

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 852 223**

51 Int. Cl.:

H01F 3/14 (2006.01)

H01F 27/32 (2006.01)

H01F 27/28 (2006.01)

H01F 27/24 (2006.01)

C01B 13/11 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.12.2007** **E 18190644 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **16.12.2020** **EP 3425646**

54 Título: **Transformador de alta tensión**

30 Prioridad:

20.12.2006 US 876050 P

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

13.09.2021

73 Titular/es:

PRIMOZONE PRODUCTION AB (100.0%)
Terminalvägen 2
246 42 Löddeköpinge, SE

72 Inventor/es:

HANSSON, MIKAEL

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 852 223 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

Transformador de alta tensión

5 Campo de la invención

La presente invención se refiere a un transformador de alta tensión adecuado para su uso en aparatos de suministro de energía para suministrar energía eléctrica a una carga capacitiva.

10 Antecedentes de la invención

Un ejemplo de cargas capacitivas en un dispositivo de generación de ozono acoplado a un aparato de suministro de energía que genera una tensión CA a suministrar al dispositivo de generación de ozono. Tales aparatos de suministro de energía tienen una impedancia de salida inductiva y, cuando el dispositivo de generación de ozono se conecta a la salida del aparato de suministro de energía, la impedancia de salida inductiva del aparato de suministro de energía y la impedancia capacitiva del dispositivo de generación de ozono forman un circuito de resonancia que tiene una frecuencia de resonancia. Tales dispositivos de generación de ozono se accionan a frecuencias y tensiones que son suficientemente altas para producir una descarga de corona en el dispositivo de generación de ozono. Se suministra aire que contiene oxígeno (O_2) tal como aire atmosférico u oxígeno puro al dispositivo de generación de ozono, la corona convierte las moléculas de oxígeno (O_2) en el dispositivo de generación de ozono en ozono (O_3) y el aire con un contenido de ozono mejorado en comparación con el aire suministrado al dispositivo de generación de ozono se suministra desde el dispositivo de generación de ozono. La cantidad de ozono producido por el dispositivo de generación de ozono se incrementa con la tensión suministrada al mismo, y para minimizar las pérdidas en el aparato de suministro que acciona el dispositivo de generación de ozono, el aparato de suministro de energía debería funcionar en o cerca de la frecuencia de resonancia. En la práctica, sin embargo, por varios motivos la frecuencia de resonancia puede no ser constante y puede variar con el tiempo y como una función de parámetros operativos que incluyen temperatura y presión en el aire/oxígeno suministrado; intercambiar el dispositivo de generación de ozono o piezas del mismo, por ejemplo, para revisión o mantenimiento, puede cambiar la frecuencia de resonancia debido a diferencias o tolerancias en la capacitancia; y la frecuencia de resonancia también puede cambiar con la tensión a la que funciona el dispositivo de generación de ozono ya que la corona es un fenómeno no lineal. Sería ventajoso por tanto tener un aparato de suministro de energía que funcione a la frecuencia de resonancia actual del circuito de resonancia y que adapte su frecuencia de funcionamiento a la frecuencia de resonancia actual del circuito de resonancia.

Los dispositivos de generación de ozono pueden funcionar a niveles de tensión en el intervalo de varios kV, a frecuencias de varios kHz y a niveles de energía de varios kW. El aparato de suministro de energía puede tener un transformador de alta tensión con una segunda bobina de alta tensión como su salida. Cuando se diseñan transformadores de alta tensión y alta frecuencia deben ponerse consideraciones especiales en el diseño en particular de la bobina de alta tensión para evitar la formación de arco eléctrico entre enrollamientos de la bobina de alta tensión y entre los enrollamientos y otros objetos cerca de las bobinas. La propia formación de arco eléctrico puede dañar la bobina de alta tensión y otros componentes, pero la formación de arco eléctrico creará ozono que puede tener efectos no deseados en el equipo y el entorno. Por tanto, sería ventajoso tener un transformador de alta tensión con una bobina de alta tensión donde la formación de arco eléctrico entre enrollamientos de la bobina de alta tensión se reduzca o incluso se evite.

