

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 393 356**

51 Int. Cl.:
H02H 9/02 (2006.01)
H01F 29/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **05779420 .8**
96 Fecha de presentación: **07.09.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1941592**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **09.07.2008**

54 Título: **Limitador de corriente de falta(FCL) con los núcleos saturados por bobinas superconductoras**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
20.12.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
20.12.2012

73 Titular/es:
BAR ILAN UNIVERSITY (50.0%)
52115 RAMAT GAN, IL y
RICOR CRYOGENIC & VACUUM SYSTEMS
(50.0%)

72 Inventor/es:
WOLFUS, SHUKI;
FRIEDMAN, ALEXANDER;
YESHURUN, YOSEF;
ROZENSHEIN, VLADIMIR y
BAR-HAIM, ZVI

74 Agente/Representante:
IZQUIERDO FACES, José

ES 2 393 356 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).

DESCRIPCION

Limitador de corriente de falta (FCL) con los núcleos saturados por bobinas superconductoras.

5 CAMPO DE LA INVENCION

[0001] Esta invención se refiere a los dispositivos superconductores de limitación para red eléctrica de CA.

10 REFERENCIAS

[0002] En la siguiente descripción, se hará referencia a las siguientes publicaciones:

[1] P.E. Raju, K. C. Parton, T.C. Bartram "Un dispositivo limitador de corriente que utiliza polarización de CC superconductor: aplicaciones y perspectivas", IEEE Transacciones en Aparatos y Sistemas eléctricos , vol. 101, pp. 3173-3177, 1982.

15 [2] J.X. Jin, S.X. Dou., C. Grantham, y D.Sutanto "Principio de funcionamiento de limitador de corriente de falta de núcleo magnético saturable superconductor de alta Tc". Physica, 282, Parte 4: p. 2643-2644, 1997.

[3] J.X. Jin, S.X. Dou., C. Cook, C. Grantham, M.Apperley, y T. Beals , " Limitador de corriente de falta de reactor tipo HTS magnético saturable para aplicación eléctrica" Physica C, 2000 341-348:... p 2629-2630

20 [4] V. Keilin, I. Kovalev, S. Kruglov, V. Stepanov, I. Shugaev, V. Shcherbakov, I. Akimov, D. Rakov, y A. Shikov, "Limitador de corriente de falta de núcleo modelo HTS trifásico saturado", IEEE Transacciones de Superconductividad aplicada, vol.10, pp 836-839, 2000.

[5] RF Giese, "Limitadores de corriente de falta - una segunda visión", Argonne Nat. Lab., Argonne, EE.UU. 16 de marzo de 1995.

25 [6] WO 2004/068670 (Yosef Yeshurun *et al.*) publicado el 12/08/2004 "Limitadores de Corriente de Falta (FCL) con núcleos saturados por bobinas superconductoras."

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

30 [0003] Se espera que los Limitadores de corriente de falta (FCL) estén entre las primeras y más importantes aplicaciones de energía de los Superconductores de Alta Temperatura (HTS). Las ventajas del HTS-FCL, en comparación con los dispositivos limitadores convencionales, que se utilizan en todo el mundo en los circuitos de electricidad nacionales, son su rapidez de respuesta y recuperación, la disipación de energía relativamente baja, la tolerancia a las grandes corrientes de fallo y la posibilidad de un número prácticamente ilimitado de operaciones.

35 [0004] Esta invención se refiere más específicamente a los dispositivos limitadores de corriente basados sobre en una bobina superconductoras con núcleo saturado. En diseños conocidos, tal dispositivo incluye al menos dos bobinas con núcleos ferromagnéticos para cada fase conectada en serie con una carga. En los núcleos hay bobinas superconductoras de polarización conectadas a una fuente de alimentación de CC. En el estado normal las bobinas de polarización saturan los núcleos, y la impedancia del limitador de corriente es muy baja. Cuando se produce un fallo, la corriente aumenta bruscamente y los núcleos expulsan la saturación en medios ciclos alternos. Como resultado la impedancia del limitador de corriente se acumula y limita el aumento de corriente.

40 [0005] Dos diseños principales de un reactor de núcleo saturado para limitar una corriente de falta en el sistema de energía eléctrica se propone en la patente de EE.UU. N ° 3.219.918, que se incluye aquí como referencia. Un diseño incluye dos bobinas de CA colocados sobre dos patas exteriores de un núcleo-E. Otro diseño emplea una sola bobina de CA que cuenta con dos patas que pertenecen a diferentes núcleos que están saturados en direcciones opuestas. En esta patente se han previsto bobinas de CC fabricadas en cobre.

45 [0006] En la patente de EE.UU. N ° 3.671.810 incorporada aquí como referencia este principio se ha propuesto para de limitación de corriente transitoria en los circuitos electrónicos. La patente de EE.UU. No.4.045.823 incorporada aquí como referencia a KC Parton *et al.* describe un dispositivo de limitación de corriente para un sistema de corriente alterna. El limitador de corriente para cada fase tiene un par de reactores saturables cuyas bobinas están enrolladas en direcciones opuestas con relación a las bobinas superconductoras de polarización. La patente de EE.UU. N ° 4.117.524 incluida aquí como referencia también a KC Parton *et al.* describe una forma de mod-cado de limitador de corriente que tiene una pantalla de material conductor que rodea el sesgo de bobinado para protegerlo contra el campo magnético alterno. En esta patente, una bobina de polarización común se utiliza para dos reactores. Raju *et al.* [1] realizaron su dispositivo de limitación de corriente con un bobina de polarización superconductoras operando en un baño de helio líquido y demostró su eficacia. La patente de EE.UU. N ° 4.257.080 (Bartram *et al.*) incorporada en la presente memoria como referencia describe una mejoría adicional de este dispositivo de limitación de corriente mediante la colocación de la bobina de polarización común en los extremos centrales de tres o seis núcleos de un reactor de tres fases. En las tres patentes mencionadas núcleos adicionales de con huecos de aire se colocan en el circuito de la bobina de polarización. Estos núcleos son necesarios para disminuir la corriente alterna en el circuito de corriente continua causada por el acoplamiento entre las bobinas del transformador de corriente alterna y las bobinas de polarización.

65

[0007] Varios modelos a escala de laboratorio de limitadores de núcleo saturable se han realizado con bobinas superconductoras hechas de superconductores de alta temperatura (HTS) [2, 3, 4]. Estos dispositivos de una fase [2, 3] y de tres fases [4] fueron construidos según el diseño propuesto en las patentes anteriormente mencionadas de Estados Unidos, cuyo contenido se ha incluido aquí como referencia.

5 [0008] El limitador de corriente con núcleo saturado tiene ventajas decisivas en comparación con otros limitadores de corriente superconductores:

10 ■ su efecto de limitación de corriente no es dependiente de la transición del elemento superconductor ■ a estado normal, es decir, el estado superconductor se mantiene todo el tiempo y no es necesario un tiempo de recuperación para volver al estado apropiado después del fallo. Además, no hay disipación de energía asociada con la transición del elemento superconductor al estado normal;

15 ■ el elemento superconductor es una bobina hecha de alambre estándar superconductor fabricado a escala industrial;

■ la bobina superconductora funciona en modo de CC y está expuesta a campos magnéticos de baja CA.

