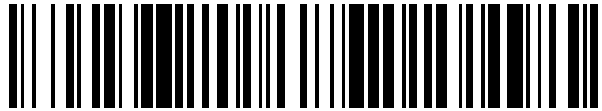


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 563 109**

51 Int. Cl.:

H01F 27/34 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.12.2012 E 12198162 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.12.2015 EP 2747098**

54 Título: **Disposición de transformador para mitigar oscilaciones transitorias de la tensión**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.03.2016

73 Titular/es:

**ABB RESEARCH LTD. (100.0%)
Affolternstrasse 44
8050 Zürich, CH**

72 Inventor/es:

**BORMANN, DIERK;
LILJESTRAND, LARS;
CARLEN, MARTIN;
STEINMETZ, THORSTEN;
BUTTENBACH, PHILIPP y
TEPPER, JENS**

74 Agente/Representante:

LEHMANN NOVO, María Isabel

ES 2 563 109 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Disposición de transformador para mitigar oscilaciones transitorias de la tensión.

Campo técnico

5 Las formas de realización presentadas aquí se refieren a una disposición de transformador y, en particular, a una disposición de transformador para mitigar oscilaciones transitorias de la tensión.

Antecedentes

En términos generales, un transformador es un convertidor de potencia que transfiere energía eléctrica de corriente alterna (AC) a través de acoplamiento inductivo entre circuitos de los arrollamientos del transformador.

10 Los transformadores de tipo seco se utilizan típicamente para tensiones hasta 36 kV. La mayoría de las veces éstos están equipados con cambiadores de toma de descarga que permiten ajustar cinco relaciones de tensión diferentes y un rango de +/- 5 %. Raramente se utilizan cambiadores de toma de carga con transformadores de tipo seco. Actualmente se está extendiendo el rango de aplicación de los diseños de transformador de tipo seco, lo que implica un incremento significativo de su régimen de tensión. A estos niveles de la tensión, la mayoría de las aplicaciones requieren el uso de un cambiador de toma de carga (OLTC) con rango de regulación (+/- 20 %) y número de etapas
15 mucho mayores, así como un arrollamiento de regulación extendido correspondiente.

En la industria del petróleo y del gas, se utilizan motores eléctricos para accionar bombas sumergibles, que están localizadas debajo en un pozo de petróleo o de gas. Tal motor es alimentado típicamente a través de un transformador conectado en el sitio del pozo a una red de distribución de potencia convencional.

20 Los transformadores de tipo seco han sido accionados a niveles de baja tensión y con un rango de regulación estrecho, en este caso las tensiones relacionadas con las oscilaciones transitorias se pueden gestionar fácilmente y requieren distancias dieléctricas relativamente pequeñas. Sin embargo, a medida que se incrementa la tensión y el rango de regulación, las distancias de aislamiento aumentan y se requieren también dimensiones cada vez mayores para el OLTC. Particularmente, durante ensayos de impulsos, se excitan oscilaciones transitorias en el arrollamiento de regulación de transformadores de tipo seco, que conducen a tensiones eléctricas altas en el OLTC. Estas
25 tensiones son particularmente pronunciadas para un concepto de cambiador de toma lineal simple y cuando el OLTC está en la posición mínima, de manera que todo el arrollamiento de regulación está abierto (es decir, conectado al arrollamiento principal solamente en un extremo).

Por lo tanto, existe todavía una necesidad de una disposición de transformador mejorada para mitigar oscilaciones transitorias de la tensión.

30 **Sumario**

Un objeto de las presentes formas de realización es proporcionar una disposición de transformador mejorada para mitigar oscilaciones transitorias de la tensión.

35 De acuerdo con un primer aspecto, se presenta una disposición de transformador para mitigar oscilaciones transitorias de la tensión, que comprende un transformador, comprendiendo el transformador: un núcleo de transformador que comprende al menos una pata de núcleo; y un arrollamiento arrollado alrededor de una de la al menos una pata de núcleo, extendiéndose el arrollamiento desde un primer terminal de arrollamiento hasta un segundo terminal de arrollamiento y que comprende una primera sección de arrollamiento a lo largo de un primer conductor que se extiende desde el primer terminal de arrollamiento hasta un primer punto extremo intermedio, y
40 una segunda sección de arrollamiento a lo largo de un segundo conductor que se extiende desde un segundo punto extremo intermedio hasta el segundo terminal de arrollamiento. La disposición de transformador comprende, además, un componente eléctrico pasivo externo conectado entre el primer punto extremo intermedio y o bien el segundo punto extremo intermedio o el segundo terminal de arrollamiento dispuesto para reducir una diferencia efectiva entre distribuciones de tensión capacitiva e inductiva entre los puntos extremos intermedios, de tal manera que se mitigan las oscilaciones transitorias de la tensión en el arrollamiento.

45 De manera ventajosa, el comportamiento del transformador en condiciones operativas normales no está afectado por el componente eléctrico pasivo externo conectado.

De manera ventajosa, de acuerdo con algunas formas de realización, la disposición trabaja igualmente bien para impulsos aplicados sobre cada terminal de arrollamiento.

50 De manera ventajosa, de acuerdo con algunas formas de realización, la capacidad de subida del transformador en conjunto como está afectada en una medida significativa.

De acuerdo con una forma de realización, el componente eléctrico pasivo externo es un condensador externo $C_{ext,1}$

- 5 conectado al arrollamiento entre el primer punto extremo intermedio y el segundo punto extremo intermedio. De manera ventajosa, tal disposición trabaja igualmente bien para impulsos aplicados sobre cualquier terminal de arrollamiento. De manera ventajosa, el régimen necesario de la tensión de los condensadores es significativamente más bajo que la magnitud del impulso (en un factor 0,20 – 0,3). De esta manera, se puede evitar una conexión en serie de los condensadores.
- 10 De acuerdo con una forma de realización, el componente eléctrico pasivo externo es un condensador externo $C_{ext,1}$, conectado al arrollamiento entre el primer punto extremo intermedio y el segundo punto extremo intermedio. De manera ventajosa, el régimen de tensión necesario de los condensadores es significativamente menor que la magnitud del impulso (en un factor 0,20 – 0,3). De esta manera se puede evitar una conexión en serie de condensadores.
- 15 De acuerdo con una forma de realización, el componente eléctrico pasivo externo es un condensador externo conectado al arrollamiento entre dicho primer punto extremo intermedio y dicho segundo terminal de arrollamiento. De manera ventajosa, tal disposición de transformador trabaja igualmente bien para impulsos aplicados sobre cada terminal de arrollamiento.
- 20 De acuerdo con una forma de realización, la disposición de transformador comprende, además, una pluralidad de contactos de cambiador de toma previstos a lo largo del primer conductor. De manera ventajosa, la conexión de un componente eléctrico pasivo externo no plantea problemas prácticos en tal disposición de transformador, puesto que todos los contactos de cambiadores de toma son fácilmente accesibles desde el exterior del transformador.
- 25 De acuerdo con un segundo aspecto, se presenta una disposición de transformador para mitigar oscilaciones transitorias de la tensión, que comprende un transformador, comprendiendo el transformador: un núcleo de transformador que comprende al menos una pata de núcleo; y un arrollamiento arrollado alrededor de una de la al menos una pata de núcleo, extendiéndose el arrollamiento desde un primer terminal de arrollamiento hasta un segundo terminal de arrollamiento y que comprende una primera sección de arrollamiento a lo largo de un primer conductor que se extiende desde el primer terminal de arrollamiento hasta un primer punto extremo intermedio, y una segunda sección de arrollamiento a lo largo de un segundo conductor que se extiende desde un segundo punto extremo intermedio hasta el segundo terminal de arrollamiento. La disposición de transformador comprende, además, un condensador externo $C_{ext,1}$ conectado al arrollamiento entre el primer punto extremo intermedio y el segundo punto extremo intermedio; o un condensador externo $C_{ext,2}$ conectado al arrollamiento entre el primer punto extremo intermedio y el segundo terminal de arrollamiento; o un varistor externo conectado al arrollamiento entre el primer punto extremo intermedio y el segundo punto extremo intermedio.
- 30 De manera ventajosa, el comportamiento del transformador en condiciones operativas normales no está afectado por uno o más condensadores o varistores externos conectados.
- 35 De manera ventajosa, el régimen de tensión necesario de los condensadores es significativamente menor que la magnitud del impulso (en un factor 0,2 – 0,3). De esta manera, se puede evitar una conexión en serie de los condensadores.
- De acuerdo con una forma de realización, el transformador del primer aspecto y/o del segundo aspecto es un transformador seco.
- 40 Hay que indicar que cualquier característica del primero y del segundo aspectos se puede aplicar a cualquier otro aspecto, donde sea apropiado. De la misma manera, cualquier ventaja del primer aspecto se puede aplicar de la misma manera al segundo aspecto, respectivamente, y vice vers. Otros objetivos, características y ventajas de las formas de realización incluidas aparecerán a partir de la siguiente descripción detallada, a partir de las reivindicaciones dependientes adjuntas así como a partir de los dibujos.
- 45 En general, todos los términos utilizados en las reivindicaciones deben interpretarse de acuerdo con su significado ordinario en el campo técnico, a no ser que se defina aquí explícitamente otra cosa. Todas las referencias a “un / una elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc.” deben interpretarse abiertamente como referidas al menos a un ejemplo del elemento, aparato, componente, medio, etapa, etc., a no ser que se índice explícitamente otra cosas. Las etapas de cualquier método descritas aquí no tienen que ser realizadas en el orden exacto descrito, a no ser que se indique explícitamente.
- Breve descripción de los dibujos**
- 50 A continuación se describe la invención, a modo de ejemplo, con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que:
- La figura 1 es una ilustración esquemática (parcialmente como vista de la sección transversal) de una disposición de transformador de acuerdo con formas de realización.

