de los inductores segundo y cuarto ( $L_2$  y  $L_4$  respectivamente) deben ser iguales también.

15 Las inductancias de los inductores primero y segundo (y por lo tanto los inductores tercero y cuarto) deberían estar relacionados por la ecuación:  $L_2 < \frac{2}{3\pi} L_1$ , y preferentemente  $L_2 \approx 0,1 \cdot L_1$ . Esto asegura que los inductores primero y tercero pueden presentar una impedancia suficientemente grande en la corriente resonante para desacoplar substancialmente el condensador durante la conmutación.

20 Finalmente  $\frac{V_0}{I_0} > \frac{0,481}{\omega \cdot L_1}$ , donde  $V_0$  es el voltaje de condensador resonante y  $I_0$  la corriente de carga en el instante de conmutación y  $\omega$  es la frecuencia natural del circuito de conmutación. Estas condiciones aseguran que la magnitud de la corriente resonante será suficiente para poder cancelar la corriente de carga y que la corriente resonante esté contenida dentro del circuito de conmutación, permaneciendo la corriente de carga inalterable. También aseguran que ni la capacitancia ni el inductor de bloqueo tienen un valor demasiado grande.

25 En una segunda realización, una primera trayectoria de corriente de carga tiene un primer elemento de conmutador de un par opuesto. Una segunda trayectoria de corriente de carga ha conectado en serie un inductor y un segundo elemento de conmutador del par opuesto. Un condensador está conectado en derivación con el inductor y el segundo elemento de conmutador.

30 En una tercera realización, una primera trayectoria de corriente ha conectado en serie un primer inductor, un segundo inductor, un primer elemento de conmutador de un par opuesto, y un tercer inductor. Las resistencias primera y segunda son conectadas en derivación con los inductores primero y tercero respectivamente. Una segunda trayectoria de corriente ha conectado en serie un cuarto inductor, un quinto inductor, un segundo elemento de conmutador del par opuesto, y un sexto inductor. Las resistencias tercera y cuarta están conectadas en derivación con los inductores cuarto y sexto respectivamente. Un primer condensador puentea un punto entre los inductores primero y segundo y los inductores cuarto y quinto. Un segundo condensador puentea un punto entre el primer elemento de conmutador y el tercer inductor con un punto entre el segundo elemento de conmutador y el sexto inductor.

40 De acuerdo con un tercer aspecto de la invención, se proporciona un circuito de conmutación para un cambiador de toma con carga, siendo el circuito de conmutación conectable a un par de elementos opuestos de conmutador en el cambiador de toma y un devanado de toma de un transformador, siendo accionable el circuito de conmutación para establecer una corriente resonante al cerrarse un elemento de conmutador no conductor para apagar por conmutación un elemento de conmutador que forma un arco.

45 El circuito de conmutación puede incluir cualquiera de las características de los cambiadores de toma de los aspectos primero y segundo de la invención.

50 Con el fin de que pueda entenderse más fácilmente la invención, se da ahora una descripción, sólo a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

la figura 1A es un diagrama esquemático de un ejemplo simplificado de un cambiador de toma con carga convencional;

55 la figura 1B es un diagrama esquemático que ilustra una disposición de selector más típica para un transformador de transmisión de potencia para obtener un intervalo de toma de  $\pm 12$  (ref. 1);

60 la figura 2 es un diagrama esquemático de un par de elementos opuestos de conmutador accionados usando un actuador común;

las figuras 3A a 3C son diagramas esquemáticos de pares opuestos de elementos de conmutador en una disposición de devanado de diferencia, una disposición de devanado de suma, y una disposición de devanado de suma-diferencia, respectivamente;

5 las figuras 4A a 4D son diagramas esquemáticos que muestran flujo de corriente circulante y varias permutaciones de corriente de carga a través de pares opuestos de elementos de conmutador;

la figura 5 es un diagrama esquemático de un circuito de conmutación de acuerdo con una primera realización de la invención;

10 la figura 6 es un diagrama esquemático de una modificación al circuito de la figura 5 de manera que puede actuar en lugar de un desviador convencional;

15 la figura 7 es un diagrama esquemático de un cambiador de toma completo que tiene una disposición de devanado de diferencia que da  $\pm 12$  tomas y que incorpora el circuito de la figura 6;

la figura 8A es un diagrama esquemático de un cambiador de toma completo que tiene una disposición de devanado de suma que da  $\pm 15$  tomas y que incorpora el circuito de la figura 6;

20 la figura 8B es un diagrama esquemático de un cambiador de toma completo que tiene una disposición de devanado de suma que da  $\pm 31$  tomas y que incorpora el circuito de la figura 6 (nótese  $N_p^* = N_p - 16.N_t$ );

la figura 9 es un diagrama esquemático de un circuito de conmutación de acuerdo con una segunda realización de la invención;

25 la figura 10 es un diagrama esquemático de un circuito de conmutación de acuerdo con una tercera realización de la invención;

30 la figura 11A es un diagrama esquemático de un circuito de conmutación de acuerdo con una cuarta realización de la invención;

la figura 11B es un diagrama esquemático del circuito de la figura 11A aplicado a una derivada de la forma de cambiador de toma de diferencia, más que a un transformador de distribución;

35 la figura 12A es un diagrama esquemático de un devanado primario de tomas partidas con el que se usa el circuito de la figura 11;

la figura 12B ilustra cómo el circuito de la figura 11 podría estar conectado al devanado de la figura 12A;

40 la figura 13 es una representación de MATLAB/SimPower Systems de un transformador de transmisión de potencia 70 MVA con una potencia primaria nominal de 227 kV rms usado para simular el funcionamiento de un cambiador de toma de acuerdo con la invención;

45 la figura 14 ilustra los resultados para la corriente de carga y formas de onda de voltaje de la simulación de la figura 13 cuando experimenta un cambio de toma;

la figura 15 ilustra los resultados para las corrientes en el par opuesto de elementos de conmutador (traza superior) y el voltaje de condensador de conmutación (traza inferior);

50 la figura 16 muestra una expansión de la figura 15 para mostrar el proceso de conmutación.

La invención se basa en un par de elementos 14, 16 opuestos de conmutador, como se muestra en la figura 2.

55 Cuando se usan en un cambiador de toma con carga, los elementos 14, 16 de conmutador están dispuestos para tener una acción de "desconexión antes de conexión" momentáneo. Un actuador común 18 proporciona un conjunto de impulsión mecánica para producir la acción requerida. Alternativamente, los elementos 14, 16 de conmutador pueden impulsarse mediante actuadores individuales con temporización electrónica para proporcionar la acción requerida.

60 Puede usarse tal par de elementos opuestos de conmutador para remplazar el desviador convencional dentro de un cambiador de toma con carga convencional descrito anteriormente.

65 Alternativamente, uno o más pares de elementos opuestos de conmutador pueden estar dispuestos en conjunción con tomas de transformador aisladas para formar un cambiador de toma completo, remplazando tanto el selector como el desviador.

Los valores de toma pueden ser idénticos. Por ejemplo, el circuito de la figura 3B podría utilizarse con valores de devanado de toma idénticos. Sin embargo, usando devanados de toma con valores de devanado individuales, el número de tomas y elementos opuestos de conmutador puede reducirse significativamente.

5 Las figuras 3A, 3B y 3C muestran ejemplos simples de tales cambiadores de toma. En la figura 3A, tres conjuntos de elementos opuestos de conmutador están conectados de manera que los valores de toma intermedios se obtienen  
 10 substrayendo voltajes de toma, la disposición de "devanado de diferencia". En la figura 3B, cuatro conjuntos de elementos opuestos de conmutador están conectados de manera que los valores de toma intermedios se obtienen añadiendo voltajes de toma, la disposición de "devanado de suma". La figura 3C muestra una disposición adicional que combina estos dos esquemas para dar valores intermedios tanto añadiendo como substrayendo los voltajes de  
 15 toma, la disposición "suma-diferencia". En las disposiciones propuestas, la secuencia que define los valores de devanado de toma varía. Para el esquema de diferencia, el número de vueltas ( $N_i$ ) para el devanado de toma  $i^{\text{ésimo}}$  es dado como:  $N_i=3 \cdot i$ . Para el esquema de suma, el número de vueltas ( $N_i$ ) para el devanado de toma  $i^{\text{ésimo}}$  es dado como:  $N_i=2 \cdot i$ . Para el esquema de suma-diferencia, el número de vueltas ( $N_i$ ) para el devanado de toma  $i^{\text{ésimo}}$  es dado como:  $N_i=3 \cdot i$ .

Las figuras 4A a 4D muestran las cuatro permutaciones posibles de flujo de corriente a través de los elementos 14, 16 opuestos de conmutador cuando se conectan a un devanado 12 de toma como en las figuras 3A, 3B y 3C. En todos estos diagramas, se ha asumido que el conmutador conductor ha comenzado a abrirse con corriente y ahora  
 20 permanece en conducción como resultado de provocar un arco entre los contactos. Esto es representado por el símbolo de fuente de voltaje en la trayectoria de corriente de carga, cuya polaridad se define por la dirección del flujo si la corriente de carga,  $I_L$ . Esta formación de arco se mantendrá hasta que la corriente que pasa entre los contactos de conmutador se reduzca a la "corriente de corte" para los contactos, que para un conmutador de vacío puede ser tan baja como 0,5 A. En el contexto de la corriente de carga normal esto es insignificante, y en el siguiente  
 25 argumento será tratado como cero. Cerrar el elemento de conmutador opuesto causa que se desarrolle una corriente circulante  $I_C$ , conducida por la fuente de voltaje que representa el devanado 12 de toma de transformador y limitada en su ritmo de elevación por inductancia dentro del bucle de corriente.

En las figuras 4A y 4C la corriente circulante  $I_C$  se opone a la corriente  $I_L$  de carga. Así  $I_C$  se elevará continuamente  
 30 hasta que alcance el valor de  $I_L$  y lo cancele, suprimiendo el arco. A esto se hará referencia como la "condición de cancelación".

En las figuras 4B y 4D, la corriente circulante  $I_C$  se añade a la corriente  $I_L$  de carga.  $I_C$  refuerza  $I_L$ , y es posible que pueda entonces elevarse a un nivel que es bastante grande para causar daño al transformador debido a la baja  
 35 impedancia del devanado de toma de transformador. A esto se hará referencia como "condición de refuerzo" y es un problema que es superado por la invención, como se describirá.

La figura 5 muestra parte de un cambiador de toma de acuerdo con una primera realización de la invención. El cambiador de toma incluye un circuito de conmutación y está destinado para uso con un transformador de  
 40 transmisión de potencia para reemplazar el desviador.

El circuito de conmutación está conectado a elementos opuestos de conmutador primero y segundo accionados por un actuador, y a un devanado de toma, representado en la figura 5 por una fuente de voltaje.

45 El circuito de conmutación tiene dos trayectorias de corriente de carga. Una primera trayectoria de corriente de carga ha conectado en serie los inductores primero y segundo y un primer elemento de conmutador de un par opuesto. Una segunda trayectoria de corriente de carga ha conectado en serie los inductores tercero y cuarto y un segundo elemento de conmutador de un par opuesto. Un condensador puentea un punto entre los inductores primero y  
 50 segundo con un punto entre los inductores tercero y cuarto.

En el uso, el condensador se carga cerca del voltaje instantáneo de la fuente de voltaje que representa el devanado de toma.

55 En la condición de cancelación, cerrar el elemento de conmutador no conductor resulta en que el arco sea suprimido naturalmente, como se describe anteriormente.

En la condición de refuerzo, cerrar el elemento de conmutado no conductor crea una trayectoria de descarga para el condensador, mientras que los inductores segundo y cuarto crean una corriente resonante sinusoidal. Esta corriente se elevará inicialmente en el mismo sentido que la corriente de carga. Sin embargo, después oscilará hacia atrás  
 60 para oponerse a la corriente de carga en el elemento de conmutador de formación de arco con suficiente magnitud para suprimir el arco.

De este modo, el arco es suprimido para todas las permutaciones de flujo de corriente de carga.

