(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 704 293**

(51) Int. CI.:

H01F 27/32 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.07.2017 E 17181119 (3)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.10.2018 EP 3273454**

(54) Título: **Transformador eléctrico que comporta un material aislante, y procedimiento de fabricación de un tal transformador**

(30) Prioridad:

22.07.2016 FR 1657075

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.03.2019

(73) Titular/es:

ALSTOM TRANSPORT TECHNOLOGIES (100.0%)
48 rue Albert Dhalenne
93400 Saint-Ouen, FR

(72) Inventor/es:

RIGAUD, CÉLINE y
CHAUCHAT, BERTRAND

(74) Agente/Representante:

SALVÀ FERRER, Joan

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 eléctrico que comporta un material aislante, y procedimiento de fabricación de un tal transformador

[0001] La presente invención se refiere a un transformador eléctrico del tipo que comporta:

- un núcleo magnético;
- una primera bobina enrollada alrededor del núcleo magnético y que recibe en su entrada una corriente alterna de entrada;
- una segunda bobina enrollada alrededor del núcleo magnético y que proporciona en su salida una corriente alterna de salida;
- un espacio de recepción definido entre la primera y la segunda bobina;
- un material aislante vertido en el interior del espacio de recepción para aislar eléctricamente la primera bobina de la segunda bobina.

[0002] La presente invención se refiere asimismo a un procedimiento de fabricación de un tal transformador.

[0003] En la descripción que sigue, se llama «devanado primario» a la primera bobina y «devanado secundario» a la segunda bobina.

[0004] Por el documento EP2782435 se conoce un transformador del tipo mencionado. Un tal transformador se utiliza frecuentemente como transformador seco de distribución o de potencia, en un ambiente interior. En este tipo de transformador, el material aislante es una resina dopada.

[0005] Un tal material aislante es apto en concreto para permitir un aislamiento dieléctrico eficaz entre el devanado primario y el devanado secundario del transformador. Dada su excelente resistencia al fuego, confiere además al transformador una protección mayor contra un riesgo de incendio. Permite asimismo al transformador estar protegido eficazmente contra las agresiones debidas a una atmósfera industrial, como polvos o agentes químicos por ejemplo.

[0006] Sin embargo, cuando un tal transformador se utiliza en un ambiente exterior y/o en condiciones térmicas extremas, está sometido a fenómenos de vibración o de dilatación más importantes que en un ambiente interior. Estos fenómenos generan tensiones mecánicas fuertes en la interfaz entre los devanados y el material aislante. La resina empleada en el material aislante es entonces susceptible de fisurarse en esta interfaz. Tales fisuras son perjudiciales para el buen funcionamiento del transformador, porque pueden aparecer fallos de aislamiento eléctrico. Además, la eficacia del enfriamiento de un tal transformador no es óptima, ya que el intercambio térmico entre el transformador y el ambiente exterior está limitado por la naturaleza del material aislante empleado, en este caso la resina. Por ello, es posible que aparezcan puntos de calentamiento locales en la superficie exterior del transformador y que generen una degradación de la resina epoxidada.

[0007] El objeto de la invención es paliar estos inconvenientes proponiendo un transformador eléctrico que permita evitar la aparición de fisuras en el material aislante y mejorar el intercambio térmico con el ambiente exterior.

[0008] Para ello, la invención tiene por objeto un transformador eléctrico y un procedimiento de fabricación de un tal transformador eléctrico según las reivindicaciones 1 a 11 y 12, 13 respectivamente.

[0009] Las características y ventajas de la invención aparecerán con la lectura de la descripción que sigue, dada únicamente a título de ejemplo, y en referencia a los dibujos adjuntos en los que:

- la figura 1 es una vista esquemática de un transformador eléctrico según la invención;
- la figura 2 es una vista en corte transversal del transformador eléctrico de la figura 1;
- la figura 3 es una vista en perspectiva del transformador eléctrico de la figura 1; y
- la figura 4 es un organigrama que representa un procedimiento de fabricación de un transformador eléctrico según la invención.