A escala comercial e industrial el ozono se produce a partir de oxígeno, O_2 , en un gas que contiene oxígeno. El gas que contiene oxígeno puede ser aire atmosférico o gas enriquecido con oxígeno. Existen métodos para extraer el oxígeno del aire atmosférico para producir gas enriquecido con oxígeno. El ozono puede producirse a partir de oxígeno principalmente mediante dos métodos, uno que comprende irradiar el oxígeno con luz ultravioleta, y el otro que comprende un dispositivo de descarga de corona. Proporcionar gas enriquecido con oxígeno y producir ozono a partir del oxígeno son procesos que consumen energía y los consumos de energía y otros recursos de los dos procesos son comparables.

En algunas aplicaciones donde se usa el ozono, se necesita una producción predeterminada o prescrita de ozono, o la producción requerida de ozono puede cambiar. Una manera simple y directa de ajustar la producción es ajustar solo la energía eléctrica del aparato de generación de ozono y dejar constante el flujo o suministro de gas que contiene oxígeno, o viceversa. Esto no está optimizado para minimizar el consumo de recursos que comprenden gas que contiene oxígeno y energía suministrada desde el aparato de suministro de energía, y la producción deseada puede no resultar posiblemente o incluso puede ser imposible de obtener.

El documento CN 2733815Y divulga un transformador para un sistema de accionamiento de tubo de lámpara de descarga. El documento US 4.766.365 divulga un transformador auto regulado con huecos de aire. Los documentos US 2002/0167388 A1, US 2004/0113739 A1 y US 6.023.214 divulgan un transformador que comprende dos núcleos de tipo E y enrollamientos provistos como trazas impresas en sustratos.

Objeto de la invención

Es un objeto de la presente invención proporcionar un transformador de alta tensión con un riesgo reducido de formación de arco eléctrico entre enrollamientos de la bobina de alta tensión y que sea adecuado para manipular tensiones en el intervalo de kV, frecuencias en el intervalo de kHz y niveles de energía en el intervalo de kW.

5 Sumario de la invención

La invención proporciona un transformador de alta tensión de acuerdo con la reivindicación 1 actual.

Los transformadores tradicionales tienen dos o más capas con varias vueltas en cada capa donde una capa exterior se enrolla alrededor de una capa interior, y las vueltas físicamente adyacentes en capas adyacentes pueden separarse eléctricamente mediante varias vueltas. Esto requiere un aislamiento muy bueno entre capas para evitar la formación de arco eléctrico entre capas. Un transformador de alta tensión de acuerdo con la invención tiene la ventaja de que la tensión máxima entre vueltas físicamente adyacentes de la bobina de alta tensión se limita a la diferencia de tensión entre dos vueltas físicamente adyacentes. Esto minimiza el riesgo de formación de arco eléctrico entre vueltas, por lo que puede esperarse una larga vida útil de la bobina. Además, la bobina de alta tensión de tal transformador puede tener una longitud corta medida a lo largo del núcleo, por lo que puede realizarse compacta y puede fabricarse con un alto grado de precisión en comparación con bobinas que se enrollan desde una longitud de alambre. La bobina puede fabricarse como una unidad, y en caso necesario toda la bobina puede intercambiarse fácilmente, y también pueden intercambiarse sustratos individuales que soportan una o más vueltas. Las bobinas pueden componerse de tantos sustratos como sea necesario de acuerdo con la aplicación actual.

Breve descripción de las figuras

La invención se describirá ahora en más detalle con respecto a las figuras adjuntas. Las figuras muestran una manera de implementar la presente invención y no deben interpretarse como limitadas a otras posibles realizaciones que entren dentro del alcance del conjunto de reivindicaciones adjuntas.

La Figura 1 muestra esquemáticamente una primera realización de un suministro de energía,

la Figura 2 ilustra la temporización de los primeros y segundos excitadores de semi-periodo en la realización en la Figura 1,

la Figura 3 es una sección transversal a través de un transformador de alta tensión usado en la realización en la Figura 1, y

las Figuras 4 y 5 muestran un sustrato que soporta una traza eléctricamente conductora para el uso en el transformador en la Figura 3.

