

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 792 028**

51 Int. Cl.:

**H02K 9/22** (2006.01)

**H02K 3/26** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.09.2016 PCT/US2016/054704**

87 Fecha y número de publicación internacional: **06.04.2017 WO17059213**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.09.2016 E 16784315 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.03.2020 EP 3357147**

54 Título: **Estructuras y métodos para gestión térmica en estatores de placa de circuito impreso**

30 Prioridad:

**02.10.2015 US 201562236422 P**

**02.10.2015 US 201562236407 P**

**30.06.2016 US 201615199527**

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

**06.11.2020**

73 Titular/es:

**E-CIRCUIT MOTORS, INC. (100.0%)**

**One Gateway Center, Suite 359**

**Newton, MA 02458, US**

72 Inventor/es:

**SHAW, STEVEN, ROBERT**

74 Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

ES 2 792 028 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**

Estructuras y métodos para gestión térmica en estatores de placa de circuito impreso

Referencia cruzada a solicitudes relacionadas

5 La presente divulgación está relacionada y reivindica prioridad a la Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. 62/236,407, titulada STRUCTURES FOR THERMAL MANAGEMENT IN PRINTED CIRCUIT BOARD STATORS, y a la Solicitud de Patente Provisional de los Estados Unidos No. 62/236,422, titulada STRUCTURES FOR THERMAL MANAGEMENT IN PRINTED CIRCUIT BOARD STATORS, ambas de Steven R. Shaw, presentadas el 2 de octubre, 2015.

Antecedentes

10 Campo de divulgación

Realizaciones descritas en este documento en general están relacionadas con el campo de gestión térmica en dispositivos de placa de circuito impreso. Más específicamente, realizaciones como se divulgan en este documento están relacionadas con el campo de gestión térmica en estatores hechos en placas de circuito impreso para motores y generadores eléctricos.

15 Técnica relacionada

20 Los motores eléctricos actuales y otros dispositivos eléctricos que manejan altas corrientes a través de cables eléctricos en una placa de circuito impreso (PCB) enfrentan múltiples problemas que resultan de la gran disipación de calor en la PCB. Algunos de los problemas incluyen la deformación del sustrato, lo cual lleva a falla mecánica e interferencias mecánicas destructivas con el rotor del motor o generador. Además, los gradientes de alta temperatura en la PCB pueden llevar a daño estructural de la PCB tal como delaminación o falla localizada de los cables eléctricos o el material dieléctrico en el sustrato. Los imanes de tierras raras típicamente empleados en máquinas de placa de circuito impreso de entrehierro también son sensibles a la temperatura. Si la temperatura de imán excede un valor especificado, los imanes pueden degradarse y perder su campo magnético.

25 Las máquinas eléctricas de placa de circuito impreso construidas sin las características descritas en esta divulgación, es decir, el estado actual de la técnica, emplean una variedad de estrategias para gestionar el calor.

30 Colectivamente, estas estrategias limitan el atractivo comercial y la factibilidad de mercado del diseño básico de estator de placa de circuito impreso. Estas estrategias incluyen a) sobredimensionar la máquina en relación con la porción de operación mecánica deseada de tal manera que la estructura de máquina actúe como un disipador de calor, b) enfriar activamente la máquina, c) introducir características que comprometen la eficiencia tales como entrehierros más grandes entre el rotor y el estator, d) limitar la máquina a aplicaciones de servicio intermitente, y/o

e) equipar la máquina con controladores de detección de temperatura.

35 El documento US2006/202584 A1 se refiere a un dispositivo de energía giratorio axial el cual está dispuesto en una configuración de corriente eléctrica multifásica. El dispositivo incluye un rotor que tiene una pluralidad de polos de imanes permanentes asegurados al mismo e incluye además un estator formado apilando una pluralidad de capas conductoras de trabajo de placa de circuito impreso junto con una pluralidad de capas de conexión de placa de circuito impreso. Teniendo el estator al menos una capa conductora de trabajo para cada fase de la corriente eléctrica y al menos una capa conductora de conexión asociada con una capa conductora de trabajo. La capa conductora de trabajo y la capa conductora de conexión teniendo cada una conductores radiales que se extienden desde un orificio pasante de diámetro interno a un orificio pasante de diámetro externo.; Se proporciona una pluralidad de conductores de paso para conectar eléctricamente los seleccionados de los conectores radiales de la capa conductora de conexión a los seleccionados de los conectores radiales de las capas conductoras de trabajo a través de los orificios pasantes.

Resumen

En una primera realización, se proporciona un estator de acuerdo con la reivindicación 1.

45 También se divulga, un estator incluye una PCS que comprende al menos una capa dieléctrica y al menos una capa conductora, la PCS es caracterizada al menos en parte por un punto de origen central y una periferia. El estator también puede incluir una pluralidad de primeros elementos conductores que se extienden radialmente desde un radio de partida  $r_0$  desde el punto de origen central hacia la periferia de la PCS y dispuestos angularmente sobre la PCS, originándose cada primer elemento conductor en una estructura de partida preferida. Adicionalmente, el estator puede incluir una pluralidad de segundos elementos conductores que se extienden radialmente desde un radio  $r_1$  desde el punto de origen central hacia el punto de origen central de la PCS y dispuestos angularmente sobre la PCS. En algunas realizaciones, al menos uno de los primeros elementos conductores está conectado a al menos uno de los segundos elementos conductores en la estructura de partida preferida de acuerdo con una configuración de conexión.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1A ilustra una vista en planta de un estator que incluye una PCS que tiene al menos una capa dieléctrica y una pluralidad de capas conductoras, de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 1B ilustra una vista en sección transversal de un estator, de acuerdo con algunas realizaciones.

5 La figura 2 ilustra un detalle del estator que incluye una pluralidad de elementos conductores dispuestos radialmente sobre la PCS, de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 3 ilustra un detalle de un área interna próxima a un punto de origen central de un estator, que incluye una pluralidad de elementos conductores dispuestos radial y angularmente sobre la PCS, de acuerdo con algunas realizaciones.