[0010] La figura 1 representa un transformador eléctrico 10 de una corriente alterna monofásica de entrada en una corriente alterna monofásica de salida. En el ejemplo de realización, el transformador 10 está unido por un lado a un convertidor de corriente 12, que proporciona la corriente alterna monofásica de entrada, y por otro lado a un convertidor de tensión 14, que recibe la corriente alterna monofásica de salida. En el ejemplo de realización, el

transformador 10 es un transformador seco de tracción, para un vehículo ferroviario. El transformador 10 presenta una potencia eléctrica de valor, por ejemplo, sensiblemente igual a 290 kVA.

[0011] El convertidor de corriente 12 está, por ejemplo, instalado debajo de la caja del vehículo ferroviario y es apto para estar unido a una catenaria 15, emitiendo una corriente y presentando una alta tensión de valor, por ejemplo, igual a 25 kV y una frecuencia de valor, por ejemplo, igual a 50 Hz. La tensión de la corriente alterna monofásica de entrada emitida por el convertidor 12 presenta un valor por ejemplo sensiblemente igual a 25 kV.

[0012] El convertidor de tensión 14 está, por ejemplo, asimismo instalado debajo de la caja del vehículo ferroviario y es apto para estar conectado a un motor eléctrico, instalado en el vehículo ferroviario. La corriente alterna monofásica de salida emitida por el transformador 10 presenta una baja tensión de valor, por ejemplo, comprendido entre 3 kV y 5 kV, típicamente del orden de 3,6 kV.

[0013] El transformador 10 comporta un núcleo magnético 16, un devanado primario 18 y un devanado secundario 20, acoplado magnéticamente al devanado primario 18. El devanado primario 18 está unido al convertidor de corriente 12 y recibe en una entrada la corriente alterna monofásica de entrada. El devanado secundario 20 está unido al convertidor de corriente 14, y suministra en una salida la corriente alterna monofásica de salida.

[0014] En el ejemplo de realización de la figura 2, el núcleo magnético 16 tiene forma tórica alargada. No está conectado a ningún potencial eléctrico y está formado clásicamente por un apilamiento de toros cilíndricos recubierto por un grosor de tejido de vidrio. Cada toro cilíndrico está clásicamente formado por un apilamiento de chapas magnéticas laminadas. El núcleo magnético 16 presenta una altura por ejemplo sensiblemente igual a 30 cm, un diámetro interno, por ejemplo, sensiblemente igual a 10 cm y un diámetro externo, por ejemplo, sensiblemente igual a 19 cm.

[0015] El devanado primario 18 está por ejemplo constituido, como se conoce, por un hilo de cobre aislado, enrollado alrededor del núcleo magnético 16. En una variante, el devanado primario 18 está formado por bandas de un metal conductor, por ejemplo de cobre, y las bandas están enrolladas alrededor del núcleo magnético 16.

[0016] El devanado secundario 20 está clásicamente constituido por un hilo de cobre aislado, enrollado a distancia alrededor del devanado primario 18.

[0017] En una variante, el núcleo magnético 16 está conectado a una masa eléctrica. El devanado primario 18 está entonces enrollado a distancia alrededor del núcleo magnético 16 y está separado del núcleo magnético 16 por una capa de material aislante 30.

[0018] Como se ilustra en la figura 2, el transformador 10 comporta además un espacio de recepción 22, definido por el espacio situado entre el devanado primario 18 y el devanado secundario 20. El transformador 10 comporta asimismo una primera capa 26 y una segunda capa 28 de un material aislante 30.

[0019] La primera capa 26 está formada por un material aislante 30 vertido en el interior del espacio de recepción 22. Dicho de otra manera, el devanado secundario 20 está separado del devanado primario por la primera capa 26 de material aislante. En el ejemplo de realización, la primera capa 26 presenta la forma de un toro hueco alargado con un grosor de preferencia comprendido entre 12 mm y 14 mm, por ejemplo sensiblemente igual a 13 mm. El devanado secundario 20 está ventajosamente enrollado en la superficie exterior de la primera capa 26 de material aislante.