La figura 2 ilustra esquemáticamente las distribuciones de la tensión “inductiva” y “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento HV de acuerdo con una forma de realización.

La figura 3 ilustra esquemáticamente la tensión como una función de tiempo.

5 La figura 4 muestra la relación de la sobre-tensión máxima sobre el “extremo abierto” para diferentes valores de la capacidad en la figura 2.

La figura 5 ilustra esquemáticamente las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento HV de acuerdo con una forma de realización.

La figura 6 ilustra esquemáticamente la tensión como una función de tiempo para la forma de realización mostrada en la figura 5.

10 La figura 7 ilustra esquemáticamente las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento HV de acuerdo con una forma de realización.

La figura 8 ilustra esquemáticamente las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento HV de acuerdo con una forma de realización.

15 La figura 9 ilustra esquemáticamente las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento HV de acuerdo con una forma de realización; y

La figura 10 ilustra esquemáticamente la tensión y la corriente de pararrayos como una función de tiempo para la forma de realización en la figura 9.

Descripción detallada

20 Los conceptos inventivos se describirán a continuación más completamente a continuación con referencia a los dibujos que se acompañan, en los que se muestran ciertas formas de realización. Los conceptos inventivos pueden ser incorporados, sin embargo, en muchas formas diferentes y no deberían interpretarse como limitados a las formas de realización indicadas aquí; en su lugar, estas formas de realización son proporcionadas a modo de ejemplo, de manera que esta descripción será a fondo y completa, y transferirá totalmente el alcance de los conceptos inventivos los técnicos en la materia. Los mismos números se refieren a los mismos elementos a través de la descripción.

Los conceptos inventivos presentan diferentes modos de mitigar tensiones transitorias en transformadores conectando un elemento externo a los arrollamientos de un transformador, como se describe con más detalle con referencia a las formas de realización descritas a continuación. Como resultado de ello, se reduce la diferencia de la tensión entre los extremos de los arrollamientos (previamente abiertos).

30 La figura 1 ilustra esquemáticamente una geometría posible del arrollamiento de una disposición de transformador 1 de acuerdo con formas de realización. La disposición de transformador 1 comprende un transformador. El transformador comprende un núcleo de transformador 2. El núcleo de transformador 2 comprende al menos una pata de transformador. De acuerdo con la forma de realización lustrada en la figura 1, el núcleo de transformador 2 comprende tres patas de núcleo 3aa, 3b, 3c. Como un técnico en la materia comprende, las formas de realización descritas no están limitadas a ningún número particular de las patas de núcleo. Un arrollamiento 4a, 4b, 4c, 5a, 5b, 5c está arrollado alrededor de cada una de las patas de núcleo 3a, 3b, 3c.

40 El arrollamiento se extiende desde un primer terminal de arrollamiento A hasta un segundo terminal de arrollamiento B. El arrollamiento comprende una primera sección de arrollamiento. La primera sección de arrollamiento está prevista como un conjunto de discos de arrollamiento 6. El arrollamiento comprende, además, una segunda sección de arrollamiento. La segunda sección de arrollamiento está prevista como un conjunto de discos de arrollamiento 6. Como el técnico comprende, los números totales de discos de arrollamiento 6 o secciones y de tomas de arrollamiento de regulación pueden variar dependiendo de la implementación real y del entorno de la disposición de transformador 1.

45 El arrollamiento puede estar designado como un primer arrollamiento. De acuerdo con algunas formas de realización, la disposición de transformador comprende, además, un segundo arrollamiento. De acuerdo con las formas de realización, el segundo arrollamiento está arrollado entre el primer arrollamiento y una pata de núcleo. El primer arrollamiento puede representar un arrollamiento primario de alta tensión, HV y el segundo arrollamiento representa un arrollamiento secundario de baja tensión, LV. Por lo tanto, de acuerdo con una forma de realización, el arrollamiento secundario de baja tensión (LV) 4a, 4b, 4c está arrollado alrededor de cada una de las patas de núcleo 3a, 3b, 3c y un arrollamiento primario de alta tensión (HV) 5a, 5b, 5c está arrollado alrededor de cada arrollamiento LW 4a, 4b, 4c. No obstante, de acuerdo con algunas formas de realización, también el primer arrollamiento representa un arrollamiento LV. Un ejemplo de este tipo de una disposición de transformador que comprende un arrollamiento LV conectado- Δ y un arrollamiento LV conectado-Y. De acuerdo con formas de realización, el segundo

arrollamiento está arrollado a lo largo de una circunferencia del primer arrollamiento. Además, como un técnico en la materia comprende, la disposición de transformador puede comprender incluso otros arrollamientos (LV así como HV); la disposición de transformador descrita no está limitada a ningún tipo o número de arrollamientos a este respecto.

5 Como se describe más adelante, por ejemplo con referencias a las figuras 2, 5 y 9, la primera sección de arrollamiento está prevista a lo largo de un primer conductor 7 y la segunda sección de arrollamiento está prevista a lo largo de un segundo conductor 8. El primer conductor se extiende desde el primer terminal de arrollamiento A hasta un primer punto extremo intermedio C. El segundo conductor se extiende desde un segundo punto extremo intermedio D hasta el segundo terminal de arrollamiento B.

10 La disposición de transformador 1 comprende, además, una pluralidad de contactos de cambiador de toma 9. Los contactos de cambiador de toma 9 están previstos a lo largo del primer conductor 7. En términos generales, un contacto de cambiador de toma 9 es un punto de conexión a lo largo de un arrollamiento de transformador que permite seleccionar un cierto número de espiras (arrollamientos). Esto proporciona un transformador con una relación variable de las espiras, permitiendo de esta manera la regulación de la tensión de la salida. La sección de la
15 toma se realiza a través de un cambiador de toma 10.