10 La figura 4 ilustra un detalle de un área interna próxima a un punto de origen central de un estator, que incluye una pluralidad de elementos conductores dispuestos radialmente, angularmente, y en diferentes capas conductoras sobre la PCS, de acuerdo con algunas realizaciones.

La figura 5 ilustra un detalle de un elemento conductor que incluye una estructura de terminación, de acuerdo con algunas realizaciones.

15 Las figuras 6A-I ilustran detalles de diferentes configuraciones de conexión en un estator, incluyendo cada configuración de conexión un primer elemento conductor conectado a un segundo elemento conductor en una estructura de terminación, de acuerdo con algunas realizaciones.

Las figuras 7A-D ilustran imágenes térmicas de un estator que incluye una capa compuesta plana (PCS) que tiene al menos una capa dieléctrica y una pluralidad de capas conductoras mientras que disipa el calor, de acuerdo con algunas realizaciones.

20 La figura 8 ilustra un diagrama de flujo en un método para fabricar un estator que incluye una capa compuesta plana (PCS) que tiene al menos una capa dieléctrica y una pluralidad de capas conductoras, de acuerdo con algunas realizaciones.

En las figuras, los elementos y etapas indicados por los mismos números de referencia o similares están asociados con los mismos o similares elementos y etapas, a menos que se indique otra cosa.

25 Descripción detallada

Realizaciones de la presente divulgación difieren de la mayoría en el área amplia de gestión térmica de placa de circuito impreso en el sentido de que el calor se origina en la estructura de estator de PCB, y un objetivo de las realizaciones de la divulgación es transportar ese calor para el propósito de proteger el estator y componentes circundantes. Muchos avances en los últimos años se enfocan en gestionar el calor el cual se origina en un componente sensible, y donde las estructuras en la placa de circuito impreso son usadas como un disipador de calor, frecuentemente con el objetivo de eliminar un costoso componente de disipador de calor discreto. Realizaciones de esta divulgación son aplicables a motores y generadores únicos y polifásicos (por ejemplo, trifásicos).

30 La figura 1A ilustra una vista en planta de un estator 100 que incluye una estructura compuesta plana (PCS) 110 que tiene al menos una capa dieléctrica y una pluralidad de elementos 111, 121, y 131 conductores, de acuerdo con algunas realizaciones. Los elementos 111, 121 y 131 conductores pueden ser parte de una estructura de mitigación térmica de acuerdo con una realización de la divulgación que se puede usar en la corona circular exterior de una estructura de PCB. La PCS 110 es caracterizada al menos en parte por un punto 101 de origen central y una periferia 102. El estator 100 incluye una pluralidad de primeros elementos 111 conductores que se extienden radialmente a una distancia 142 ( $r_1$ ) desde el punto 101 de origen central hacia la periferia 102 de PCS 110 y dispuestos angularmente sobre la PCS, cada primer elemento conductor terminado en una estructura 115 de terminación preferida. Adicionalmente, en algunas realizaciones el estator 100 incluye una pluralidad de segundos elementos 121 conductores que se extienden radialmente desde un radio 143 ( $r_2$ ) desde el punto 101 de origen central hacia la periferia 102 y dispuestos angularmente sobre la PCS. Por consiguiente, los primeros elementos 111 conductores están separados entre sí a lo largo de una dirección angular,  $\theta$ , perpendicular a la dirección radial,  $r$ , desde el punto 45 101 de origen central a la periferia 102. Asimismo, los segundos elementos 121 conductores están separados entre sí a lo largo de la dirección,  $\theta$ . En algunas realizaciones, al menos uno de los primeros elementos 111 conductores está conectado a al menos uno de los segundos elementos 121 conductores en la estructura 115 de terminación preferida, de acuerdo con una configuración de conexión.

50 El estator 100 puede incluir múltiples capas similares a la ilustrada en la vista plana de la figura 1A. Las múltiples capas pueden estar dispuestas para proporcionar una secuencia de bobinas o devanados que están conectados, usualmente en serie, para formar los polos de un motor o generador. Los polos luego son segregados típicamente en grupos, con al menos un grupo para cada fase de corriente suministrada al motor (o generada por el generador). Colectivamente, cuando se controla adecuadamente mediante un circuito eléctrico externo, la disposición de conductores 111, 151, y 152 en PCS 110 crea una densidad de corriente giratoria y un campo magnético asociado. Esta densidad de corriente giratoria (y campo magnético) puede ejercer un torque en una estructura magnética o 55

- densidad de corriente circundante. La parte de la placa de circuito impreso con las estructuras radiales (el "área activa") es la parte del estator diseñada para participar en esta interacción. Por consiguiente, el área activa de estator 100 puede incluir elementos 111 conductores acoplados a través de elementos 151 y 152 conductores para formar la corriente giratoria. Algunas realizaciones incluyen dos conjuntos de imanes de tierras raras fijados a un eje que pasa a través de un punto 101 de origen central de PCS 110, que forma una máquina eléctrica sincrónica de campo axial compacta, de alta eficiencia. Además del área activa que incluye una densidad de corriente giratoria que interactúa con un campo magnético no homogéneo, el estator 100 puede incluir elementos 121 conductores en un área periférica y elementos 131 conductores en un área interior. Por consiguiente, los elementos 121 y 131 conductores disipan el calor generado por el estator 100, mientras están en operación.
- 5
- 10 Para lograr la disipación de calor, algunas realizaciones de estator 100 incluyen estructuras 115 de terminación preferidas y estructuras 105 de partida preferidas en cada extremo de los elementos 111 conductores dispuestos radialmente. Así, los elementos 121 conductores en el área periférica pueden estar acoplados a elementos 111 conductores a través de estructuras 115 de terminación. Los elementos 131 conductores en el área interior se pueden acoplar a los elementos 111 conductores a través de estructuras 105 de partida. Las estructuras 105 y 115 incluyen una configuración de conexión que puede ser una conexión térmica, una conexión eléctrica, o una combinación de las dos. Por ejemplo, una conexión térmica puede ser una donde hay una brecha física entre un elemento 111 conductor y un elemento 121 conductor, de tal manera que no hay conectividad eléctrica entre los dos elementos. Sin embargo, la proximidad de los dos elementos 111 y 121 desconectados puede ser suficiente en una configuración térmica para transmitir calor de manera eficiente de un elemento conductor al otro (111 o 121).
- 15
- 20 El calor es desarrollado en el estator 100 mediante múltiples mecanismos. Un mecanismo es la pérdida resistiva en conductores que transportan corriente. Este mecanismo aporta una proporción de potencia al cuadrado de la corriente y la resistencia efectiva, es decir,  $P_{\text{Julio}} = I^2R$ . La resistencia R puede ser aproximadamente proporcional al ancho de característica (por ejemplo, ancho en plano) como se ve en el estator 100, dado que el grosor de cobre y resistividad eléctrica son en general uniformes. En los pasos, los cuales conectan una capa con la siguiente, la resistividad eléctrica de cobre es un poco más alta que en el plano. También, a medida que aumenta la frecuencia de la corriente, puede ser necesario modificar la resistencia R para incluir la interacción de la corriente con su propio campo magnético, por ejemplo, el efecto de profundidad pelicular. Prácticamente, esto aumenta la resistencia para los componentes de frecuencia más alta de la corriente conducida, pero no cambia sustancialmente donde es generado el calor en el estator.
- 25
- 30 Un segundo mecanismo de generación de calor está relacionado con la interacción de cobre (que transporta una corriente o no) con un campo magnético variable en el tiempo debido a los imanes de rotor. Para un área A circunscrita por un contorno asociado C, hay un campo eléctrico a lo largo del contorno de tal manera que:

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = - \frac{d}{dt} \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A}$$

- donde la dirección del área diferencial  $d\vec{A}$  está relacionada con  $d\vec{l}$  por la regla de mano derecha. En un material conductor en la PCS, el campo eléctrico  $\vec{E}$  lleva a densidad de corriente en torbellino y pérdidas asociadas en cualquier lugar donde haya una densidad de flujo magnético variable en el tiempo  $\vec{B}$ . En general, estas corrientes en torbellino también influyen en  $\vec{B}$  lo que lleva a una ecuación de difusión magnética, y un cálculo preciso de pérdida debe tener esto en cuenta. Esto es relevante para las trazas radiales de área activa en el ensamblaje de estator, debido al campo magnético giratorio al que esta porción del estator está expuesta cada vez que se mueve el eje del rotor. Estas pérdidas son adicionales a cualquier pérdida relacionada con la conductividad cuando el motor es accionado por un circuito externo, y de hecho este mecanismo de pérdida existe incluso si el estator 100 no está conectado a un circuito externo.
- 35
- 40

- Una consideración de diseño en el estator 100 involucra una compensación entre las pérdidas de conducción y por corriente en torbellino en el área activa de estator. Para reducir las pérdidas de conducción, los conductores deben ser más anchos (o estar conectados en paralelo en capas consecutivas). Para reducir las pérdidas por corriente en torbellino, las áreas efectivas A que capturan un flujo variable en el tiempo deben ser más pequeñas, así los conductores deben ser más estrechos.
- 45

- Una tercera fuente de calor involucra corrientes en torbellino debido al campo magnético de los conductores que transportan corriente. Es importante considerar este efecto en la corona circular interior y exterior de la placa, donde las diferentes capas realizan diferentes funciones. También, es importante considerar este mecanismo en el diseño de estructuras de mitigación térmica.
- 50

- Las dimensiones y proporciones de los diferentes elementos en el estator 100 pueden variar según se desee. En algunas realizaciones, puede ser deseable que el radio 142 ( $r_1$ ) sea igual al radio 143 ( $r_2$ ), dando como resultado ninguna brecha entre uno o más elementos 111 y 121 conductores. En otras realizaciones el radio 142 ( $r_1$ ) puede ser más pequeño que el radio 143 ( $r_2$ ), dando como resultado una brecha entre uno o más elementos 111 y 121
- 55