[0009] Diseños conocidos del FCL con núcleos saturados tienen deficiencias esenciales que impiden el desarrollo y realización de este tipo de FCL. Sus puntos más débiles son el gran peso y dimensiones que son aproximadamente el doble que los de un transformador de la misma potencia[5]. También, en FCLs conocidos de este tipo la impedancia de las bobinas de CA no llega a su máximo valor posible porque las bobinas de polarización producen flujo magnético en los núcleos que reduce la impedancia de las bobinas de CA. Esta característica es necesaria en condiciones normales, pero tiene un efecto negativo en condiciones de falta. Además, en condiciones de falta el campo magnético alterno de las bobinas de AC afecta a la bobina superconductora de polarización, disminuyendo su corriente crítica. En diseños conocidos, un criostato con bobinas de polarización se coloca en la ventana del núcleo aumentando así su tamaño. El tamaño del núcleo magnético se define principalmente por su sección transversal, que a su vez está determinada por la caída de tensión admisible en el FCL durante una falta. Este voltaje es proporcional al producto de la sección transversal del núcleo con el número de vueltas de la bobina de CA. El número de vueltas está limitado por la caída de tensión admisible en el FCL en funcionamiento normal.

30 [0010] En el antes mencionado WO 2004/068670, proponemos nuevos diseños que se ocupan de estas consideraciones. En primer lugar, en vez de núcleos magnéticos cerrados, se usan núcleos abiertos (barras). El peso del núcleo es inferior al del núcleo cerrado. En segundo lugar, se utiliza una bobina de retroalimentación adicional para compensar el flujo magnético de la bobina de polarización en el régimen de fallo aumentando así la impedancia del FCL y limitando la corriente de falta. El uso de bobinas de retroalimentación adicional cambia las propiedades del FCL de tal forma que ambas bobinas de CA operan en régimen de falta durante los dos medios ciclos. Permite que la sección transversal del núcleo que se disminuya debido a la caída de tensión requerida en el FCL se distribuye entre dos bobinas en lugar de una en cada medio ciclo como ocurre en diseños previos.

40 [0011] Sin embargo, el acoplamiento del transformador inherente en configuraciones conocidas induce a una tensión de CA en la bobina de polarización superconductora de CC superponiendo por tanto una componente de corriente alterna en el circuito de corriente continua. Por otra parte, el mismo efecto es inherente también al circuito de CC adicional de la bobina de retroalimentación. En todos los estados de todos los diseños la bobina de polarización tiene un número de vueltas cercano al número de vueltas en la bobina de CA y por lo tanto la tensión en la bobina de polarización tiene el mismo orden de magnitud que en la bobina de CA, es decir, la tensión de la red en el momento de la falla.

[0012] Por consiguiente, sería deseable proporcionar un diseño mejorado del FCL que tiene una bobina de polarización superconductora en el que este inconveniente se dirige sin comprometer las ventajas proporcionadas por la configuración propuesta en la WO 2004/068670.

50 [0013] JP 2002 118956 da a conocer un limitador de corriente que incluye dos imanes permanentes que están dispuestos entre el primer y el segundo núcleo magnético. Una bobina está enrollada alrededor de los núcleos magnéticos primero y segundo.

55 RESUMEN DE LA INVENCION

[0014] Es, por consiguiente, objeto de la presente invención proporcionar un diseño mejorado del FCL con núcleo saturado que incluye al menos una bobina superconductora de polarización de CC colocada en un solo núcleo ferromagnético cerrado, que sirve como núcleo abierto para una sola bobina de CA. Dicho diseño de un limitador de corriente permite la construcción del FCL con núcleo saturado con tamaño y dimensiones reducidas y también reduce o elimina el acoplamiento del transformador entre la bobina de CA y la(s) bobina(s) superconductora(s) de polarización de CC disminuyendo así la tensión de CA en la(s) bobina (s) superconductora(s) de polarización de CC.

65 [0015] Es objeto adicional de la invención el proporcionar un limitador de corriente con núcleo saturado mejorado, donde se disminuye o elimina el campo de polarización en el momento de un fallo mediante la desconexión de las bobinas de polarización de su fuente de alimentación y la conexión de estas a un circuito de limitación de voltaje con

con elementos que absorben energía controlando la tensión máxima en las bobinas. La desconexión se realiza mediante un dispositivo de conmutación, controlado por la caída de tensión en la bobina de CA, que también restaura el circuito de la bobina de CC después de desconectar el fallo.

5 **[0016]** Otro objeto de la invención es proporcionar conmutación del circuito de CC que conecta dos segmentos de bobina de polarización en direcciones opuestas con respecto a una primera conexión para la prevención de un efecto de acoplamiento de transformador en el momento del fallo.

10 **[0017]** Los objetivos adicionales de este invento son:

- reducir el campo magnético alterno en las bobinas superconductoras de polarización evitando así una degradación de su corriente crítica;
- reducir el número de amperios-vueltas de las bobinas de polarización, sin aumentar el tamaño del núcleo.

15 **[0018]** Estos objetos se realizan de acuerdo con un primer aspecto del invento por un dispositivo de limitación de corriente para un suministro de CA de acuerdo con la reivindicación 1 dicho dispositivo de limitación de corriente incluye para cada fase de la alimentación de CA:

20 un circuito magnético que forma un núcleo magnético abierto para al menos una bobina de CA y cerrado formando un circuito magnético para al menos una bobina superconductora de polarización de CC que está adaptado, en ausencia de condiciones de fallo, para polarizar el núcleo magnético en saturación de manera que cada una de las extremidades opuestas esté saturado en direcciones opuestas por la bobina de polarización.

25 **[0019]** El circuito magnético comprende preferiblemente:
un núcleo magnético cerrado que tiene un primer par de extremidades opuestas y un segundo par de extremidades opuestas,
al menos una bobina de CA que encierra extremidades opuestas del núcleo magnético y que está adaptada para conectarse en serie con una carga, y
al menos una bobina de polarización que encierra al menos una extremidad del núcleo magnético y que está adaptado, en ausencia de condiciones de fallo para polarizar el núcleo magnético en saturación de manera que cada una de las extremidades opuestas esté saturada en direcciones opuestas por la bobina de polarización.

35 **[0020]** Ya que la bobina de CA está generalmente enrollada externamente en ambas extremidades del núcleo, la bobina de CA ve un núcleo abierto, oponiéndose las extremidades de los que están sujetos al flujo de AC en la misma dirección, que se alternan durante medio ciclos alternos de la CA. En contra de esto, la bobina de polarización de CC se enrolla internamente en el núcleo de manera que forma un circuito magnético cerrado para el flujo de CC y afecta a la permeabilidad magnética del núcleo completo. De manera específica, la bobina de polarización de CC asegura que el núcleo se magnetiza por lo cual, en ausencia de condiciones de fallo su permeabilidad magnética es baja. Además, dado que el flujo producido por la bobina de polarización de CC rodea las cuatro extremidades del núcleo magnético en una dirección angular fijo (en el sentido de las agujas del reloj o en sentido contrario) determinada por la dirección de la CC, siempre actúa en la misma dirección que el flujo de CA en una extremidad y en la dirección opuesta del flujo de CA en la extremidad opuesta. Las dimensiones del núcleo magnético y el número de vueltas de la bobina de CA están diseñados de modo que, incluso bajo condiciones de fallo máximas, la corriente en la bobina de CC no hace que el núcleo se sature. Por lo tanto, incluso en condiciones de fallo máximas, el flujo de CA se añade a la saturación producida por la bobina de polarización de CC en una extremidad; mientras que en la extremidad opuesta, el flujo de CA actúa para llevar a la saturación en la extremidad producida por la bobina de polarización de CC. La extremidad que permanece en saturación presenta baja permeabilidad magnética, mientras que la extremidad que ya no está saturada exhibe alta permeabilidad magnética. Lo que esto significa es que, en efecto, en condiciones de fallo parte del área de la sección transversal del núcleo magnético siempre contribuye a la alta impedancia de la bobina y sirve, por lo tanto, para resistir al fallo.