65 Se eligen valores de inductancia y capacitancia de manera que, al cerrar el elemento de conmutador no conductor, la magnitud del segundo pico de la corriente resonante excede el de la corriente de carga, causando que la corriente

en el elemento de conmutador de formación de arco pase a través de cero, apagando así por conmutación el elemento de conmutador de formación de arco.

5 La frecuencia natural para el circuito de conmutación es una cuestión de elección de diseño y será normalmente mayor que 1 kHz y puede ser tan alta como 100 kHz. Una frecuencia más alta requiere componentes más pequeños, pero una frecuencia demasiado alta da como resultado efectos de atenuación debido a corrientes de remolino en el circuito y particularmente dentro de elementos de conmutador. En particular el condensador necesita tener un voltaje nominal muy alto y debe tener un valor relativamente bajo de autoresonancia que no debería estar permitido para estar reñido con la frecuencia resonante seleccionada.

10 Los valores de inductancia de los inductores primero y tercero son elegidos para presentar impedancia suficientemente grande a la corriente resonante para el condensador para desacoplar substancialmente la fuente de voltaje. Significativamente, esto asegura que la corriente resonante está contenida dentro del circuito de conmutación, con la corriente de carga que permanece inalterable.

15 Los valores de inductancia de los inductores primero a cuarto son  $L_1, L_2, L_3$  y  $L_4$ . En esta realización,  $L_1 = L_3$  y  $L_2 = L_4$ , es decir el circuito de conmutación es equilibrado teniendo la impedancia igual en ambas trayectorias de corriente. Esto mitiga la "oscilación transitoria" en la corriente de carga después de una transición con cualquier oscilación transitoria que esté contenida dentro del bucle.

20 Los valores  $L_1$  y  $L_2$  de inductor (y por lo tanto  $L_3$  y  $L_4$ ) deben estar relacionados por la ecuación:  $L_2 < \frac{2}{3\pi} \cdot L_1$ . Esto asegura que la magnitud de la corriente resonante será suficiente para poder cancelar la corriente de carga.

Para la relación  $L_2 = \frac{2}{3\pi} \cdot L_1$  el valor del condensador resonante se hace excesivamente grande así que un equilibrio óptimo entre los valores de los inductores  $L_1$  y el condensador resonante es normalmente  $L_2 = 0,1 \cdot L_1$ .

El valor de diseño de  $L_2$  se encuentra seleccionando la frecuencia resonante deseada ( $\omega$  radianes por segundo) y sustituyéndolo en la expresión  $L_2 = \frac{0,481 \cdot V_0}{\omega \cdot I_0}$ , donde  $V_0$  es el voltaje instantáneo mínimo requerido para la conmutación y  $I_0$  es el valor instantáneo máximo de corriente de carga. El valor de la capacitancia es encontrado

30 entonces a partir de la expresión para la frecuencia resonante  $\omega = \sqrt{\frac{1,1}{L_2 \cdot C}}$ .

La resistencia de atenuación es seleccionada después para dar una atenuación mínima de la resonancia de conmutación inicial mientras que proporciona un número mínimo de ciclos resonantes después de la conmutación. La resistencia no lineal situada al otro lado de la capacitancia debe limitar el voltaje de condensador a un valor menor que el voltaje nominal de condensador pero más que el peor caso de voltaje de pico máximo que se espera. Por lo tanto pueden encontrarse todos los valores de componente en el circuito. En la práctica puede requerirse algún ajuste para tener en cuenta efectos tales como la atenuación debida a corrientes de remolino dentro del conmutador de vacío o inductancia de circuito de dispersión.

40 La corriente resonante de pico máximo será muy alta para la conmutación en el voltaje de pico máximo. Ninguno de los inductores debe saturarse y el condensador debe ser nominal para esta corriente. De manera similar después de la conmutación ha ocurrido que la corriente construida dentro del inductor "de bloqueo"  $L_1$  debe ahora pasar directamente a través del condensador resonante, causando que este invierta en potencial y que alcance un voltaje varias veces el voltaje de suministro normal si no es suprimido. Lo siguiente da expresiones derivadas para proporcionar una indicación aproximada de las magnitudes de varios voltajes y corrientes que afectan al diseño de componente.

La corriente en  $L_1$  en conmutación es dada como:

50 
$$I_{L1C} = \frac{(3\pi + 2)}{2} \cdot \frac{V_0}{\omega \cdot (L_1 + L_2)} + I_0$$

Y la corriente en  $L_2$  en conmutación es dada como:



$$I_{L2C} = -\frac{(\pi + 22)}{22} \cdot \frac{V_0}{\omega \cdot L_2} + I_0$$

El voltaje en conmutación es  $V_{CC} = \frac{0,1}{1,1} \cdot V_0$ , sin embargo el voltaje por el que el condensador se ha desviado del

estado inmóvil es  $\Delta V_c = -\frac{1}{1,1} \cdot V_0$ .

5

El voltaje de condensador de pico después de que la conmutación ha tenido lugar es dado como:

$$V_{CC} = \sqrt{I_{L1C}^2 \cdot \frac{L_1}{C} + \Delta V_c^2}$$

10 El tamaño de los componentes puede ser significativo comparado con el tamaño del conjunto de conmutador. Puesto que el proceso de conmutación emplea corriente que circula totalmente a través del condensador, los dos pares de inductores  $L_1/L_3$  y  $L_2/L_4$  pueden combinarse como inductores acoplados mutuamente en un centro magnético común. Esto explota el fenómeno de que la inductancia es proporcional al número de vueltas al cuadrado. Así, dos bobinas idénticas que tienen una corriente común que pasa a través de ellas en la misma dirección

15 desarrollarán una inductancia total de cuatro veces la de los inductores individuales. Sin embargo, si la corriente fluye en direcciones opuestas a través de las bobinas, el flujo se cancela dando como resultado que no está presente la inductancia de red. Así el par de bobinas puede estar situado en un único centro del mismo tamaño como para cada una de las bobinas previas, donde el número de vueltas para cada devanado de bobina se reduce en valor por la raíz cuadrada de dos.

20

El circuito presentado en la figura 5 puede ser directamente aplicado como un reemplazo a un desviador en un cambiador de toma con carga convencional. Haciendo esto, se debe apreciar que la conexión de la capacitancia en paralelo con los devanados de toma podría presentar un problema con selectores que conmutan en aceite. En este caso, puede ser necesario introducir dos contactos auxiliares adicionales como en la figura 6, de manera que puede aislarse esta capacitancia mientras que el selector está siendo accionado.

25

El circuito de conmutación puede aplicarse directamente o puede necesitar modificarse para permitirle incorporarse a diferentes formas de cambiadores de toma tales como los mostrados en las figuras 3A, 3B y 3C.

30

Los valores bajos de  $L_2$  y  $L_4$  significan que los términos de dispersión dentro de la trayectoria de corriente pueden proporcionar suficiente inductancia sin la necesidad de esos inductores.

35

La figura 7 muestra un cambiador de toma completo que tiene una disposición de devanado de diferencia y que incorpora una forma modificada de circuito de conmutación de la primera realización. Nótese que los inductores  $L_1$ ,  $L_3$  y el condensador resonante están asociados con el devanado de toma, mientras que los inductores  $L_2$  y  $L_4$  están asociados con el par de conmutador opuesto. En este  $L_1$  y  $L_3$  se han diseñado como inductores mutuamente acoplados pero no pueden aplicarse a esta configuración a  $L_2$  y  $L_4$ . Nótese que el elemento S5 de conmutador opuesto usa pares de conmutadores en serie con voltaje que comparte varistores de óxido metálico (MOV) con el fin de obtener el voltaje de aislamiento de ruptura (BIL) requerido para el voltaje de toma más alto.

40

La figura 8A muestra un cambiador de toma completo que tiene una disposición de devanado de suma y que incorpora directamente el circuito de conmutación de la primera realización. En este ejemplo,  $L_2$  y  $L_4$  se han implementado como inductores mutuamente acoplados para reducir su tamaño y coste. En este ejemplo, el par S5 de conmutador opuesto necesita formar un circuito de puente completo para proporcionar una inversión de voltaje.

45

Puesto que el BIL está sobre eso para los conmutadores individuales, los pares conectados en serie de los conmutadores han tenido que usarse como en la figura 7. La figura 8B muestra cómo separar parte del devanado primario para dar un devanado de toma 16.Nt adicional puede reducir la complejidad de este circuito.

50

Cualquiera de los circuitos de conmutación de la presente memoria puede usarse de tal manera que forme un cambiador de toma completo.

55

Alternativamente, cualquier realización mostrada y descrita puede usarse para reemplazar a un desviador convencional simplemente omitiendo el devanado de toma y conectando en su lugar los dos puntos libres resultantes al selector de manera que las dos trayectorias de corriente de carga del circuito conectan respectivamente con las dos trayectorias de corriente del selector.

La figura 9 muestra parte de un cambiador de toma de acuerdo con una segunda realización de la invención. El

cambiador de toma incluye un circuito 400 de conmutación.

El circuito 400 de conmutación tiene dos trayectorias de corriente de carga. Una primera trayectoria de corriente de carga tiene un primer contacto 414 de conmutador de un par de conmutador opuesto. Una segunda trayectoria de corriente de carga ha conectado en serie un inductor 401 y un segundo contacto eléctrico 416 del par de conmutador opuesto. Un condensador 411 está conectado en derivación con el inductor 401 y el segundo contacto 416 de conmutador.

La figura 10 muestra parte de un cambiador de toma de acuerdo con una tercera realización de la invención. El cambiador de toma incluye un circuito 500 de conmutación y está destinado para uso con un transformador de distribución.

El circuito de conmutación esencialmente refleja el de la primera realización. El principio es el mismo excepto que la corriente resonante pasa a través de los inductores segundo 502 y quinto 505 y ambos condensadores 510, 511.

El circuito 500 de conmutación tiene dos trayectorias de corriente de carga. Una primera trayectoria de carga ha conectado en serie un primer inductor 501, un segundo inductor 502, un primer contacto 514 de conmutador eléctrico de un par de conmutador opuesto, y un tercer inductor 503. Las resistencias primera 521 y segunda 522 están conectadas en derivación con los inductores primero 501 y tercero 503 respectivamente. Una segunda trayectoria de corriente ha conectado en serie un cuarto inductor 504, un quinto inductor 505, un segundo contacto 516 de conmutador eléctrico del par de conmutador opuesto, y un sexto inductor 506. Las resistencias tercera 523 y cuarta 524 están conectadas en derivación con los inductores cuarto 504 y sexto 506 respectivamente. Un primer condensador 510 puentea un punto entre los inductores primero 501 y segundo 502 con un punto entre los inductores cuarto 504 y quinto 505. Un segundo condensador 511 puentea un punto entre el primer contacto 514 de conmutador eléctrico y el tercer inductor 503 con un punto entre el segundo contacto 516 de conmutador eléctrico y el sexto inductor 506.

Las cuatro resistencias 521-524 conectadas en derivación respectivamente con los inductores primero, segundo, quinto y sexto 501, 502, 505 y 506 atenúan el voltaje resonante que se desarrolla después de que el arco haya sido suprimido. La supresión del arco significa que el voltaje de condensador es ahora significativamente diferente de su valor de estado inmóvil de igualar el voltaje de toma. De manera similar la corriente en los dos inductores exteriores (es decir, 501 y 503 ó 504 y 506) en trayectoria de corriente de carga que se ha desconectado ahora todavía tiene corriente presente en ellos que debe disiparse. La presencia de las corrientes de inductor en realidad causa que el condensador resonante oscile más lejos de su voltaje de estado inmóvil llevando a una gran resonancia que debe suprimirse para evitar recebado en los contactos de conmutador eléctrico abiertos.

La figura 12A muestra una disposición de toma de un transformador de distribución, con el que puede usarse el cambiador de toma de la figura 11A. El regulador de toma requerido se obtiene acortando entre cualquiera de las dos conexiones de toma adyacentes. En la práctica, se usa un conjunto de cremallera y piñón, estando unido el eslabón de acortado a la cremallera y estando unida una empuñadura de devanado al piñón. Esta forma de cambiador de toma puede usarse sólo con el cambiador de toma sin carga y aislada. La figura 12B ilustra cómo el cambiador de toma con carga dado en la figura 11A podría acoplarse con el transformador de distribución para proporcionar la habilidad de conmutar entre los reguladores de toma preseleccionados.