- conductores. Asimismo, los materiales que forman los diferentes elementos en el estator 100 pueden variar según se desee, dentro del ámbito de la presente divulgación. Por consiguiente, al menos uno de elementos 111, 121, 131, 151, y 152 conductores puede incluir cobre, o carbono (por ejemplo, una capa de grafeno, o una capa de nanotubos de carbono, u otros alótopos de carbono), o un compuesto de cobre-carbono, u otro material o compuesto eléctricamente conductor. Los elementos 121, 131 conductores pueden incluir material térmicamente conductor.
- Por consiguiente, en realizaciones consecuentes con la presente divulgación los elementos 111, 121, y 131 conductores actúan como conductores térmicos que tienen áreas reducidas  $d\vec{A}$  para pérdida de corriente en torbellino. Adicionalmente, los elementos 121 conductores pueden mejorar la consistencia de grosor de estator 100 a través del uso de trazas de cobre laminado en el área periférica. Los elementos 131 conductores son trazas de eliminación de calor en el área interna de estator 100. En algunas realizaciones, los elementos 131 conductores pueden estar conectados eléctricamente a los elementos 121 conductores a través de estructuras 105 de partida. Por consiguiente, las estructuras 105 de partida son similares a estructuras 115 de terminación. Sin embargo, las estructuras 105 de partida están típicamente distribuidas radialmente en vez de distribuidas angularmente debido a las restricciones espaciales cerca del punto 101 de origen central.
- La figura 1B ilustra una vista en sección transversal de estator 100, de acuerdo con algunas realizaciones. Sin limitación y por propósitos de ilustración, se muestra un eje 'Z' en la dirección del apilamiento de las diferentes capas en el estator 100, y se muestra un eje perpendicular 'r' a lo largo de su sección transversal. Como se ve, el estator 100 puede incluir un sustrato 162 dieléctrico en sándwich entre las capas 161a y 161b conductoras. Los pasos 125 proporcionan conductividad eléctrica entre capas 161a y 161b conductoras. Además, los pasos 125 también pueden proporcionar conductividad térmica entre capas 161a y 161b debido al material conductor que es usado típicamente en estos elementos (por ejemplo, cobre, aluminio, estaño, tungsteno, y compuestos derivados). El sustrato 162 dieléctrico puede incluir cualquier material usado en PCBs, tal como un material compuesto que incluye fibra de vidrio tejida con un aglutinante de resina epoxi (por ejemplo, FR-4 y similares).
- Por consiguiente, en algunas realizaciones el estator 100 incluye al menos uno de elementos 111, 121, o 131 conductores (cf. figura 1A) ubicado en diferentes capas 161a y 161b conductoras. Por ejemplo, el elemento 111a conductor puede ser uno de la pluralidad de elementos 111 conductores en el área activa de estator 100 y dispuesto en la capa 161a conductora. Por consiguiente, el elemento 111b conductor puede ser uno de la pluralidad de elementos 111 conductores en el área activa de estator 100 y dispuesto en la capa 161b conductora. Más en general, los elementos 121a (cf. figura 6A) y 131a conductores corresponden a elementos 121 y 131 conductores, dispuestos en la capa 161a conductora. Asimismo, los elementos 121b (cf. figura 6A) y 131b conductores corresponden a elementos 121 y 131 conductores, dispuestos en la capa 161b conductora.
- Los elementos 111, 121 y 131 conductores dispuestos en múltiples capas 161a y 161b conductoras pueden mejorar la disipación de calor en el estator 100. Típicamente, el calor es transportado de manera desproporcional a través de los mismos elementos eléctricamente conductores. Por ejemplo, la conductividad térmica de cobre (a 401 W/(m K)) es casi quinientas (500) veces mayor que la conductividad térmica del material dieléctrico circundante FR-4 (a 0.81 W/(mK) en plano). Adicionalmente, cuando el calor fluye a lo largo de la dirección Z, el cobre es aún más significativo como un mecanismo conductor de calor, que tiene casi 1,400 veces la conductividad térmica de FR-4 en la dirección fuera de plano. Nótese que la conductividad térmica general de la estructura de estator depende de las áreas relativas de los elementos eléctricamente conductores y dieléctrico circundante.
- La figura 2 ilustra un detalle de estator 100 que incluye una pluralidad de elementos 111, 121 y 131 conductores, dispuestos radialmente sobre PCS 110, de acuerdo con algunas realizaciones. Y elementos 152 conductores dispuestos angularmente sobre PCS 110. En algunas realizaciones, el estator 100 incluye además una pluralidad de terceros elementos 211 conductores que se extienden radialmente desde un radio 241 ( $r_3$ ) desde el punto 101 de origen central hacia la periferia 102 y dispuestos angularmente sobre PCS 110, en donde al menos uno de los terceros elementos 211 conductores y al menos uno de los segundos elementos 121b conductores son coincidentes y están ubicados en diferentes capas conductoras. Por ejemplo, y sin pérdida de generalidad, los elementos 211 conductores pueden incluirse en la capa 161a conductora, y los elementos 121b conductores pueden incluirse en la capa 161b conductora.
- En algunas realizaciones, el acoplamiento térmico entre los elementos 111, 121 y 131 conductores es mejorada significativamente al hacer también una conexión eléctrica entre estos elementos conductores. Por consiguiente, algunas realizaciones proporcionan espacios entre los elementos 131 conductores y elementos 111 conductores en el área interna de estator 100, por ejemplo, para proporcionar espacio para elementos 151 conductores. Asimismo, algunas realizaciones proporcionan espacios entre los elementos 111 conductores y elementos 121 conductores en el área periférica de estator 100, por ejemplo, para proporcionar espacio para elementos 152 conductores. De manera más general, realizaciones de estator 100 consecuentes con la presente divulgación proporcionan espacios eléctricos entre dos elementos conductores que están en potenciales eléctricos diferentes, mientras que todavía proporcionan buen acoplamiento térmico a través de una pequeña brecha de material dieléctrico que separa los dos. Además, al proporcionar fuertes conexiones térmicas a diferentes capas conductoras a través de pasos, esta metodología es particularmente efectiva (por ejemplo, pasos 125 y capas 162a y 162b conductoras, cf. figura 1B). Incluso si un

elemento conductor es interrumpido en una primera capa conductora, una sección de paso a través de capas conductoras proporciona la eliminación de calor de la primera capa conductora a una segunda capa conductora.

5 El acoplamiento eléctrico y térmico entre elementos 111 conductores y elementos 131 conductores incluye un punto de partida de uno de elementos 111 conductores a una distancia  $141 (r_0)$  del punto 101 de origen central que entra en contacto con la estructura 105 de partida. Y un punto de partida de uno de elementos 131 conductores a una distancia  $242 (r_{-1})$  del punto 101 de origen central. El extremo opuesto de elemento 111 conductor termina en la estructura 115 de terminación a una distancia  $142 (r_1)$  del punto 101 de origen central.

10 La figura 3 ilustra un detalle de un área interna próxima a un punto 101 de origen central de estator 100, que incluye una pluralidad de elementos 111 y 131 conductores dispuestos radialmente y elementos 151 conductores dispuestos angularmente sobre PCS 110, de acuerdo con algunas realizaciones. Debido a las restricciones espaciales cerca del punto 101 de origen central, en algunas realizaciones solo ciertos elementos 131 conductores pueden estar acoplados térmicamente y/o eléctricamente a los elementos 111 conductores correspondientes a través de una estructura 105 de partida. Esta disposición evita hacer contacto eléctrico no deseado entre elementos 131 conductores adyacentes cerca del punto 101 de origen central.

15 La figura 4 ilustra un detalle de un área interna próxima al punto 101 de origen central de estator 100, que incluye una pluralidad de elementos 111 conductores dispuestos radialmente, de acuerdo con algunas realizaciones. Un elemento 151 conductor está dispuesto angularmente. Y los elementos 431a y 431b conductores están dispuestos en diferentes capas conductoras sobre la PCS. Para abordar el problema de conductividad térmica y eléctrica en el espacio altamente restringido del área interna de PCS 110, los elementos 431a conductores se alternan con los elementos 431b conductores en diferentes capas de PCS 110 multicapa. Los pasos internos en las estructuras 105 de partida disipan el calor a través de elementos 111 conductores. Al escalonar las trazas 431a y 431b de eliminación de calor en capas conductoras separadas, pueden extenderse hacia adentro mientras que mantienen un espacio deseado entre elementos conductores adyacentes en la misma capa conductora. Se pueden prever otras configuraciones de escalonamiento consecuentes con esta característica, por ejemplo, conectar cada tercer elemento 131 conductor a través de un bloque de paso.