50 **[0021]** Tal disposición, por la cual la bobina de CA se enrolla en un núcleo magnético abierto, mientras que la bobina de polarización de CC está adaptada, en ausencia de condiciones de fallo a la polarización oponiendo extremidades del núcleo magnético en saturación en direcciones opuestas, no se ha propuesto previamente y permite el área de sección transversal efectiva del núcleo magnético y / o reducir el amperios-vueltas en la bobina de polarización.

55 **[0022]** Con el fin de mejorar la eficiencia del dispositivo y eliminar la saturación en el conjunto del núcleo magnético en condiciones de falla, el circuito eléctrico de corriente continua de las bobinas de polarización se suministra preferiblemente con una unidad de reducción de la corriente que reduce la corriente de polarización de CC durante condiciones de fallo. Se consigue mayor eficacia cuando la unidad de reducción de corriente está constituida por una unidad de conmutación que desconecta las bobinas de polarización de la fuente de alimentación de CC en el momento del fallo e incluye las bobinas de polarización y los elementos de absorción de energía que también limitan la tensión en las bobinas de polarización.

60 **[0023]** La conmutación permite la caída de tensión máxima en el limitador de corriente que se incrementa en comparación con un FCL sin conmutar porque las dos patas del núcleo no tienen saturación transversal del núcleo ha aumentado. Un efecto adicional del uso de la unidad de conmutación (como resultado del aumento de la

permeabilidad efectiva núcleo) es una fuerte reducción de la fuga del campo de CA que tiene una influencia negativa en la bobina superconductora de polarización. Cuando las bobinas de polarización de CC tienen energía, el flujo de CC siempre proporciona un desplazamiento positivo para el flujo de corriente alterna en una de las extremidades y un desplazamiento negativo para el flujo de corriente alterna en la extremidad opuesta. Cuando la CC se apaga, la imagen magnética se convierte en simétrica y todos los miembros del núcleo magnético no están saturados, con lo que contribuyen a una impedancia magnética alta.

[0024] La unidad de conmutación permite que la masa del dispositivo se reduzca independientemente del tipo de núcleo empleado de la misma manera como se ha descrito anteriormente en relación con la bobina de realimentación.

[0025] De acuerdo con otro aspecto de la invención, se proporciona un método de acuerdo con la reivindicación 10 para la reducción de la masa de un dispositivo de limitación de corriente para un suministro de CA, dicho dispositivo de limitación de corriente incluye para cada fase de suministro de CA un circuito magnético que ofrece baja impedancia, en ausencia de condiciones de fallo y alta impedancia en condiciones de fallo, cuyo método incluye:

la construcción del circuito magnético de una manera que se forme un núcleo magnético abierto para al menos una bobina de CA y la formación de un circuito magnético cerrado para al menos una bobina de polarización superconductora que se adapta en condiciones de ausencia de fallo para polarizar el núcleo magnético en saturación de manera que cada una de las extremidades opuestas esté saturada en direcciones opuestas por la bobina de polarización;

por medio del cual bajo condiciones de fallo una parte del área de la sección transversal del núcleo magnético siempre muestra alta permeabilidad y sirve, por lo tanto, para resistir al fallo y permitir que el área en sección transversal de al menos una bobina de CA y núcleo magnético se reduzca.

[0026] Preferiblemente, dicho método comprende además: la reducción de la corriente en por lo menos una bobina superconductora de polarización de CC durante una condición de fallo con lo que el núcleo no queda saturado.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

[0027] Con el fin de comprender la invención y para ver cómo se puede llevar a cabo en la práctica, se describen ahora algunas materializaciones preferentes, sólo a modo de ejemplos no limitados, con referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

Fig. 1 muestra gráficamente una técnica de configuración de núcleo de un FCL con fase única de núcleo saturado;

Fig. 2 es un diagrama de circuito esquemático que muestra la técnica de FCL de fase única de la figura. 1 en uso;

Fig. 3 muestra un circuito magnético que tiene un núcleo cerrado por un FCL de fase única de acuerdo con la primera materialización ejemplar de la invención; comparación con los dos núcleos cerrados de diseños conocidos, como se muestra en la Fig. 2. Una única bobina de polarización **34** se coloca en una de las patas cortas **32a** del núcleo cerrado **31**. En esta forma de materialización solamente una bobina de CA **35** se utiliza para rodear las dos patas largas **33a** y **33b** del núcleo de tal manera que la bobina de CA está dispuesta en el núcleo magnético abierto. Una ventaja de tal disposición transversal de las bobinas de CC y de CA de polarización es que se reduce el acoplamiento del transformador a las bobinas se reduce, ya que la inductancia mutua entre las bobinas es cero cuando la CC está apagada y la CA fluye en las extremidades opuestas son iguales y anulan al otro en el centro de las extremidades transversales.

Fig. 4 muestra la forma de un núcleo para un FCL de fase única de acuerdo con una segunda forma de materialización ejemplar de la invención;

Fig. 5 muestra un FCL de núcleo saturado de acuerdo con una tercera forma de materialización ejemplar de la invención;

Figs. 6a y **6b** muestran un FCL de núcleo saturado de acuerdo a una cuarta materialización ejemplar de la invención;

Fig. 7 es un diagrama de circuito esquemático que muestra un FCL de fase única de acuerdo con una materialización ejemplar de la invención con un sistema de conmutación para desconectar la energía de las bobinas de polarización en condiciones de fallo; y

Fig. 8 es un diagrama de circuito esquemático que muestra un FCL de fase única de acuerdo con una materialización ejemplar de la invención con un sistema de conmutación para desconectar la energía de las bobinas de polarización y volver a conectarlas en relación mutuamente opuesta durante una situación de fallo.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE REALIZACIONES PREFERENTES

[0028] En la siguiente descripción se describen varias materializaciones. En la medida en que muchas características son comunes a diferentes formas de realización, se emplean idénticas referencias numerales para referirse a componentes que son comunes a más de una figura.

[0029] Para apreciar con más detalle los beneficios del invento, será instructivo examinar en primer lugar una típica técnica anterior de FCL de fase única. Con este fin, la fig. 1 muestra gráficamente una técnica de FCL de fase única

y núcleo saturado **10** que tiene un circuito magnético que incluye un par de núcleos magnéticos cerrados **11a** y **11b** cada uno soportando su respectiva bobina de CA **12a** y **12b**. Los núcleos también soportan un par bobinas superconductoras de polarización de CC **13a** y **13b**.

