

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 543 310**

51 Int. Cl.:

G05F 1/32 (2006.01)

G05F 1/325 (2006.01)

H01F 29/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.03.2012 E 12709635 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.04.2015 EP 2686746**

54 Título: **Regulador de tensión en serie con electrónica protegida frente a los cortocircuitos mediante un desacoplamiento por circuito magnético con orificios y ventanas**

30 Prioridad:

18.03.2011 FR 1152235

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

18.08.2015

73 Titular/es:

**ELECTRICITÉ DE FRANCE (50.0%)
22-30 Avenue de Wagram
75008 Paris, FR y
UNIVERSITE D'ARTOIS (50.0%)**

72 Inventor/es:

**GUINIC, PHILIPPE;
BRUDNY, JEAN-FRANÇOIS;
COSTAN, VALENTIN y
DESSOUDE, MAXIME**

74 Agente/Representante:

CURELL AGUILÁ, Mireia

ES 2 543 310 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

Regulador de tensión en serie con electrónica protegida frente a los cortocircuitos mediante un desacoplamiento por circuito magnético con orificios y ventanas.

5

Campo técnico general

La presente invención se refiere a un regulador de tensión, adaptado para ser conectado en serie entre, por un lado, una fuente alterna y, por otro lado, una carga, que comprende un circuito magnético que comprende un primer núcleo y un segundo núcleo paralelos entre sí, por lo menos una primera bobina inductora bobinada alrededor del primer núcleo y conectada, por un lado, a la fuente alterna y, por otro lado, a la carga, y por lo menos un convertidor de tensión que comprende una segunda bobina bobinada alrededor del segundo núcleo.

10

Estado de la técnica

15

Tal como se muestra en la figura 1, se conocen unas redes eléctricas alternas (por ejemplo de transporte de alta tensión, de distribución de media y baja tensión, así como las redes industriales de alimentación interna de las fábricas) que comprenden por lo menos un regulador 10 de tensión, adaptado para ser conectado en serie entre, por un lado, una fuente alterna S y, por otro lado, una carga C.

20

En efecto, con frecuencia la tensión de las redes se degrada, tanto más cuanto más lejos se está de la fuente (como por ejemplo una caída de tensión media, una fluctuación rápida ("flicker" en inglés), una generación de armónicos o huecos de tensión), y el regulador 10 conocido permite una regulación de tensión, con el fin de corregir la tensión de las cargas conectadas en el extremo de la red.

25

Para ello, el regulador 10 conocido comprende un circuito magnético 2 que comprende un primer núcleo 21 y un segundo núcleo 22, paralelos entre sí. También comprende por lo menos una primera bobina inductora 1 bobinada alrededor del primer núcleo 21 y conectada, por un lado, a la fuente S y, por otro lado, a la carga C. Finalmente comprende por lo menos un convertidor 4 electrónico de tensión que comprende una segunda bobina 7 bobinada alrededor del segundo núcleo 22. Un regulador de este tipo se describe en el documento US 2003/0076202 A1.

30

El convertidor 4 permite regular la tensión en los terminales Bc de la carga cuando está acoplado, a través de la segunda bobina 7, a la primera bobina 1 que presenta una inductancia L.

35

En régimen normal, es decir sin fallos en la red, el flujo magnético F_A de la primera bobina 1 se cierra en el circuito 2 sobre el primer núcleo 21 y el segundo núcleo 22.

En este caso, el conjunto formado por la primera bobina 1, el circuito 2 y la segunda bobina 7 constituye un transformador de tensión que acopla el convertidor 4 con la primera bobina 1 en serie y aguas arriba de la carga C.

40

Por tanto, el convertidor 4 puede regular la tensión en los terminales Bc de la carga C.

Las redes eléctricas mencionadas anteriormente son inevitablemente objeto de fallos D (accidente, fallo de material, rayo, etc. y de manera general, cualquier sobreintensidad (cortocircuito) que pueda atravesar el regulador), sobre todo dado que desde hace una década los riesgos de fallo aumentan debido al envejecimiento de las redes.

45

Simultáneamente, la conexión a las redes de nuevos tipos de instalaciones, tales como instalaciones descentralizadas de producción de energía (los parques eólicos, por ejemplo), hace aumentar la potencia de los cortocircuitos en las redes en caso de fallo. La amplitud de las corrientes de cortocircuito es por tanto del orden de algunos kA hasta varias decenas o centenas de kA, según los tipos de redes. Las corrientes de gran amplitud pueden dañar las redes, y en particular el convertidor 4.

50

Una solución conocida consiste en prever un dispositivo de desacoplamiento electromecánico del convertidor 4 y de la primera bobina 1.

55

No obstante, esta solución no es óptima. En efecto, en el caso de un convertidor de tensión conectado en serie con ayuda de un transformador conocido, toda la tensión de fallo aparece muy rápidamente en sus terminales, en caso de fallo, lo cual puede dañarlo.

60

Por tanto, el convertidor debe ser desacoplado por unos interruptores.

Se considera, a modo de ejemplo, una red conocida trifásica de 20 kV, con una tensión monofásica del orden de 11,5 kV. La corriente nominal que corresponde a una carga C trifásica de 1 MVA es del orden de 30A, mientras que la amplitud del cortocircuito puede alcanzar varias decenas de amperios (10 veces la corriente nominal), incluso varios millares de amperios.

65

Ahora bien, una regulación de tensión de más o menos el 10% corresponde a una variación de tensión monofásica del orden de 1 kV, es decir una potencia permanente del convertidor 4 del orden de 30 kVA.

5 Para que sean operacionales durante toda la duración de un fallo del orden de diez veces la corriente nominal, las características de los interruptores del convertidor deben ser tales que puedan transportar una potencia monofásica del orden de 300 kVA, incluso más en caso de cortocircuitos de varios millares de amperios. Unos interruptores de este tipo son por consiguiente muy costosos.

10 **Breve descripción de la invención**

La invención propone paliar por lo menos uno de esos inconvenientes.

Para ello, la invención propone un regulador de tensión, adaptado para ser conectado en serie entre, por un lado, una fuente alterna y, por otro lado, una carga, que comprende

15 un circuito magnético que comprende un primer núcleo y un segundo núcleo,

por lo menos una primera bobina inductora bobinada por lo menos parcialmente alrededor del primer núcleo y conectada, por un lado, a la fuente alterna y, por otro lado, a la carga, y

20 por lo menos un convertidor de tensión que comprende una segunda bobina bobinada alrededor del segundo núcleo,

estando el regulador caracterizado por que el circuito comprende

25 un tercer núcleo de desacoplamiento, y

un entrehierro virtual, comprendiendo el entrehierro virtual

30 - por lo menos un par de orificios en el tercer núcleo de desacoplamiento, y

- un bobinado que se bobina entre los orificios de cada par de orificios, y conectado a una fuente de corriente continua,

35 funcionando el regulador entre por lo menos dos estados, a saber:

un primer estado en el que el entrehierro virtual está abierto saturando magnéticamente el tercer núcleo de desacoplamiento, siendo el flujo magnético en el tercer núcleo bajo, y estando la segunda bobina del convertidor acoplada a la primera bobina, de manera que el regulador puede regular una tensión en la carga, y

40 un segundo estado en el que el entrehierro virtual está cerrado, siendo el flujo magnético en el entrehierro virtual del tercer núcleo importante, de manera que el convertidor se desacopla de la primera bobina.

La invención se completa ventajosamente mediante las siguientes características, consideradas solas o en cualquiera de sus combinaciones técnicamente posibles:

45 - el regulador está adaptado además para funcionar según un tercer estado en el que el entrehierro virtual está parcialmente abierto desaturando parcialmente el tercer núcleo, de manera que el convertidor se desacopla parcialmente de la primera bobina;

50 - comprende un mando pasivo o activo o inteligente de la apertura, total o parcial, o del cierre, total o parcial, del entrehierro virtual;

55 - el mando pasivo comprende una conexión permanente entre la fuente de corriente continua y el bobinado;

- el mando activo comprende un interruptor mandado por un detector entre la fuente de corriente continua y el bobinado;

60 - el mando inteligente manda una fuente de corriente continua que comprende un variador conectado al bobinado;

- el primer núcleo comprende

65 - una reducción de sección, o

- un núcleo complementario conectado mediante un entrehierro mecánico al circuito magnético;

- la primera bobina se compone de una primera parte, que se arrolla alrededor del primer núcleo, y de una segunda parte, que se arrolla alrededor de una parte del circuito comprendida entre el primer núcleo y el tercer núcleo, presentando así el regulador también una función de limitador de corriente;
- 5 - el circuito comprende un circuito magnético auxiliar que comprende un marco que comprende por lo menos un núcleo y un entrehierro mecánico, arrollándose la primera bobina alrededor del primer núcleo y del núcleo del marco, presentando así el regulador también una función de limitador de corriente,
- el regulador está adaptado para ser puesto en serie con una bobina limitadora de corriente.

10

La invención presenta numerosas ventajas.

15 La invención proporciona un regulador de tensión que permite regular una tensión en los terminales de una carga en la red en régimen normal, y que permite desacoplar de la red un convertidor del regulador y una fuente de mando del regulador, para protegerlos frente a corrientes de cortocircuito en caso de fallo. El regulador de la invención recupera no obstante su función de regulación de tensión, sin mantenimiento alguno, cuando la red vuelve a su régimen normal.

20 En el caso en el que comprende además una función de limitación de corriente de fallo, las altas prestaciones del regulador de la invención permiten reducir en la misma medida las prestaciones de los elementos de corte que están asociados con el mismo en la red. La invención permite por tanto proporcionar un dispositivo de protección de las redes poco costoso, en particular porque puede no comprender ningún material supraconductor.

25 El regulador puede comprender un mando pasivo o activo, incluso inteligente, según el tipo de red, el tipo de dispositivo de protección y la amplitud de las corrientes alternas normales, transitorias y de fallo. Este mando se realiza a partir de una corriente continua inyectada en un bobinado específico destinado a saturar magnéticamente, de manera local, el circuito magnético.

30 La invención es tal que los amperios-vuelta continuos que alimentan el bobinado de saturación del circuito magnético del regulador son pocos, ya que saturación local del circuito magnético (para formar un entrehierro virtual EV) se obtiene fácilmente (el perímetro de los orificios en los que se bobina el bobinado es pequeño). A este respecto, se puede utilizar un material supraconductor para el bobinado auxiliar, pero no es imprescindible.

35 La constante de tiempo del bobinado auxiliar de saturación puede ser baja para cortar rápidamente la corriente continua y cambiar el estado del entrehierro virtual rápidamente.

La ventaja de la invención es que el convertidor de tensión y la fuente de corriente continua del entrehierro EV se desacoplan magnéticamente, durante todo el tiempo que dure el fallo.