20 La figura 5 ilustra un detalle de un elemento 111 conductor que incluye una estructura 115 de terminación, de acuerdo con algunas realizaciones. La estructura 115 de terminación tiene una configuración en forma de T o de "cabeza de martillo". En algunas realizaciones la estructura 115 de terminación puede incluir una almohadilla cuadrada en vez de una configuración de cabeza de martillo. La estructura 115 de terminación mejora la distribución angular (es decir, a lo largo de la dirección  $\theta$ ) de calor de diferentes fuentes en la transición entre las áreas activas y las periféricas de estator 100, tales como pérdidas por corrientes en torbellino y conductoras de elementos 111 conductores que terminan en la estructura 115 de terminación. Además, la estructura 115 de terminación reduce el área en donde pueden presentarse pérdidas debido a los campos magnéticos variables el tiempo incidente (cf. ecuación 1).

30 Algunas realizaciones incluyen uno o más pasos entre capas cerca de las porciones externas de estructura 115 de terminación, que en conjunto con la extensión espacial de la característica de cabeza de martillo tiende a reducir la concentración angular de calor en comparación con una terminación térmica de único punto (por ejemplo, estructura 105 de partida, cf. figura 1A). La característica de cabeza de martillo de estructura 115 de terminación reduce la exposición de elementos de cobre sólido en el área periférica a fugas de campo magnético variable en el tiempo desde el ensamblaje de imán permanente sobre el área activa. Las dimensiones y relaciones específicas mostradas en la figura 2 pueden estar sujetas a optimización dependiendo de factores que incluyen un diseño deseado de motor o generador. Adicionalmente, la relación desproporcionada de conductividad térmica entre los dos materiales básicos en el estator 100 (por ejemplo, cobre para elementos 111, 121, y 131 conductores, frente a FR-4 en el sustrato 162 dieléctrico) sugiere que los diferentes diseños de estructura 115 de terminación que son sustancialmente consecuentes con el estator 100 y estructura 115 de terminación, pueden ser igualmente efectivos para la disipación de calor.

35 Las figuras 6A-I ilustran detalles de diferentes configuraciones 615a, 615b, 615c, y 615d de conexión (denominadas colectivamente de aquí en adelante como configuraciones 615 de conexión), de acuerdo con algunas realizaciones. Las configuraciones 615 de conexión incluyen primeros elementos 111a,b conductores conectados a segundos elementos 121a,b conductores en la estructura 115 de terminación. La estructura 115 de terminación incluye pasos 125 que forman un acoplamiento térmico y eléctrico entre elementos 111a,b conductores y elementos 121a,b conductores. El eje tridimensional ( $Z, r, \theta$ ) es consecuente con los mostrados en las figuras 1A-B, y figura 2-4. El marcado de eje y orientación específica de los elementos en las figuras son elegidos solo para propósitos ilustrativos y no deben considerarse que limitan las diferentes realizaciones representadas.

40 La figura 6A muestra una vista en perspectiva de configuración 615a de conexión, de acuerdo con algunas realizaciones. La configuración 615a de conexión incluye elementos 111a,b y 121a,b conductores en dos capas conductoras diferentes (por ejemplo, capa 161a y 161b conductora, cf. figura 1B), formando un acoplamiento eléctrico y térmico en la estructura 115 de terminación. Más específicamente, la configuración 615a de conexión proporciona acoplamiento eléctrico y térmico entre elementos 111a,b conductores y elementos 121a,b conductores.