Descripción detallada de una realización

En la Figura 1 se muestra un aparato de suministro de energía 100 con una carga 300 que tiene una impedancia de carga con un componente capacitivo C y posiblemente también un componente resistivo. La carga 300 se denomina por tanto carga capacitiva y se ilustra como un condensador. La carga 300 puede ser cualquier carga capacitiva tal como un dispositivo de generación de ozono. El aparato de suministro de energía 100 comprende un transformador 110 con una primera bobina 120 y una segunda bobina 130. La primera bobina 120 tiene una derivación central 121, que se conecta con una bobina inductiva 150 y un elemento de conmutación 151. El elemento de conmutación 151 puede funcionar con el control de un controlador 160 para abrirse y cerrarse y por tanto establecer y deshacer una conexión entre la bobina inductiva 150 y una tensión de suministro CC. Los elementos de conmutación 170 y 180 en respectivos extremos de la primera bobina 120 también funcionan con el control del controlador 160 para establecer y deshacer conexiones a tierra. Los elementos de conmutación 151, 170 y 180 son preferentemente elementos de conmutación semiconductores de estado sólido tales como transistores CMOS, SCR u otros elementos de conmutación rápidos. En algunas aplicaciones puede considerarse el uso de elementos de conmutación de tubo de vacío. La segunda bobina 130 del transformador 110 tiene una impedancia con un componente inductivo L y posiblemente también un componente resistivo R. Por tanto, la impedancia compleja Z tiene la forma de $Z = R + j\omega L$. La carga capacitiva 300 se conecta de manera desmontable a la segunda bobina 130 del transformador 110 para formar un circuito de resonancia con una frecuencia de resonancia f_r determinada por el componente capacitivo C de la carga capacitiva y el componente inductivo L de la segunda bobina 130 del transformador 110 de acuerdo con la fórmula $f_r = 1/2\pi\sqrt{LC}$. El transformador 110 también tiene una tercera bobina 140 conectada al controlador 160.

En la Figura 2 se ilustra el funcionamiento del aparato de suministro de energía 100 en la Figura 1. El circuito de resonancia formado por la carga capacitiva 300 conectada a la segunda bobina 130 del transformador 110 tiene una frecuencia de resonancia con un periodo T correspondiente. En un primer semi-periodo, el controlador 160 controla el elemento de conmutación 151 y el elemento de conmutación 170 para cerrarse, por lo que la corriente eléctrica fluye desde la fuente de tensión CC a través de la bobina inductiva 150 y a través de la derivación central 121 en la mitad superior de la primera bobina 120 y a través del elemento de conmutación 170 a tierra. La bobina inductiva 150 y la

impedancia inductiva de la primera bobina 120 del transformador 110 tienen el efecto de que esta corriente no se eleve momentáneamente sino exponencialmente hacia una asíntota superior. Tras un periodo t , el elemento de conmutación 151 se controla para abrirse, y debido a la impedancia inductiva en el circuito incluyendo la bobina inductiva 150, la corriente en la mitad superior del primer enrollamiento 120 continúa pero ahora se extrae a través del diodo 152 en lugar de desde la fuente de tensión CC. La tensión sobre el elemento de conmutación 180 disminuye en un índice determinado por la frecuencia de resonancia. Tras un medio ciclo $T/2$ de la frecuencia de resonancia, esta tensión ha disminuido a cero, los elementos de conmutación 170 y 180 se controlan para cambiar su estado por lo que el elemento de conmutación 170 se abre y el elemento de conmutación 180 se cierra, y comienza el siguiente medio ciclo. La corriente eléctrica fluye desde la fuente de tensión CC a través de la bobina inductiva 150 y a través de la derivación central 121 en la mitad inferior del primer enrollamiento 120 y a través del elemento de conmutación 180 a tierra. Tras otro periodo t , el elemento de conmutación 151 se controla para abrirse, y la corriente en la mitad inferior del primer enrollamiento 120 continúa pero ahora se extrae de nuevo a través del diodo 152 en lugar de desde la fuente de tensión CC. La tensión sobre el elemento de conmutación 170 disminuye en un índice determinado por la frecuencia de resonancia. Tras otro medio ciclo, es decir, un ciclo completo de la frecuencia de resonancia, este proceso se repite.

La frecuencia de resonancia actual determina el tiempo cuando la tensión sobre el abierto de los dos elementos de conmutación 170 y 180 es cero, lo que ocurre tras cada semi-periodo, que es cuando se realiza la conmutación de los elementos de conmutación 151, 170 y 180. Este tiempo se determina usando la tercera bobina 140 en el transformador. La bobina 140 detecta una tensión que está en fase con la tensión sobre el abierto de los dos elementos de conmutación 170 y 180, lo que significa que en particular los cruces por cero ocurren simultáneamente. Las tensiones detectadas por la tercera bobina 140 se introducen en el controlador 160 y el controlador 160 determina los cruces por cero de la tensión detectada por la tercera bobina 140, momentos en los que los elementos de conmutación se controlan tal como se ha descrito antes.