Durante la operación de la disposición de transformador 1, la distribución de la tensión “capacitiva” inicial al menos a lo largo del arrollamiento 5a, 5b, 5c, determinada solamente por sus capacidades parásitas, es diferente de la distribución casi-estacionaria “inductiva” en instantes posteriores, determinada por las inductancias parásitas. Esta diferencia tiende a la oscilación de la tensión durante la transición dinámica entre las dos. La disposición de transformador 1 está dispuesta para mitigar tales oscilaciones transitorias de la tensión. Con el fin de hacerlo, la disposición de transformador 1 comprende un componente eléctrico pasivo externo. El componente eléctrico pasivo externo está dimensionado para reducir una diferencia efectiva entre distribuciones de la tensión capacitiva e inductiva entre los puntos extremos intermedios, de tal manera que se mitigan las oscilaciones transitorias de la tensión en el arrollamiento. Como se describe más adelante, por ejemplo con referencia a las figuras 2 y 9, el
20 componente eléctrico pasivo externo puede estar conectado entre el primer punto extremo intermedio C y el segundo punto extremo intermedio D. Como se describe más adelante, por ejemplo con referencias a la figura 5, el componente eléctrico pasivo externo puede estar conectado entre el primer punto extremo intermedio C y el segundo terminal del arrollamiento B.

De acuerdo con formas de realización ejemplares o bien se conecta un condensador externo sobre la parte abierta del arrollamiento de regulación o se conecta un condensador externo entre el extremo abierto del arrollamiento de regulación y el terminal B en el que se aplica el impulso, o se conecta un varistor externo sobre la parte abierta del arrollamiento de regulación. Estas formas de realización se describirán ahora por turno. El “extremo abierto” se define aquí como la parte menos conductora entre el primer conductor y el segundo conductor, es decir, entre el primer punto extremo intermedio C y el segundo punto extremo intermedio D.

35 **Primera forma de realización ejemplar:**

De acuerdo con una forma de realización, el componente eléctrico pasivo externo es un condensador externo $C_{ext,1}$ conectado a los arrollamientos 5a, 5b, 5c entre el primer punto extremo intermedio C y el segundo punto extremo intermedio D. Esto se ilustra en la figura 2.

40 La conexión de un condensador externo sobre la parte abierta del arrollamiento de regulación incrementa el periodo de oscilación (es decir, reduce la frecuencia de oscilación) hasta tal extensión que el impulso decae antes de que la oscilación alcance su máximo, reduciendo de esta manera la diferencia efectiva entre distribuciones de la tensión “capacitiva” e “inductiva”. Esto se ilustra en la figura 3, ver más abajo.

La parte superior (a) de la figura 2 muestra las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento para una amplitud de impulso unitario, obtenida con un modelo de simulación para un arrollamiento de disco de folio de un transformador MVA 10 del tipo VCC de un impulso aplicado sobre el terminal de arrollamiento B. La parte inferior (b) de la figura 2 ilustra esquemáticamente un primer conductor del arrollamiento que se extiende desde un primer terminal de arrollamiento A hasta un primer punto extremo intermedio C y un segundo conductor del arrollamiento que se extiende desde un segundo punto extremo intermedio D hasta un segundo terminal de arrollamiento B. En la parte inferior (b) de la
45 figura 2, las secciones o discos de arrollamiento 6 de la figura 1 están representados por rectángulos. Sobre las conexiones entre disco siguientes se encuentran los “nodos” del modelo, indicados por puntos, que son los puntos a lo largo del arrollamiento donde la tensión fue calculada con el modelo de simulación para el resultado mostrado en la parte superior (a) de la figura 2. En la parte inferior (b) de la figura 2, un condensador externo $C_{ext,1}$ está conectado al arrollamiento entre nodos 23 y 24.

55 La figura 3 ilustra esquemáticamente la diferencia de la tensión entre nodos 23 y 24 como una función de tiempo (con 1,2 – 50 impulsos unitarios sobre el terminal de arrollamiento B), para tres valores diferentes de la capacidad externa $C_{ext,1}$. Con más detalle, la figura 3 muestra el efecto que la adición de diferentes cantidades de capacidad

externa ($C_{ext,1}$) tiene sobre la diferencia de la tensión dependiente del tiempo sobre el “extremo abierto” entre el nodo 23 en el primer punto extremo intermedio C (es decir, el extremo abierto del arrollamiento de regulación) y el ánodo 24 en el segundo punto extremo intermedio D (es decir, el contacto selector de toma), calculado con el mismo modelo que se ha utilizado para los resultados de la simulación mostrados en la figura 2.

- 5 De acuerdo con una forma de realización, el valor de la capacidad está en el rango $C_{ext,1} = 5 - 100$ nF. Con preferencia $C_{ext,1} = 5 - 10$ nF. No se espera que los regímenes de potencia y de tensión del transformador tengan un impacto grande sobre estos valores; en cambio, el régimen de la tensión del condensador externo $C_{ext,1}$ se incrementará con el del transformador.

10 La figura 4 muestra la relación de la sobre-tensión máxima sobre el “extremo abierto” para diferentes valores de la capacidad. La figura 4 muestra resultados de mediciones sobre un transformador más pequeño (24 kV / 900 kVA) del mismo tipo de diseño (VCC) que anteriormente. Para estas mediciones, una disposición de arrollamiento con un “extremo abierto” similar al mostrado en la figura 3 está prevista en uno de los arrollamientos. Para observar sobre-tensiones transitorias sobre el intersticio, el 33 % del número total de espiras del arrollamiento pueden desviadas por un cambiador de toma galvánica. En primer lugar, se midió la tensión transitoria sobre el “extremo abierto” y se registró su máximo como el valor de referencia (el punto de datos etiquetado “o nF” en la figura 3). Luego se conectaron condensadores externos, $C_{ext,1}$, con diferentes valores de la capacidad sobre el “extremo abierto” y se midieron las tensiones transitorias sobre el intersticio en cada caso. La figura 4 muestra la relación de la tensión máxima para cada valor de la capacidad externa con respecto a la referencia sin capacidad externa (“o nF”). Como se puede ver, con valor de la capacidad suficientemente alto se ha conseguido una reducción significativa de la sobretensión máxima. Estos resultados son consistentes con la simulación en el diseño de 10 MVA mostrado en la figura 3.

Segunda forma de realización:

25 De acuerdo con una forma de realización, el componente eléctrico pasivo externo es un condensador externo $C_{ext,2}$ conectado al arrollamiento entre el primer punto extremo intermedio C y el segundo terminal de arrollamiento B. Esto se ilustra en la figura 5. De acuerdo con una segunda forma de realización, un condensador externo está conectado de esta manera entre el extremo abierto del arrollamiento de regulación y el segundo terminal de arrollamiento B, en el que se aplica en impulso.

El valor de la capacidad $C_{ext,2}$ se determina de tal manera que se reduce al mínimo la desviación de la tensión entre las distribuciones “capacitiva” e “inductiva”.

30 La parte superior (a) de la figura 5 muestra las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento para una amplitud de impulso unitario, obtenidas con un modelo de simulación para un arrollamiento de disco de folio de un transformador MVA 10 de tipo VCC para un impulso aplicado sobre el terminal del arrollamiento B, para dos valores de la capacidad $C_{ext,2} = 0,5$ nF y $C_{ext,2} = 0,6$ nF determinados para que estén cerca del óptimo. La parte inferior (b) de la figura 5 ilustra esquemáticamente un primer conductor para el arrollamiento que se extiende desde un primer terminal de arrollamiento A hasta un primer punto extremo intermedio C y un segundo conductor del arrollamiento que se extiende desde un segundo punto extremo intermedio D hasta un segundo terminal de arrollamiento B. En la parte inferior (b) de la figura 5, las secciones o discos de arrollamiento se representan por rectángulos. Sobre las conexiones entre discos se encuentran los “nodos” del modelo, indicados por puntos, que son los puntos a lo largo del arrollamiento, donde la tensión se ha calculado con el modelo de simulación para el resultado mostrado en la parte superior (a) de la figura 5. En la parte inferior (b) de la figura 5, un condensador externo $C_{ext,2}$ está conectado al arrollamiento entre nodos 23 y 34.