La primera realización de la invención proporciona la implantación más directa de la invención, proporcionando simetría y equilibrio. Esto puede usarse directamente tanto como un desviador o como parte de un cambiador de toma. Cuando se usa como un desviador, la presencia del condensador directamente a través del devanado de transformador puede presentar problemas para el engranaje de conmutador que proporciona la función de selector. El valor relativamente alto de esto significa que la formación de arco puede tener lugar bien cerrando y abriendo contactos y así usando técnicas "conmutando en aceite" pueden causar degradación de los contactos de selector y las propiedades de aislamiento del aceite en el que se coloca. En este caso, será necesario incluir contactos auxiliares dentro del desviador, por ejemplo como se indica en la figura 6. El contacto auxiliar en la trayectoria no conductora sería abierto previamente a cualquier accionamiento para cambiar el estado que tiene lugar dentro del selector. Los contactos auxiliares usarían conmutadores de vacío para contener cualquier formación de arco que podría tener lugar.

Las realizaciones segunda y tercera de la invención no son simétricas o equilibradas aunque podrían desarrollarse hasta esto. Así sólo funcionarán para un factor de potencia de carga restringido y su accionamiento interrumpe la corriente de carga durante el accionamiento de conmutación.

La cuarta realización se ha mostrado en accionamiento dentro de un transformador de distribución. Sin embargo, puede aplicarse también a derivadas de la forma de cambiador de toma de diferencia, aunque esto puede llevar a un incremento en la cuenta de componente. Asociando los condensadores resonantes y los inductores de bloqueo con devanados específicos como en la figura 11B y aplicado a la figura 7, se reduce la cuenta de componente.

Hay una posibilidad de que el acoplamiento EMC de dispersión, incluida la capacitancia entre el devanado de toma y

el centro, pueda interrumpir el accionamiento precedido del esquema. Si se descuida esto, para el esquema de suma, la interrupción precedida para cada elemento en la corriente de carga es mínima así que es razonable que pueda llevarse a cabo un cambio de toma cambiando todos los actuadores que se requieran para hacer el cambio simultáneamente. El funcionamiento del esquema diferente como se muestra en la figura 7 es diferente en que se usa un condensador común en dos posibles circuitos de conmutación resonantes. Así se advierte que el cambio de toma se lleva a cabo secuencialmente.

La formación de arco se basa en partículas ionizadas que son arrastradas a través de la separación de contacto, así que una vez que se ha extinguido el arco debe haber suficiente tiempo para que las partículas que permanecen en la separación se condensen. Así, aunque el uso de los conmutadores de vacío significa que esta vez es muy corto y que hay un riesgo de que si este proceso ocurre demasiado rápidamente el arco podría comenzar a desarrollarse en la polaridad opuesta. Esto es particularmente así si el nivel de "corriente de corte" es alto y la inductancia en serie con los contactos de conmutador es relativamente alta.

Comparando los tres esquemas de cambio de toma propuestos, la suma, diferencia y suma-diferencia, todos ellos tienen la restricción de que el número óptimo de cambiadores de toma disponibles para cualquier esquema podría no coincidir con el número de cambiadores de toma requeridos. Así se requieren extracomponentes. Esto también se aplica a la cantidad de cobre requerida para devanados de transformador extra que podrían requerirse. Más significativamente, el esquema de diferencia no utiliza enteramente los devanados disponibles, haciendo este esquema menos económico.

La figura 13 muestra una simulación del circuito eléctrico mostrado en la figura 5 usando el SimPower Systems Blockset dentro de MATLAB para representar un transformador de 70 MVA con voltaje de suministro primario de 227 kV y un devanado de toma de 1%. El transformador está enteramente cargado con un factor de potencia de 0,8. Los componentes de conmutación se han calculado sobre la base de una frecuencia de conmutación de 50 kHz.

Este método de representar el transformador es sólo aproximado puesto que en el modelo para conmutar desde la trayectoria de conducción inferior a la trayectoria de conducción superior reduce el ratio de vueltas de transformador y aumenta el voltaje de carga. Sin embargo, puesto que este cambio en voltaje de carga es pequeño, el modelo presenta una indicación satisfactoria del accionamiento del cambiador de toma.

Se usa el modelo Mayr Arc para el conmutador de formación de arco según se proporciona por Delft University (ref. 3). Este modelo usa una fuente de corriente controlada para salida que requiere impedancia inicial definida, así todos los inductores asociados con este elemento requieren resistores conectados paralelos. A todos estos se les ha dado un valor nominal 1 kΩ y no están puestos en lista abajo.

Tabla1

Descripción de componente	Referencia de componente	Valor de componente
Inductancia primaria		0,84 H
Resistencia primaria		1,946 Ω
Inductancia de toma		0,376 mH
Resistencia de toma		42 mΩ
Resistencia de carga		736 Ω
Inductancia de carga		1,4 H
Inductancia de imantación		4059 H
Resistencia de imantación		1,571 MΩ
Voltaje primario		227 kV rms
Voltaje de devanado de toma		3,017 kV rms
	L1 y L3	50 μH
	L2 y L4	5 μH
	C	2,2 μF
Resistencias de atenuación L1 y L3		1 Ω
Voltaje de filtro de sobretensión		4 kV

Los valores de los componentes se presentan en la tabla 1. La tabla 2 muestra los parámetros de diseño calculados en los que el diseño de componente.

Tabla 2

Descripción de parámetro	Valor
Corriente de condensador de estado inmóvil	1,2 A rms
Impedancia de inductor de estado inmóvil	16 mΩ
Corriente de conmutación de pico L2/L4	1,19 kA
Corriente de conmutación de pico L1/L3	704 AΩ
Voltaje de condensador en conmutación	112 V
Desviación de condensador desde estado inmóvil	-1,12 kV
Voltaje de condensador de pico no suprimido después de conmutación (además del voltaje en el instante de conmutación)	3,5 kV

5 El modelo muestra cinco ciclos de accionamiento con el contacto de apertura que comienza a formar el arco a 35 ms en la simulación. El contacto de cierre se cierra entonces 36 ms en la simulación. La figura 14 muestra la corriente de carga y voltaje indicando que no se crea interrupción durante el proceso de cambio de toma. La figura 15 muestra las corrientes en los contactos de par opuestos y el voltaje de condensador, sin aparente desviación en la naturaleza de 50 Hz de la forma de onda hasta el instante de cierre de contacto, cuando ocurre la resonancia de conmutación. Para las corrientes de par opuesto parece que hay una transferencia limpia de corriente entre los contactos, mostrados expandidos en la figura 16. Sin embargo, el voltaje de condensador oscilaría a un voltaje negativo en exceso de 8 kV sin la presencia del filtro de sobretensión. Esto es debido a la energía excedente acumulada en los inductores L1 y L3 durante el proceso de conmutación. Será claramente necesaria una supresión adicional de sobrevoltaje.

15 Referencias

1.	Axel Kramer	On-load Tap-Changers for Power Transformers, MR Publication, ISBN 3-00-005948-2, 2000
2.	MR Publication	VacutapVV, Maintenance free up to 150 operations
3.	P H Shavemaker L Van Der Sluis	The Arc Model Blockset, Proceedings of the Second IASTED International Conference, Power and Energy Systems (EuroPES), Crete, Greece, June 25028, 2002

**REIVINDICACIONES**

1.- Un cambiador de toma con carga que comprende uno o más pares de elementos opuestos de conmutador para conexión a respectivos devanados de toma de un transformador, estando un primer elemento (VS<sub>1</sub>/A) de conmutador en un estado no conductor mientras que un segundo elemento (VS<sub>1</sub>/B) de conmutador está en un estado conductor, caracterizado porque el cambiador de toma incluye un circuito (C<sub>com</sub>, MOV<sub>1</sub>, LA<sub>1</sub>, LA<sub>2</sub>, LB<sub>1</sub>, LB<sub>2</sub>) de conmutación accionable para establecer una corriente resonante en el segundo elemento (VS<sub>1</sub>/B) de conmutador al cerrarse el primer elemento (VS<sub>1</sub>/A) de conmutador y apertura del segundo elemento de conmutador, suprimiendo dicha corriente resonante una corriente de formación de arco que aparece entre los contactos del segundo elemento de conmutador durante la apertura del segundo elemento (VS<sub>1</sub>/B) de conmutador.

2.- El cambiador de toma de la reivindicación 1, que comprende un selector y un desviador, comprendiendo el desviador uno o más pares de elementos (VS<sub>1</sub>/A, VS<sub>2</sub>/A) de conmutación opuestos y el circuito (C<sub>com</sub>, MOV<sub>1</sub>, LA<sub>1</sub>, LA<sub>2</sub>, LB<sub>1</sub>, LB<sub>2</sub>) de conmutación.

3.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que cada elemento (VS<sub>1</sub>/A, VS<sub>2</sub>/A) de conmutador es un conmutador de vacío.

4.- El cambiador de toma de la reivindicación 2, incluida una red de elementos opuestos de conmutador para conexión a devanados de toma con números de vueltas ponderados, de manera que pueda obtenerse un intervalo completo de valores de toma enteros por los voltajes de toma, siendo causados para abstraer o añadir.

5.- El cambiador de toma de la reivindicación 4, en el que la red incluye una disposición de devanado de diferencia, una disposición de devanado de suma, o una disposición de devanado suma-diferencia.

6.- El cambiador de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el circuito de conmutación incluye un circuito LC que tiene un condensador (C<sub>com</sub>) dispuesto para descargar al cerrarse el primer elemento (VS<sub>1</sub>/A) de conmutador para crear la corriente resonante, oponiéndose la polaridad de la corriente resonante a la de la corriente de formación de arco.

7.- El cambiador de toma de la reivindicación 6, en el que el condensador (C<sub>com</sub>) almacena suficiente carga para la magnitud de la corriente resonante para cancelar suficientemente la corriente de carga de transformador durante al menos un ciclo de manera que la corriente combinada a través de un segundo elemento de conmutador se reduce a menos que la corriente de corte para el primer elemento de conmutador.

8.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que el circuito de conmutación está equilibrado.

9.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, incluida una primera trayectoria de corriente de carga que ha conectado en serie los inductores primero y segundo y un primer elemento de conmutador de un par opuesto, y una segunda trayectoria de corriente de carga que ha conectado en serie los inductores tercero y cuarto y un segundo elemento de conmutador del par opuesto, uniendo un condensador un punto entre los inductores primero y segundo con un punto entre los inductores tercero y cuarto.

10.- El cambiador de toma de la reivindicación 9, incluida una primera resistencia conectada en derivación con el primer inductor, una segunda resistencia conectada en derivación con el tercer inductor, y una resistencia limitadora de voltaje conectada en derivación con el condensador.

11.- El cambiador de toma de la reivindicación 9 ó 10, en el que las inductancias de los inductores primero y segundo están relacionadas por la ecuación:

$$L_2 < \frac{2}{3\pi} L_1$$

12.- El cambiador de toma de la reivindicación 11, en el que la relación es:

$$L_2 \approx 0,1L_1$$

13.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 12, en el que las inductancias de los inductores tercero y cuarto están relacionadas por la ecuación:

$$L_4 < \frac{2}{3\pi} L_3$$

14.- El cambiador de toma de la reivindicación 13, en el que la relación es:

$$L_4 \approx 0,1L_3$$

- 5
- 15.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 14, en el que los inductores primero y tercero presentan una impedancia suficientemente grande en la corriente resonante para desacoplar suficientemente el condensador.
- 10
- 16.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, incluida una primera trayectoria de corriente de carga que tiene un primer elemento de conmutador de un par opuesto, y una segunda trayectoria de corriente de carga que ha conectado en serie un inductor y un segundo elemento de conmutador del par opuesto, estando conectado un condensador en derivación con el inductor y el segundo elemento de conmutador.
- 15
- 17.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, incluida una primera trayectoria de corriente que ha conectado en serie un primer inductor, un segundo inductor, un primer elemento de conmutador de un par opuesto, y un tercer inductor, estando conectadas las resistencias primera y segunda en derivación con los inductores primero y tercero respectivamente; y una segunda trayectoria de corriente que ha conectado en serie un cuarto inductor, un quinto inductor, un segundo elemento de conmutador del par opuesto, y un sexto inductor,
- 20
- estando conectadas las resistencias tercera y cuarta en derivación con los inductores cuarto y sexto respectivamente; un primer condensador que puentea un punto entre los inductores primero y segundo con un punto entre los inductores cuarto y quinto; y un segundo condensador que puentea un punto entre el primer elemento de conmutador y el tercer inductor con un punto entre el segundo elemento de conmutador y el sexto inductor.
- 25
- 18.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el que la frecuencia resonante del circuito de conmutación está seleccionada para ser compatible con las propiedades inherentes de los componentes que forman el circuito de conmutación.
- 30
- 19.- El cambiador de toma de cualquiera de las reivindicaciones 6 a 18, en el que la frecuencia resonante del circuito de conmutación es inferior a una frecuencia autoresonante del condensador.