- 5 La figura 6B es una vista en sección transversal de configuración 615a de conexión, a lo largo de la longitud de elementos 111a,b y 121a,b conductores ilustrados en la figura 6A. La figura 6B también muestra esquemáticamente el flujo de calor en la configuración 615a de conexión desde los elementos 111a,b conductores a elementos 121a,b conductores y finalmente al disipador 620 de calor. En algunas realizaciones, es deseable que los elementos 121a y 121b conductores sean al menos parcialmente coincidentes pero estén ubicados en capas conductoras opuestas de PCS 110. Por consiguiente, el flujo de calor desde los elementos 111a,b conductores a elementos 121a,b conductores es mejorado a lo largo de la trayectoria radial de elementos 111a,b, y 121a,b conductores.
- 10 La figura 6C muestra una vista en planta de configuración 615a de conexión que incluye elementos 111a,b y 121a,b conductores en la misma capa conductora, formando un acoplamiento eléctrico y térmico en la estructura 115 de terminación. La estructura 115 de terminación incluye una característica de cabeza de martillo que tiene cuatro (4) pasos 125 para proporcionar disipación de calor mejorada y conexión eléctrica entre capas.
- 15 La figura 6D muestra una vista en perspectiva de configuración 615b de conexión que incluye elementos 111a,b, 121a,b, y 152a conductores en dos capas conductoras diferentes, formando un acoplamiento eléctrico y térmico en la estructura 115 de terminación. Más específicamente, la configuración 615b de conexión proporciona acoplamiento eléctrico y térmico entre los elementos 111a,b conductores y elemento 121b conductor a través de pasos 125 en la estructura 115 de terminación. Adicionalmente, la configuración 615b de conexión proporciona acoplamiento térmico entre el elemento 111a conductor y elemento 121a conductor en la misma capa conductora, y sin conexión eléctrica entre ellos. Realizaciones que incluyen la configuración 615b de conexión pueden ser deseables cuando el elemento 152a conductor opera a un potencial eléctrico diferente ya sea como uno de elementos 111a o 121a conductores.
- 20 Algunas realizaciones que incluyen la configuración 615b de conexión pueden ser deseables cuando el elemento 121a conductor opera a un potencial eléctrico diferente como elemento 111a conductor.
- 25 La figura 6E es una vista en sección transversal de configuración 615b de conexión a lo largo de la longitud de elementos 111a,b y 121a,b conductores ilustrados en la figura 6D. La figura 6E también muestra esquemáticamente el flujo de calor desde los elementos 111a,b conductores a elementos 121a,b conductores hacia el disipador 620 de calor. Debido a que los elementos 121a y 121b conductores son coincidentes al menos parcialmente a lo largo del plano de PCS 110, el calor fluye desde el elemento 121b conductor al elemento 121a conductor independientemente de cualquier diferencia en el potencial eléctrico entre los dos elementos conductores.
- 30 La figura 6F muestra una vista en perspectiva de configuración 615c de conexión que incluye elementos 111a,b, 121a,b y 152a conductores en dos capas conductoras diferentes, y formando un acoplamiento eléctrico y térmico en la estructura 115 de terminación. La configuración 615c de conexión es similar a la configuración 615b de conexión en que los elementos 111a y 121a conductores no están conectados eléctricamente, mientras que los elementos 111a,b conductores están conectados eléctrica y térmicamente al elemento 121b conductor a través de pasos 125 en la característica 115 de terminación. Sin embargo, en la configuración 615c de conexión la estructura 115 de terminación tiene una configuración de cabeza de martillo (cf. figura 5). Por consiguiente, el flujo de calor desde los elementos 111a,b conductores a elementos 121a,b conductores en la configuración 615c de conexión es mejorado a lo largo de la trayectoria radial de elementos 111a,b, y 121a,b conductores, independientemente de la configuración eléctrica.
- 35 La figura 6G es una vista en sección transversal de configuración 615c de conexión a lo largo de la longitud de elementos 111a,b (colectivamente, 111) y 121a,b (colectivamente 121) conductores ilustrados en la figura 6F. La figura 6G también muestra esquemáticamente el flujo de calor desde los elementos 111a,b conductores a elementos 121a,b conductores hacia el disipador 620 de calor.
- 40 La figura 6H muestra una vista en perspectiva de configuración 615d de conexión que incluye elementos 111, 121 y 152b conductores en dos capas conductoras diferentes, formando un acoplamiento eléctrico y térmico en la estructura 115 de terminación. La configuración 615d de conexión es similar a las configuraciones 615b y 615c de conexión en que los elementos conductores en diferentes capas conductoras están conectados eléctrica y térmicamente (es decir, elemento 111b conductor y elemento 121a conductor, a través de pasos 125). Sin embargo, en la configuración 615d de conexión el elemento 152b conductor está dispuesto en otra capa conductora de PCS 110. Por consiguiente, puede ser deseable aislar eléctricamente el elemento 111b conductor de elementos 121b conductores.
- 45 La figura 6I es una vista en sección transversal de configuración 615d de conexión a lo largo de la longitud de elementos 111 y 121 conductores ilustrados en la figura 6H. La figura 6I también muestra esquemáticamente el flujo de calor desde elementos 111a,b conductores a elementos 121a,b conductores hacia el disipador 620 de calor. Como se muestra, el flujo de calor desde elementos 111a,b conductores a elementos 121a,b conductores en la configuración 615d de conexión es mejorado a lo largo de la trayectoria radial de elementos 111a,b y 121a,b conductores, independientemente de la configuración eléctrica.
- 50 Las figuras 7A-D ilustran imágenes térmicas de estatores 700a y 700b (denominados colectivamente de aquí en adelante como 'estatores 700'), respectivamente, que incluyen PCS 110 que tiene al menos un sustrato 162 dieléctrico y capas 161a y 161b conductoras mientras que disipan calor, de acuerdo con algunas realizaciones. El estator 700a no incluye elementos 111 y 121 conductores, mientras que el estator 700b sí (cf. figuras 1A-B). Las imágenes térmicas son obtenidas al introducir calor a través de pérdida de conducción en ubicaciones seleccionadas en estatores 700

para emular la distribución de temperatura en un motor o generador operativo. Las fuentes y disipadores de calor en un motor o generador operativo incluyen los componentes magnéticos y mecánicos circundantes. Esta metodología permite la generación de imágenes y comparación de rendimiento térmico entre diferentes diseños de estatores consecuentes con realizaciones divulgadas en este documento.

5 La introducción de calor a través de conducción incluye configurar una fuente de alimentación para suministrar una cantidad fijada de potencia (aproximadamente 20W) a los estatores 700 durante 10 minutos. Los estatores 700 luego fueron generados en imagen con una cámara de IR digital FLIR. Las condiciones de límite fueron establecidas colocando estatores 700 en un recinto 750, dejando una mitad expuesta del estator disponible para la generación de imágenes térmicas. Adicionalmente, solo tres de las cuatro esquinas de PCS 110 fueron sujetadas firmemente al recinto 750. Esta configuración de sujeción permite una comparación de la eficacia de los diseños térmicos para eliminar el calor de estatores 700 al recinto 750 con todas las otras condiciones mantenidas constantes. Los estatores 700 fueron excitados a través de dos de las tres fases conectadas en estrella.

10 La figura 7A muestra que el estator 700a está más caliente en la esquina izquierda donde no hay un buen contacto térmico, la temperatura es bastante uniforme a través del estator 700a incluso cuando está bien terminado. Esto sugiere que independiente de la calidad de la carcasa de disipación de calor, es difícil transportar calor fuera del estator 700a.

15 Las figuras 7B-D muestran el resultado del mismo procedimiento de prueba y medición para el estator 700b, incluyendo elementos 111 y 121 conductores como se divulga en este documento (cf. figuras 1A-B, 2-5, y 6A-I). Las lecturas de temperatura en las figuras 7A-7D son solo ilustrativas y de ninguna manera limitantes de realizaciones divulgadas en este documento. Sin embargo, es revelador que las partes de estator 700b las cuales están sujetadas al recinto 750 (porciones más oscuras en figuras 7B-D) son relativamente más frías que las partes con pobre terminación térmica (porciones más brillantes en las figuras 7B-D). Esto sugiere que las características consecuentes con realizaciones de la presente invención son efectivas para eliminar el calor del estator 700b al recinto 750.