45 La figura 6 ilustra de forma esquemática la diferencia de tensión entre nodos 23 y 34 como una función de tiempo (con 1,2 – 50 impulsos unitarios sobre el terminal de arrollamiento B), para tres valores diferentes de la capacidad externa $C_{ext,2}$. Con más detalle, la figura 6 muestra el efecto de las capacidades externas sobre la diferencia de la tensión dependiente del tiempo del “extremo abierto” entre el nodo 23 en el primer punto extremo intermedio C (es decir, el extremo abierto del arrollamiento de regulación) y el nodo 34 en el segundo punto extremo intermedio D (es decir, el contacto selector de toma), calculados con el mismo modelo.

50 El valor de la capacidad debería estar bien adaptado al diseño del arrollamiento particular (es decir, que no debe ser ni demasiado pequeño ni demasiado grande) con el fin de conseguir el beneficio máximo. De acuerdo con una forma de realización, el valor de la capacidad está en el rango $C_{ext,2} = 0,1 - 2,0$ nF, con preferencia $C_{ext,2} = 0,1 - 1,0$ nF, más preferentemente $C_{ext,2} = 0,5 - 0,6$ nF. No se espera que los regímenes de potencia y de tensión tengan un impacto muy grande sobre estos valores; en cambio, el régimen de la tensión del condensador se incrementará con el del transformador.

El valor de la capacidad necesaria es bastante bajo, pero el régimen de la tensión del condensador es del mismo orden que la magnitud del impulso, de manera que en la práctica se puede utilizar una conexión en serie. De acuerdo con una forma de realización, se proporciona, por lo tanto, una serie de condensadores $C_{ext,2}$ conectados al arrollamiento entre el primer punto extremo intermedio C y el segundo terminal de arrollamiento B. El régimen de tensión necesario del condensador (o condensadores en serie) se puede reducir moviendo el arrollamiento de regulación con relación al arrollamiento principal, de manera que se encuentra eléctricamente más próximo al terminal de arrollamiento B.

La presente configuración solamente puede funcionar cuando el impulso incide en los arrollamientos desde el terminal de arrollamiento B y no desde el terminal de arrollamiento A. Por lo tanto, la presente configuración puede no ser adecuada en esta forma para arrollamientos de fase conectados- Δ ; pero puede ser adecuada para arrollamientos conectados-Y con el neutro en el terminal A.

Para arrollamientos de fases conectados- Δ , la presente configuración se puede modificar “enchufando” el potencial del contacto selector de toma en algún lugar en el centro entre las dos tensiones terminales a través de un divisor de la tensión capacitiva. De acuerdo con una forma de realización, la disposición de transformador comprende, además, de esta manera un divisor de la tensión capacitiva externa conectado al primer terminal de arrollamiento A, al segundo punto extremo intermedio D, y al segundo terminal de arrollamiento B. Esto se ilustra en las partes inferiores (b) de las figuras 7 y 8.

Por lo tanto, el divisor de la tensión capacitiva externa puede comprender un condensador $C_{ext,3}$ conectado al arrollamiento entre el primer terminal de arrollamiento A y el segundo punto extremo intermedio D y un condensador $C_{ext,4}$ conectado al arrollamiento entre el segundo punto extremo intermedio D y el segundo terminal de arrollamiento B. Por lo tanto, esta forma de realización requiere tres condensadores con régimen completo de la tensión del impulso. Además, la capacidad incrementada del arrollamiento se puede incrementar de forma significativa (aproximadamente 500 pF en lugar de 120 pF sin condensadores en el presente ejemplo), que puede ser deseable en algunas aplicaciones e indeseable en otras.

La parte superior (a) de la figura 7 muestra las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento para una amplitud de impulso unitario, obtenidas con un modelo de simulación para un arrollamiento de disco de folio de un transformador MVA 10 de tipo VCC para un impulso aplicado sobre el terminal del arrollamiento B, con y sin condensadores externos $C_{ext,2}$, $C_{ext,3}$ y $C_{ext,4}$. La parte inferior (b) de la figura 7 ilustra esquemáticamente un primer conductor para el arrollamiento que se extiende desde un primer terminal de arrollamiento A hasta un primer punto extremo intermedio C y un segundo conductor del arrollamiento que se extiende desde un segundo punto extremo intermedio D hasta un segundo terminal de arrollamiento B. En la parte inferior (b) de la figura 7, las secciones o discos de arrollamiento se representan por rectángulos. Sobre las conexiones entre discos se encuentran los “nodos” del modelo, indicados por puntos, que son los puntos a lo largo del arrollamiento, donde la tensión se ha calculado con el modelo de simulación para el resultado mostrado en la parte superior (a) de la figura 7. En la parte inferior (b) de la figura 7, un condensador externo $C_{ext,2}$ está conectado al arrollamiento entre nodos 23 y 34, un condensador externo $C_{ext,3}$ está conectado al arrollamiento entre nodos 1 y 24, y un condensador externo $C_{ext,4}$ está conectado al arrollamiento entre nodos 24 y 34.

La parte superior (a) de la figura 8 muestra las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento para una amplitud de impulso unitario, obtenidas con un modelo de simulación para un arrollamiento de disco de folio de un transformador MVA 10 de tipo VCC para un impulso aplicado sobre el terminal del arrollamiento A, con y sin condensadores externos $C_{ext,2}$, $C_{ext,3}$ y $C_{ext,4}$. La parte inferior (b) de la figura 8 ilustra esquemáticamente un primer conductor para el arrollamiento que se extiende desde un primer terminal de arrollamiento A hasta un primer punto extremo intermedio C y un segundo conductor del arrollamiento que se extiende desde un segundo punto extremo intermedio D hasta un segundo terminal de arrollamiento B. En la parte inferior (b) de la figura 8 las secciones o discos de arrollamiento se representan por rectángulos. Sobre las conexiones entre discos se encuentran los “nodos” del modelo, indicados por puntos, que son los puntos a lo largo del arrollamiento, donde la tensión se ha calculado con el modelo de simulación para el resultado mostrado en la parte superior (a) de la figura 8. En la parte inferior (b) de la figura 8, un condensador externo $C_{ext,2}$ está conectado al arrollamiento entre nodos 23 y 34, un condensador externo $C_{ext,3}$ está conectado al arrollamiento entre nodos 1 y 24, y un condensador externo $C_{ext,4}$ está conectado al arrollamiento entre nodos 24 y 34.

El valor de la capacidad para arrollamientos de fases conectados- Δ está con preferencia en el rango de 0,1 – 2,0 nF. Esto está de acuerdo con formas de realización $C_{ext,3} = 0,1 - 2,0$ nF y $C_{ext,4} = 0,1 - 2,0$ n, y con preferencia $C_{ext,3} = C_{ext,4} = 1,0$ nF. Como anteriormente, no se espera que los regímenes de potencia y de tensión tengan un impacto muy grande sobre estos valores, mientras que el régimen de tensión del condensador se incrementará con el del

transformador.

Tercera forma de realización

De acuerdo con una forma de realización, el componente electrónico es un varistor externo 11 conectado al arrollamiento entre el primer punto extremo intermedio C y el segundo punto extremo intermedio D. Esto se ilustra en la figura 9. Conectando un varistor exterior 11 sobre la parte abierta del arrollamiento de regulación se limita efectivamente la amplitud de la oscilación hasta el nivel de protección del varistor.