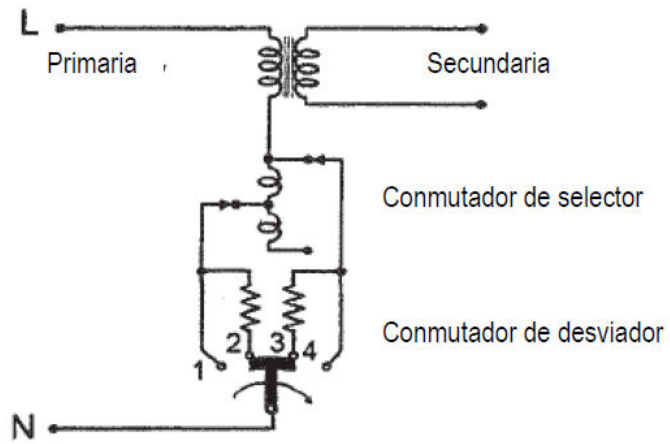


Figura 1A

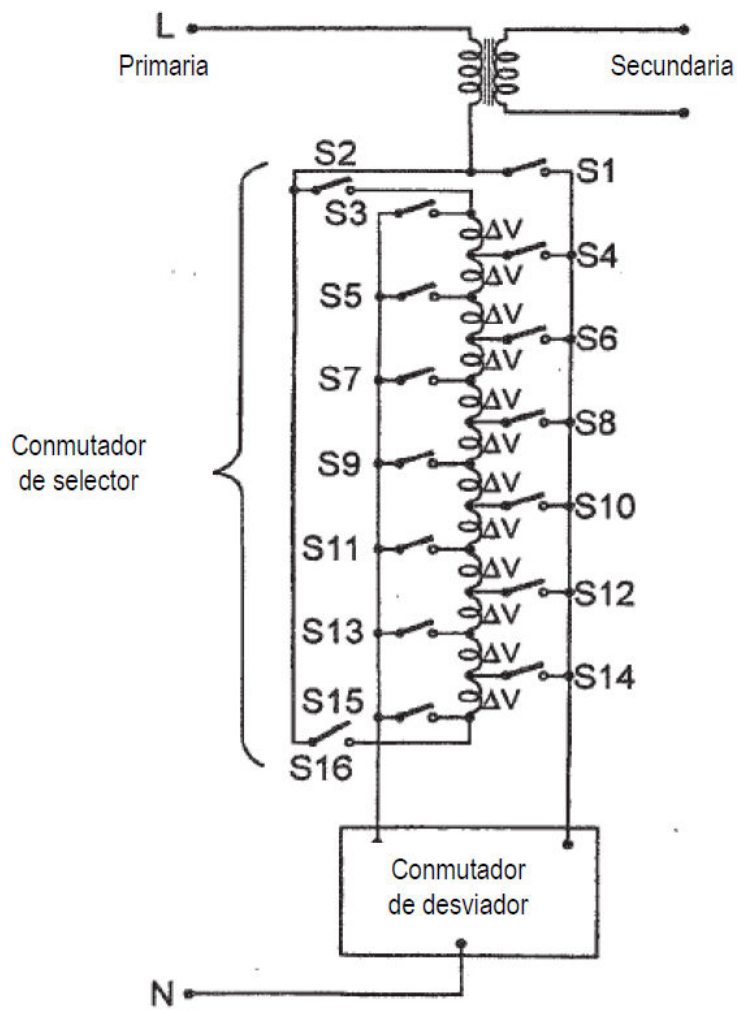


Figura 1B

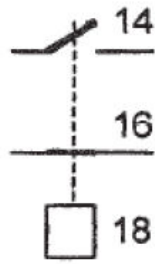


Figura 2

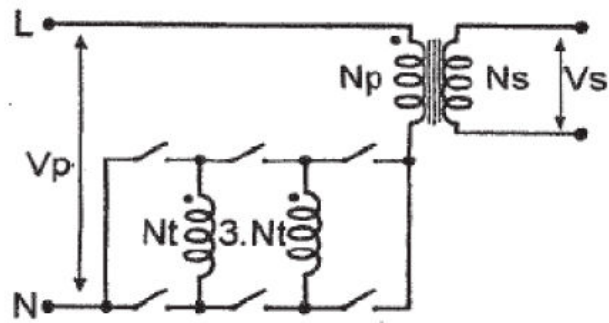


Figura 3A

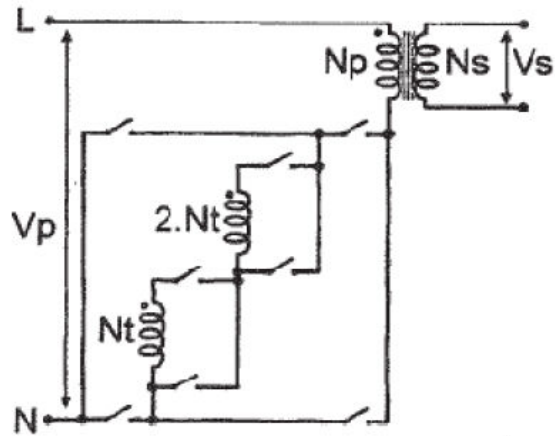


Figura 3B