40 Cuando el entrehierro virtual está en su estado intermedio, todos los bobinados están acoplados.

Breve descripción de las figuras

45 Otras características, objetivos y ventajas de la invención se desprenderán de la siguiente descripción, que es puramente ilustrativa y no limitativa, y que debe ser leída con referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1, ya comentada, representa esquemáticamente una red conocida que comprende un regulador de tensión;
- 50 - las figuras 2A, 2B y 2C representan esquemáticamente un modo de realización posible de un regulador según la invención, en una red, con los flujos magnéticos correspondientes a los diferentes estados del entrehierro EV;
- las figuras 3A y 3B representan esquemáticamente los principios de acoplamiento de un modo de realización posible de un regulador según la invención, en una red;
- la figura 4 representa esquemáticamente un mando activo de un regulador según la invención;
- la figura 5 representa esquemáticamente un mando inteligente de un regulador según la invención;
- 60 - la figura 6A representa la evolución de la tensión eficaz de la red por el lado de la fuente en función del tiempo;
- la figura 6B representa la evolución de la tensión eficaz de la red por el lado de la carga en función de la corriente eficaz de red;

65

- la figura 7 representa esquemáticamente un mando de un regulador según la invención;
- las figuras 8A a 8C representan esquemáticamente diferentes casos de variación de la corriente instantánea en función del tiempo;
- las figuras 9A y 9B representan esquemáticamente circuitos magnéticos según la invención;
- las figuras 10A a 10D representan esquemáticamente esquemas equivalentes de un regulador según la invención, en función de la corriente en la red;
- la figura 11 representa esquemáticamente un circuito según la invención compuesto por una superposición de chapas magnéticas;
- la figura 12 representa esquemáticamente una primera variante de un modo de realización de un regulador según la invención, que presenta por tanto una función de limitación de la corriente;
- la figura 13 representa esquemáticamente una segunda variante de un modo de realización de un regulador según la invención, que presenta por tanto una función de limitación de la corriente;
- la figura 14 representa esquemáticamente un regulador de tensión que también comprende un limitador de corriente; y
- la figura 15 representa la limitación de la corriente en una curva de la evolución de la tensión eficaz de la red por el lado de la carga en función de la corriente eficaz de red.

En el conjunto de las figuras, los elementos similares llevan referencias numéricas idénticas.

Descripción detallada

Las figuras 2A, 2B, 2C, 3A y 3B representan esquemáticamente un modo de realización posible de un regulador de tensión según la invención.

El regulador 10 está adaptado para ser conectado en serie entre, por un lado, una fuente alterna S y, por otro lado, una carga C.

El conjunto formado por la fuente S, el regulador 10 y la carga C forma por tanto una red eléctrica. El retorno de la corriente (normal o de fallo) hacia la fuente S no se representa en los esquemas simplificados. La presente invención se refiere por tanto a una red alterna, alimentada por una fuente de potencia de tensión regulada S.

El regulador 10 de tensión, adaptado para ser conectado en serie, permite corregir la tensión de la carga C conectada en el extremo de la red.

En los siguientes desarrollos, por motivos de claridad y de simplicidad de la explicación, el regulador 10 objeto de la invención se encuentra entre una red aguas arriba que comprende la fuente de potencia S (y que puede comprender cargas no representadas en las figuras) y una red aguas abajo que comprende la carga C.

El regulador 10 presenta la función de regular la tensión aguas abajo, es decir, y para simplificar, en los terminales Bc de una carga C.

Se comprende que la invención se aplica evidentemente a redes reales, y en particular trifásicas, en las que los fallos (cualquier sobreintensidad o cortocircuito que pueda atravesar el regulador) se producen entre fases y/o entre fase y tierra.

De manera clásica, el regulador 10 comprende un circuito magnético 2 materializado por una placa. La placa puede ser monobloque o puede comprender una superposición de chapas magnéticas.

La placa comprende contornos periféricos externos 25, y comprende una primera ventana 23 que delimita contornos periféricos internos 26 de la placa y una segunda ventana 24 que delimita contornos periféricos internos 27 de la placa.

El circuito 2 también comprende un primer núcleo 21, delimitado por los contornos 26 y 27 de la placa, y un segundo núcleo 22, delimitado por los contornos 25 y 26 de la placa, siendo el primer núcleo 21 y el segundo núcleo 22 preferentemente, pero no de manera limitativa, paralelos entre sí.

También comprende por lo menos una primera bobina inductora 1 bobinada alrededor del primer núcleo 21 y conectada, por un lado, a la fuente S y, por otro lado, a la carga C.

Finalmente comprende por lo menos un convertidor 4 electrónico de tensión que comprende una segunda bobina 7 bobinada alrededor del segundo núcleo 22.

5 El convertidor 4 lo conoce el experto en la materia y no se describe en detalle a continuación en la presente descripción.

Se precisa no obstante que el convertidor 4 es preferentemente un convertidor electrónico de desacoplamiento, con componentes que soportan una gran potencia (en particular transistores bipolares de puerta aislada o "IGBT, *insulated gate bipolar transistors*" según la terminología del experto en la materia) y frecuencias de desacoplamiento superiores a 1 kHz.

El circuito 2 comprende un tercer núcleo de desacoplamiento 3.

15 En un modo de realización particular pero no limitativo, el tercer núcleo 3 se extiende por lo menos parcialmente en un lado opuesto al segundo núcleo 22 con respecto al primer núcleo 21. Por tanto, el primer núcleo 21 está situado entre el segundo núcleo 22 y el tercer núcleo de desacoplamiento 3.

20 El tercer núcleo 3 puede estar situado no obstante de cualquier manera con respecto al primer núcleo 21 y al segundo núcleo 22.

El circuito 2 también comprende un entrehierro virtual EV.

El entrehierro virtual EV comprende

- 25 - por lo menos un par 50 de orificios 5 en el tercer núcleo de desacoplamiento 3, y
- un bobinado auxiliar 6 que se bobina entre los orificios 5 de cada par 50 de orificios 5, y conectado a una fuente de corriente continua 8.

30 Debido a su bobinado alrededor del primer núcleo 21 y debido a que puede recorrerla una corriente alterna, la bobina 1 puede crear en el circuito 2 una fuerza magnetomotriz con la referencia F_{At_a} correspondiente a amperios-vuelta alternos. La fuerza magnetomotriz F_{At_a} presenta una intensidad igual al producto del número de espiras de la bobina 1 por la corriente alterna en amperios que las atraviesa.

35 Asimismo, debido a su bobinado alrededor del tercer núcleo 3 entre los orificios 5 y debido a que puede recorrerlo una corriente continua, el bobinado auxiliar 6 puede crear una fuerza magnetomotriz F_{At_c} correspondiente a amperios-vuelta continuos. La fuerza magnetomotriz F_{At_c} es igual al producto del número de espiras del bobinado 6 por la corriente continua en amperios que las recorre. La fuerza magnetomotriz F_{At_c} así creada por el bobinado 6 puede saturar magnéticamente el tercer núcleo 3, localmente a nivel del entrehierro EV.

40 Los amperios-vuelta (At) continuos que alimentan el bobinado 6 son relativamente pocos. Están comprendidos entre 500 At y varios millares de At , según el diámetro de los orificios 5 y en función de la característica de variación de la inducción magnética B en función del campo magnético H en el circuito 2.

45 Por tanto hay pérdidas y calentamientos relativamente bajos en el bobinado 6. Si se desean corrientes mucho más importantes, el bobinado 6 puede ser de material supraconductor, pero esto no es imprescindible.

La dimensión virtual del entrehierro EV aumenta con el valor de los amperios-vuelta.

50 De manera general, es posible modificar el número de pares 50 en el núcleo 3 (el núcleo 3 puede comprender en particular una pluralidad de entrehierros virtuales EV), y modificar, en cada par 50, la forma, el diámetro y la posición de los orificios 5.

55 El aumento del número de orificios no modifica considerablemente los valores de las impedancias de la bobina 1 o del bobinado 6, ni el orden de magnitud del número de At total necesario para la saturación del entrehierro EV en funcionamiento normal. La preferencia podrá responder a la facilidad de fabricación del circuito 2 o de la bobina 1 o del bobinado 6 o a funcionalidades de mando de la fuente 8.

60 Formas rectangulares de los orificios tienen tendencia a aumentar las corrientes armónicas. Una vez más, la preferencia podrá responder a la facilidad de fabricación.

El regulador 10 según la invención funciona entre por lo menos dos estados.

65 Un primer estado se representa esquemáticamente en las figuras 2A y 3A, y es un estado en el que el entrehierro virtual EV está abierto y abre magnéticamente el circuito magnético 2 saturando magnéticamente de manera local el

tercer núcleo de desacoplamiento 3.

Tal como se muestra en la figura 2A, el flujo magnético en el tercer núcleo 3 es bajo (flujo de fuga), ya que está interrumpido por el entrehierro virtual EV.

5 Para realizar la saturación local, el bobinado auxiliar 6 se alimenta con corriente continua para saturar el perímetro de los orificios 5 dispuestos en el interior del tercer núcleo 3. Esta saturación local es equivalente a la apertura del núcleo 3 por un entrehierro mecánico.

10 Por el contrario, el flujo magnético F_A en el segundo núcleo 22 es importante: el convertidor 4 está entonces magnéticamente acoplado a la primera bobina 1, por medio de la segunda bobina 7, de manera que el regulador 10 puede regular una tensión en la carga C.

En el primer estado, se encuentra por tanto que:

$$15 \quad F_{Atc} > F_{Ata}$$

20 Un segundo estado se representa esquemáticamente en las figuras 2B y 3B, y es un estado en el que el entrehierro virtual EV está cerrado y cierra magnéticamente el circuito magnético 2 a nivel del tercer núcleo de desacoplamiento 3.

25 Tal como se muestra en la figura 2B, el flujo magnético F_c en el tercer núcleo 3 es importante, ya que el entrehierro virtual EV está cerrado, mientras que el flujo abarcado por la bobina 6 es despreciable, debido a la disposición simétrica de los orificios 5.

30 Por el contrario, el flujo magnético (flujo de fuga) en el segundo núcleo 22 es bajo: tal como se muestra en la figura 3B, el convertidor 4 está entonces desacoplado de la primera bobina 1, de manera que el regulador 10 ya no regula la tensión en la carga C, pero no resulta dañado por un fallo en la red. Preferentemente, la segunda bobina 7 se pone en cortocircuito para obtener una equivalencia a la apertura 70 del núcleo 22.

En el segundo estado, se encuentra por tanto que:

$$F_{Atc} \ll F_{Ata}$$

35 Para conseguir esta situación, es necesario

- que haya una corriente de cortocircuito de gran amplitud en la red (F_{Ata} es por tanto muy importante), y/o
- que la corriente que atraviesa el bobinado 6 sea nula (entonces F_{Atc} es igual a 0).

40 Tras la eliminación del fallo en la red y el final del régimen transitorio eléctrico (es decir, las oscilaciones de la tensión transitoria de restablecimiento en los elementos de corte), el entrehierro EV se abre de nuevo, sin mantenimiento particular, y el regulador 10 puede regular de nuevo la tensión en la red. Y en caso de nuevo de cortocircuito de fallo, el circuito 2 se cierra de nuevo magnéticamente mediante el cierre rápido del entrehierro EV, y así sucesivamente.