[0020] Ventajosamente, la segunda capa 28 está formada por un material aislante 30 vertido alrededor de todo el devanado secundario 20. Dicho de otra manera, la segunda capa 28 de material aislante forma un revestimiento apto para aislar eléctricamente el devanado secundario 20 del exterior del transformador 10. En el ejemplo de realización, la segunda capa 28 presenta la forma de un toro hueco alargado con un grosor de preferencia sensiblemente igual a 5 mm. Como se ilustra en la figura 3, el toro 28 define en su centro un conducto cilíndrico vacío.

[0021] En una variante de realización no representada, una tercera capa de material aislante 30 está vertida en el interior del conducto eléctrico definido por el toro 28.

[0022] En otra variante de realización, no representada, la disposición espacial de los devanados primario 18 y secundario 20 está invertida. Más concretamente, el devanado primario 18 está enrollado alrededor del devanado secundario 20, a su vez enrollado alrededor del núcleo magnético 16. Según esta variante de realización, la segunda capa 28 de material aislante presenta la forma de un toro hueco alargado con un grosor comprendido entre 12 mm y 14 mm, por ejemplo sensiblemente igual a 13 mm.

[0023] El material aislante 30 está formado por una mezcla solidificada que comporta silicona, en forma de una resina, y partículas de alúmina. La mezcla solidificada 30 se obtiene a partir de la mezcla entre un primer compuesto líquido y un segundo compuesto líquido, los compuestos líquidos son aptos para reaccionar, desde su entrada en contacto, según un procedimiento de vulcanización. El primer compuesto líquido comporta un primer reactivo a base de silicio y las partículas de alúmina. El segundo compuesto líquido comporta un segundo reactivo a base de silicio y un catalizador, que comporta, por ejemplo, platino en forma sólida. La mezcla solidificada 30 presenta una resistencia a la tracción por ejemplo igual a 2 N/mm^2, un alargamiento de rotura, por ejemplo, igual al 20 %, y una permitividad por ejemplo igual a 5. El conjunto de las partículas de alúmina presenta un volumen de preferencia sensiblemente igual a 0,5 veces el volumen de la mezcla líquida y una masa de preferencia sensiblemente igual a 0,8 veces la masa de la mezcla líquida. Cada partícula de alúmina presenta un diámetro de preferencia comprendido entre 10 µm y 100 µm. En una variante, la resina de silicona está sustituida por cualquier elastómero a base de silicio.

[0024] La figura 3 se presenta para permitir hacerse una mejor idea de la apariencia general que toma el transformador eléctrico 10 según la invención. En esta figura, el devanado secundario 20 y la primera capa 26 de material aislante están representados por una línea continua. La segunda capa 28 de material aislante está representada por una línea mixta. El plano II corresponde al plano de corte según el cual el transformador eléctrico 10 está representado en la figura 2. Las conexiones eléctricas del transformador 10 no está representadas en la figura 3.

[0025] El funcionamiento del transformador 10 se va a explicar a continuación.

[0026] Cuando se utiliza en un ambiente exterior por ejemplo, el transformador 10 sufre tensiones mecánicas fuertes en la interfaz entre el material aislante 30 y los devanados primario 18 y secundario 20. Las propiedades elásticas de la silicona confieren al material aislante 30 una flexibilidad mayor de forma que este no se fisura bajo el efecto de las tensiones mecánicas.

[0027] Además, a causa de la adición de las partículas de alúmina en el material silicona, el material aislante 30 presenta una conductividad térmica importante, en concreto superior a 1 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Por otro lado, a causa de esta conductividad térmica importante del material aislante 30, las capas 26, 28 del material aislante permiten mejorar el intercambio térmico entre el transformador 10 y el exterior. Las capas 26, 28 de material aislante permiten asimismo escalonar las pérdidas térmicas de forma que no generen localmente, en la superficie del transformador 10, puntos de muy alta temperatura.

[0028] Se entiende así que, según la invención, el transformador eléctrico permite evitar la aparición de fisuras en el material aislante y mejorar el intercambio térmico con el ambiente exterior.