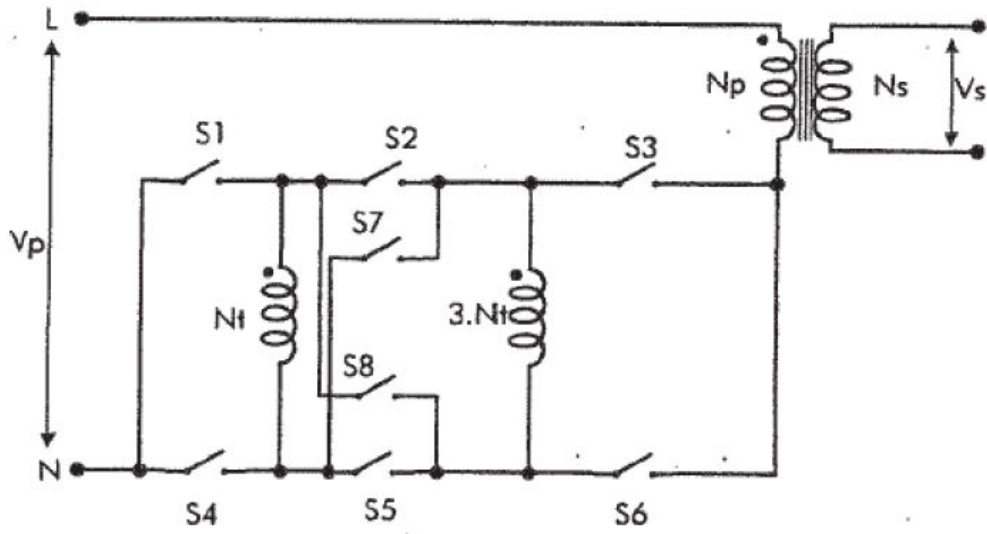


Figura 3C

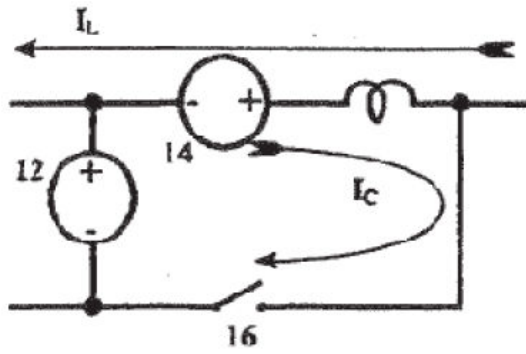


Figura 4A

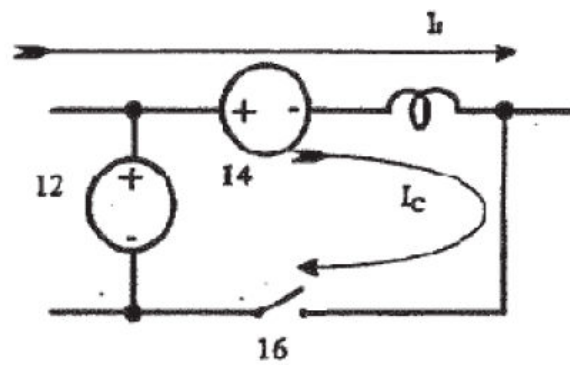


Figura 4B

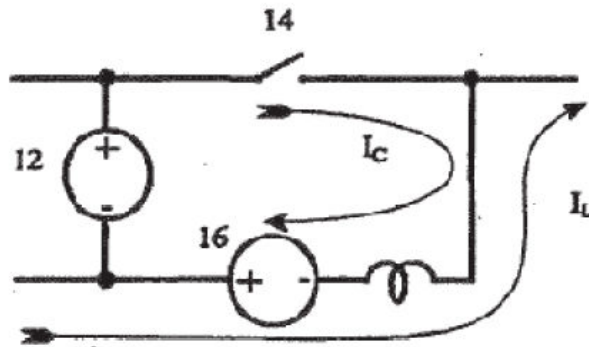


Figura 4C

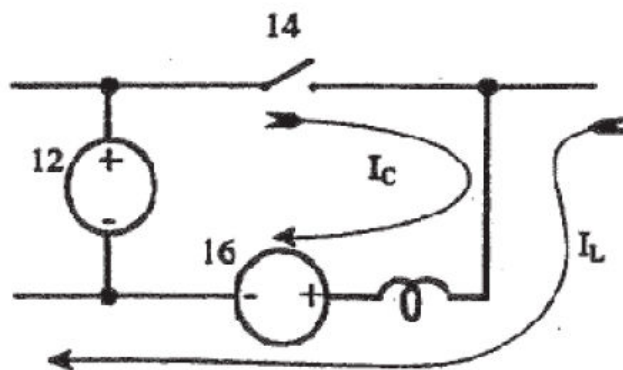


Figura 4D