20 En la figura 7C el estator 700b muestra un patrón distinto entre las áreas con buena terminación térmica y la esquina con pobre terminación térmica. Sin embargo, en este caso, la firma térmica de las fases 710c inmediatamente adyacentes a la pinza está casi completamente ausente.

25 La figura 7D muestra el efecto en la figura 7C en detalle adicional. Nótese la diferencia entre la porción izquierda de la placa (bien sujeta) y el lado derecho (peor contacto) y la ausencia de un gradiente agudo en la dirección radial ( $r$ , hacia el disipador), en relación con la dirección angular ( $\theta$ , a medida que cambia la condición límite). En general, una comparación de la eficacia de eliminación de calor de estator 700a con estator 700b muestra que incorporar las características descritas en una o más de las realizaciones de esta invención (por ejemplo, elementos 111, 121, y 131 conductores) puede eliminar el calor de la región activa (la cual incluye elementos 111 conductores) con una eficacia significativamente mayor.

30 La figura 8 ilustra un diagrama de flujo en un método 800 para fabricar un estator que incluye una capa compuesta plana (PCS) que tiene al menos una capa dieléctrica y una pluralidad de capas conductoras, de acuerdo con algunas realizaciones (por ejemplo, estator 100, PCS 110, sustrato 162 dieléctrico, capas 161a,b conductoras, cf. figuras 1A-B hasta figura 6).

35 Métodos consecuentes con la presente divulgación pueden incluir al menos algunas, pero no todas las etapas ilustradas en el método 800, realizadas en una secuencia diferente. Adicionalmente, métodos consecuentes con la presente divulgación pueden incluir al menos dos o más etapas como en el método 800 realizado superpuesto en el tiempo, o casi simultáneamente.

40 La etapa 802 incluye formar una primera capa conductora sobre la PCS disponiendo radialmente un primer elemento conductor sobre un sustrato dieléctrico hasta una primera distancia desde un punto de origen central de la PCS (por ejemplo, capa 161a conductora, sustrato 162 dieléctrico, y elementos 111, 111a,b conductores, cf. figuras 1A-B, y figuras 4 y 6A-I). La etapa 804 incluye formar una segunda capa conductora opuesta a la primera capa conductora sobre la PCS disponiendo radialmente un segundo elemento conductor que se extiende radialmente desde una segunda distancia desde el punto de origen central de la PCS (por ejemplo, capa 161b conductora, y elementos 121, 121a,b, 131, 131a,b, 211 conductores, cf. figuras 1A-B, figura 2 y figuras 4 y 6A-I). La etapa 806 incluye acoplar el primer elemento conductor con el segundo elemento conductor a través de una estructura de terminación (por ejemplo, estructura 115 de terminación, cf. figura 1A). La etapa 808 incluye formar un tercer elemento conductor sobre la PCS que se extiende radialmente desde una tercera distancia desde el punto de origen central de la PCS en una de la primera o segunda capas conductoras (por ejemplo, elementos 121, 121a,b, 131, 131a,b, 211 conductores, cf. figuras 1A-B, figura 2 y figuras 4 y 6A-I). La etapa 810 incluye acoplar el primer elemento conductor con el tercer elemento conductor a través de una segunda estructura de terminación (por ejemplo, estructuras 105 o 115 de terminación, cf. figura 1A).

55 En algunas realizaciones, el acoplamiento del primer elemento conductor con el segundo o tercer elementos conductores puede incluir uno cualquiera de un acoplamiento térmico, un acoplamiento eléctrico, o ambos. Adicionalmente, el acoplamiento puede incluir una configuración de conexión que tiene estructuras de partida y/o

5 terminación que incluyen pasos que pasan a través del sustrato dieléctrico desde una capa conductora a otra capa conductora (por ejemplo, pasos 125 y configuraciones 615 de conexión, cf. figuras 6A-I). En algunas realizaciones, el primer elemento conductor está en un área activa de la PCS y al menos uno del segundo o tercer elementos conductores está en un área interna de la PCS. Por consiguiente, la estructura de terminación puede estar orientada radialmente sobre la PCS debido a restricciones espaciales (por ejemplo, estructura 105 de terminación). En algunas realizaciones, cuando el segundo o tercer elemento conductor está en un área periférica de la PCS, la estructura de terminación puede estar orientada angularmente sobre la PCS (por ejemplo, estructura 115 de terminación).

10 Un experimentado en la técnica entenderá que la invención puede realizarse en otras formas específicas sin apartarse de las características esenciales de la misma. Por lo tanto las realizaciones anteriores deben considerarse en todos los aspectos ilustrativas en vez de limitantes de la invención descrita en este documento. Así el ámbito de la invención está indicado mediante las reivindicaciones anexas, en vez de mediante la descripción anterior, y por lo tanto todos los cambios que entran dentro del significado de las reivindicaciones están previstos para ser incluidos en las mismas.