[0029] La figura 4 ilustra un procedimiento de fabricación de un transformador eléctrico 10.

[0030] Durante una etapa 40 inicial, un operario enrolla el devanado primario 18 alrededor del núcleo magnético 16.

[0031] Durante una etapa 42 siguiente, el operario dispone un primer molde hueco de forma tórica alrededor del devanado primario 18. El interior del primer molde hueco define el espacio de recepción 22. El operario vierte entonces los dos compuestos líquidos en el interior del primer molde hueco, en proporciones por ejemplo sensiblemente iguales.

[0032] Durante una etapa 44 siguiente, la mezcla líquida se endurece a temperatura ambiente, en el interior del primer molde hueco, formando así la mezcla solidificada 30. La duración de esta etapa de endurecimiento es por ejemplo del orden de 48 horas. Una vez endurecido, el material aislante 30 forma la primera capa 26 de material aislante. El operario retira entonces el primer molde hueco.

[0033] Durante una etapa 46 siguiente, el operario enrolla el devanado secundario 20 alrededor de la primera capa 26. Dicho de otra manera, el devanado secundario 20 está enrollado a la vez alrededor de la primera capa 26

de material aislante y alrededor del devanado primario 18.

[0034] Durante una etapa 48 siguiente, el operario dispone un segundo molde hueco de forma tórica alrededor del devanado secundario 20. El operario vierte entonces los dos compuestos líquidos en el interior del segundo molde hueco.

[0035] Durante una etapa 50 siguiente, la mezcla líquida se endurece a temperatura ambiente, en el interior del segundo molde hueco, formando así la mezcla solidificada 30. Una vez endurecido, el material aislante 30 forma la segunda capa 28 de material aislante. La duración de esta etapa de endurecimiento es, por ejemplo, del orden de 48 horas. El operario retira entonces el segundo molde hueco. Como se conoce, el operario procede entonces a las diferentes conexiones eléctricas, y se obtiene el transformador 10.

[0036] Hay que señalar que en una variante una fuente de calor se coloca a proximidad de los moldes huecos durante las etapas 44, 50 de endurecimiento de la mezcla líquida, reduciendo así la duración del endurecimiento.

[0037] Este procedimiento de fabricación según la invención presenta la ventaja de simplificar las operaciones de vertido y moldeo. De hecho, las etapas 40 y 46 de enrollado están separadas por la etapa 42 de vertido, y la fabricación del transformador eléctrico se realiza así por constitución de bloques concéntricos sucesivos. Este procedimiento permite asimismo liberarse del uso de tubos de sostén. Tales tubos están dispuestos para sostener el devanado secundario, una vez que este se haya enrollado alrededor del devanado primario, durante la fabricación de transformadores eléctricos según procedimientos de fabricación de la técnica anterior. Sin embargo, durante la puesta en servicio de tales transformadores, hay fenómenos de conducción de corriente que son susceptibles de aparecer en la superficie de tales tubos, causando así un deterioro de las capacidades de aislamiento dieléctrico del material aislante.

[0038] El experto en la materia comprenderá que la invención se aplica de la misma manera a cualquier tipo de transformador eléctrico que comprenda un núcleo magnético, un devanado primario y un devanado secundario, por ejemplo, un transformador de distribución o un transformador de potencia, independientemente de su configuración geométrica y de sus características eléctricas. En particular, la invención se aplica de la misma manera a un transformador eléctrico de una corriente alterna polifásica en una corriente alterna polifásica.

REIVINDICACIONES

1. Transformador eléctrico (10), del tipo que comporta:

- un núcleo magnético (16);
- una primera bobina (18) enrollada alrededor del núcleo magnético (16) y que recibe en su entrada una corriente alterna de entrada;
- una segunda bobina (20) enrollada alrededor del núcleo magnético (16) y que suministra en su salida una corriente alterna de salida;
- un espacio de recepción (22) definido entre la primera (18) y la segunda (20) bobina;
- un material aislante (30) vertido en el interior del espacio de recepción (22) para aislar eléctricamente la primera bobina (18) de la segunda bobina (20);

caracterizado porque el material aislante (30) comporta un elastómero a base de silicio, que contiene una pluralidad de partículas de alúmina.