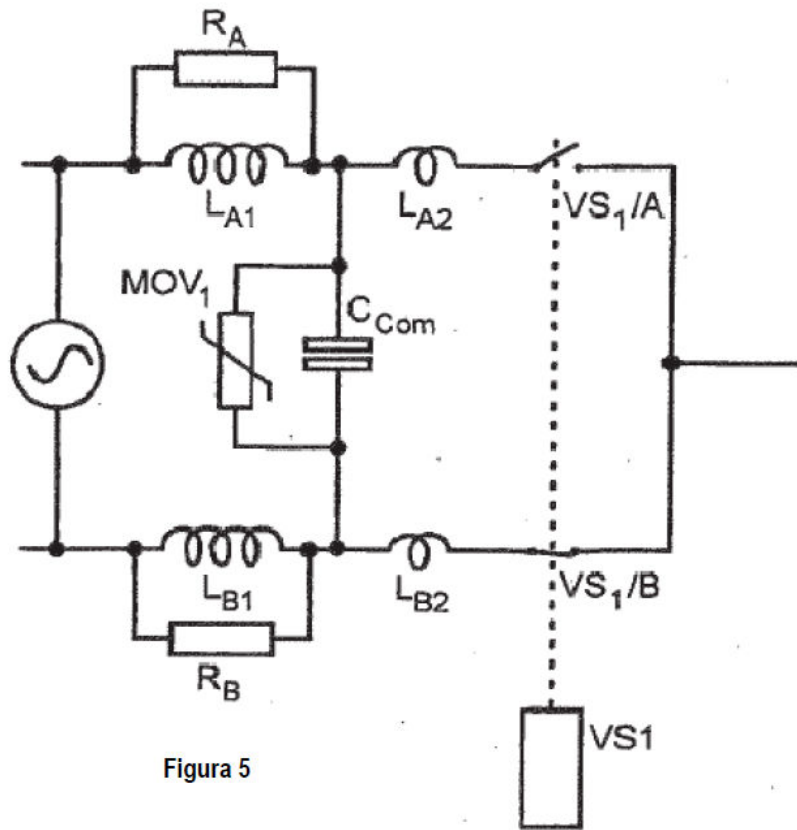


Figura 5

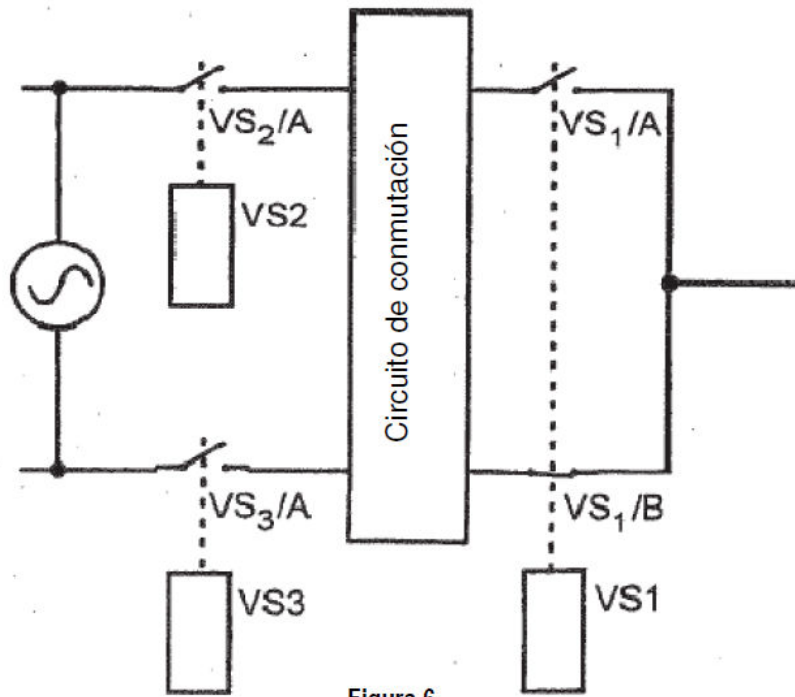


Figura 6

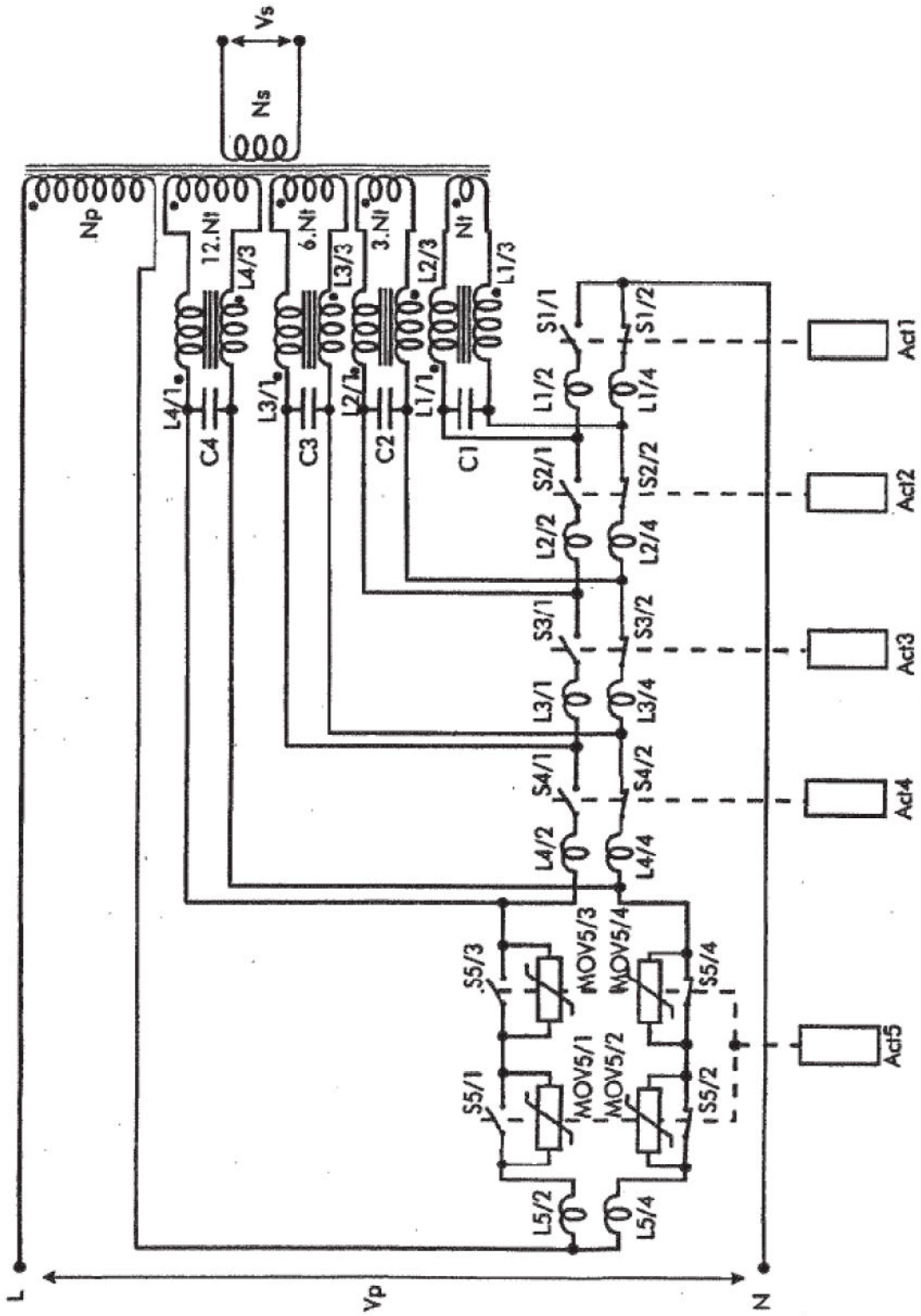


Figura 7

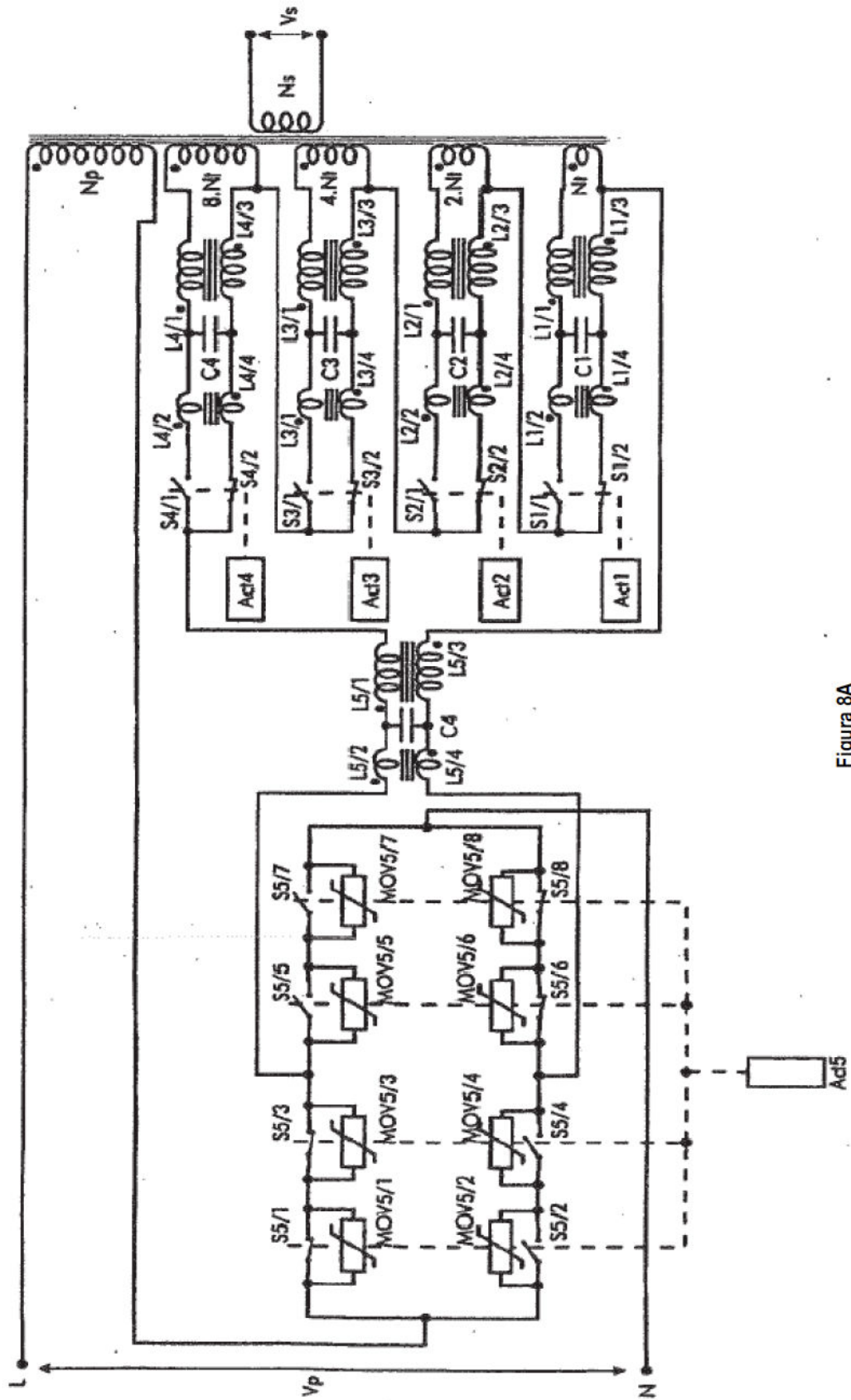


Figura 8A

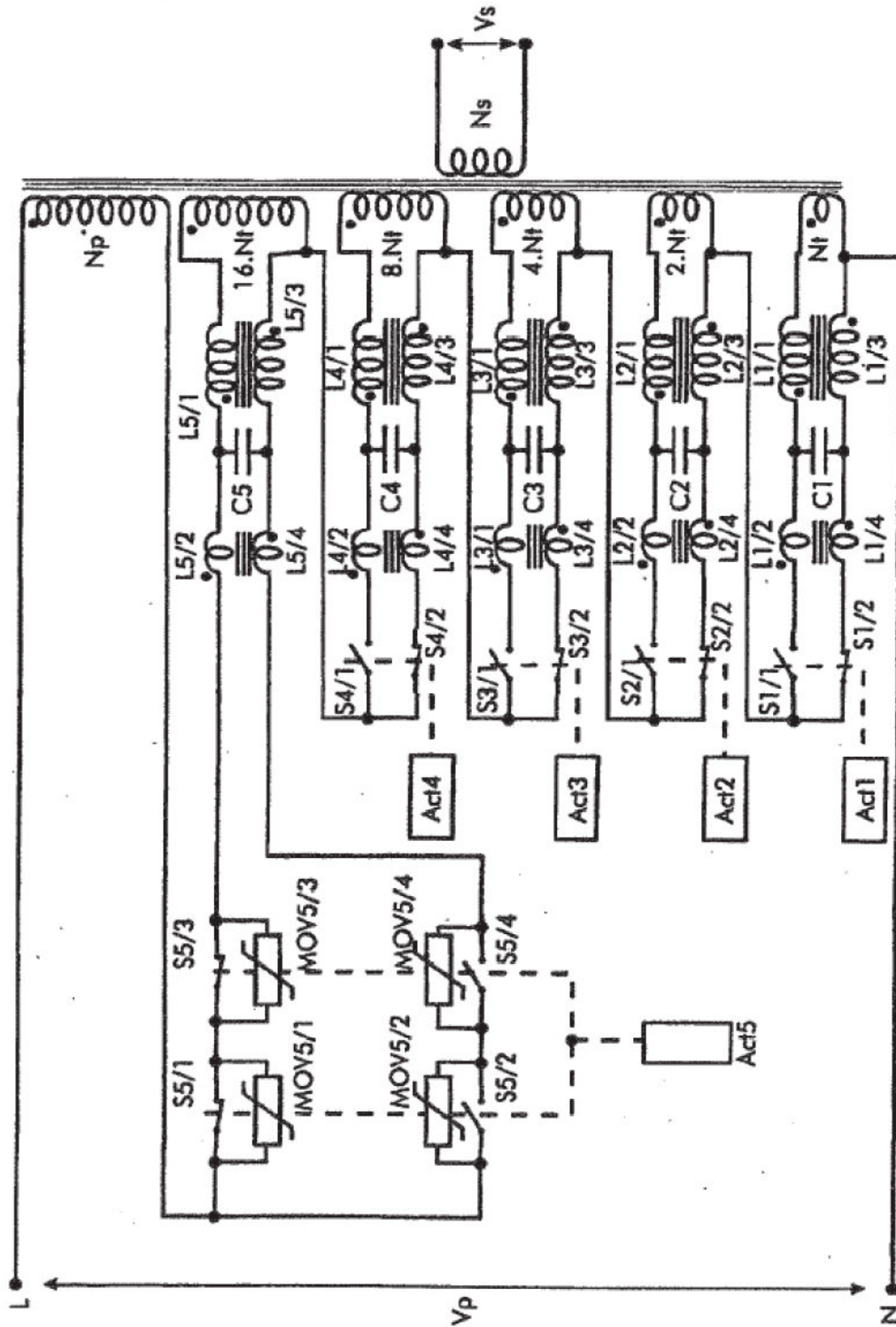


Figura 8B