45 En un diseño óptimo del regulador, el desacoplamiento del convertidor 4 y de la bobina 1 se puede realizar en un tiempo del orden de 1 ms, lo que permite:

- 50 - proteger el convertidor 4 y la fuente 8 del entrehierro EV (desacoplamiento magnético),
- reducir la energía de las corrientes transitorias de conmutación del convertidor y de los dispositivos de mando y de protección,
- 55 - volver rápidamente al modo de regulación normal, si la variación de corriente se debe a un transitorio tal como, por ejemplo, un impulso de alta frecuencia.

Con frecuencia es preferible no desacoplar el regulador 10 de tensión durante regímenes transitorios, denominados normales, de la corriente de carga en la red (salvo, evidentemente, si su duración excesiva es un signo de fallo en la red). En efecto, los regímenes transitorios normales se deben, por ejemplo:

- 60 - a la puesta en marcha de transformadores en la red,
- al arranque de motores en la red,
- etc.

65 El regulador 10 está entonces adaptado a las necesidades de la red (red de transporte, red de distribución o red industrial) y a la variedad de los intervalos de potencia (régimen normal y potencia de cortocircuito).

Por este motivo existe un tercer estado de funcionamiento, como variante opcional.

5 El tercer estado corresponde a un régimen intermedio de la red, en el que la corriente alterna es ligeramente superior a la corriente nominal de la carga. En el régimen intermedio se encuentra por tanto la siguiente condición:

$$At_a > At_c$$

10 Tal como se muestra en la figura 2C, en el tercer estado, que puede estar establecido y ser permanente (es decir no transitorio), el circuito 2 está entonces parcialmente desaturado a nivel del entrehierro EV del tercer núcleo 3, y una parte del flujo magnético alterno F_A (impuesto por FAt_a) circula en el tercer núcleo 3 en combinación con el flujo continuo F_c (impuesto por FAt_c). Todos los bobinados están entonces magnéticamente acoplados.

15 La apertura del entrehierro EV en régimen normal de la red o el cierre del entrehierro EV durante un fallo en la red puede ser de manera pasiva o activa o lo que se denomina inteligente.

En un primer momento se describe un mando pasivo de la apertura y del cierre del entrehierro EV.

20 En este caso, el limitador 10 comprende un mando 60 pasivo de la apertura y del cierre del entrehierro EV.

El mando 60 pasivo comprende una conexión permanente entre la fuente 8 y el bobinado 6, según las figuras 2A, 2B y 2C.

25 El mando 60 pasivo utiliza el cierre del entrehierro EV, mediante desaturación del circuito 2 a nivel del entrehierro EV debido al hecho de que la fuerza FAt_a es muy elevada con respecto a la fuerza FAt_c , debido al fallo a nivel de la red y a la gran corriente que atraviesa la bobina 1.

30 Se trata de un funcionamiento pasivo, sin que haya necesidad de controlar el mando 60 pasivo. La intensidad de la corriente continua que atraviesa el bobinado 6, fijada con anterioridad al fallo, es el único parámetro de ajuste del nivel de desaturación del tercer núcleo 3.

De manera conocida por el experto en la materia, la fuente 8 está protegida contra las sobreintensidades y las sobretensiones que se desarrollan durante los regímenes transitorios de la red y durante los fallos.

35 En un segundo momento se describe un mando 60 activo de la apertura y del cierre del entrehierro EV, representado en la figura 4.

En este caso, el regulador 10 comprende un mando 60 activo de la apertura y del cierre del entrehierro EV.

40 El mando 60 activo comprende un interruptor 61 entre la fuente 8 y el bobinado 6.

El interruptor 61 puede

- 45
- desempeñar el papel de una conexión entre la fuente 8 y el bobinado 6 (se trata entonces del primer estado de funcionamiento del regulador), o
 - anular la corriente continua en el bobinado 6 (FAt_c presenta entonces una intensidad nula, y se trata entonces del segundo estado de funcionamiento del regulador, por ejemplo).

50 El mando 60 comprende un detector 62 que define el criterio de apertura del interruptor 61.

El detector 62 compara la amplitud de la corriente de fallo con la de un umbral de ajuste.

55 De este modo es posible hacer funcionar el regulador 10 en el tercer estado, en un intervalo de corriente de fallo ligeramente superior a la corriente en régimen normal, pero inferior al umbral. Más allá del umbral, el interruptor 61 se abre y el regulador 10 pasa en algunos milisegundos a su segundo estado (EV cerrado).

Cuando se elimina el fallo, el detector 62 vuelve a cerrar el interruptor 61.

60 El mando 60 activo comprende ventajosamente un limitador 63 de sobretensión de corte de corriente inductivo, conectado en paralelo a la fuente 8, por ejemplo un protector eléctrico de óxido de cinc (ZnO), y/o un diodo de rueda libre en serie con una resistencia, ambos conocidos por el experto en la materia.

65 En un tercer momento se describe un mando inteligente, representado esquemáticamente en la figura 5, en el que el mando 60 está conectado a una fuente 8 que comprende un variador 81 de la intensidad de la corriente en el bobinado 6.

El variador 81 es un variador electrónico de potencia, conocido por el experto en la materia, que suministra una corriente que comprende una componente continua, pero que también puede comprender componentes alternas, en particular al doble de la frecuencia de la red.

5 Según el valor de la corriente de la red medido por el mando 60 (régimen normal o intensidad de la corriente ligeramente superior a la corriente en régimen normal o, finalmente, cortocircuito), el mando 60 manda el variador 81 que hace entonces que el regulador 10 pase al estado magnético de funcionamiento 1, 2 o 3 más adaptado al contexto.

10 El mando 60 también se puede mandar a distancia para tener en cuenta el funcionamiento de los dispositivos de protección de la red, incluso modificar sus umbrales de ajuste según las necesidades.

15 El variador 81 está ventajosamente dotado de dispositivos de protección, conocidos por el experto en la materia, contra las sobreintensidades y sobretensiones.

Las figuras 6A y 6B representan esquemáticamente funciones de un regulador según la invención, haciendo referencia a tres estados magnéticos del entrehierro EV.

20 Para los fallos de amplitud extrema (en este caso muy elevada, normalmente de 5 a 10 veces la corriente nominal en la red, con la referencia I_n), es necesario desacoplar rápidamente el convertidor 4 de tensión cerrando magnéticamente el entrehierro EV. El flujo generado por la corriente de fallo se encierra principalmente por el tercer núcleo 3 a nivel del entrehierro EV.

25 El bobinado 7 del convertidor 4 puede permanecer abierto durante la duración del fallo o, preferentemente, ponerse en cortocircuito para contribuir a rechazar el flujo magnético hacia el entrehierro EV. Esta puesta en cortocircuito es equivalente a una apertura del circuito magnético 70, tal como se muestra en la figura 3B. Se puede garantizar mediante el propio convertidor 4 o mediante componentes complementarios, en particular las protecciones del convertidor conocidas por el experto en la materia.

30 Para los regímenes transitorios normales (con una corriente ligeramente superior a una corriente nominal, normalmente de 2 a 3 veces la corriente nominal I_n en la red) son posibles dos opciones:

- 35 - desacoplar total y rápidamente el convertidor 4 como en el caso de las corrientes de cortocircuito, con la referencia I_{cc} , extremas,
- mantener el entrehierro EV en un estado intermedio.

40 El flujo generado por la corriente transitoria se encierra entonces en parte por el lado del entrehierro EV (proporción de X%) y en otra parte (proporción de 100-X%) por el lado del convertidor 4.

45 Esto requiere prestaciones sustancialmente superiores para el convertidor 4 y para la fuente 8, pero la regulación presenta entonces la ventaja de responder a los regímenes transitorios normales sin saltos bruscos de tensión. El convertidor 4 también se encuentra en un estado intermedio de desacoplamiento parcial durante la duración del régimen transitorio normal.

La tabla 1 a continuación resume los estados magnéticos del entrehierro EV y los del convertidor 4 de tensión.

Amplitud de la corriente alterna de la red	Régimen normal (I_n)	Régimen transitorio normal (de 2 a 3 I_n)	Fallo (de 5 a 10 I_n , incluso más)
Dos regímenes de funcionamiento, con el entrehierro EV en mando activo	Tensión regulada Entrehierro EV abierto	Convertidor totalmente desacoplado Entrehierro EV cerrado	
Dos regímenes de funcionamiento, con el entrehierro EV en mando pasivo	Tensión regulada Entrehierro EV abierto	Tensión parcialmente regulada, según diseño y mando del convertidor Convertidor parcialmente desacoplado Entrehierro EV en estado intermedio	
Tres regímenes de funcionamiento, con el entrehierro EV en tres estados magnéticos posibles	Tensión regulada Entrehierro EV abierto	Tensión parcialmente regulada, según diseño y mando del convertidor Convertidor parcialmente desacoplado Entrehierro EV en estado intermedio	Convertidor totalmente desacoplado Entrehierro EV cerrado

Tabla 1

La elección de realización de un regulador con dos o tres regímenes de funcionamiento depende del contexto.

5 Así, para una red afectada por regímenes transitorios normales muy frecuentes y cuya carga es sensible a las variaciones de tensión, es deseable el dispositivo de tres regímenes.

A la inversa, si los regímenes transitorios son poco frecuentes, el sobrecoste de diseño del regulador no está justificado.

10 Asimismo, en el caso en el que no existen los fallos extremos, debido a la baja capacidad de la red, un mando 60 pasivo del entrehierro EV puede ser interesante.

De manera preferible, el mando 60 manda la fuente continua 8 y el convertidor 4 de tensión de manera coordinada.

15 Tal como se muestra esquemáticamente la figura 7, el mando 60 envía una consigna de regulación de tensión 601 hacia el convertidor 4 electrónico, y una consigna de regulación 602 hacia la fuente 8.

20 El control del estado intermedio del entrehierro EV se realiza mediante la variación de corriente en el bobinado 6, comprendiendo la corriente una componente continua y componentes armónicas. La fuente 8 también puede comprender ventajosamente un convertidor de corriente.

25 El caso de la realización del dispositivo mediante un conjunto que presenta tres regímenes de funcionamiento se puede realizar por tanto con un mando 60 inteligente que gestiona los funcionamientos de un convertidor de tensión y de un convertidor de corriente.

En todos los casos, es necesario desacoplar rápidamente el convertidor 4 de la red al aparecer un fallo.

30 Tal como se muestra en la figura 8A, todos los dispositivos de protección se enfrentan a la misma dificultad de predecir la evolución de la corriente, a partir de una variación de corriente di/dt importante en un tiempo relativamente corto, normalmente del orden de 1 ms. En efecto, es necesario desacoplar el convertidor de tensión en 1 ms, de lo contrario quedará destruido por el cortocircuito.

35 La figura 8B muestra en efecto que se puede tratar de un régimen transitorio normal (manipulación de la red, variación de carga, etc.), y en este caso hay un retorno a un régimen normal en un tiempo normalmente del orden de algunos milisegundos.