El periodo t en el que el elemento de conmutación 151 se cierra puede variar, y el elemento de conmutación 151 puede controlarse para abrirse, por ejemplo, cuando la corriente ha alcanzado un nivel predeterminado. Por tanto, por ejemplo, el valor promedio o el valor RMS de la tensión en la primera y segunda bobina pueden controlarse, y por tanto la energía suministrada a la carga puede variar. La duración máxima del periodo t en el que se cierra el elemento de conmutación 151 se determina como no más de un cuarto de un periodo T correspondiente a una frecuencia de resonancia predeterminada más alta en la que el aparato está diseñado para funcionar.

En caso de desconexión de la carga capacitiva durante el funcionamiento del aparato, la frecuencia de resonancia se incrementará, lo que podría provocar condiciones operativas no deseadas, en particular si el conmutador 151 pudiera funcionar a tales frecuencias de resonancia incrementadas. Para evitar tales condiciones, se establece una frecuencia de repetición máxima para el funcionamiento del conmutador 151. La frecuencia de repetición máxima se corresponde con la frecuencia de resonancia predeterminada más alta en la que el aparato está diseñado para funcionar o ligeramente mayor.

En caso de un cortocircuito de los terminales de la segunda bobina 130 durante el funcionamiento del aparato, también pueden surgir condiciones operativas no deseadas, en particular altas corrientes en las primeras y segundas bobinas del transformador. La abertura del elemento de conmutación 151 cuando la corriente se ha elevado hasta un nivel predeterminado limita la corriente que puede extraerse desde la segunda bobina, lo que es útil en caso de un cortocircuito de los terminales de la segunda bobina 130.

La Figura 3 muestra una realización de un transformador 500 de alta tensión adecuado para el uso en la realización de la Figura 1. El transformador 500 tiene un núcleo 501 compuesto de dos núcleos E 502 y 503 preferentemente idénticos con sus patas intermedias tocándose entre sí y de esta manera en contacto magnético entre sí. Sus patas exteriores son más cortas que las patas intermedias por lo que se forman unos huecos de aire en cada una de las patas exteriores del núcleo. Una primera bobina 510 se enrolla en una canilla 511 y se coloca alrededor de la pata intermedia. Y una segunda bobina 520 de alta tensión que comprende dos medias bobinas con una media bobina colocada a cada lado de la primera bobina 510.

La Figura 4 muestra una realización de las vueltas individuales del transformador de alta tensión en la Figura 3. Una lámina plana o sustrato 600 de un material eléctricamente aislante con una abertura central 601 soporta una traza 610 eléctricamente conductora que forma un bucle alrededor de la abertura central 601. En la porción de extremo exterior 611 la traza 610 eléctricamente conductora tiene una almohadilla conectora 612 en el mismo lado del sustrato 600 que la traza conductora 610, y en la porción de extremo interior 613 la traza 610 eléctricamente conductora tiene una almohadilla conectora 614 en el lado opuesto del sustrato 600 con una conexión pasante. La traza conductora 610 puede tener una o más vueltas alrededor de la abertura central 601.

La Figura 5 muestra otra realización de las vueltas individuales del transformador de alta tensión en la Figura 3. Una lámina plana o sustrato 700 de un material eléctricamente aislante con una abertura central 701 soporta una traza 710 eléctricamente conductora que forma un bucle alrededor de la abertura central 701. La estructura en la Figura 7 es una imagen de espejo de la estructura en la Figura 6, excepto que en la porción de extremo exterior 711 la traza 710 eléctricamente conductora tiene una almohadilla conectora 712 en el lado opuesto del sustrato 700 con una conexión

pasante, y en la porción de extremo interior 713 la traza 710 eléctricamente conductora tiene una almohadilla conectora 714 en el mismo lado del sustrato 700 que la traza conductora 710. La traza conductora 710 puede tener una o más vueltas alrededor de la abertura central 701.