La parte superior de la figura 9 muestra la distribución “inductiva” final y la distribución “capacitiva” inicial para una amplitud de impulso unitario, obtenida con un modelo de simulación para el arrollamiento de disco de folio de una unidad de 10 mVA de tipo VCC.

La parte superior (a) de la figura 9 muestra las distribuciones de la tensión “inductiva” final de impulsos y las distribuciones de la tensión “capacitiva” inicial de impulsos a lo largo del arrollamiento para una amplitud de impulso unitario, obtenidas con un modelo de simulación para un arrollamiento de disco de folio de un transformador MVA 10 de tipo VCC para un impulso aplicado sobre el terminal del arrollamiento A, con un varistor exterior 11 y un fusible exterior 12. La parte inferior (b) de la figura 9 ilustra esquemáticamente un primer conductor para el arrollamiento que se extiende desde un primer terminal de arrollamiento A hasta un primer punto extremo intermedio C y un segundo conductor del arrollamiento que se extiende desde un segundo punto extremo intermedio D hasta un segundo terminal de arrollamiento B. En la parte inferior (b) de la figura 9, las secciones o discos de arrollamiento se representan por rectángulos. Sobre las conexiones entre discos se encuentran los “nodos” del modelo, indicados por puntos, que son los puntos a lo largo del arrollamiento, donde la tensión se ha calculado con el modelo de simulación para el resultado mostrado en la parte superior (a) de la figura 9. En la parte inferior (b) de la figura 9, un varistor exterior y un fusible exterior opcional están conectados en serie al arrollamiento entre nodos 23 y 34.

La figura 10 ilustra esquemáticamente la diferencia de la tensión entre nodos 23 y 24 como una función de tiempo (con 1,2-50 impulsos unitarios sobre el terminal de arrollamiento B), para dos valores diferentes del varistor exterior 11. Con más detalle, la figura 10 muestra el efecto que la adición de un varistor externo tiene sobre la diferencia de la tensión dependiente del tiempo sobre el “extremo abierto” entre el nodo 23 en el primer punto extremo intermedio C (es decir, el extremo abierto del arrollamiento de regulación) y el nodo 24 en el segundo punto extremo intermedio D (es decir, el contacto selector superior) calculado con el mismo modelo que se ha utilizado para los resultados de simulación mostrados en la figura 9.

El nivel de protección del varistor se puede ajustar, por ejemplo, a los requerimientos del cambiador de toma. De acuerdo con una forma de realización, el varistor externo 11 tiene un nivel de protección de 5-30 % del nivel de aislamiento básico del transformador, BIL.

La energía W_{arr} vertida en el varistor es típicamente del orden de algunos Joule de 100 kV de magnitud de impulsos. Por ejemplo para el modelo de transformador 10 MVA de tipo VCC utilizado anteriormente se obtuvo lo siguiente:

$$W_{arr} = (5 \cdot 9 \text{ J}) (U_{imp} / 100 \text{ V})^2 \text{ para nivel de protección del varistor} = 0,1 U_{imp}, \text{ y}$$

$$W_{arr} = (1 \cdot 7 \text{ J}) (U_{imp} / 100 \text{ V})^2 \text{ para nivel de protección del varistor} = 0,2 U_{imp},$$

donde U_{imp} es el máximo de la tensión del impulso.

De acuerdo con formas de realización, un fusible externo 12 está conectado en serie con el varistor externo 11. Un fusible 12 conectado en serie con el varistor 11 podría proteger el transformador en el caso de rotura del varistor. Su dimensionado está determinado sobre la base de la corriente “normal” esperada del varistor en condiciones de impulso bajas (por debajo de 10 A por 100 kV de magnitud del impulso en presente ejemplo, ver la figura 10). La corriente del varistor durante el impulso es del orden de algunos amperios, es decir, mucho menor que una corriente de cortocircuito.

La invención ha sido descrita principalmente más arriba con referencia a algunas formas de realización. No obstante, como se apreciará fácilmente por un técnico en la materia, de la misma manera son posibles otras formas de realización que las descritas anteriormente dentro del alcance de la invención, como se define por las reivindicaciones de patente anexas. Por ejemplo, las formas de realización son particularmente adecuadas para transformadores secos. De acuerdo con formas de realización, el transformador descrito es un transformador seco. Los transformadores de distribución secos se pueden utilizar para reducir la tensión del medio de tres fases a tensión baja para distribución de potencia. Tales transformadores se utilizan principalmente en áreas metropolitanas (edificios públicos, oficinas, subestaciones de distribución) y se utilizan también en aplicaciones industriales. Los

5 transformadores de tipo seco son una solución ideal para aplicaciones donde los transformadores tienen que ser instalados cerca de su lugar de uso. La instalación próxima ahorra gasto de instalación de cableado, mientras que se reducen al mismo tiempo pérdidas en cables y terminales sobre el lado de baja tensión. Los transformadores de tipo seco son seguros para el medio ambiente y son adecuados para aplicaciones interiores y exteriores. Proporcionan excelente resistencia mecánica y de cortocircuito, no tienen fugas de líquidos y no presentan ningún peligro de fuego o explosión. Los transformadores pueden o no estar provistos con cierres para protección añadida extra contra entornos exteriores o interiores severos. Se pueden utilizar en todos los tipos de aplicaciones que incluyen unidades de subestación primarias y secundarias montadas en el suelo.

10 No obstante, las formas de realización presentadas ni son específicas para transformadores de tipo seco ni de un concepto de cambiador de toma lineal simple. Las formas de realización presentadas aquí son aplicables también para transformadores llenos de aceite y para conceptos de cambiadores de toma complejos.

15

REIVINDICACIONES

- 1.- Disposición de transformador (1) para mitigar oscilaciones transitorias de la tensión, que comprende:
un transformador, comprendiendo el transformador:
un núcleo de transformador (2) que comprende al menos una pata de núcleo (3a, 3b, 3c); y
5 un arrollamiento (4a, 4b, 4c, 5a, 5c, 5d) arrollado alrededor de una de la al menos una pata de núcleo, extendiéndose el arrollamiento desde un primer terminal de arrollamiento (A) hasta un segundo terminal de arrollamiento (B) y que comprende una primera sección de arrollamiento a lo largo de un primer conductor (7) que se extiende desde el primer terminal de arrollamiento (A) hasta un primer punto extremo intermedio (C), y una segunda
10 sección de arrollamiento a lo largo de un segundo conductor (8) que se extiende desde un segundo punto extremo intermedio (D) hasta dicho segundo terminal de arrollamiento (B); y
un componente eléctrico pasivo externo ($C_{ext,1}$, $C_{ext,2}$, 11) conectado entre el primer punto extremo intermedio (C) y o bien el segundo punto extremo intermedio (D) o el segundo terminal de arrollamiento (B) dispuesto para reducir una diferencia efectiva entre distribuciones de tensión capacitiva e inductiva entre los puntos extremos intermedios, de tal manera que se mitigan las oscilaciones transitorias de la tensión en el arrollamiento.
- 15 2.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el componente eléctrico pasivo externo es un condensador externo $C_{ext,1}$, conectado al arrollamiento entre dicho primer punto extremo intermedio (C) y dicho segundo punto extremo intermedio (D).
- 3.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 1, en la que $C_{ext,1} = 5 - 100$ nF, con preferencia $C_{ext,1} = 5 - 10$ nF,
- 20 4.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 2, en la que el componente eléctrico pasivo externo es un condensador externo $C_{ext,2}$ conectado al arrollamiento entre dicho primer punto extremo intermedio (C) y dicho segundo terminal de arrollamiento (B).
- 5.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 4, en la que $C_{ext,2} = 0,1 - 2,0$ nF.
- 6.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 4 ó 5, que comprende, además:
25 un divisor de la tensión capacitiva externa ($C_{ext,3}$, $C_{ext,4}$) conectado a dicho primer terminal de arrollamiento (A), dicho segundo punto extremo intermedio (D), y dicho segundo terminal de arrollamiento (B).
- 7.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 6, en la que dicho divisor de la tensión capacitiva externa comprende:
30 un condensador $C_{ext,3}$ conectado al arrollamiento entre dicho primer terminal de arrollamiento (A) y dicho segundo punto extremo intermedio (D); y
un condensador $C_{ext,4}$ conectado al arrollamiento entre dicho segundo punto extremo intermedio (D) y dicho segundo terminal de arrollamiento (B).
- 8.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 7, en la que $C_{ext,3} = 0,1 - 2,0$ nF y $C_{ext,4} = 0,1 - 2,0$ nF, y en la que es con preferencia $C_{ext,3} = C_{ext,4} = 1,0$ nF.
- 35 9.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 1, en la que el componente electrónico es un tiristor externo (11) conectado al arrollamiento entre dicho primer punto extremo intermedio (C) y dicho segundo punto extremo intermedio (D).
- 10.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 9, en la que el varistor externo tiene un nivel de protección de 5-30 % del nivel de aislamiento básico del transformador, BIL.
- 40 11.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 9 ó 10, que comprende, además:
una fase externa (12) conectada en serie con el varistor externo.
- 12.- La disposición de transformador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende, además:
una pluralidad de contactos de cambiador de toma (9) previstos a lo largo de dicho primer conductor.
- 45 13.- La disposición de transformador de acuerdo con la reivindicación 12, que comprende, además:

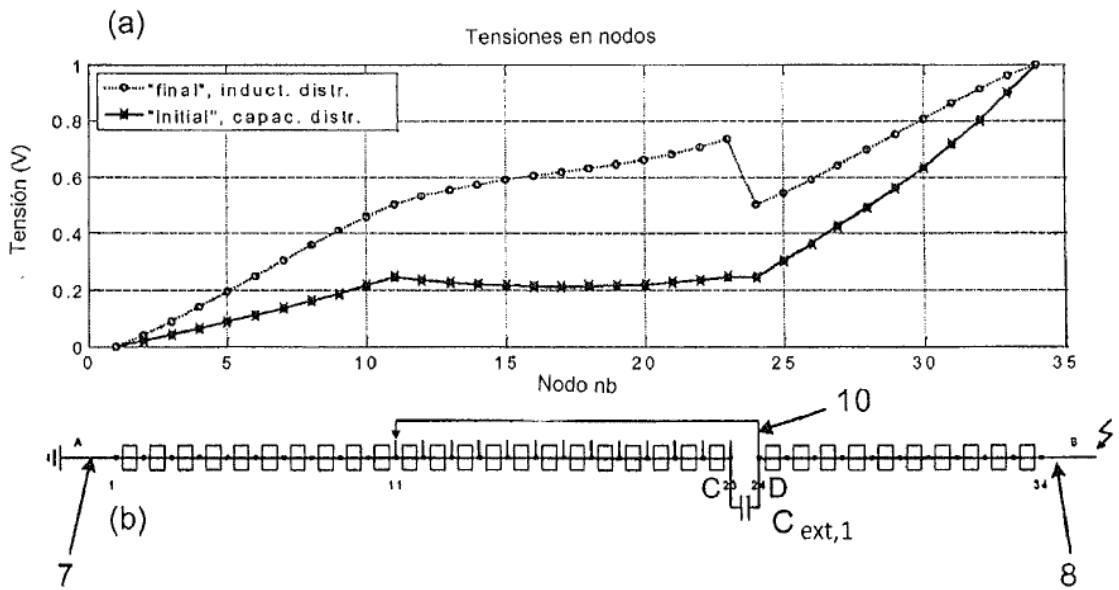
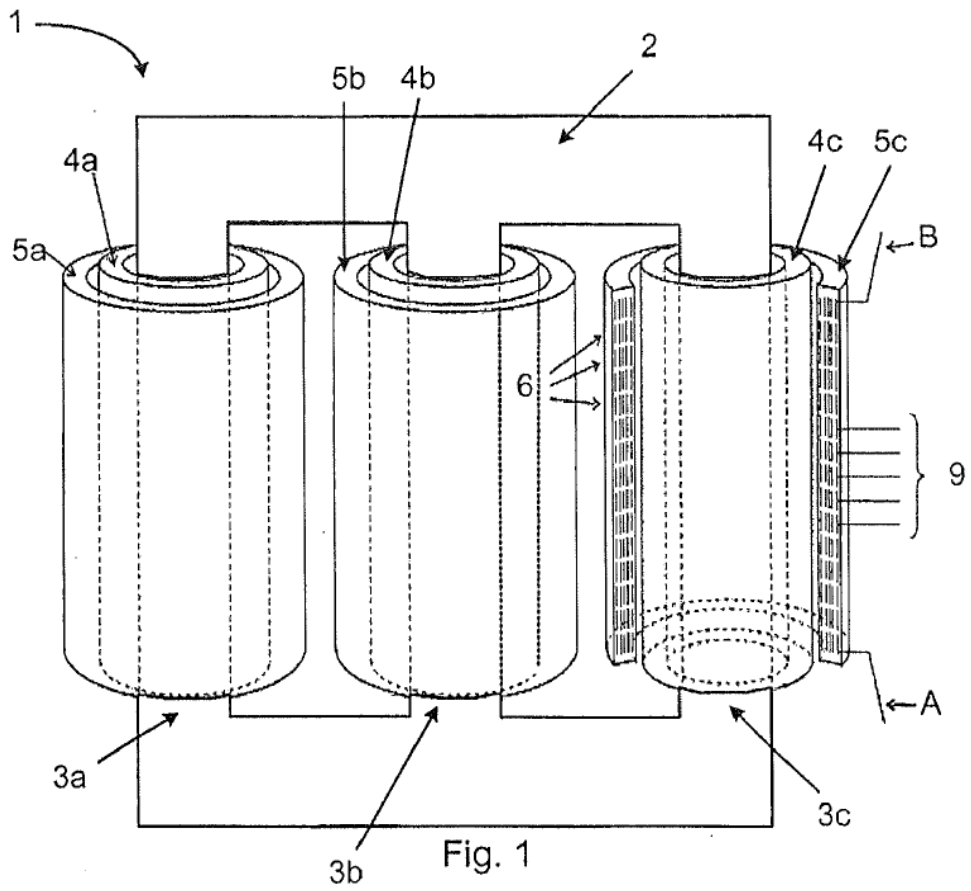
un cambiador de toma (10) que se puede conectar al arrollamiento en dicho segundo punto extremo intermedio (D) y un punto (E) a lo largo de dicho primer conductor en uno de dicha pluralidad de contactos de cambiador de toma.

5 14.- La disposición de transformador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que dicho arrollamiento designa un primer arrollamiento, comprendiendo, además, la disposición de transformador:

un segundo arrollamiento arrollado o bien entre dicho primer arrollamiento y una de dichas patas de núcleo, o a lo largo de una circunferencia de dicho primer arrollamiento.

15.- La disposición de transformador de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en la que el transformador es un transformador seco.