40 Por el contrario, la figura 8C muestra que la intensidad puede ser extrema (de 5 a 10 I_n, incluso más) y alterna con un periodo correspondiente al periodo de la tensión de la red, por ejemplo de 20 ms, y por tanto corresponder a un fallo.

45 Una de las ventajas de un regulador 10 según la invención es dimensionar la potencia del convertidor de tensión únicamente para las necesidades de regulación, independientemente de la amplitud y la duración de los fallos, en particular para reducir las fluctuaciones de tensiones, las distorsiones armónicas, los efectos de la fluctuación rápida e incluso compensar total o parcialmente los huecos de tensión.

50 La fuente 8 está dimensionada para proporcionar las pérdidas óhmicas permanentes del bobinado 6 y para soportar el transitorio de conmutación rápida del entrehierro EV, situación transitoria que también se representa en la figura 2C.

55 La elección de la razón del número de espiras de la primera bobina 1 con respecto al número de espiras de la segunda bobina 7 permite optimizar el coste del convertidor 4 de tensión adaptándose a las prestaciones de los materiales electrónicos del mercado, pero también beneficiándose de los avances en cuanto a la rapidez de conmutación (>kHz), a la tensión soportada (>kV) y a la corriente soportada (>kA).

El número de espiras del bobinado 6 está asociado con las características del circuito 2 para obtener una rapidez de mando del entrehierro EV del orden del milisegundo para una red industrial de 50 Hz o 60 Hz.

A modo de ejemplo:

60 Prestaciones del regulador monofásico

65	Tensión monofásica de la red	11,5 kV
	Regulación de tensión en serie	+ o - 10%
	Corriente nominal	30A
	Potencia equivalente trifásica	1 MVA

Convertidores electrónicos

5	Característica de los interruptores de tipo IGBT Constante de tiempo de mando de EV	1200 A, 2500 V 1 ms
---	--	------------------------

Ejemplos de dimensionamientos del regulador

10	Diámetro de orificio 5 Número de espiras del bobinado 6 Número de espiras de la primera bobina (alterna) 1 Número de espiras de la segunda bobina (convertidor) 7 Grosor del tercer núcleo 3	de 10 a 25 cm de 5 a 20 de 150 a 200 de 20 a 40 de 10 a 30 cm
----	--	---

15 Cuando la dimensión del circuito magnético 2 aumenta, la superficie de un orificio 5 aumenta más rápido que su perímetro. Como resultado se obtiene la ventaja de poder elegir una densidad de corriente en el bobinado 6 suficientemente baja como para reducir en el mismo las pérdidas óhmicas permanentes, cuando el entrehierro EV está abierto.

20 La figura 9A y la figura 9B precisan algunas características del primer núcleo 21 (también indicado con la referencia N_R), del segundo núcleo 22 (también indicado con la referencia N_U) y del tercer núcleo 3 (también indicado con la referencia N_{EV}).

25 Tal como se muestra en la figura 9A, en régimen normal de regulación, el primer núcleo 21, una eventual reducción 210 de sección y el segundo núcleo 22 no deben estar saturados magnéticamente.

30 El circuito magnético 2 debe estar cerrado para garantizar un buen acoplamiento entre la segunda bobina 7 del convertidor 4 y la primera bobina 1. Por tanto, es necesario evitar los entrehierros mecánicos a lo largo del trayecto de flujo F_A (tal como también se representa en la figura 2A).

En régimen transitorio, y *a fortiori* durante los fallos extremos, es necesario evitar absolutamente los entrehierros mecánicos a lo largo del trayecto de flujo F_C (tal como se representa en la figura 2B), con el fin de proteger el convertidor 4 de tensión. El tercer núcleo 3 no debe estar saturado nunca durante estos fallos.

35 No obstante, en régimen transitorio y *a fortiori* durante los fallos extremos, el primer núcleo 21 se puede saturar con el fin de limitar el flujo magnético. Para ello, el primer núcleo 21 puede comprender una reducción 210 de sección.

40 En otro modo de realización representado en la figura 9B, el exceso de flujo resultante del régimen transitorio o del fallo puede ser canalizado por un núcleo complementario 220 conectado mediante por lo menos un entrehierro 221 al circuito magnético 2. La primera bobina 1 rodea entonces los núcleos 21 y 220.

La figura 10A representa un esquema eléctrico equivalente del regulador 10, con impedancias L_{NEV} , L_{NU} y L_{NR} respectivamente representativas de los núcleos N_{EV} (3), N_U (22) y N_R (21) de la figura 9A.

45 Tal como se muestra en la figura 10B, en régimen normal, el entrehierro EV está abierto, la inductancia L_{NEV} del tercer núcleo 3 presenta un valor bajo. El convertidor 4 de tensión regula la tensión U compensando la caída de tensión en la inductancia L_{NEV} .

50 Tal como se muestra en la figura 10C, en régimen intermedio, el entrehierro EV no está completamente cerrado. La corriente de la red (de intensidad comprendida entre 1 y 3 I_n) fluye en parte por la inductancia saturable L_{NR} y en parte en la rama compuesta por la inductancia L_{NEV} (mandada por la fuente 8 de corriente continua I), en serie con el convertidor 4 que suministra la tensión U (para una intensidad de 0 a 2 I_n , en función de las prestaciones de la fuente 8 y del convertidor 4).

55 Tal como se muestra en la figura 10D, en régimen de fallo (la intensidad de la corriente en la red está comprendida entre 3 y 10 I_n , por ejemplo), el entrehierro EV está cerrado y la inductancia L_{NEV} limita la corriente en el convertidor 4 de tensión. Esta corriente es entonces inferior a I_n , incluso muy baja, según las elecciones de dimensionamiento y de funcionamiento del regulador. Preferentemente, la segunda bobina se pone en cortocircuito para contribuir a la apertura 70 del núcleo 22 (tal como se representa esquemáticamente en la figura 3B): la tensión U representada en la figura 10D es entonces nula.

65 Tal como se muestra en la figura 11, para los regímenes en los que el primer núcleo 21 está saturado, y para evitar que la caída ΔV_{cc} de tensión de cortocircuito sea demasiado importante y/o demasiado no lineal, es posible realizar la reducción 210 de sección del primer núcleo 21 de una manera que favorece las pérdidas 30 por corrientes de Foucault, es decir corrientes inducidas por variaciones de inducción magnética, fabricando la placa del circuito 2 mediante una superposición de chapas 28 magnéticas. En otro modo de realización, la placa también puede

garantizar esta función de disipación de la energía mediante pérdidas electromagnéticas con ayuda de materiales adaptados. A la inversa, se puede desear aumentar la caída de tensión ΔV_{cc} , ya que el aumento de ΔV_{cc} permite limitar la corriente de fallo. El regulador 10 comprende por tanto una función de limitación de la corriente de fallo.

5 En este caso se presentan dos modos de realización para obtener este resultado.

La figura 12 muestra que, según un primer modo de realización, la primera bobina 1 se compone de una primera parte 1a, que se arrolla alrededor del primer núcleo 21, y de una segunda parte 1b, que se arrolla en el mismo sentido de bobinado, alrededor de una parte del circuito 2, denominada culata, comprendida entre el primer núcleo 21 y el tercer núcleo 3, por ejemplo en la proximidad de los orificios 5.

En régimen normal, el tercer núcleo 3 está abierto mediante el entrehierro EV, y la inductancia L1b de la segunda parte 1b de la primera bobina 1 presenta un bajo valor. Introduce una caída ΔV_{cc} de tensión baja que puede ser compensada por el convertidor 4 de tensión.

En régimen de fallo, las inductancias L1a y L1b de las partes 1a y 1b de la bobina 1 las recorre el mismo flujo F_C que se encierra por el tercer núcleo 3. Las caídas ΔV_{cc} de tensión dependen del número de espiras de las partes 1a y 1b de la primera bobina 1 y se suman en las partes 1a y 1b según el cuadrado de los números N1a y N1b de espiras, a saber

$$20 \quad (N1a + N1b)^2$$

La figura 13, que representa una sección longitudinal, vista desde arriba, del circuito 2, muestra que, según un segundo modo de realización, para aumentar la caída ΔV_{cc} de tensión sin cambiar el número de espiras, es necesario aumentar el flujo F_C , en particular aumentando la sección del primer núcleo 21.

Para ello, el circuito 2 comprende un circuito magnético auxiliar 200 que comprende un marco que comprende un núcleo 212 y un núcleo NF, paralelos entre sí y al primer núcleo 21, y un entrehierro mecánico EM.

30 La primera bobina 1 se arrolla alrededor

- del primer núcleo 21, de sección similar al primer núcleo 21 descrito anteriormente, y
- del núcleo 212.

35 Por tanto, el aumento de flujo F_C en la primera bobina 1 no requiere aumentar la sección del primer núcleo.

En régimen normal, el flujo F_A es despreciable en el circuito 200, debido al entrehierro mecánico EM.

En régimen de fallo, el flujo F_C al superarse el nivel de saturación del primer núcleo 21 se encierra en el circuito 200.

40 La caída de tensión ΔV_{cc1} , debida al primer núcleo 21, se aumenta en ΔV_{cc2} , debido al circuito auxiliar 200 (ΔV_{cc2} se puede ajustar mediante el entrehierro mecánico EM).

45 Otro modo de realización que también permite limitar la corriente de fallo consiste en añadir en serie con el regulador una inductancia separada del mismo.

Tal como se muestra en la figura 14, en régimen normal, el regulador de tensión puede compensar la caída de tensión en esta inductancia en serie.

50 La figura 15 muestra la relación entre la tensión eficaz en los terminales de la carga y la corriente eficaz del regulador, cuando se garantiza una función de limitación mediante el regulador o mediante una inductancia separada.

55 Se entiende que para optimizar la construcción del regulador, el experto en la materia puede preferir otra disposición de las ventanas 23 y 24 realizadas con los núcleos y las culatas, con el fin de facilitar por ejemplo la conexión a los terminales de salida, o incluso responder a la exigencia de resistencia en los ensayos dieléctricos (impulso tipo rayo).

60 Asimismo, la elección de un aislamiento seco (por ejemplo mediante una resina epoxídica) o de un aislamiento con aceite (mediante papel impregnado) puede conducir a disponer las ventanas 23 o 24 de otra manera distinta de la presentada esquemáticamente en las figuras.

65 Finalmente, se entiende que la realización de un regulador o de un regulador-limitador multifásico, y en particular trifásico, se puede basar en el agrupamiento de varias unidades monofásicas idénticas o en el diseño de un circuito magnético multifásico, dentro de las reglas de la técnica conocidas por el experto en la materia. Uno de los objetivos

de una realización de este tipo es reducir la masa y el volumen del circuito magnético. Otro objetivo puede ser obtener prestaciones diferentes en modo directo y en modo homopolar, en particular cuando las fuentes de perturbaciones de tensión y/o los fallos son diferentes según estos modos, en particular debido a los tipos de puesta a tierra de la red alterna.