2. Transformador eléctrico (10) según la reivindicación 1, **caracterizado porque** dicho elastómero a base de silicio es una silicona, que se presenta en forma de una resina.

3. Transformador eléctrico (10) según la reivindicación 2, **caracterizado porque** la resina de silicona presenta una resistencia a la tracción de preferencia comprendida entre 0,5 N/mm^2 y 5 N/mm^2, de preferencia sensiblemente igual a 2 N/mm^2.

4. Transformador eléctrico (10) según una de las reivindicaciones 1 a 3, **caracterizado porque** la pluralidad de partículas de alúmina presenta un porcentaje en volumen de material aislante de preferencia comprendido entre 0,3 y 0,7, de preferencia sensiblemente igual a 0,5 y una fracción másica de material aislante de preferencia comprendida entre 0,5 y 0,9, de preferencia sensiblemente igual a 0,8.

5. Transformador eléctrico (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** cada partícula de alúmina presenta un diámetro de preferencia comprendido entre 10 µm y 100 µm.

6. Transformador eléctrico (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el núcleo magnético (16) tiene de forma tórica.

7. Transformador eléctrico (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la tensión de la corriente alterna de entrada en la primera bobina (18) es de preferencia sensiblemente igual a 25 kV.

8. Transformador eléctrico (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la tensión de la corriente alterna de salida en la segunda bobina (20) está de preferencia comprendida entre 3 kV y 5 kV, de preferencia igual a 3,6 kV.

9. Transformador eléctrico (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la segunda bobina (20) está enrollada alrededor del material aislante (30) y de la primera bobina (18).

10. Transformador eléctrico (10) según la reivindicación 9, **caracterizado porque** el material aislante (30) está igualmente vertido alrededor de la segunda bobina (20), formando una capa (28) de revestimiento apta para aislar eléctricamente la segunda bobina (20) del exterior del transformador (10).

11. Transformador eléctrico (10) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el transformador (10) es un transformador de tracción de un vehículo ferroviario.

12. Procedimiento de fabricación de un transformador eléctrico (10) según una de las reivindicaciones 1 a 11, en el que el procedimiento comprende una etapa (40) de enrollado de la primera bobina (18) alrededor del núcleo magnético (16) y una etapa (42) de vertido del material aislante (30) en el interior del espacio de recepción (22) para aislar eléctricamente la primera bobina (18) de la segunda bobina (20), y las etapas siguientes:

- - el endurecimiento (44) del material aislante (30) en el interior del espacio de recepción (22), y
- - el enrollado (46) de la segunda bobina (20) alrededor del material aislante (30) y de la primera bobina (18).

13. Procedimiento según la reivindicación 12, donde comprende, además, las siguientes etapas:

- el vertido (48) del material aislante (30) alrededor de la segunda bobina (20); y
- el endurecimiento (50) del material aislante (30) alrededor de la segunda bobina (20), el material aislante (30) endurecido alrededor de la segunda bobina (20) forma así una capa (28) de revestimiento apta para aislar eléctricamente la segunda bobina (20) del exterior del transformador (10).