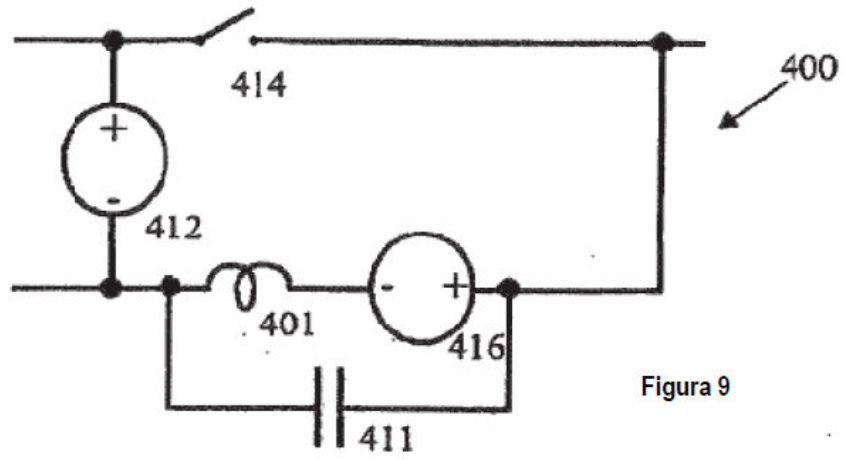


Figura 9

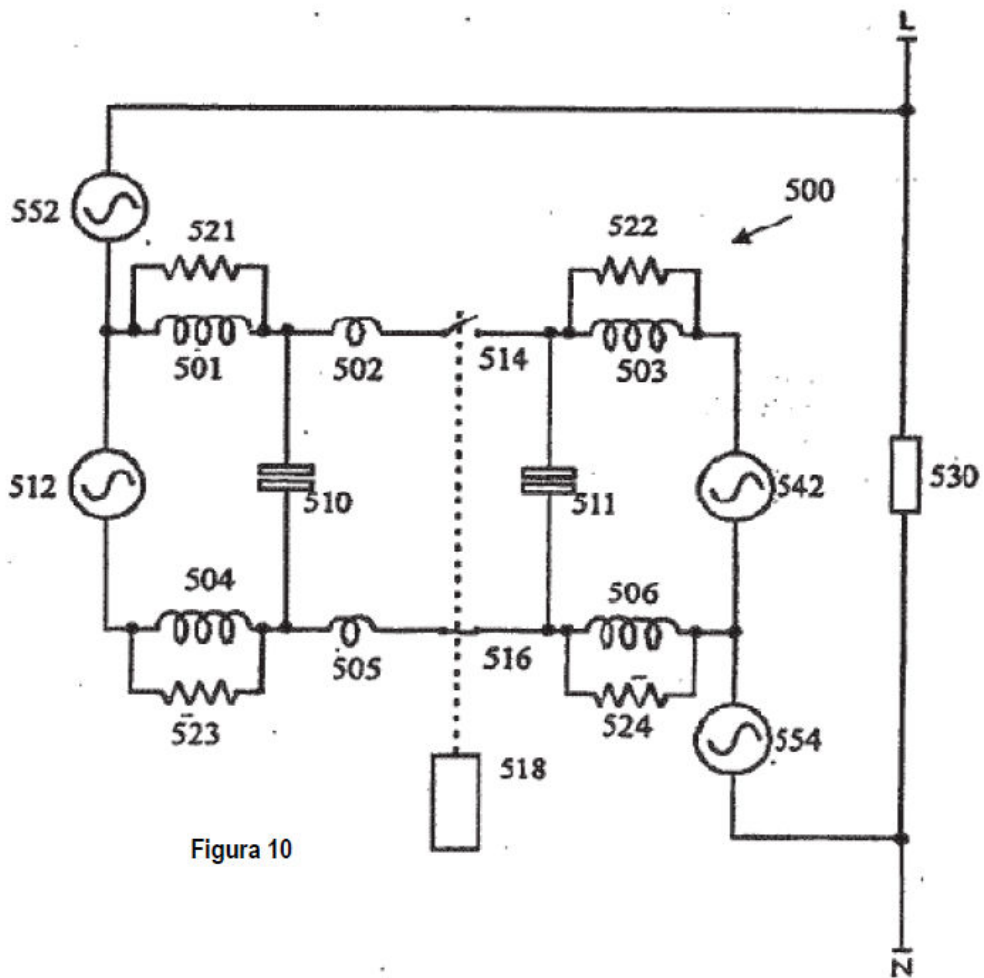


Figura 10

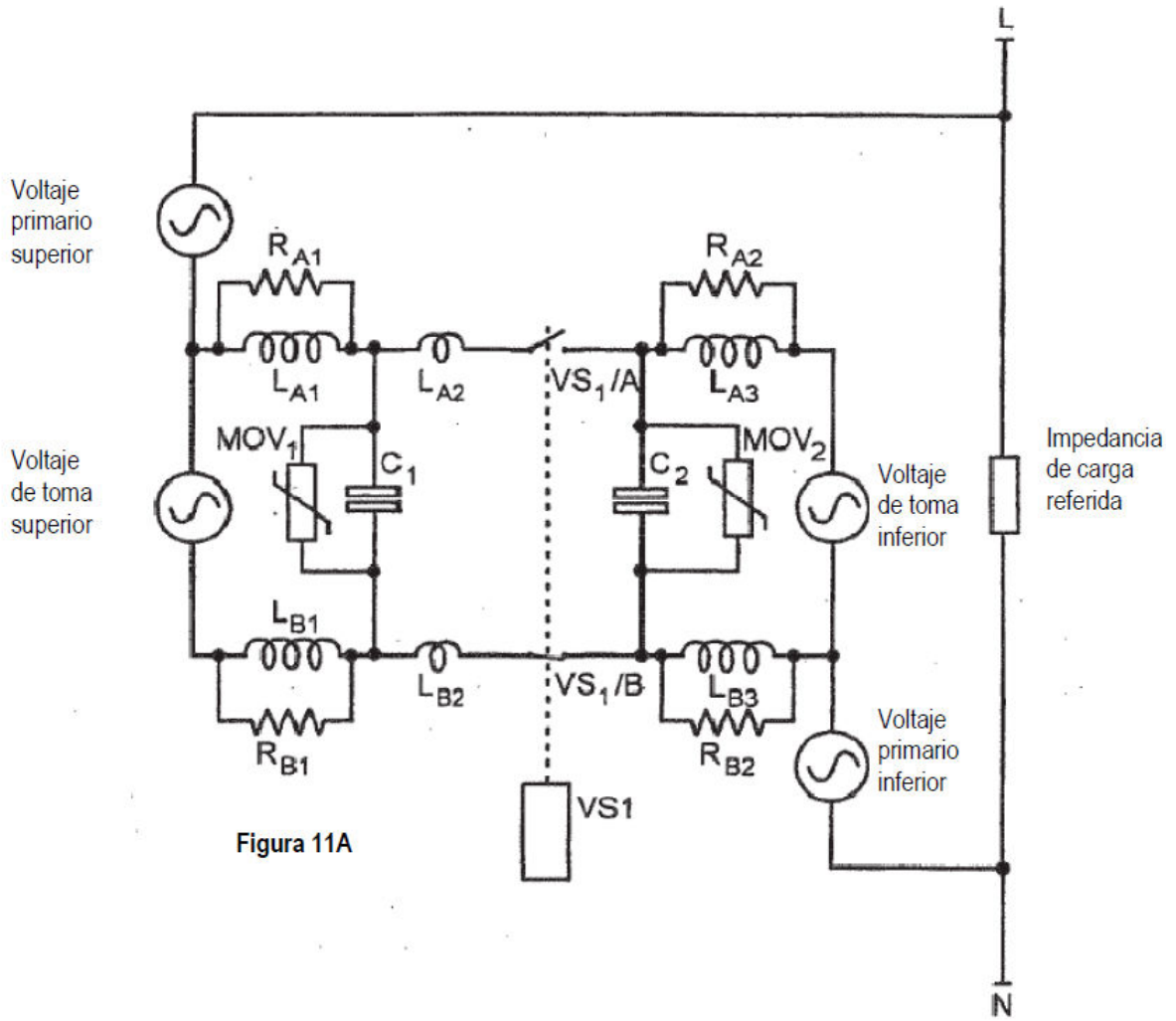


Figura 11A



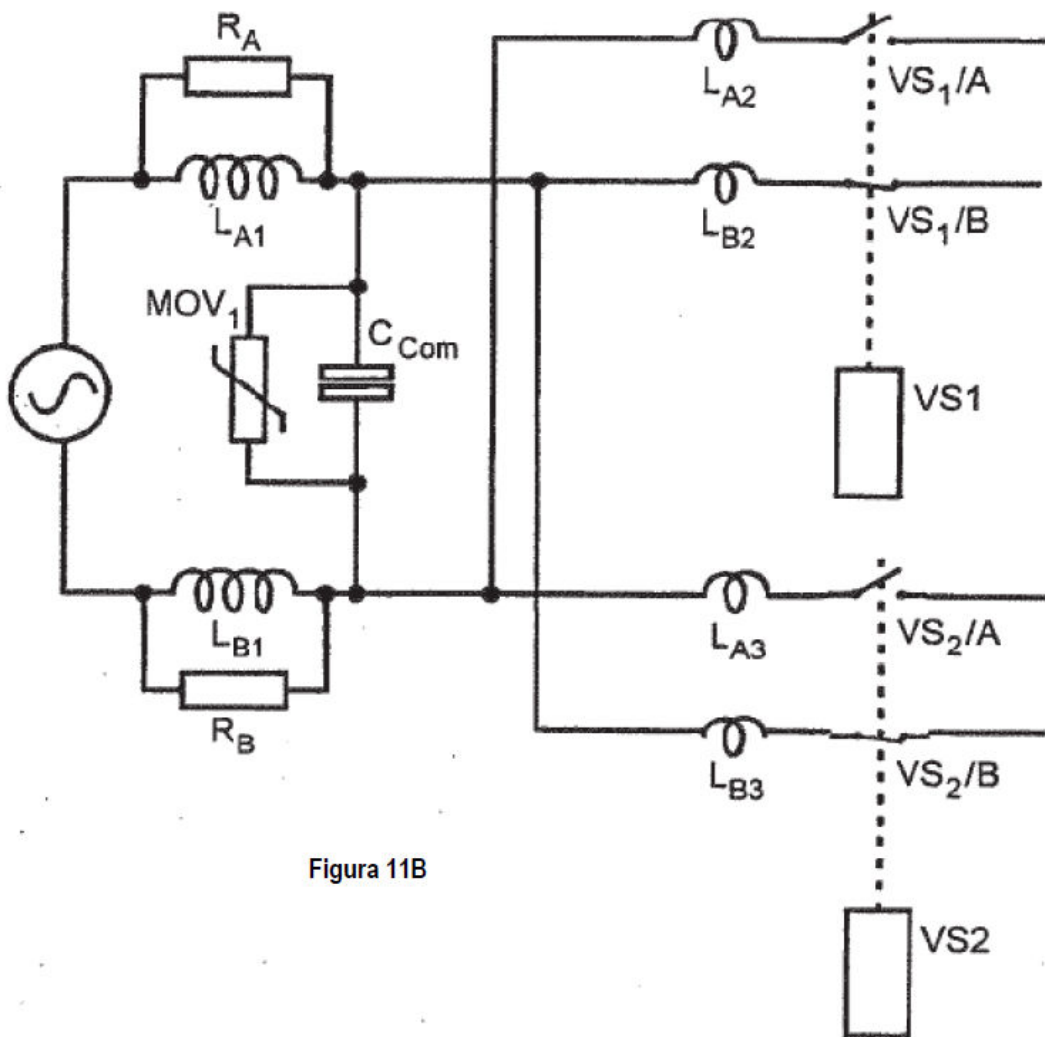


Figura 11B

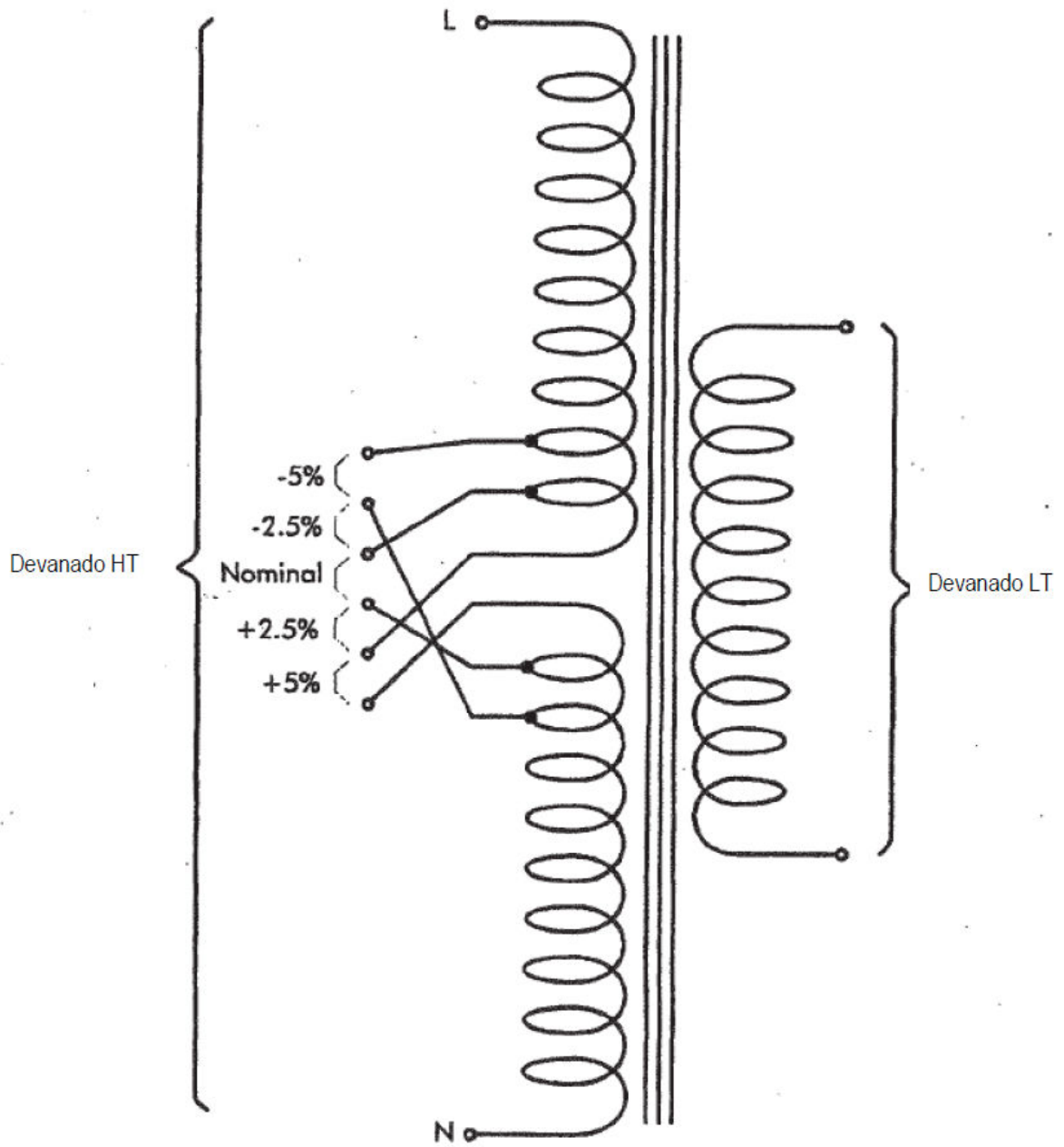


Figura 12A