5

REIVINDICACIONES

1. Regulador (10) de tensión, adaptado para ser conectado en serie entre por un lado una fuente (S) alterna y, por otro lado, una carga (C), que comprende
- 5 un circuito magnético (2) que comprende un primer núcleo (21) y un segundo núcleo (22),
- por lo menos una primera bobina (1) inductora bobinada por lo menos parcialmente alrededor del primer núcleo (21) y conectada, por un lado, a la fuente (S) alterna y, por otro lado, a la carga (C), y
- 10 por lo menos un convertidor (4) de tensión que comprende una segunda bobina (7) bobinada alrededor del segundo núcleo (22),
- estando el regulador (10) caracterizado por que el circuito (2) comprende
- 15 un tercer núcleo (3) de desacoplamiento, y
- un entrehierro virtual (EV), comprendiendo el entrehierro virtual (EV)
- 20 - por lo menos un par (50) de orificios (5) en el tercer núcleo (3) de desacoplamiento, y
- un bobinado (6) que se bobina entre los orificios (5) de cada par (50) de orificios (5), y conectado a una fuente (8) de corriente continua,
- 25 funcionando el regulador (10) entre por lo menos dos estados, a saber:
- un primer estado en el que el entrehierro virtual (EV) está abierto saturando magnéticamente el tercer núcleo (3) de desacoplamiento, siendo el flujo magnético en el tercer núcleo (3) bajo, y estando la segunda bobina (7) del convertidor (4) acoplada a la primera bobina (1), de manera que el regulador pueda regular una tensión en la carga (C), y
- 30 un segundo estado en el que el entrehierro virtual (EV) está cerrado, siendo el flujo magnético en el entrehierro virtual (EV) del tercer núcleo (3) importante, de manera que el convertidor (4) se desacople de la primera bobina (1).
- 35
2. Regulador según la reivindicación 1, adaptado además para funcionar según un tercer estado en el que el entrehierro virtual (EV) está parcialmente abierto desaturando parcialmente el tercer núcleo (3), de manera que el convertidor (4) se desacople parcialmente de la primera bobina (1).
- 40
3. Regulador según una de las reivindicaciones 1 o 2, que comprende un mando (60) pasivo o activo o inteligente de la apertura, total o parcial, o del cierre, total o parcial, del entrehierro virtual (EV).
4. Regulador según la reivindicación 3, en el que el mando (60) pasivo comprende una conexión permanente entre la fuente (8) de corriente continua y el bobinado (6).
- 45
5. Regulador según la reivindicación 3, en el que el mando (60) activo comprende un interruptor (61) mandado por un detector (62) entre la fuente (8) de corriente continua y el bobinado (6).
- 50
6. Regulador según la reivindicación 3, en el que el mando (60) inteligente manda una fuente (8) de corriente continua que comprende un variador (81) conectado al bobinado (6).
7. Regulador según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que el primer núcleo (21) comprende
- 55 - una reducción (210) de sección, o
- un núcleo complementario (220) conectado mediante un entrehierro mecánico (221) al circuito magnético (2).
8. Regulador según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que la primera bobina (1) se compone de una primera parte (1a), que se arrolla alrededor del primer núcleo (21), y de una segunda parte (1b), que se arrolla alrededor de una parte del circuito (2) comprendida entre el primer núcleo (21) y el tercer núcleo (3), presentando así el regulador también una función de limitador de corriente.
- 60
9. Regulador según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el circuito (2) comprende un circuito (200) magnético auxiliar que comprende un marco que comprende por lo menos un núcleo (212) y un entrehierro mecánico (EM), arrollándose la primera bobina (1) alrededor del primer núcleo (21) y del núcleo (212) del marco, presentando así el regulador también una función de limitador de corriente.
- 65

10. Regulador según una de las reivindicaciones 1 a 9, adaptado para ser puesto en serie con una bobina limitadora de corriente.