10



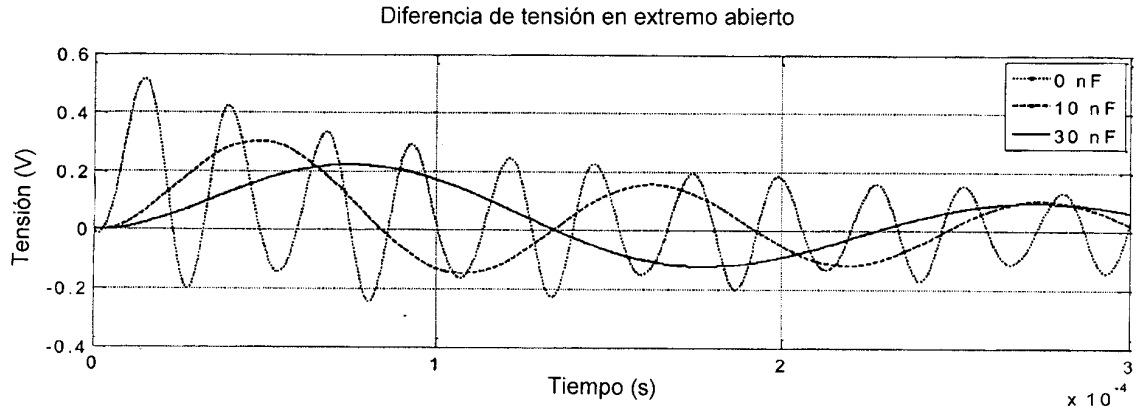


Fig. 3

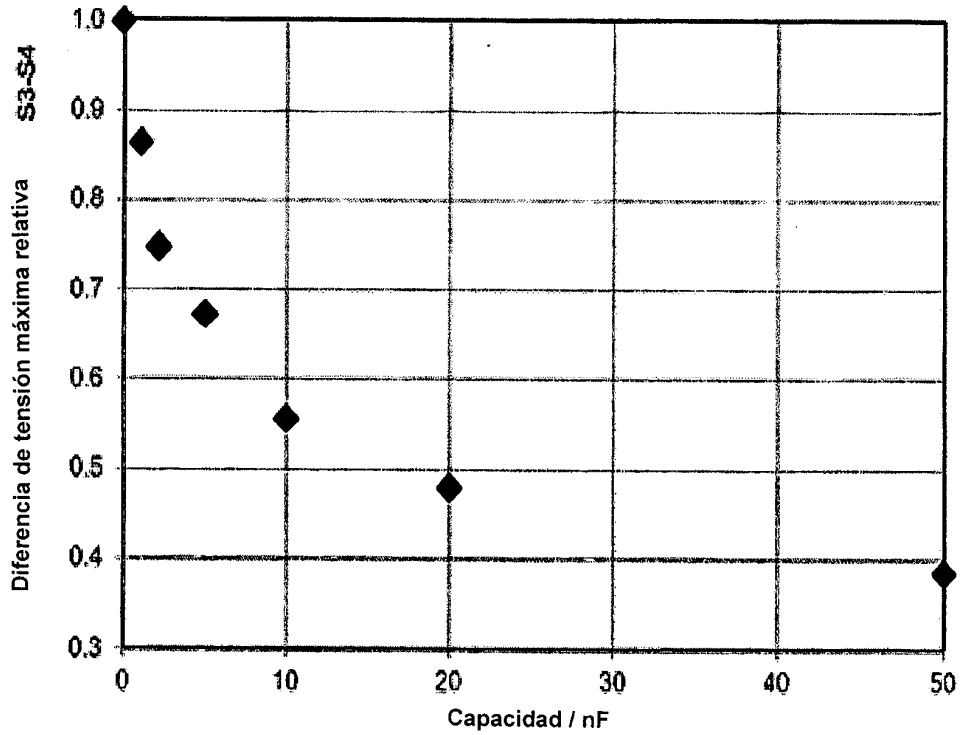


Fig. 4

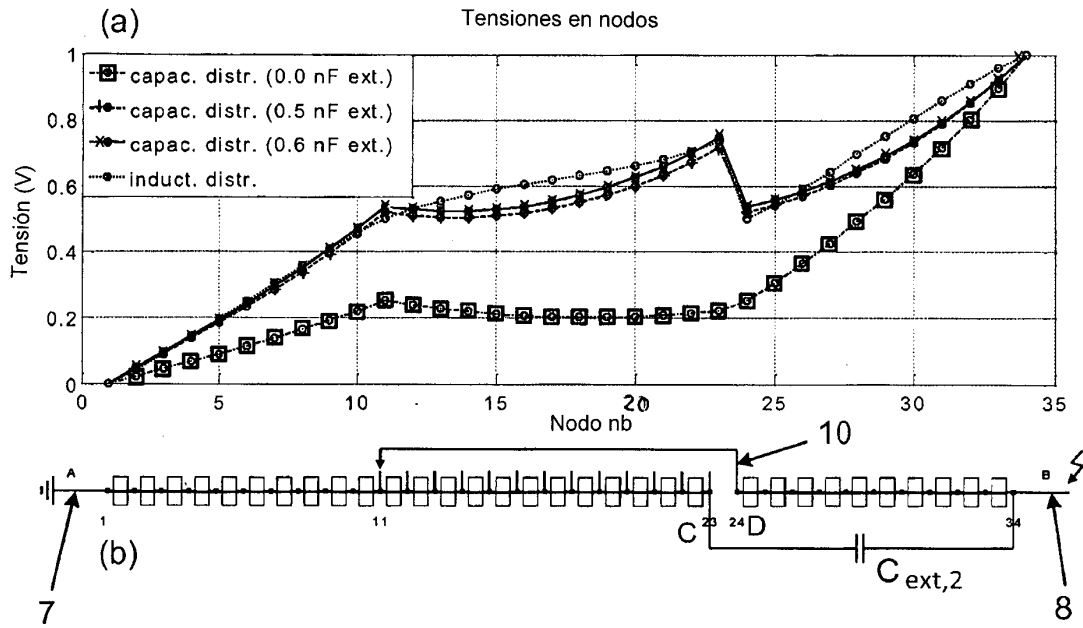


Fig. 5

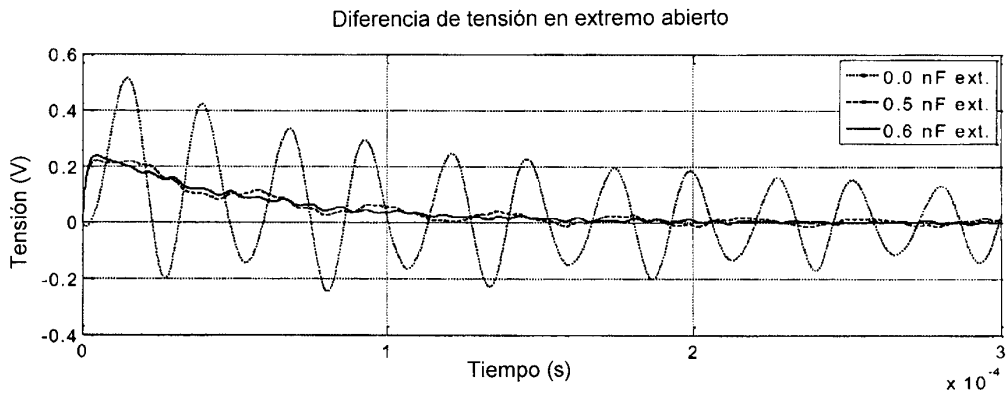


Fig. 6