En la Figura 3, cada una de las medias bobinas de la bobina 510 de alta tensión se compone apilando sustratos alternativos 600 y 700. Cuando un sustrato 600 se coloca sobre un primer sustrato 700 en una disposición superpuesta, la almohadilla 614 estará justo sobre la almohadilla 714, y las dos almohadillas 614 y 714 pueden conectarse eléctricamente, por ejemplo, mediante soldadura. Las trazas 610 y 710 así interconectadas en sus respectivos sustratos formarán por tanto dos vueltas o bucles alrededor de las aberturas centrales. Un segundo sustrato 700 puede colocarse entonces sobre el sustrato 600 con la almohadilla 712 justo sobre la almohadilla 612, y las dos almohadillas 612 y 712 pueden conectarse eléctricamente de la misma manera para formar una bobina con tres vueltas. De esta manera, varios sustratos 600 y 700 pueden apilarse alternativamente para formar una bobina con cualquier número deseado de vueltas. La bobina 520 de alta tensión del transformador 500 comprende dos medias bobinas que se hacen de esta manera. En la Figura 3, la bobina 520 de alta tensión con sus sustratos así apilados se ve desde el borde de los sustratos.

La distancia desde las trazas 610 y 710 eléctricamente conductoras hasta el borde del sustrato debería ser suficientemente grande para evitar la formación de arco eléctrico entre trazas en sustratos adyacentes. Tal como se ha mencionado, en una realización el aparato de generación de ozono antes descrito funcionará a frecuencias por encima del intervalo audible para los humanos, por ejemplo, en el intervalo de frecuencia de 15-25 kHz. Esto también tiene el efecto de que el tamaño del núcleo del transformador puede reducirse en comparación con el tamaño requerido a frecuencias menores.

Para fines de alta frecuencia se usa un alambre Litz para la primera bobina 510. El alambre Litz consiste en un número de hebras de alambre aisladas que pueden retorcerse o tejerse entre sí. A frecuencias altas, la corriente eléctrica fluirá en una capa de superficie de un espesor que disminuye con una frecuencia creciente, este es el llamado efecto revestimiento. A 20 kHz la profundidad del revestimiento es aproximadamente 0,5 mm en cobre. En los huecos de aire en las patas exteriores del transformador, el campo magnético aislado puede influenciar la primera bobina 510. El uso del alambre Litz reduce las corrientes inducidas en la primera bobina 510.

Para fines de alta frecuencia puede usarse un núcleo de transformador laminado o un núcleo de ferrita para reducir o eliminar corrientes inducidas en el núcleo.

El núcleo 502, 503 tiene huecos de aire en las patas exteriores. Tal transformador es particularmente útil para suministrar cargas que exhiben resistencia negativa, tal como dispositivos de descarga de corona usados para la producción de ozono en un aparato. En los huecos de aire existirá un campo magnético aislado y hay una distancia desde la primera bobina 510 hasta los huecos de aire, y dos medias bobinas de la segunda bobina se mantienen separadas para que los enrollamientos se mantengan fuera del campo aislado. A frecuencias mayores que el intervalo audible por los humanos y niveles de energía de varios kW como los que se manejan en el aparato de la invención, el campo magnético disiparía una energía considerable en todas las piezas metálicas sometidas al campo aislado, y es por tanto importante mantener el campo aislado y todos los componentes metálicos separados. Esta disposición asegura esto último.

En algunas aplicaciones donde se usa ozono se necesita o se prescribe una producción predeterminada de ozono, o la producción requerida de ozono puede cambiar. En una realización, cada uno del flujo de gas que contiene oxígeno y la energía suministrada desde el aparato de suministro de energía al dispositivo de generación de ozono se controlan para obtener una producción predeterminada de ozono desde el dispositivo de generación de ozono y para minimizar el consumo de recursos que comprenden gas que contiene oxígeno y energía suministrada desde el aparato de suministro de energía. El control puede basarse en un modelo matemático del aparato y del proceso incluyendo datos teóricos y experimentales y puede incluir también mediciones reales de parámetros relevantes para el uso, por ejemplo, en un sistema de control de realimentación.