FIG. 1

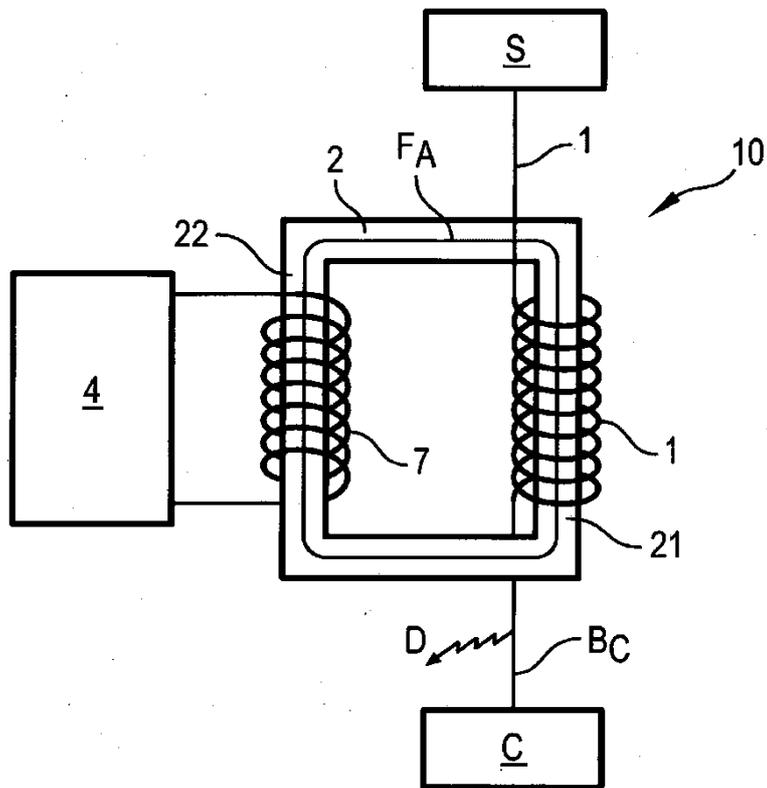


FIG. 2A

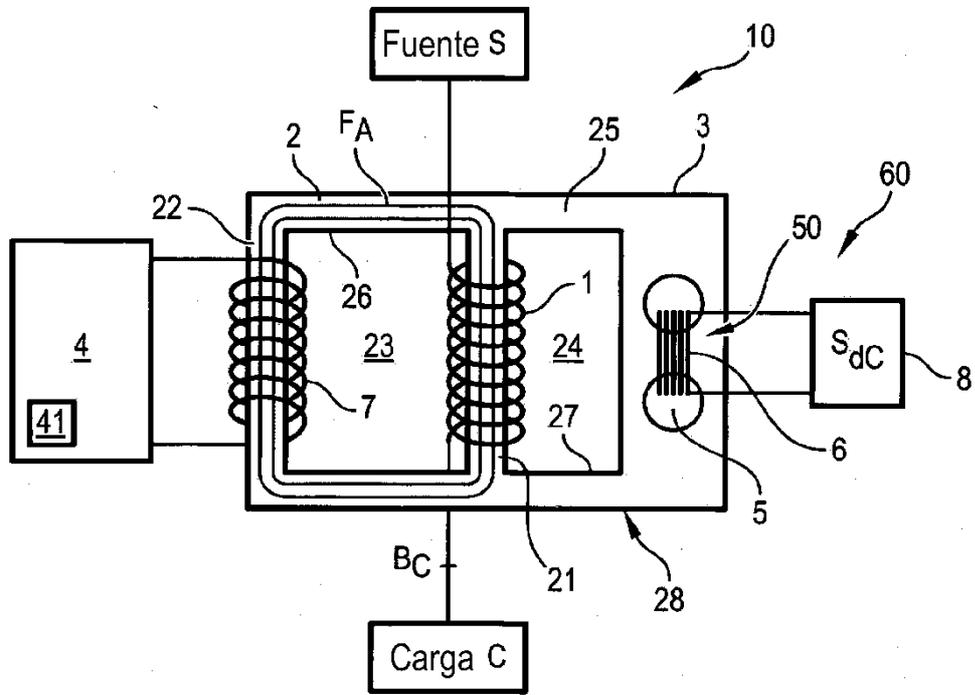


FIG. 2B

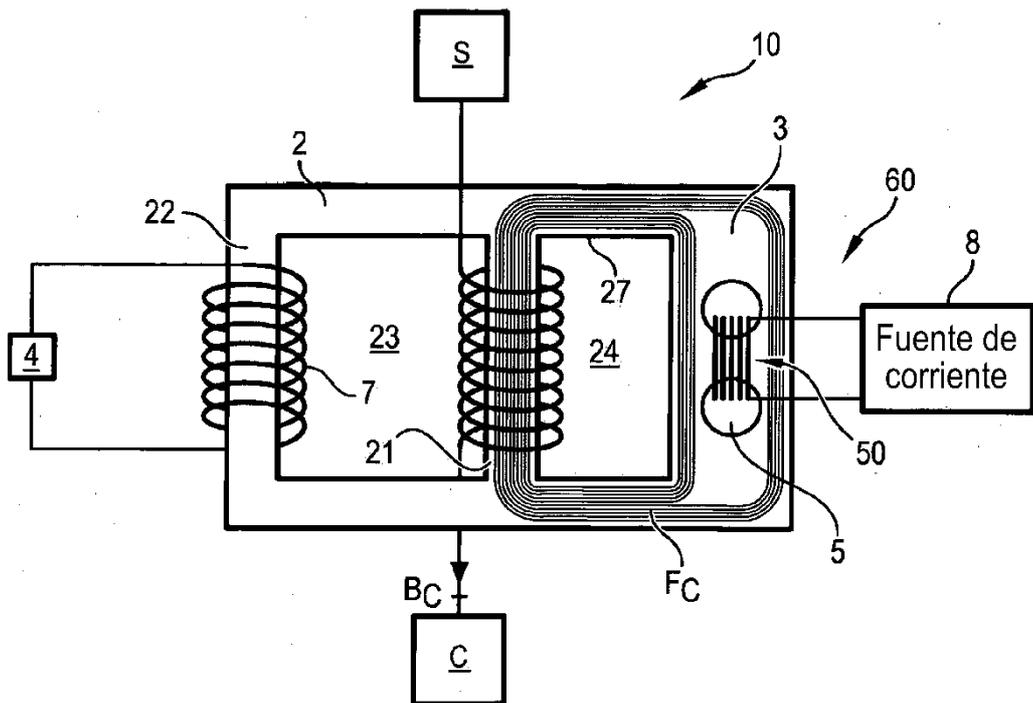


FIG. 2C

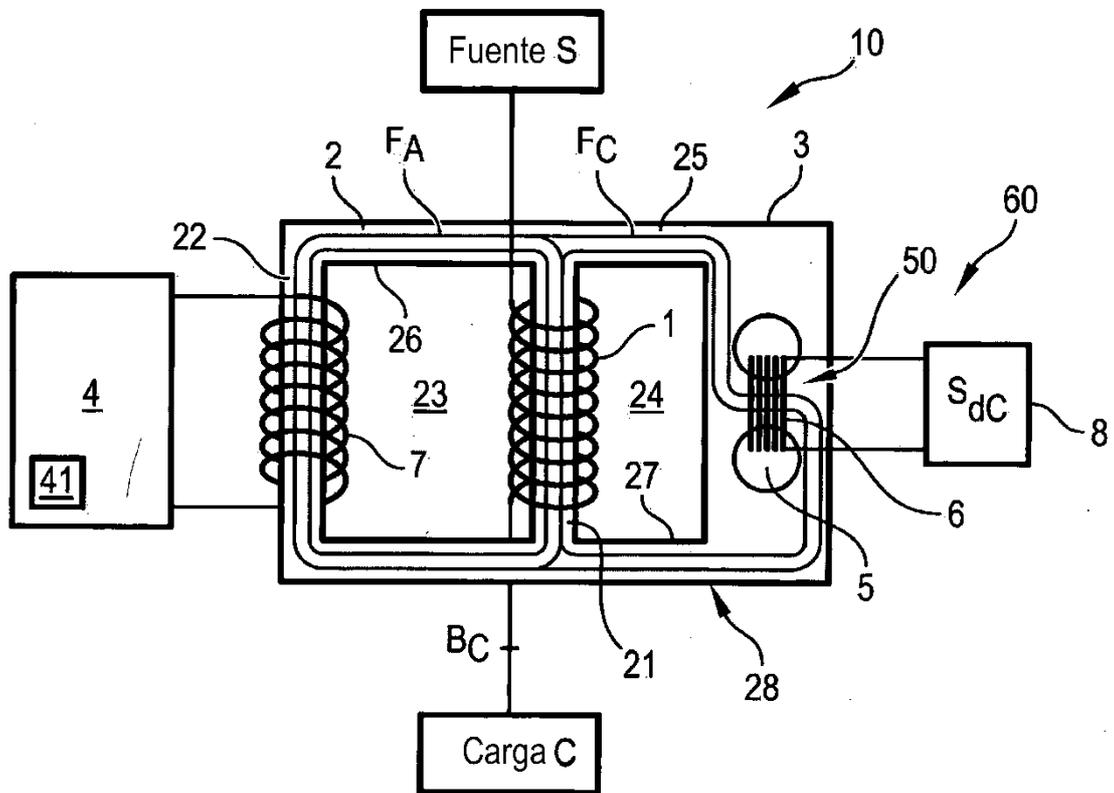


FIG. 3A

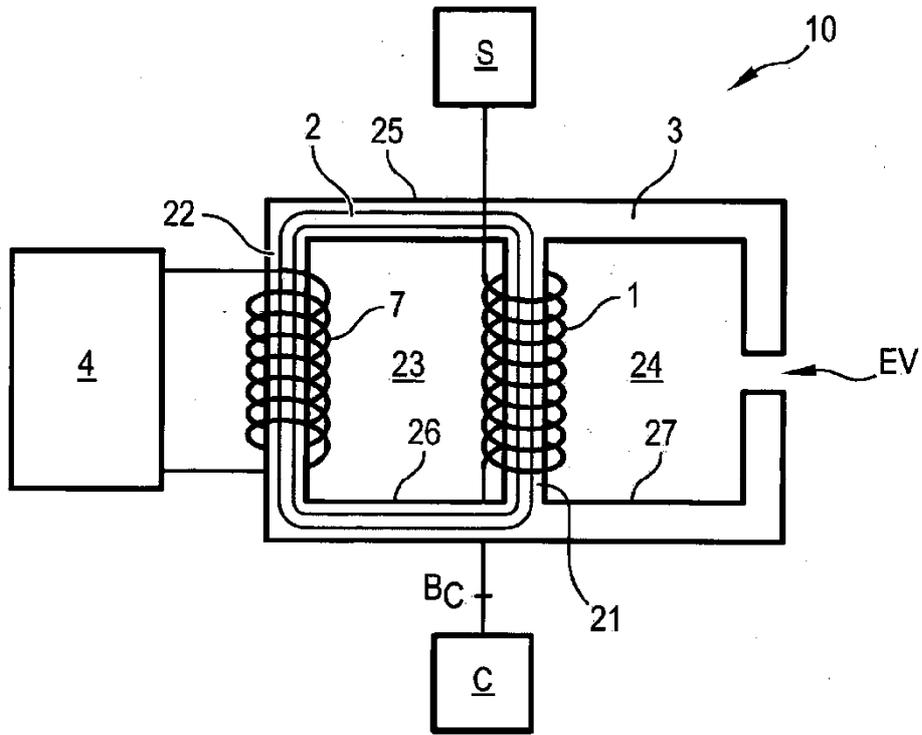


FIG. 3B

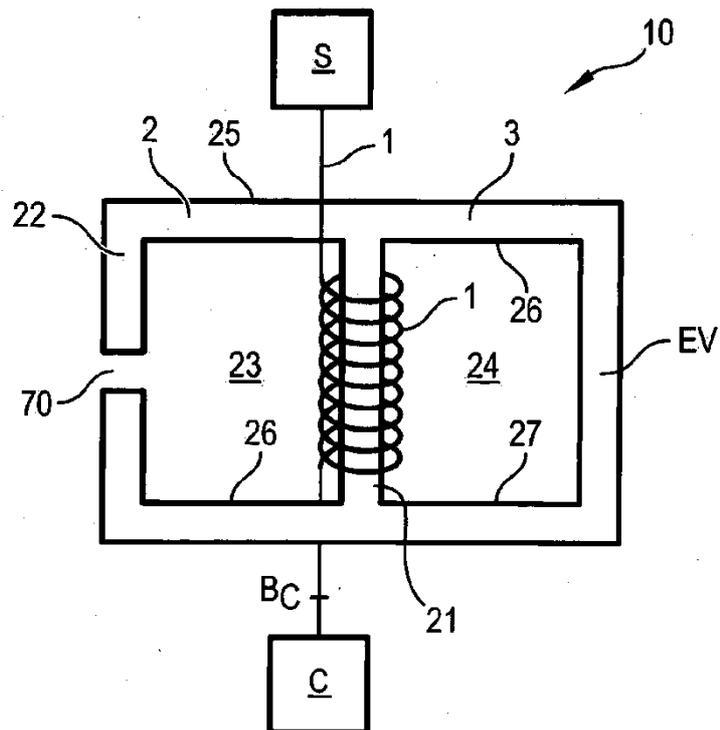


FIG. 4

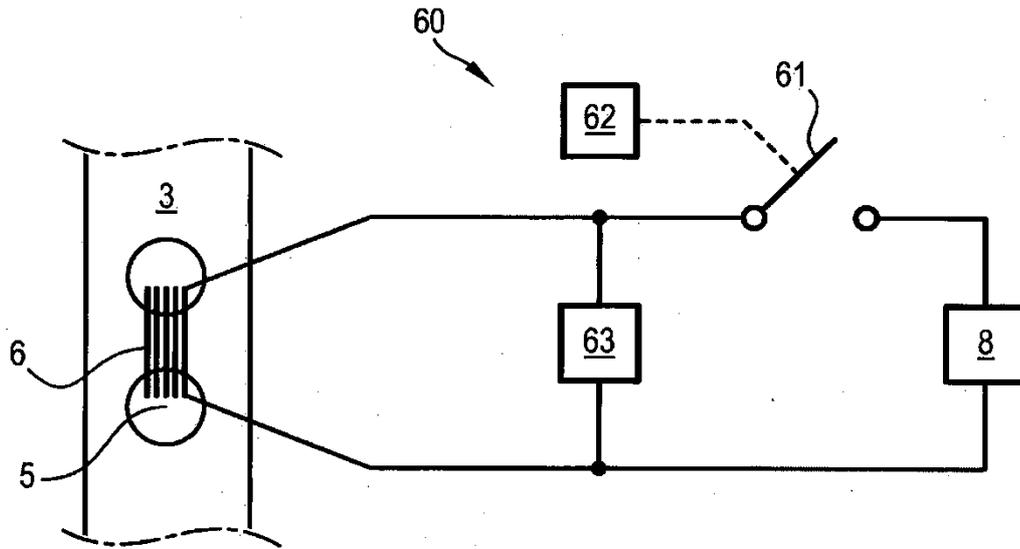


FIG. 5