5 **[0030]** Fig. 2 muestra esquemáticamente un diagrama de circuito de un sistema **20** que muestra el FCL de fase
única **10** en uso. Una fuente de alimentación **AC 21**, habitualmente de la red de energía eléctrica, está conectada a
una carga **22** a través de un interruptor de circuito **23**. En la serie con la carga **22** se conectan las dos bobinas de
CA **12a** y **12b** de la FCL **10**. Las respectivas bobinas superconductoras de polarización **13a** y **13b** están conectadas
a una fuente de alimentación de CC **24**. En cualquier momento la dirección del flujo magnético de polarización **25a**
10 en un núcleo coincide con la dirección del flujo magnético de la bobina **12a** de CA mientras que la dirección del flujo
magnético de polarización **25b** en el otro núcleo es opuesto a la dirección del flujo magnético **26b** de la bobina de
CA **12b**. En condiciones normales, las bobinas de polarización **25a** y **25b** saturan los núcleos respectivos **11a** y **11b**.
Bajo condiciones de fallo, las bobinas de CA **12a** y **12b** extraen los núcleos respectivos **11a** y **11b** fuera de la
15 saturación durante los medios ciclos opuestos al ciclo de CA, causando así que aumente su promedio de
inductancia, lo que limita el aumento de corriente.

[0031] Fig.3 muestra un FCL de una sola fase **30** de acuerdo con una primera materialización de la invención que
tiene un circuito magnético que comprende un solo núcleo cerrado **31** que tiene pares de patas cortas en oposición
20 **32a** y **32b** y patas largas **33**.

[0032] Fig. 4 muestra un FCL **40** de acuerdo con un segundo ejemplo de materialización similar a la primera
realización en que, en lugar de la bobina de polarización única **34**, dos bobinas de polarización **34a** y **34b** se colocan
en las patas cortas opuestas **32a** y **32b** del núcleo permitiendo así una mejor saturación del núcleo con el mismo
número total de amperio-vueltas en las bobinas de polarización. Esto se consigue mediante el fraccionamiento de la
25 bobina original de polarización de CC mostrado en la Fig. 3 en dos bobinas, manteniendo los amperios-vueltas. Esto
se hace porque las zonas en el núcleo que están alejadas de la bobina están menos saturadas que las zonas
cercanas a la bobina.

[0033] Fig. 5 muestra un FCL **50** de acuerdo con otro ejemplo de materialización que tiene un núcleo cerrado
idéntico **31** y una bobina común de CA **35** enrollada alrededor de las largas patas **33a** y **33b** del núcleo. Dos bobinas
de polarización de CC **34a** y **34b** se colocan en las dos patas largas **33a** y **33b** del núcleo rodeada por la bobina de
CA **35** permitiendo así una mejor saturación del núcleo con un número menor de amperios-vueltas de las bobinas de
30 polarización.

[0034] Figs. 6a y 6b muestran un FCL **60** de acuerdo con otra forma de materialización ejemplar que tiene un núcleo
magnético cerrado **31** que se forma doblando el núcleo **31** mostrado en la figura. 6a y que corresponde a la
mostrada en las Figs. 2, 3 o 4 alrededor de un par de líneas **40a-40b** y **41a-41b** de manera que formen un par de
núcleos espaciados aparte en forma de C **42a, 42b** como se muestra en la figura. 6b. Los núcleos en forma de C
42a, 42b se enfrentan entre sí y los extremos abiertos de las extremidades respectivas de cada núcleo están
40 acopladas magnéticamente por las patas **43a** y **43b** a fin de formar un circuito magnético cerrado. Dos bobinas de
polarización **34a** y **34b** están enrolladas sobre las patas **43a** y **43b** del núcleo. Una primera bobina de CA **35a**
encierra las extremidades opuestas del núcleo **42a** en forma de C y un segundo **35b** de la bobina AC encierra las
extremidades opuestas de los núcleos en forma de C **42b** . Tal configuración permite una mejor saturación del
núcleo que en la primera materialización mostrada en la Fig. 3 y permite el montaje de ambas bobinas de
45 polarización en un criostato único a diferencia de la materialización de la Fig. 4 donde las dos bobinas de
polarización **34a** y **34b** no pueden insertarse simultáneamente en un criostato común.

[0035] Todas las formas de materialización descritas anteriormente se caracterizan por una bobina de CA **35** que
encierra dos extremidades del núcleo magnetizado hasta la saturación en direcciones opuestas por las bobinas de
50 CC. El núcleo nunca se satura sólo por la bobina de CA o, sino por las bobinas de polarización de CC que
magnetizan las "extremidades de CA" en direcciones opuestas durante medios ciclos opuestos de conmutación de
la alimentación de CA. Como resultado de ello durante una situación de fallo solo una extremidad queda fuera de
saturación, mientras que la otra extremidad se ve atraída hacia un mayor saturación si las bobinas de polarización
de CC siguen magnetizando el núcleo como se hace habitualmente en los FCL hasta ahora propuestos. Sin
55 embargo, si en el momento del fallo, la corriente en la bobina o bobinas de polarización de CC **34** se reduce como se
hace en la invención, el flujo máximo magnético de la bobina de CA se puede aumentar sin saturar el núcleo,
aumentando así la caída de tensión máxima admisible en el FCL. Este efecto es equivalente a la disminución del
tamaño del núcleo ya que durante un fallo las dos extremidades quedan fuera de la saturación. Como resultado de
ello, las secciones transversales de la bobina de CA y el núcleo se pueden reducir.

[0036] Fig. 7 es un diagrama esquemático de circuito ejemplar que muestra un sistema **70** que incluye el FCL **30** que
se muestra en Fig. 3, en el que la bobina de polarización **34** recibe energía por una fuente de alimentación de CC **24**
a través de una unidad de conmutación **71** que incluye un transistor rápido de conmutación **72** y un elemento de
65 absorción de energía **73** que limita la tensión máxima en el circuito eléctrico. La unidad de conmutación **71** sirve por
lo tanto para reducir la corriente en la bobina de polarización de CC. Otros elementos son similares al sistema **20**
que se muestra en la Fig.2 y tienen el mismo etiquetado. El sistema **70** funciona de la siguiente manera. En cualquier

momento, el flujo magnético en ambas extremidades se dirigirá a la izquierda o a la derecha en la figura, ya que la bobina de CA 35 se enrolla habitualmente en ambas extremidades. En condiciones normales, la bobina de polarización de CC 34 satura el núcleo de modo que las extremidades 33a y 33b se saturan en direcciones opuestas, y la bobina de CA 35 muestra de ese modo baja impedancia. En condiciones de fallo, la corriente a través de las bobinas de CA aumenta y, por tanto tiempo como la bobina de polarización de CC 34 sigue siendo eficaz, durante medios ciclos de alternos, la bobina de CA 35 elimina la saturación una de las extremidades 33a y 33b. Por lo tanto, el flujo magnético en el interior de la bobina de CA 35 y su inductancia relacionada se define por sólo una de las extremidades 33a y 33b, es decir, por la mitad de la sección transversal del núcleo. Sin embargo, si en caso de fallo la unidad de conmutación 71 desconecta la fuente de alimentación de CC 24 de la bobina de polarización de CC 34, su corriente cae, con lo que se elimina la saturación del núcleo completo, incluyendo las extremidades 33a y 33b, y la duplicación de la sección transversal efectiva del núcleo dentro de la bobina de CA 35 y aumentando su impedancia. Esto significa que un efecto equivalente de limitación de corriente se pueden lograr con esta tipología habiendo reducido significativamente el área de sección transversal de las bobinas de CA y núcleos magnéticos en comparación con las tipologías propuestas hasta ahora.