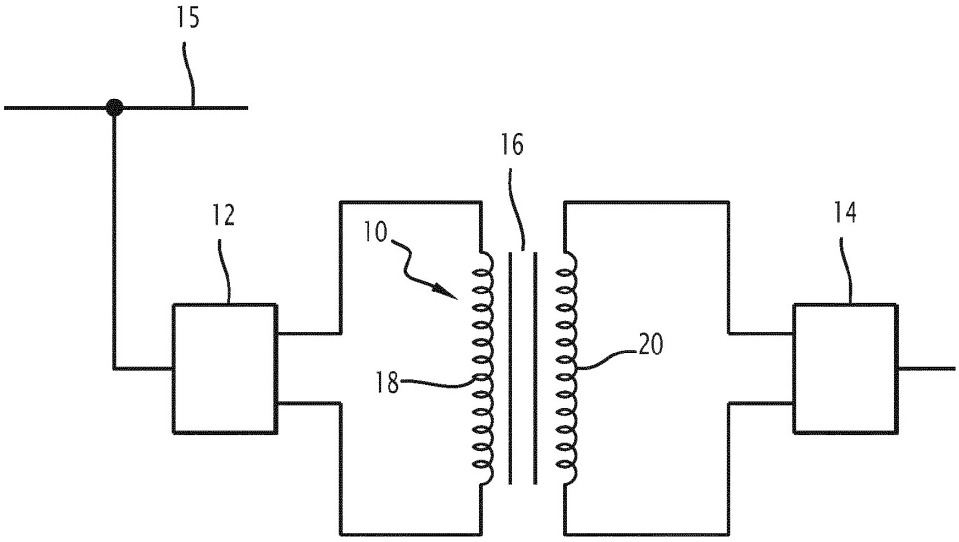

FIG.1

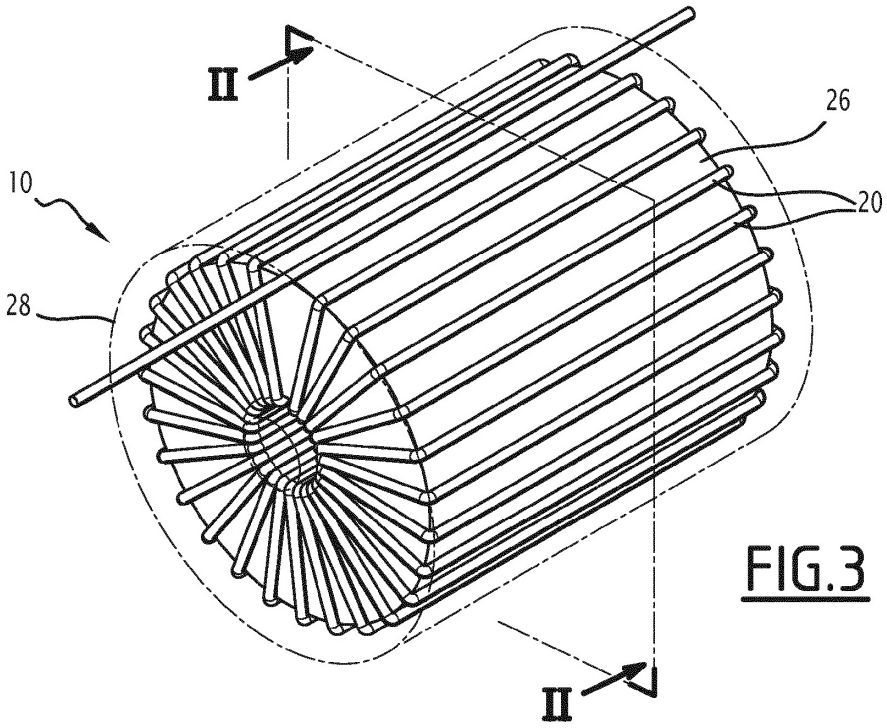

FIG.3