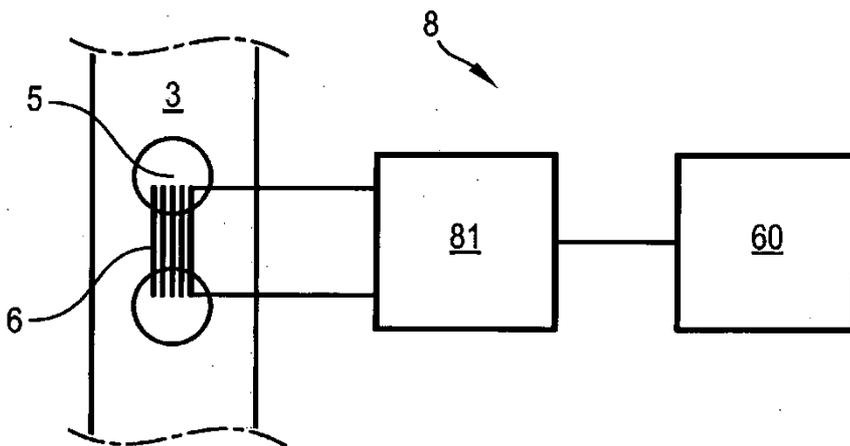


FIG. 6A

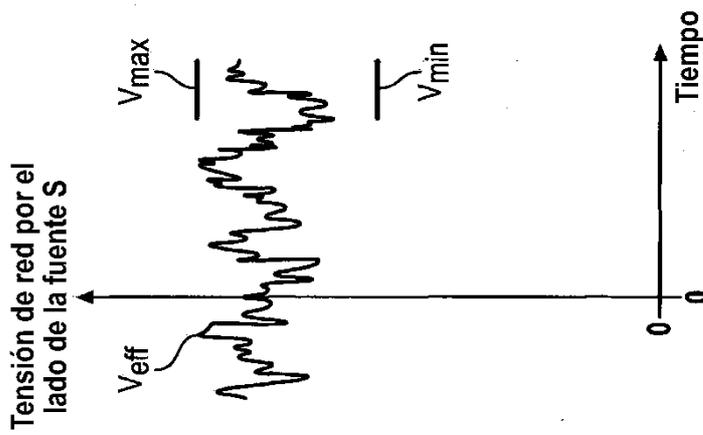


FIG. 6B

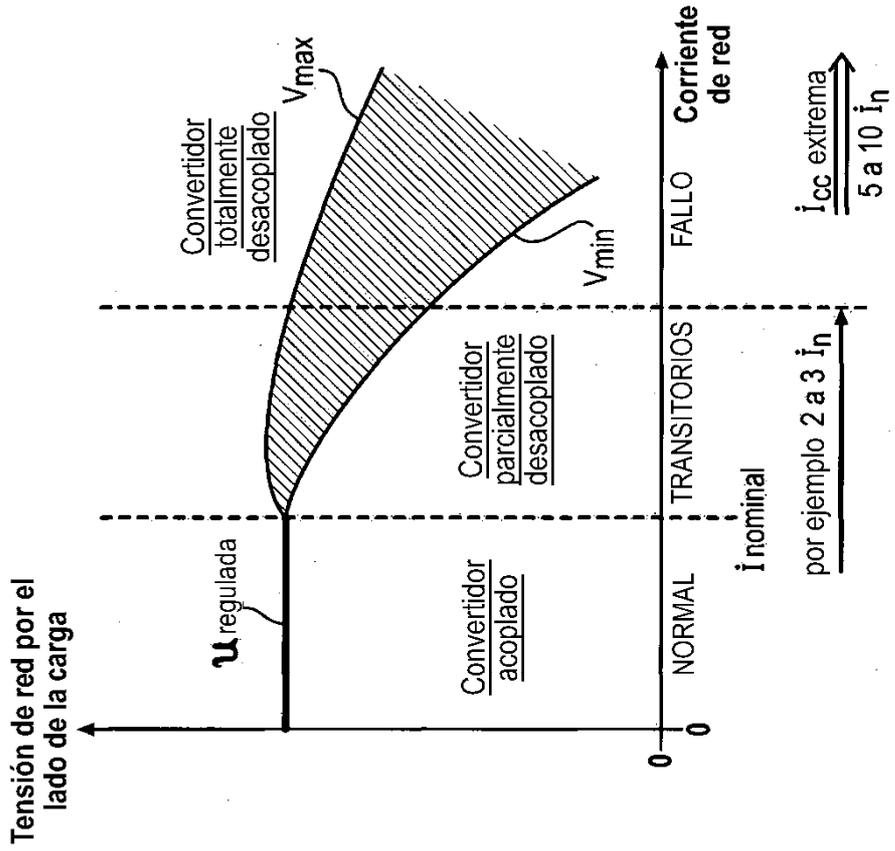


FIG. 7

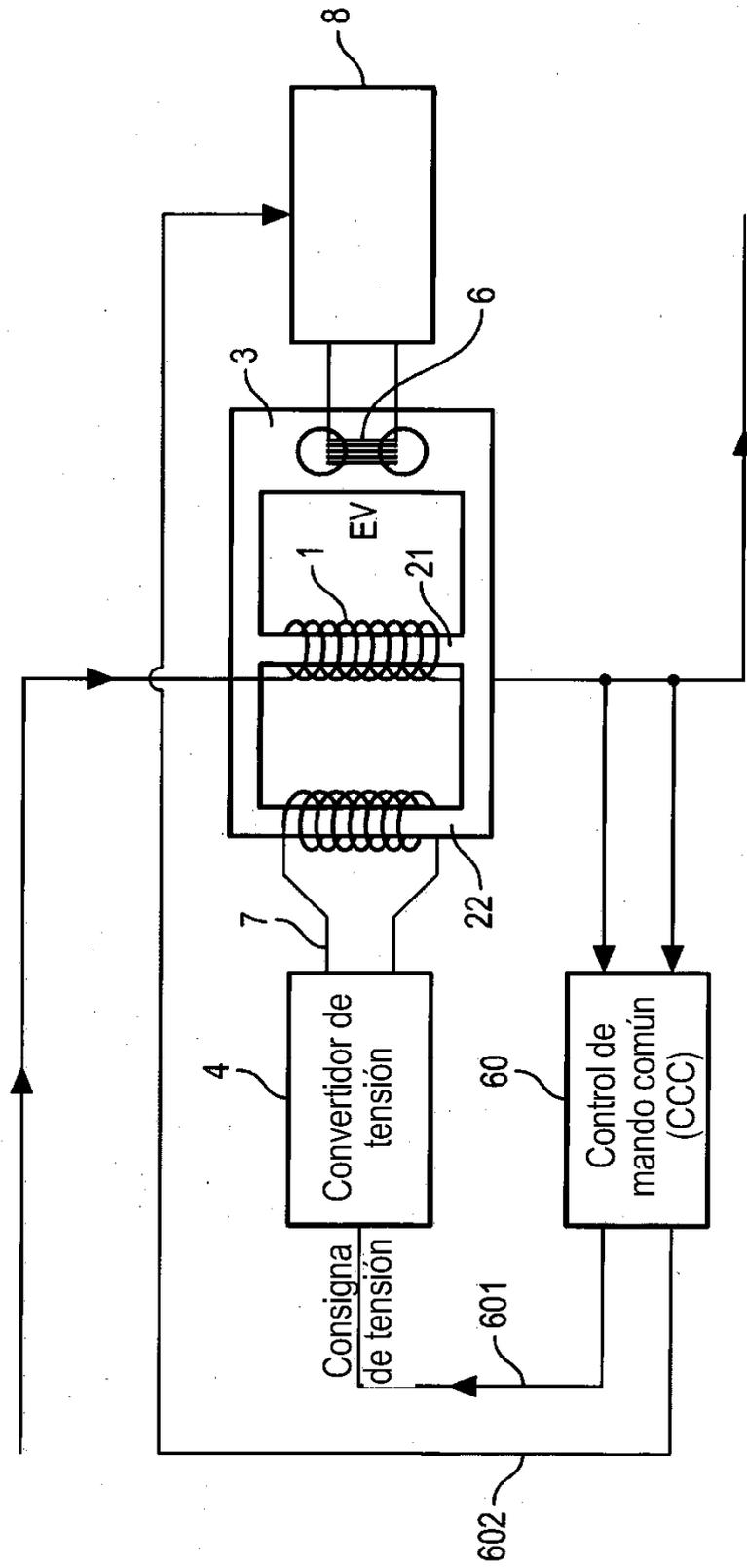


FIG. 8A

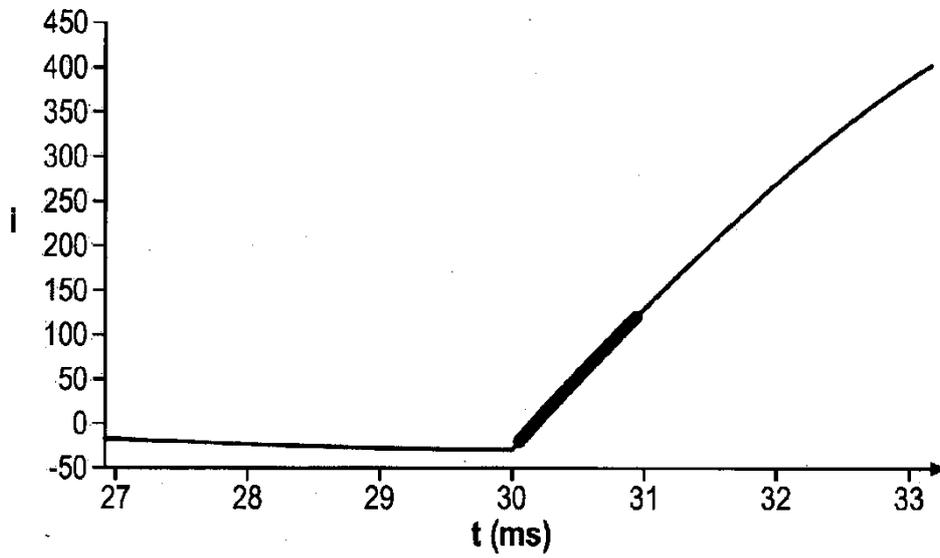


FIG. 8B

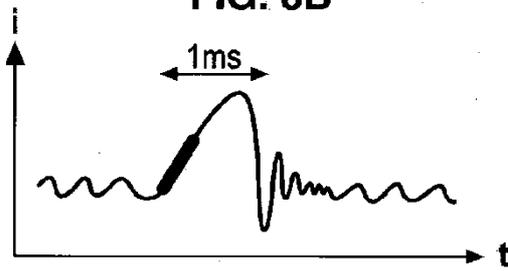


FIG. 8C

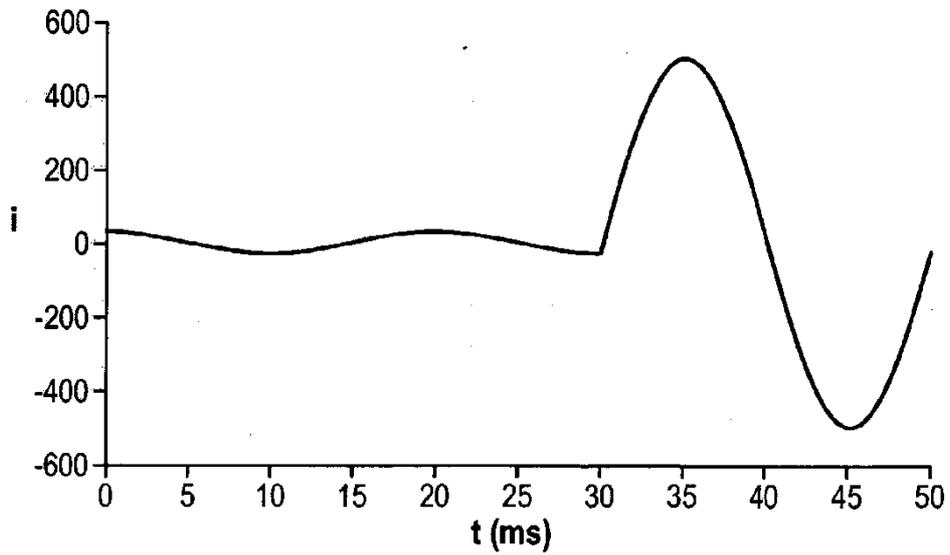


FIG. 9A