[0037] El elemento de absorción de energía 72 es necesario para limitar el voltaje a través de la bobina 34 durante el tiempo de conmutación. Durante este régimen de tiempo transitorio los flujos magnéticos en las extremidades 33a y 33b no son iguales y un cambio rápido del flujo magnético en las extremidades 32a y 32b puede inducir a una tensión / corriente alterna en la bobina(s) de polarización que podría ser perjudicial para la bobinas superconductoras de polarización. La unidad de conmutación 71 no sólo desconecta la fuente de alimentación de CC 24 de la bobina de polarización de CC 34, sino que también conecta las dos bobinas de polarización de CC 34a, 34b o dos segmentos de una bobina de polarización de CC 34 en direcciones opuestas minimizando así la tensión de cada bobina de polarización de CC y evitando que la CA fluya en él. Dos elementos de absorción de energía 83a, 83b son necesarios para limitar el voltaje en cada bobina de polarización DC o bobina media. La caída de tensión en el FCL dispara el circuito de conmutación 71. Cuando se produce un fallo, esta tensión cambia bruscamente, habitualmente por un orden de magnitud que permite la detección de fallos de manera precisa y fiable.

[0038] la figura. 8 es un diagrama esquemático de circuito ejemplar que muestra un sistema 80 que incluye el FCL 40 o 50 que se muestra en las Figs. 4 y 5, respectivamente, con dos bobinas de CC 34a y 34b que reciben energía por una fuente de CC 24 a través de una unidad de conmutación 81. La unidad de conmutación 81 incluye un primer y un segundo interruptores de transistor rápidos que tienen contactos normalmente cerrados 82a, 82b y contactos normalmente abiertos, 82c y 82d y la los elementos primero y segundo correspondientes de absorción de energía 83a, 83b que limitan la tensión máxima en el circuito eléctrico. En condiciones de fallo, los contactos 82a y 82b abren así la desconectando el suministro de CC 24 de las bobinas de polarización de CC 34a y 34b, mientras que, al mismo tiempo, los contactos 82c y 82d cierran conectando de esta manera las respectivas bobinas de polarización de CC 34a y 34b en anti-fase de manera que las bobinas de polarización de CC 34a y 34b están enrolladas de manera opuesta respecto a la otra de modo que la tensión inducida posible en ambas bobinas de CC y la corriente en las mismas se reduce al mínimo. Los elementos de absorción de energía 83a, 83b limitan la tensión en cada una de las bobinas de polarización.

[0039] Se entenderá que las modificaciones son posibles a los ejemplos de materialización descritos sin salirse del ámbito de la invención como se reivindica. Así, en los ejemplos de materialización, una unidad de conmutación se utiliza para desconectar la alimentación de CC de las bobinas de polarización de CC y por lo tanto reducir la polarización de CC a cero. Bajo estas condiciones, los flujos de CA en las extremidades opuestas del núcleo magnético son iguales entre sí. Sin embargo, la invención también contempla la reducción de la polarización de CC a menos de cero. Esto seguirá funcionando como por lo menos la mitad del núcleo de la sección transversal siempre impulsada fuera de la saturación por la bobina de corriente CA. Cualquier reducción en la corriente de polarización de CC se suma a la sección transversal efectiva que participa en el efecto limitante. La reducción de la corriente se puede lograr mediante retroalimentación, por ejemplo, como se enseña en el documento WO 2004/068670 o utilizando cualquier otro método adecuado.

[0040] También se apreciará que la invención adopte cualquier circuito magnético que forma un núcleo magnético abierto de por lo menos una bobina de CA y cerrado formando un circuito magnético de al menos una bobina de polarización superconductor que esté adaptado, en situación ausencia de fallos para polarizar el núcleo magnético en saturación de manera que cada una de las extremidades opuestas esté saturada en direcciones opuestas por la bobina de polarización. Tal circuito magnético tiene utilidad para un dispositivo de limitación de corriente independiente de la unidad de conmutación, aunque incluso sin reducir la polarización de CC la eficiencia sería menor. El término *unidad de reducción de corriente* tal como se utiliza en la descripción y las reivindicaciones adjuntas abarca cualquier circuito para reducir la polarización de CC, si la polarización de CC permanece distinta de cero o se desconecta por completo.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Un dispositivo de limitación de corriente (30, 40, 50, 60) para un suministro de CA, dicho dispositivo de limitación de corriente incluido para cada fase de la alimentación de CA un circuito magnético que forma un núcleo magnético abierto (31) para al menos una bobina de CA (35a, 35b) que encierre las extremidades opuestas (33a, 33b) del núcleo magnético (31) y que forme un circuito magnético cerrado para al menos una bobina superconductora de polarización de CC (34a, 34b) que esté adaptada condiciones de ausencia de fallo para polarizar el núcleo magnético en saturación de manera que cada una de las extremidades opuestas (33a, 33b) esté saturada en direcciones opuestas por la bobina de polarización (34a, 34b).
- 10 2. Un dispositivo de limitación de corriente (30) según la reivindicación 1, en el que el circuito magnético incluya; un núcleo magnético cerrado (31) que tenga un primer par de extremidades opuestas (32a, 32b) y un segundo par de que extremidades opuestas (33a, 33b), al menos una bobina de CA (35a, 35b) que encierre las extremidades opuestas (33a, 33b) del núcleo magnético (31) y esté adaptado para conectarse en serie con una carga, y al menos una bobina de polarización superconductora de DC (34a, 34b) que encierre al menos una extremidad (32a, 32b) del núcleo magnético (31) y que esté adaptado, en ausencia de fallos para polarizar el núcleo magnético a saturación de manera que cada una de las extremidades opuestas (33a, 33b) esté saturada en direcciones opuestas por la bobina de polarización (34a, 34b).
- 15 3. Un dispositivo de limitación de corriente (30) según la reivindicación 2, incluyendo:
- 20 una sola bobina superconductora polarización de CC (34a, 34b) que encierre una extremidad (32a) de la primera pareja de extremidades opuestas (32a, 32b) o un par de conductos bobina superconductoras de polarización de CC (34a, 34b) cada una encerrando un miembro correspondiente del primer par de extremidades opuestas (32a, 32b), y una sola bobina de CA (35) que encierre el segundo par de extremidades opuestas (33a, 33b).
- 25 4. Un dispositivo de limitación de corriente (40) según la reivindicación 2, incluyendo:
- 30 un par de bobinas superconductoras de polarización de CC (34a,34b) que encierre cada una la extremidad respectiva del segundo par de extremidades opuestas (33a, 33b), y una sola bobina de CA (35) que encierre el segundo par de extremidades opuestas (33a, 33b).
- 35 5. Un dispositivo de limitación de corriente (60) según la reivindicación 2, en el que el núcleo magnético incluya:
- 40 el primer y el segundo núcleo separados entre sí en forma de C (42a, 42b) que tengan cada uno extremidades cuyos respectivos extremos abiertos están acoplados magnéticamente por las respectivas patas (43a, 43b).
un par de bobinas de polarización de CC(34a, 34b) cada una que encierre una de las patas respectivas (43a, 43b) del núcleo, una primera bobina de CC (35a) que encierre las extremidades opuestas del primer núcleo en forma de C (42a), y una segunda bobina de CA (35b) que encierre las extremidades opuestas del segundo núcleo en forma de C (42b).
- 45 6. Un dispositivo de limitación de corriente de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que incluya además una unidad de reducción de corriente (71) adaptada para reducir la corriente en al menos una su-bobina de polarización superconductora de CC (34a, 34b) durante una situación de fallo.
- 50 7. Un dispositivo de limitación de corriente de acuerdo con la reivindicación 6, en donde la unidad de reducción de la corriente (71) esté adaptada para desconectar al menos una bobina de polarización superconductora de CC (34a, 34b) de la fuente de alimentación durante una situación de fallo.
- 55 8. Un dispositivo limitador de corriente según la reivindicación 6 o 7, en el que el respectivo elemento de absorción de energía (73,83a, 83b) esté conectado a través de al menos una bobina de polarización superconductora de CC (34a, 34b).
- 60 9. Un dispositivo de limitación de corriente de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 6 a 8, en el que la unidad de reducción de corriente (71) está controlado por la caída de voltaje en al menos una bobina de CA (35a, 35b) con el fin de reducir la corriente en las bobinas de polarización durante una condición de fallo y restaurar la corriente en las bobinas de polarización después de la desconexión o el término del fallo.
- 65 10. Un método para reducir la masa de un dispositivo limitador de corriente para la alimentación de CA, dicho dispositivo de limitación de corriente que incluya para cada fase de alimentación de CA un circuito magnético que ofrezca baja impedancia en condiciones de ausencia de fallos y de alta impedancia en condiciones de fallos, incluyendo dicho método:

- 5 la construcción del circuito magnético para formar un núcleo magnético abierto para al menos una bobina de CA y que forme un circuito magnético cerrado para al menos una bobina superconductora de polarización de CC que este adaptada a condiciones de ausencia de fallo para polarizar el núcleo magnético en saturación de manera que cada una de las extremidades opuestas esté saturada en dirección opuesta por la bobina de polarización;
- por lo que bajo condiciones de fallo parte del área de la sección transversal del núcleo magnético siempre muestre alta permeabilidad y sirva, por lo tanto, para resistir al fallo y permitir que el área de la sección transversal del núcleo de al menos una bobina de CA y núcleo magnético y se reduzca.
- 10 11. Un método de acuerdo con la reivindicación 10, que incluya además:
- durante una condición de fallo la reducción de corriente en al menos una bobina superconductora de polarización de CC(34a, 34b) o desconectar al menos una bobina de polarización superconductora de CC (34a, 34b) de esa forma al menos una bobina de CA (35a, 35b) no se satura y permite que un área de sección transversal de las bobinas de CA y el núcleo magnético se reduzca.
- 15 12. Un método de acuerdo con la reivindicación 11, en el que el circuito magnético incluya un par de bobinas de polarización superconductoras (34a, 34b) y además:
- conectar el par de bobinas de polarización superconductoras de CC (34a, 34b) en anti-fase para reducir al mínimo posible la tensión inducida y la corriente a través de las bobinas superconductoras de polarización de CC.
- 20 13. Un método de acuerdo con la reivindicación 12, que incluya además la conexión de al menos una bobina de polarización superconductora de CC (34a, 34b) a un elemento de absorción energía respectivo (73, 83a, 83b).

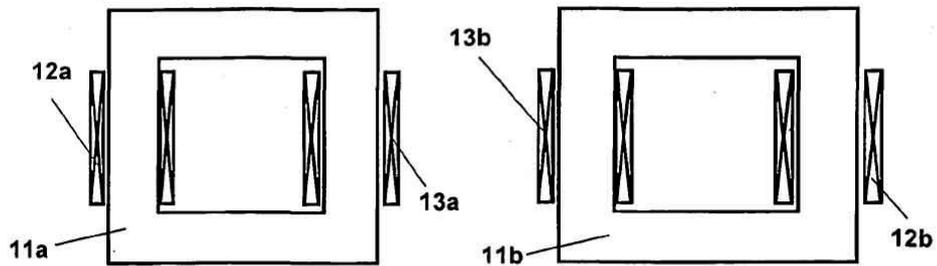


FIG. 1
(ESTADO DE LA TÉCNICA)

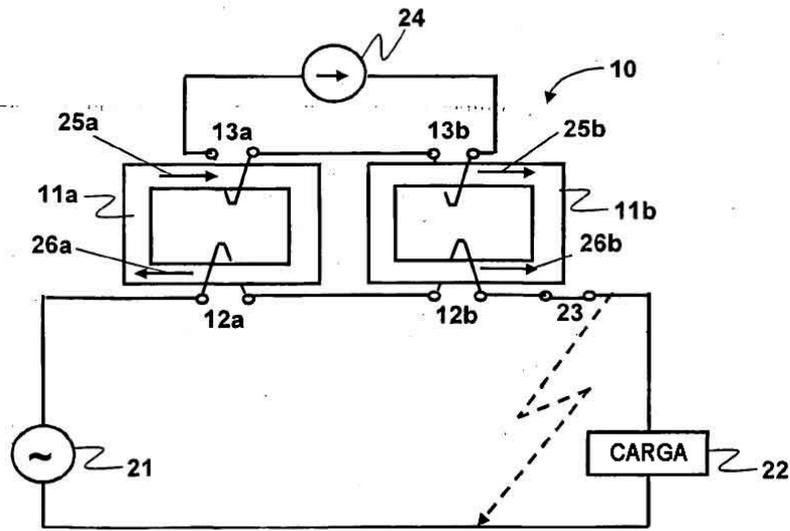
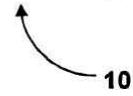
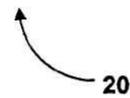


FIG. 2
(ESTADO DE LA TÉCNICA)