Aunque la presente invención se ha descrito en relación con las realizaciones especificadas, no debería interpretarse como limitada de ninguna manera a los ejemplos presentados. El alcance de la presente invención se expone mediante el conjunto de reivindicaciones adjunto. En el contexto de las reivindicaciones, los términos “comprendiendo” o “comprende” no excluyen otros elementos o etapas posibles. Además, la mención de referencias tales como “un” o “una” etc., no deberían interpretarse como la exclusión de una pluralidad. El uso de signos de referencia en las reivindicaciones con respecto a elementos indicados en las figuras tampoco se interpretará como una limitación del alcance de la invención.

REIVINDICACIONES

1. Un transformador (500) de alta tensión que comprende

- 5 - un núcleo (501),
 - una bobina (510) de tensión baja en el núcleo (501), y
 - una bobina (520) de tensión alta en el núcleo (501),
 en donde el núcleo (501) comprende un par de núcleos E que forman una pata central y dos patas exteriores, cada
10 pata exterior con un hueco de aire entre patas opuestas de los núcleos E para formar un campo magnético aislado,
 con la bobina (510) de tensión baja y la bobina (520) de tensión alta en la pata central y comprendiendo la bobina
 (520) de tensión alta dos medias bobinas, en donde la bobina (510) de tensión baja se coloca entre las dos medias
 bobinas, y en donde existe una distancia desde la bobina (510) de tensión baja a los huecos de aire, y las dos
15 medias bobinas de la bobina (520) de tensión alta se mantienen separadas de modo que los enrollamientos se
 mantienen fuera del campo magnético aislado, caracterizado por que la bobina (520) de tensión alta tiene una
 pluralidad de sustratos de soporte (600, 700) aislantes en una disposición superpuesta, soportando cada sustrato
 de soporte (600, 700) una traza (610, 710) eléctricamente conductora con porciones terminales (611, 613, 711,
 713), formando la traza una o más vueltas alrededor del núcleo (510), y una primera almohadilla conectora (612,
 714) que conecta una respectiva porción terminal (611, 713) de la traza (610, 710) en el sustrato (600, 700) con
20 una respectiva porción terminal (711, 613) de la traza (710, 610) en un sustrato superpuesto (700, 600) de la
 pluralidad de sustratos de soporte (600, 700) aislantes en donde cada sustrato de soporte (600, 700) soporta su
 traza conductora (610, 710) en una superficie de sustrato y una segunda almohadilla conectora (614, 712) está en
 la superficie de sustrato opuesta con una conexión eléctrica a través del sustrato (600, 700) que conecta la segunda
 almohadilla conectora (614, 712) con una respectiva porción terminal (613, 711) de la traza conductora (610, 710).
25 2. Un transformador (500) de acuerdo con la reivindicación 1, en donde la bobina (510) de tensión baja comprende un
 alambre Litz.

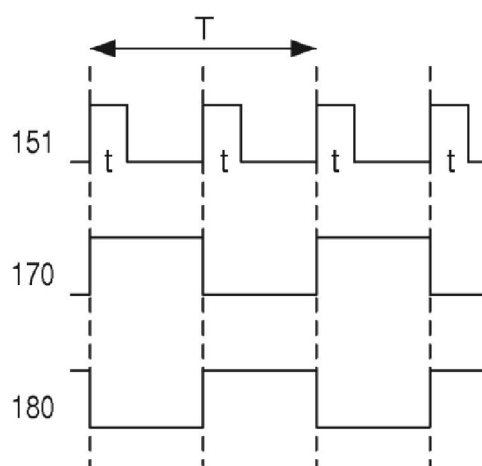
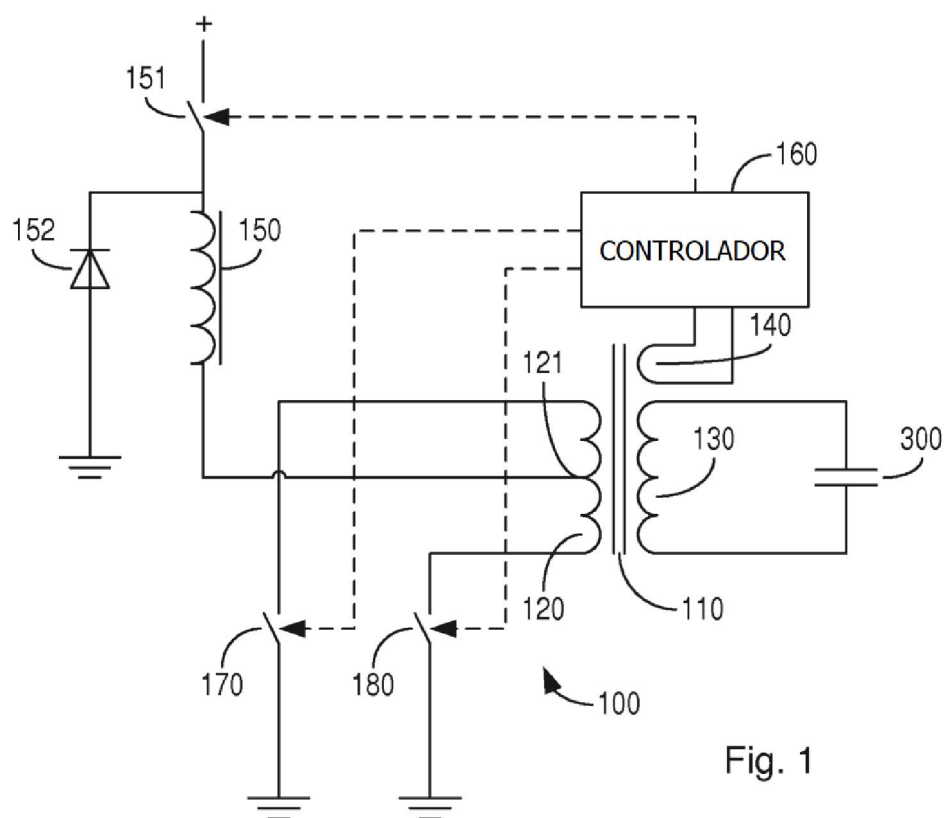