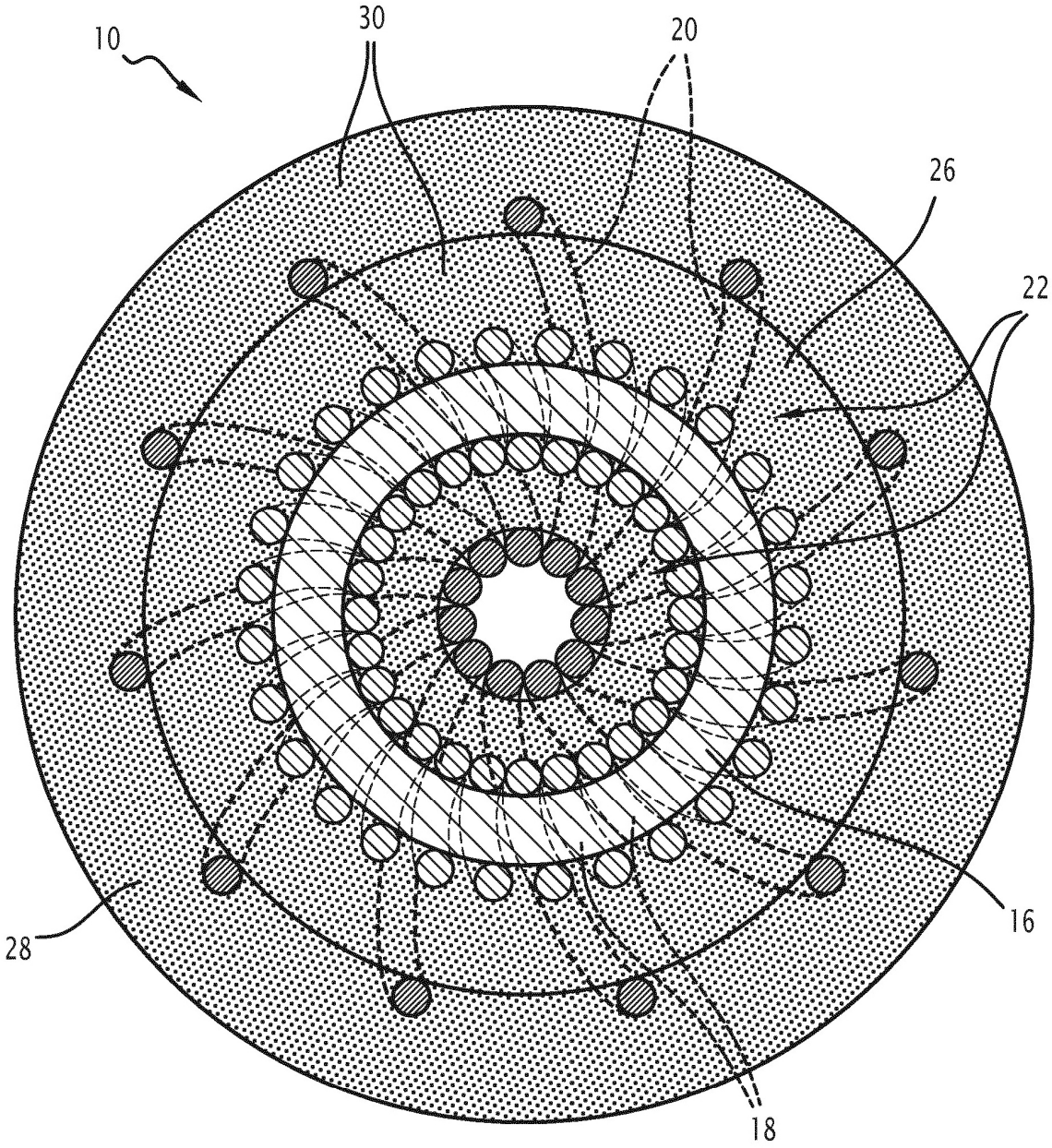

FIG.2

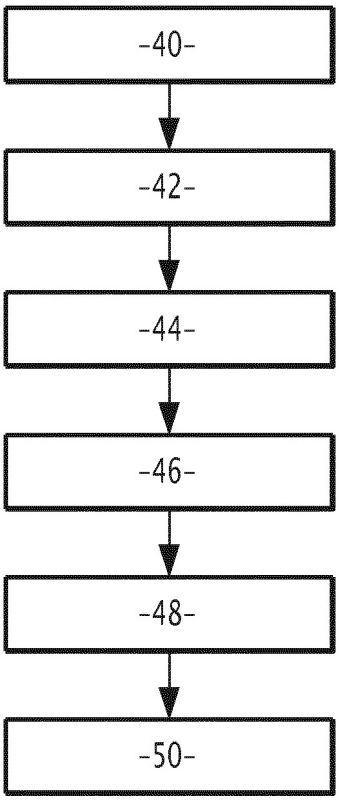

FIG.4