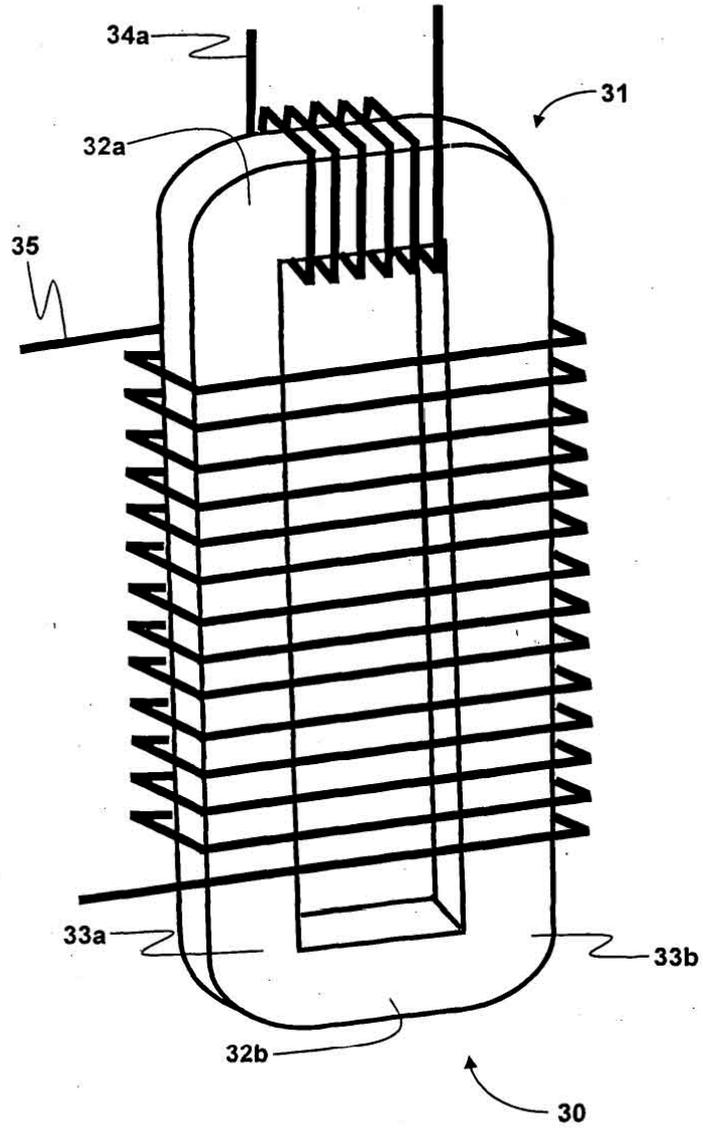


FIG. 3

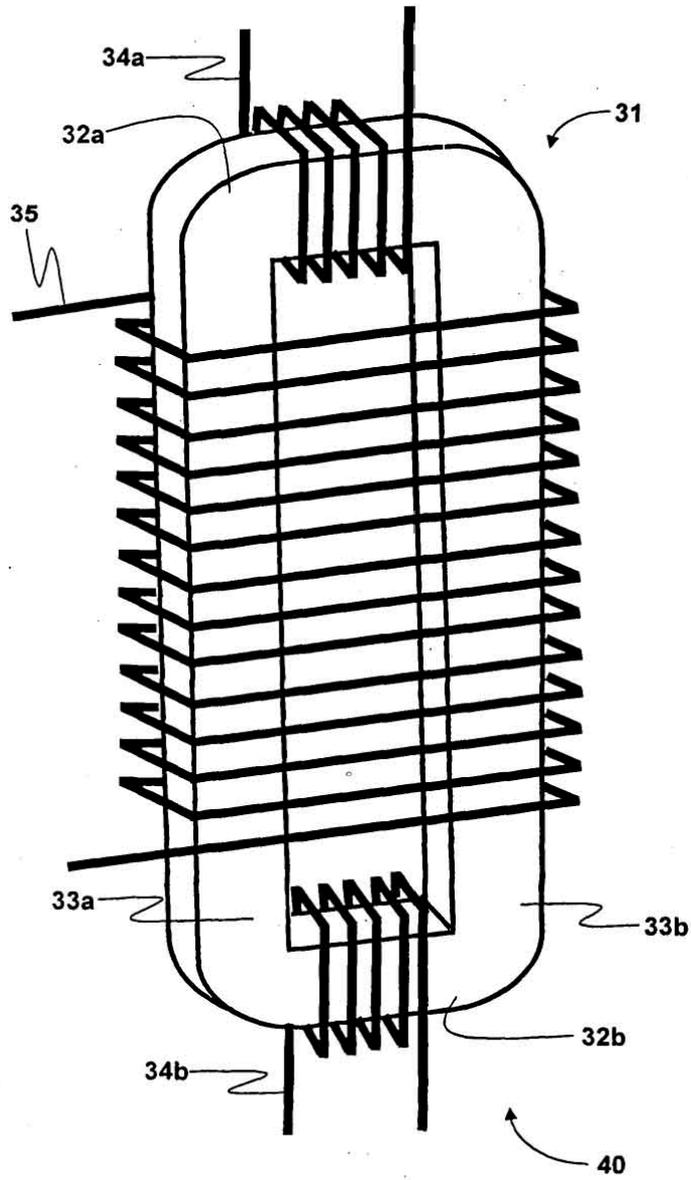


FIG. 4

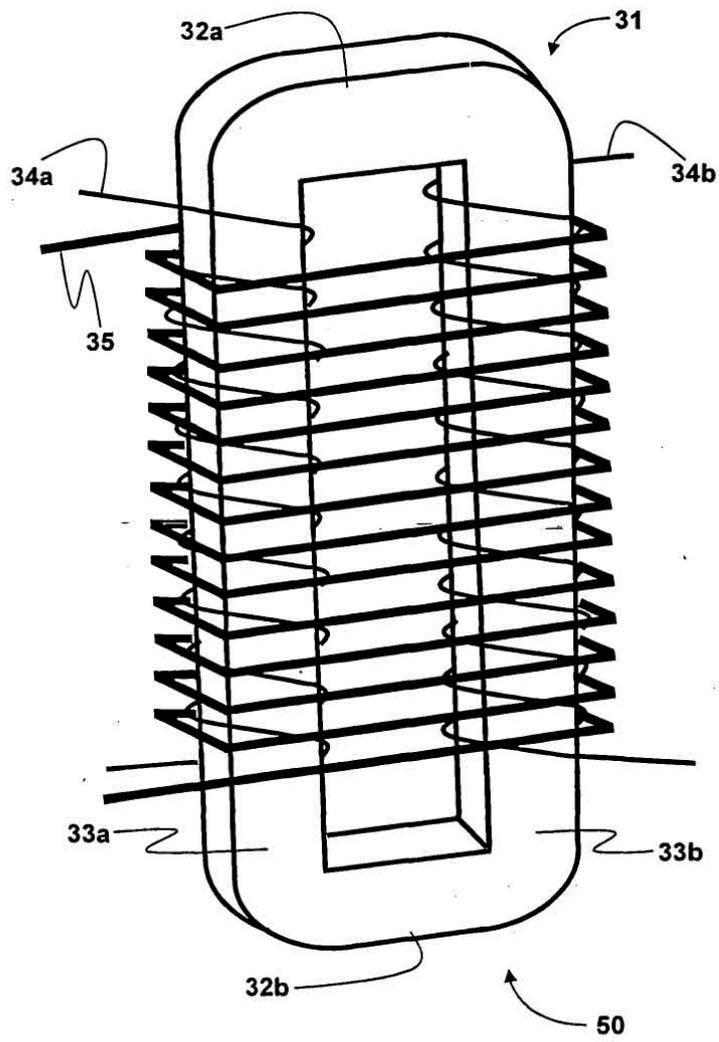
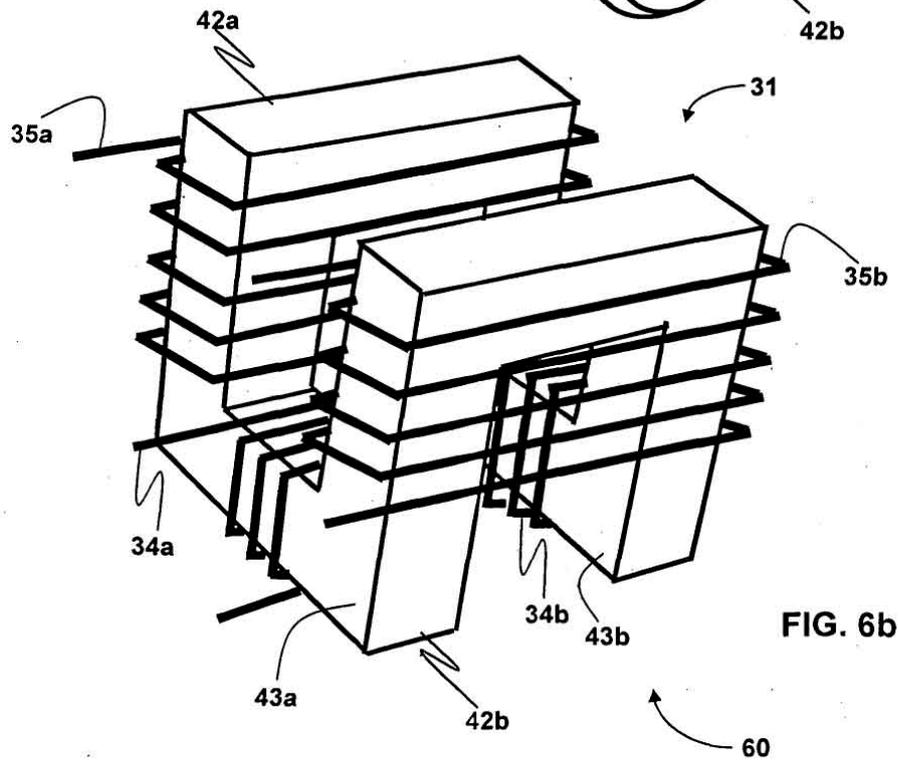