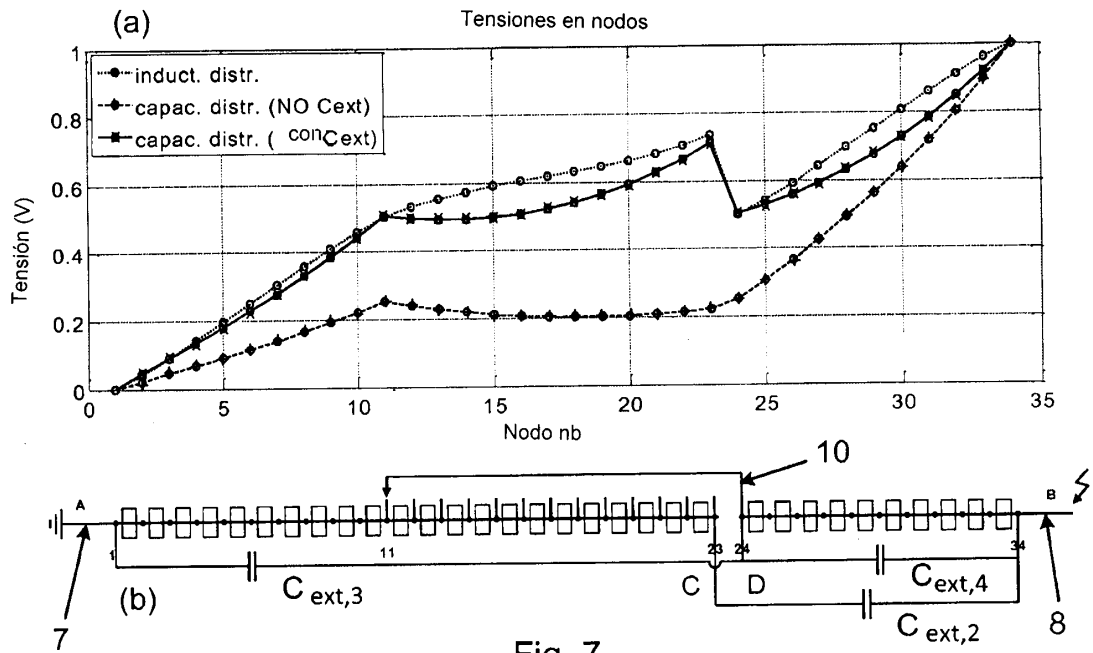


Fig. 7

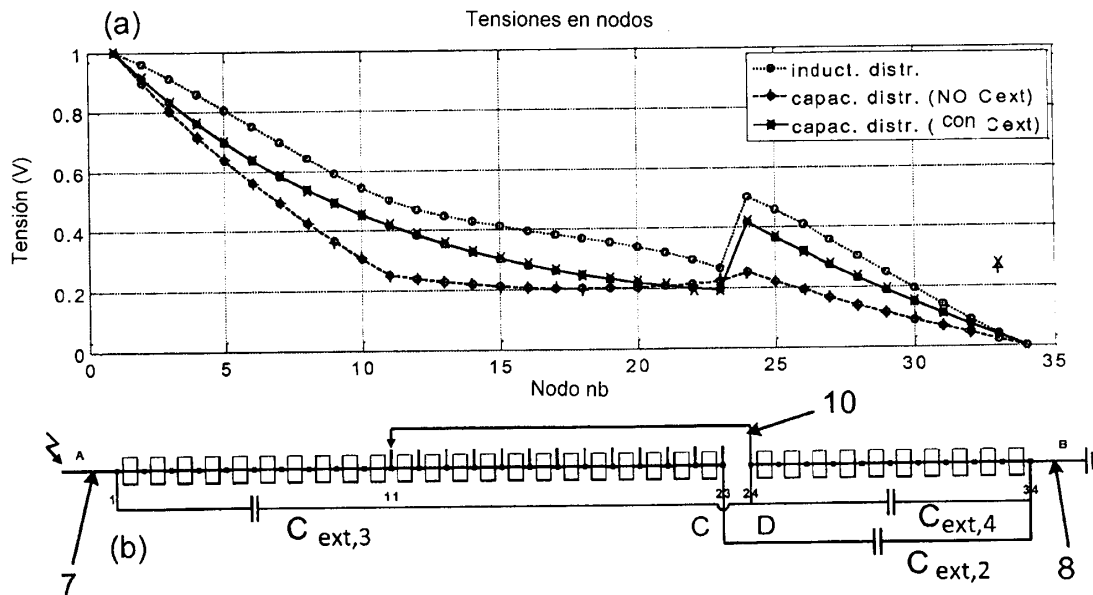


Fig. 8

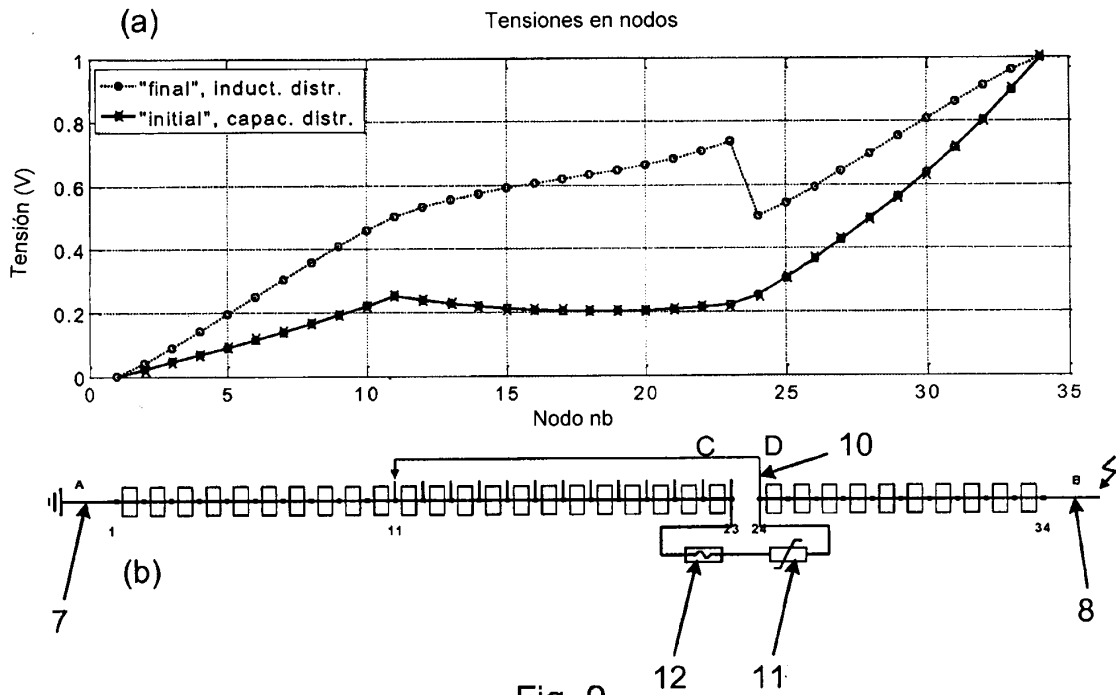


Fig. 9

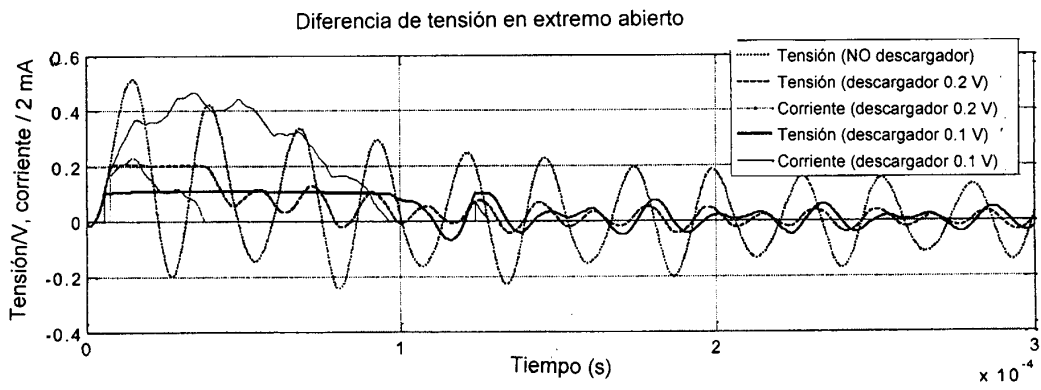


Fig. 10