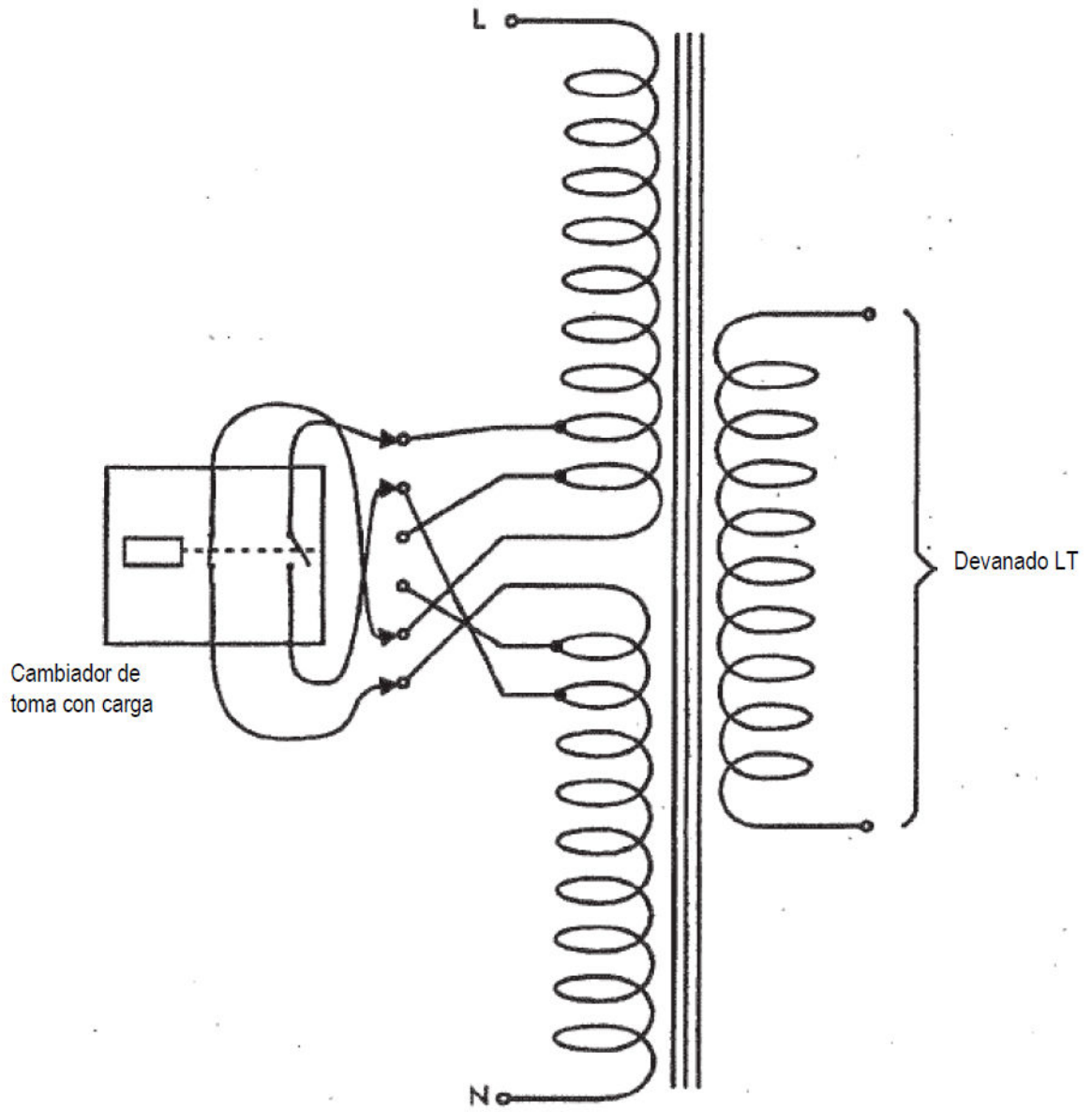


Figura 12B

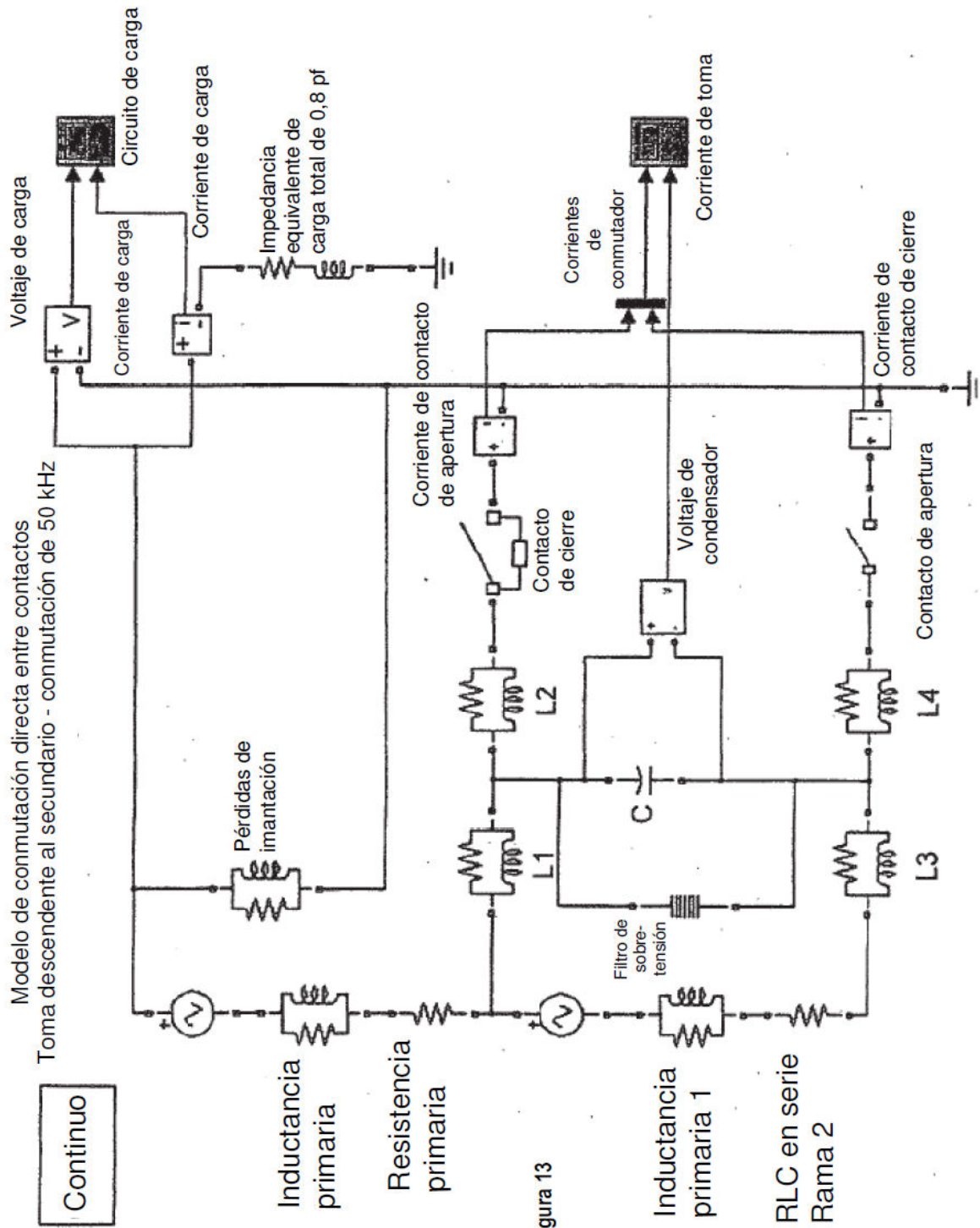


Figura 13



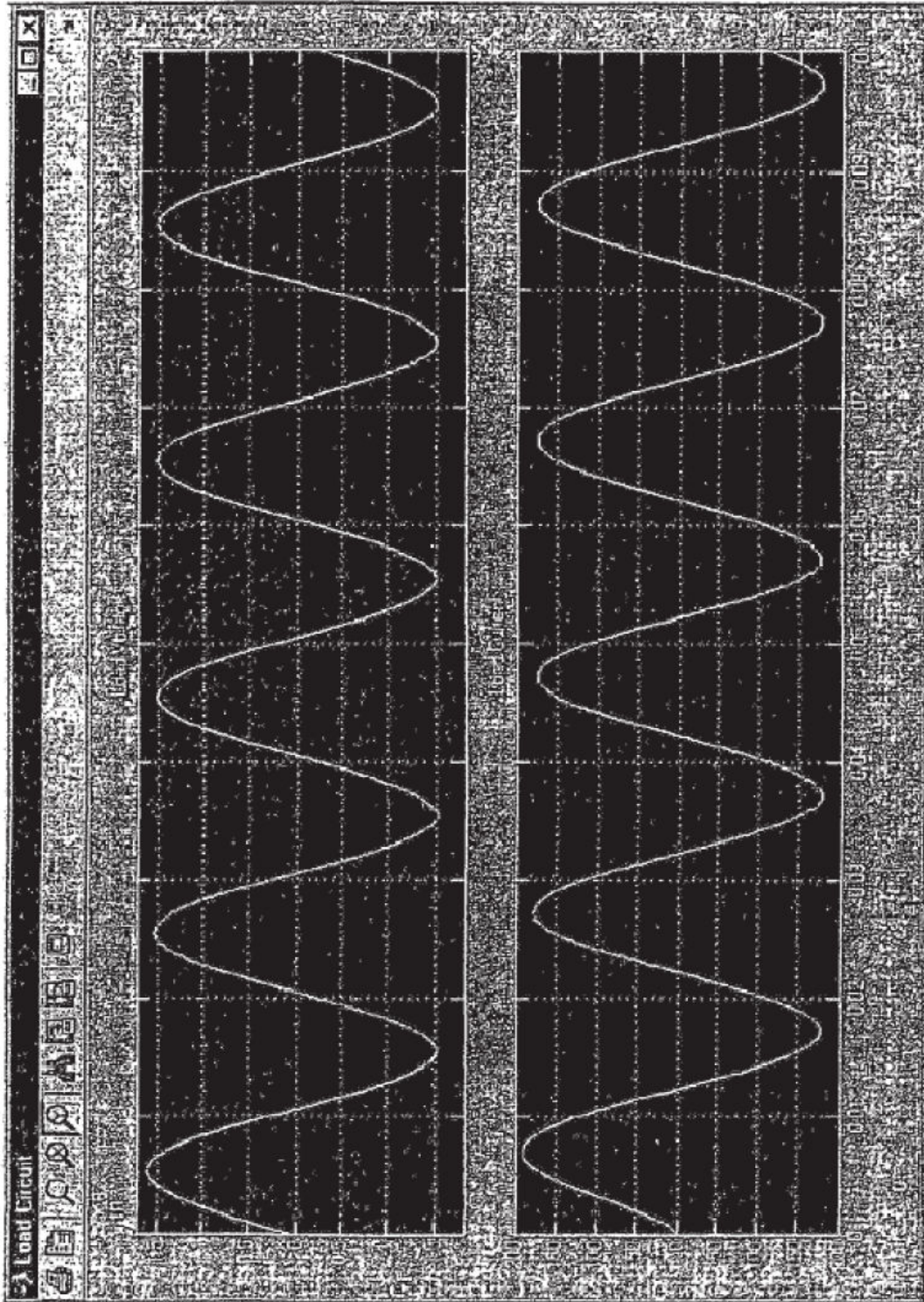


Figura 14



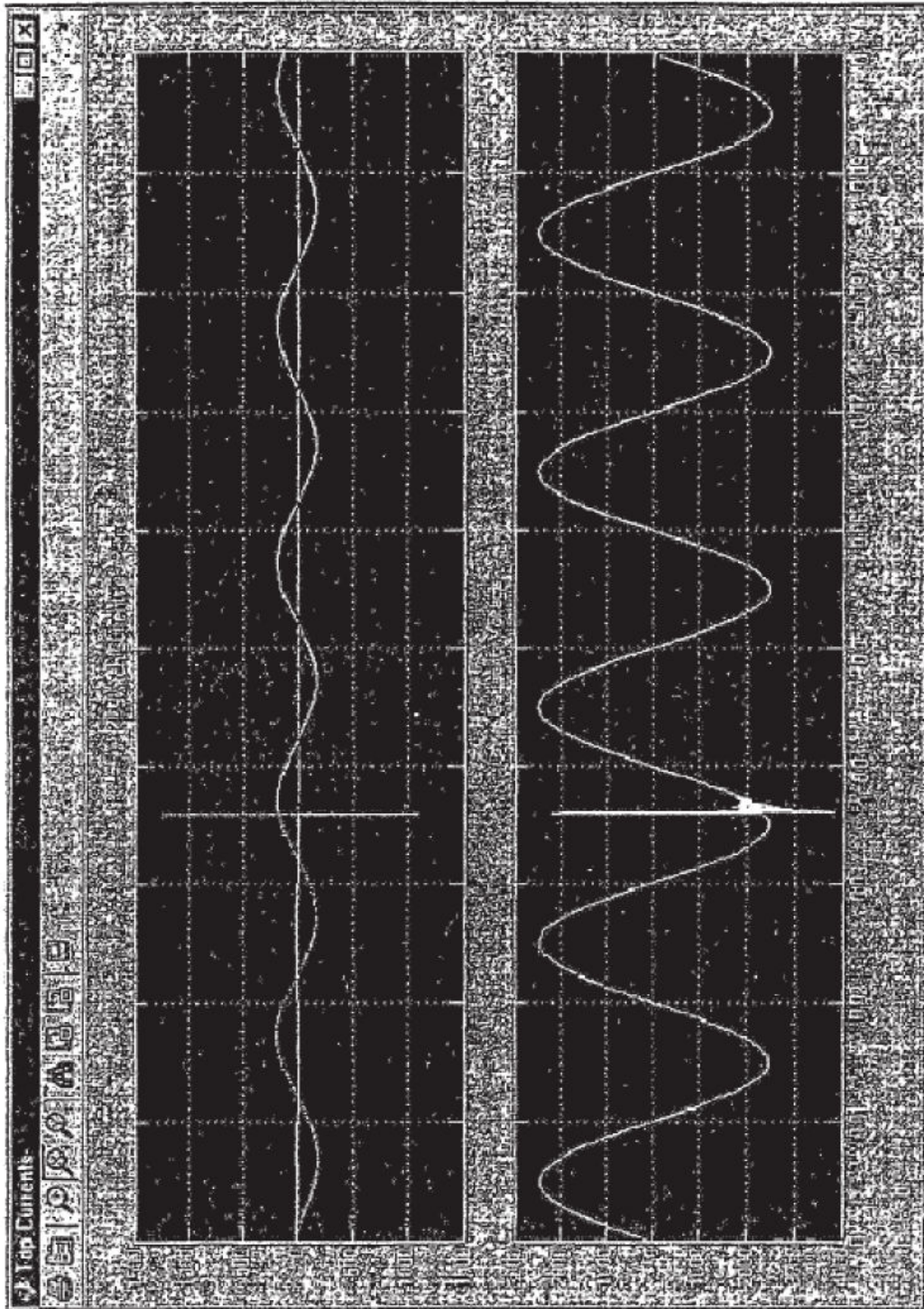


Figura 15

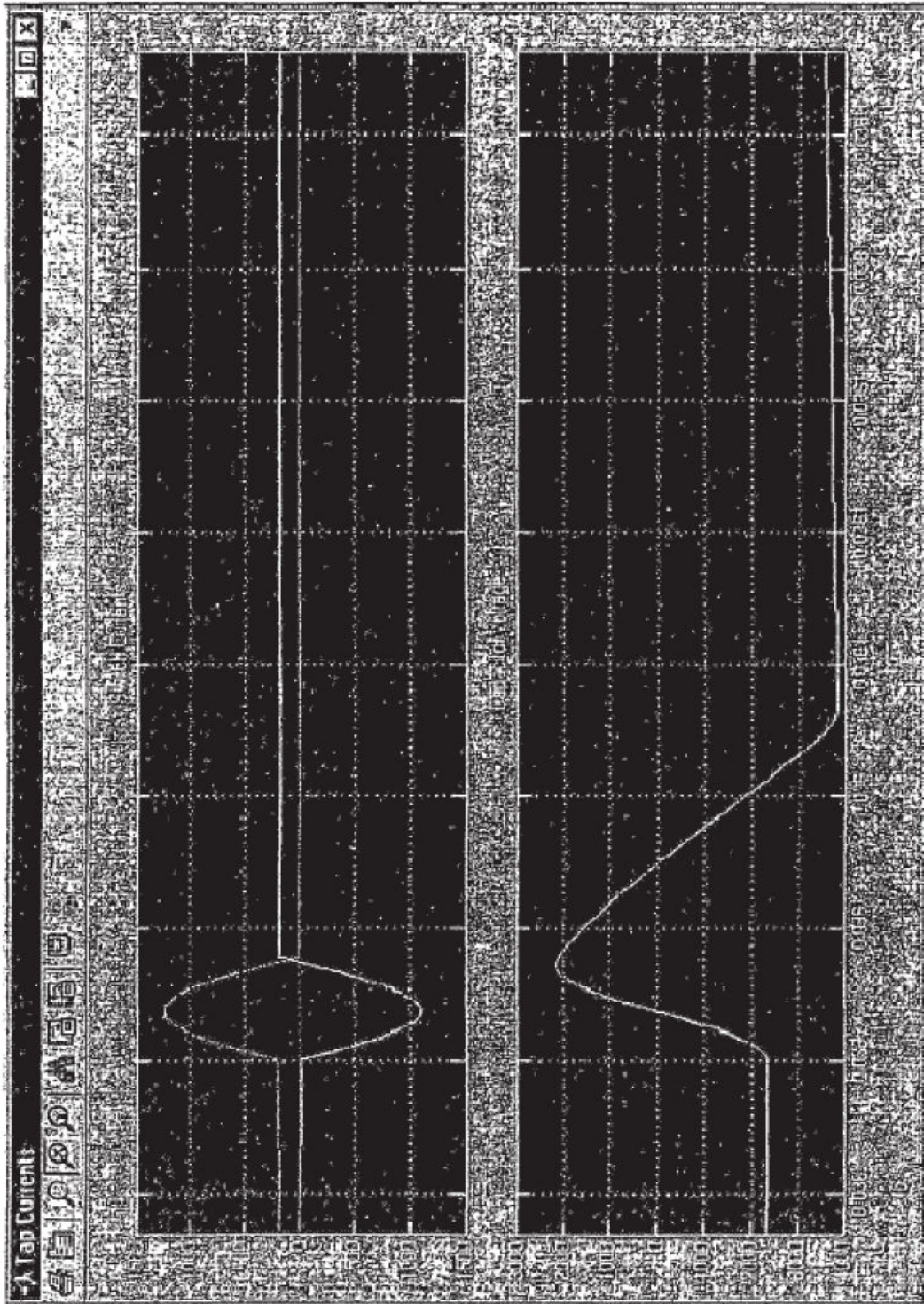


Figura 16