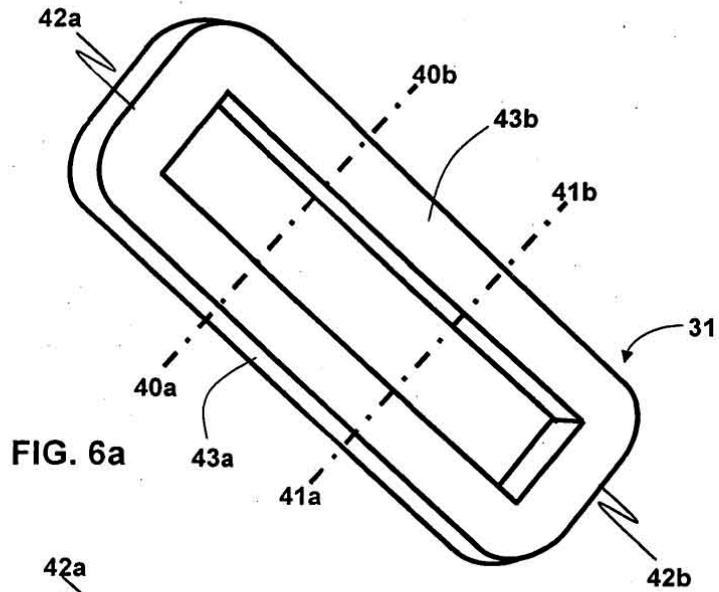


FIG. 5



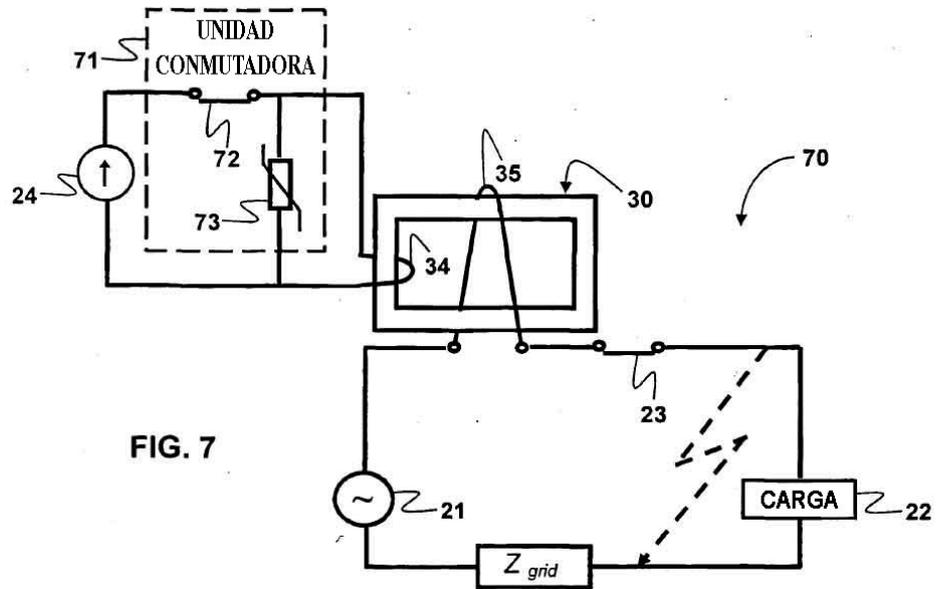


FIG. 7

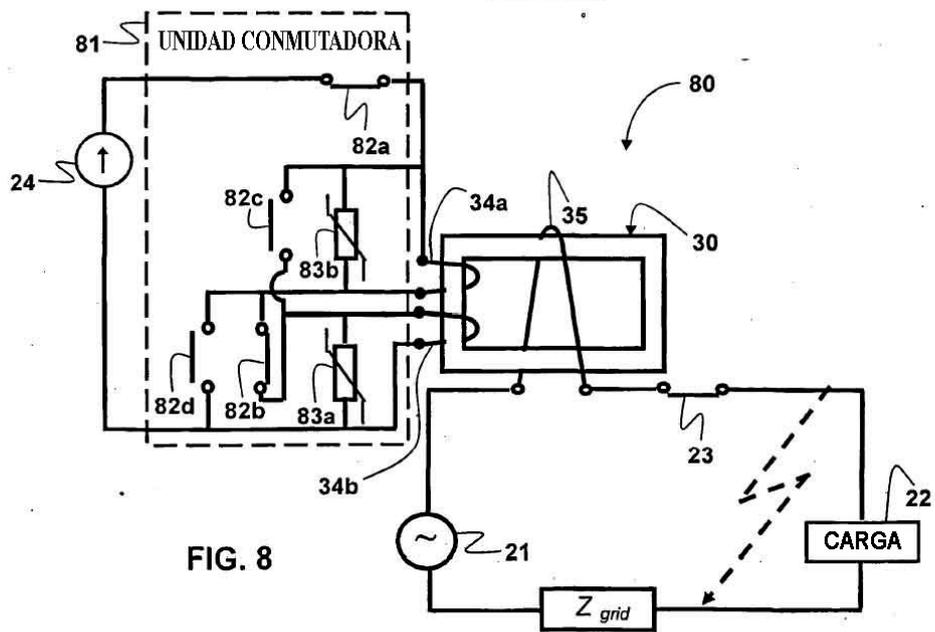


FIG. 8