Fig. 2

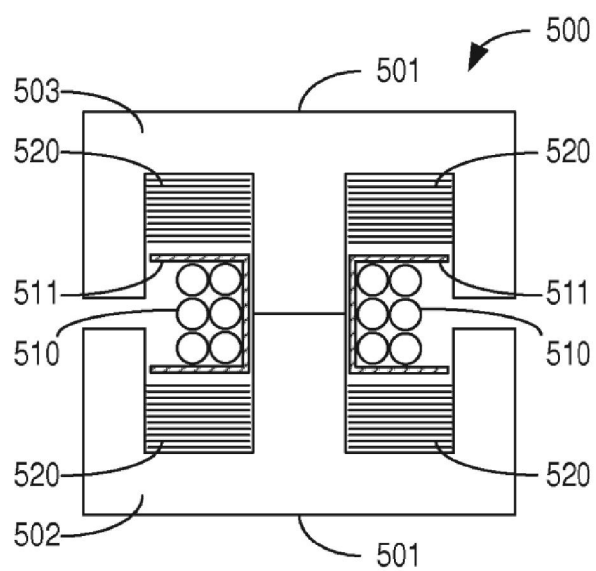


Fig. 3

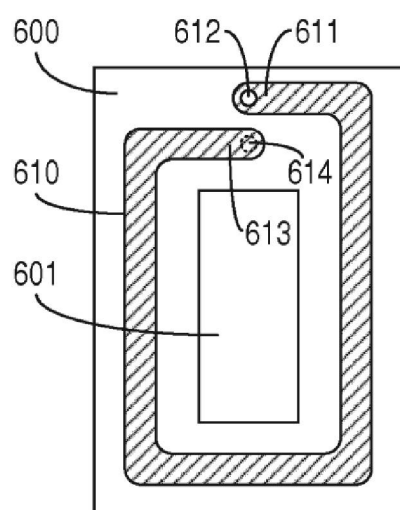


Fig. 4

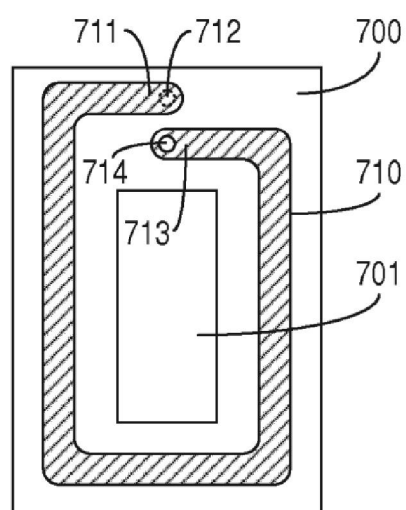


Fig. 5