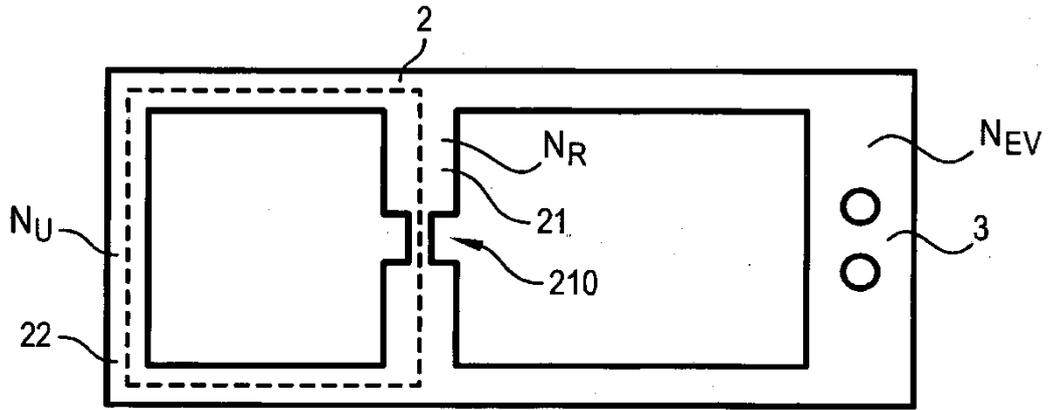


FIG. 9B

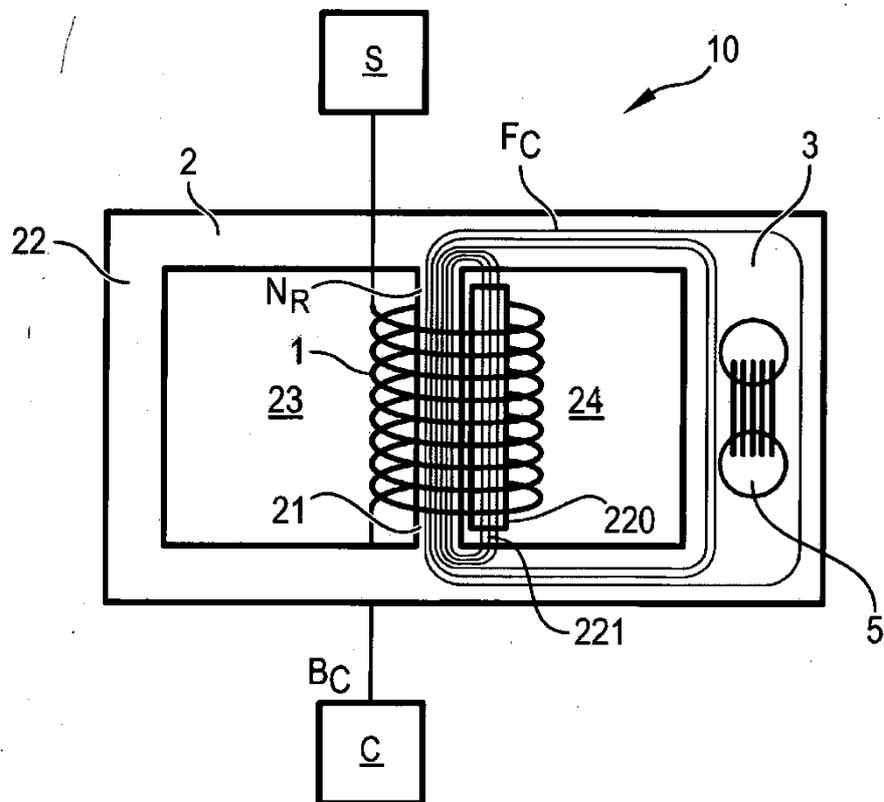


FIG. 10A

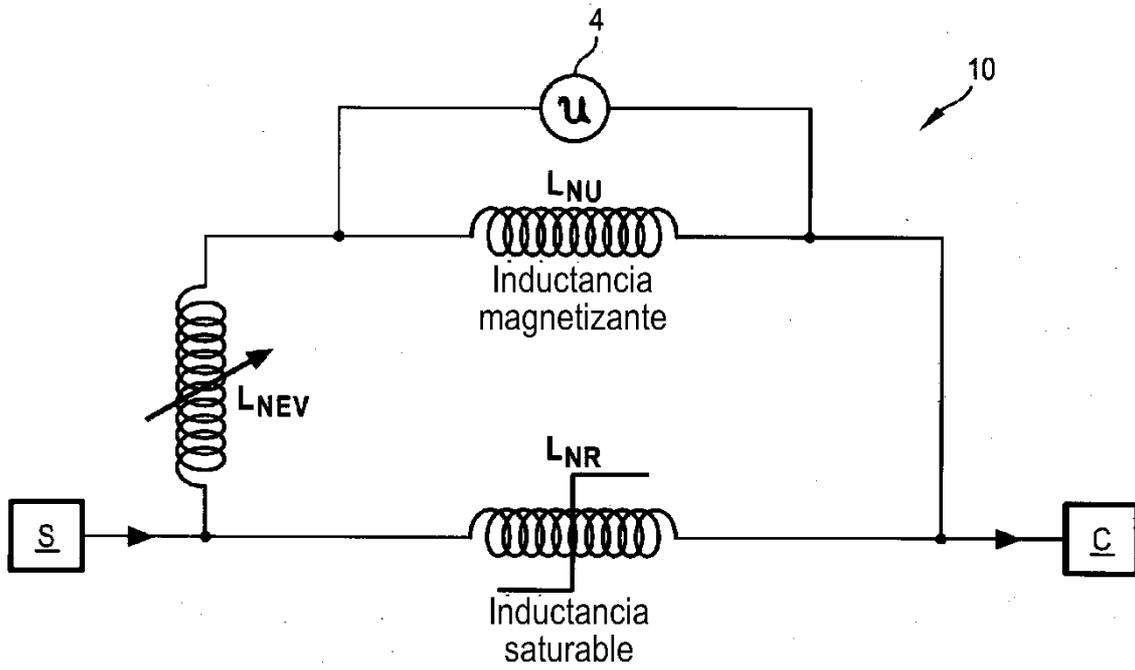


FIG. 10B

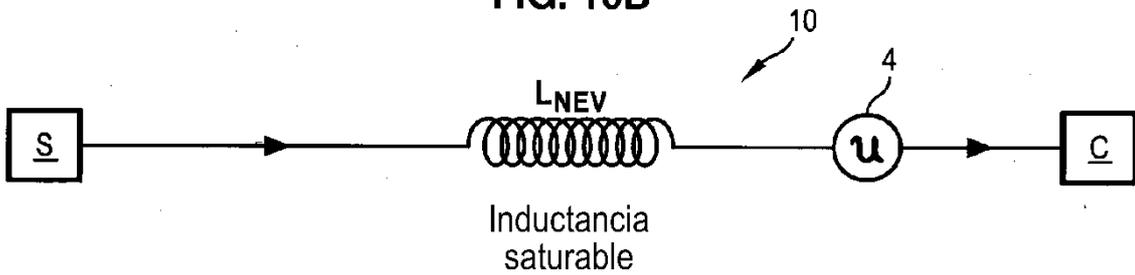


FIG. 10C

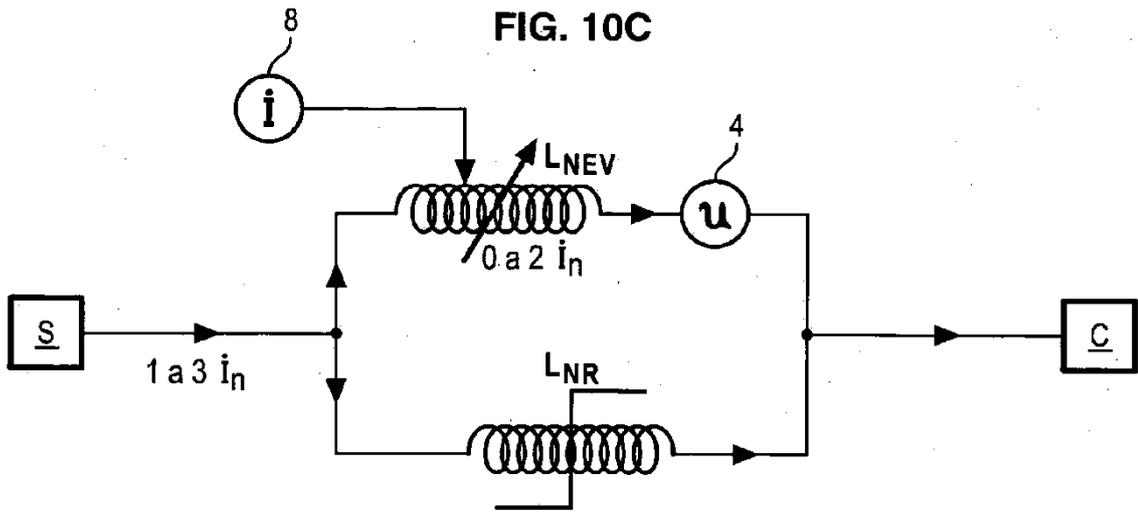


FIG. 10D

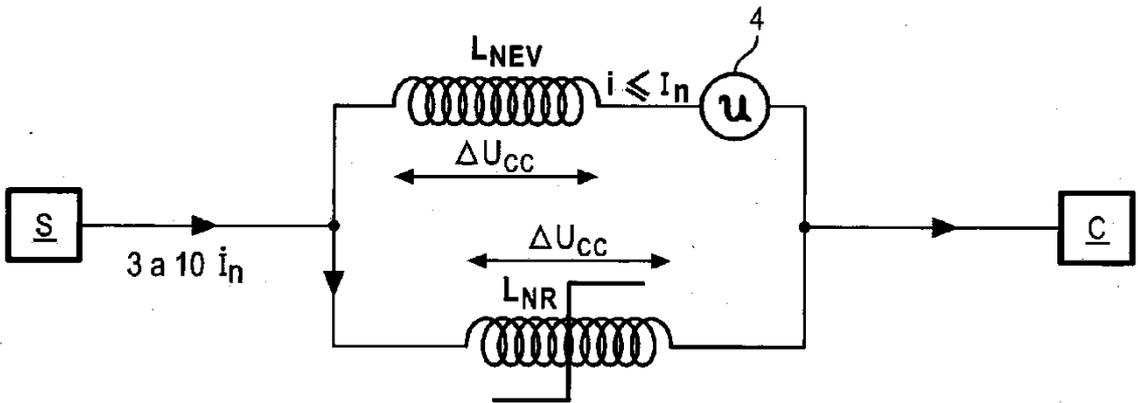


FIG. 11

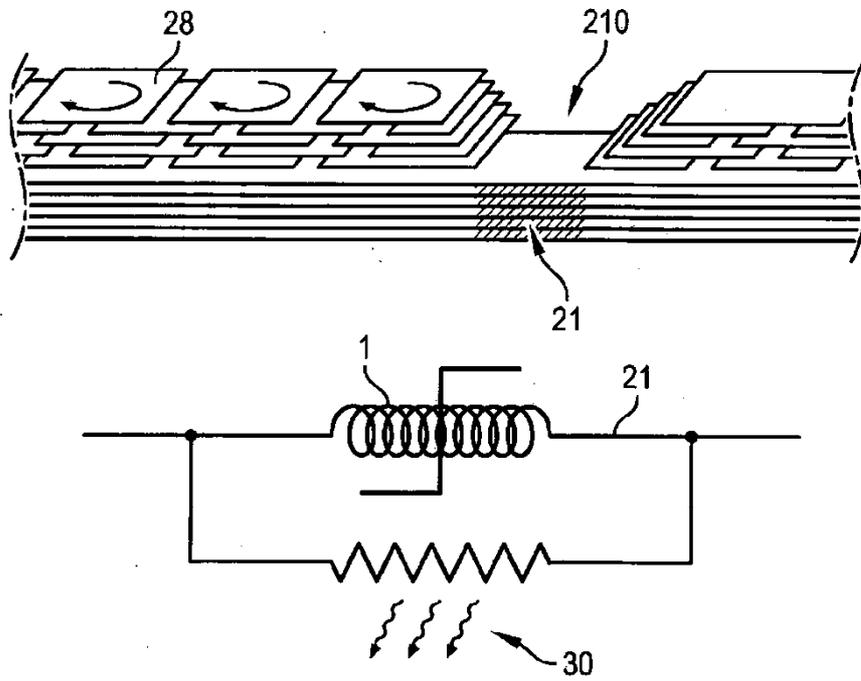


FIG. 12