**REIVINDICACIONES**

1. Un estator para un motor o generador, que comprende:
- una estructura compuesta plana (PCS) que comprende al menos una capa dieléctrica y una pluralidad de capas (161a, 161b) conductoras, la PCS caracterizada al menos en parte por un punto (101) de origen central y una periferia (102);
- 5 una pluralidad de primeros elementos (111) conductores alargados dispuestos angularmente sobre la PCS y que se extienden radialmente hacia la periferia (102) de la PCS desde una primera distancia radial ( $r_0$ ) desde el punto de origen central a una segunda distancia radial ( $r_1$ ) desde el punto (101) de origen central, cada primer elemento (111) conductor alargado terminado en una estructura (115) de terminación;
- 10 elementos (151) conductores internos que acoplan cada uno dos de los primeros elementos (111) conductores alargados;
- elementos (152) conductores periféricos que acoplan cada uno dos de los primeros elementos (111) conductores alargados; caracterizado porque el estator comprende además una pluralidad de segundos elementos conductores alargados dispuestos angularmente sobre la PCS y que se extienden radialmente hacia la periferia (102) de la PCS desde una tercera distancia radial desde el punto (101) de origen central a una cuarta distancia radial desde el punto
- 15 (101) de origen central, en donde ya sea:
- a) la cuarta distancia radial es menor que la primera distancia radial, y un primer de los primeros elementos (111) conductores alargados está conectado térmicamente pero no eléctricamente a un primer de los segundos elementos conductores alargados a través de una estructura (105) de partida, o
- b) la tercera distancia radial es mayor que la segunda distancia radial, y un primer de los primeros elementos (111) conductores alargados está conectado térmicamente pero no eléctricamente a un primer de los segundos elementos conductores alargados a través de la estructura (115) de terminación que termina el primer de los primeros elementos
- 20 (111) conductores alargados.
2. El estator de la reivindicación 1, en donde al menos uno de los primeros elementos (111) conductores alargados y al menos uno de los segundos elementos conductores alargados están ubicados en diferentes capas (161a, 161b) conductoras.
- 25 3. El estator de acuerdo con la reivindicación 1 o reivindicación 2 donde la cuarta distancia radial es menor que la primera distancia radial.
4. El estator de acuerdo con la reivindicación 1 o reivindicación 2 donde la tercera distancia radial es mayor que la segunda distancia radial.
- 30 5. El estator de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, en donde un tercer elemento conductor alargado:
- está en un lado opuesto de la al menos una capa dieléctrica como el primer de los segundos elementos conductores alargados;
- se extiende a lo largo de al menos una porción de una longitud del primer de los segundos elementos conductores alargados de tal manera que se establezca una conexión térmica entre los terceros elementos conductores alargados y el primer de los segundos elementos conductores alargados a través de la al menos una capa dieléctrica; y
- 35 está conectado térmicamente al primer de los primeros elementos (111) conductores alargados.
6. El estator de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, que comprende además un primer paso (125) que se extiende a través de la al menos una capa dieléctrica, en donde el primer paso (125):
- está desplazado angularmente del primer de los primeros elementos (111) conductores alargados, e
- 40 interconecta eléctricamente el primer de los primeros elementos (111) conductores alargados y un segundo de los primeros elementos (111) conductores alargados a través de la primera estructura de terminación.
7. El estator de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en donde:
- la cuarta distancia radial es mayor que la tercera distancia radial;
- la tercera distancia radial es mayor que la segunda distancia radial; y
- 45 un segundo de los segundos elementos conductores alargados está conectado térmicamente al primer de los primeros elementos (111) conductores alargados.

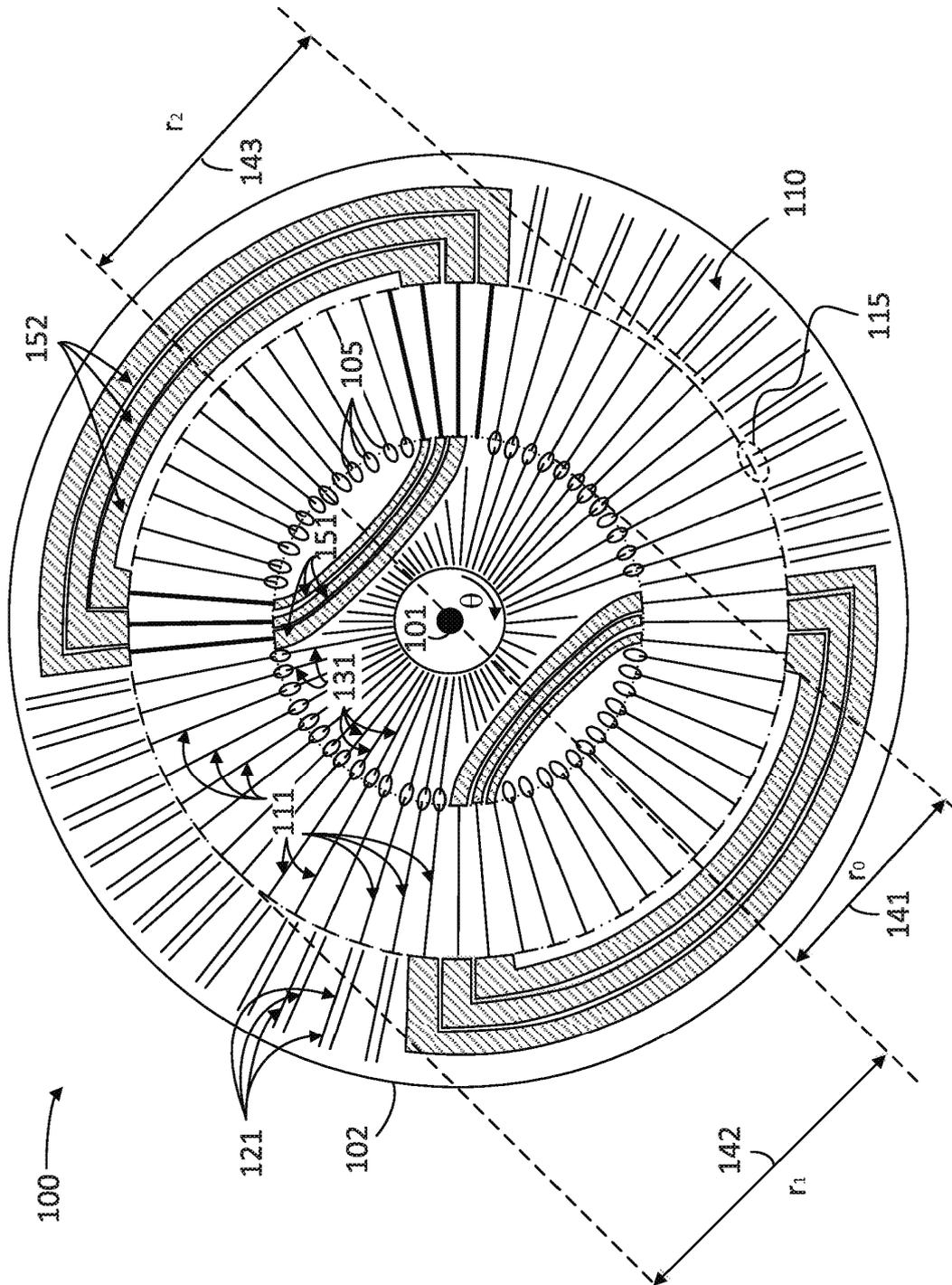


FIG. 1A

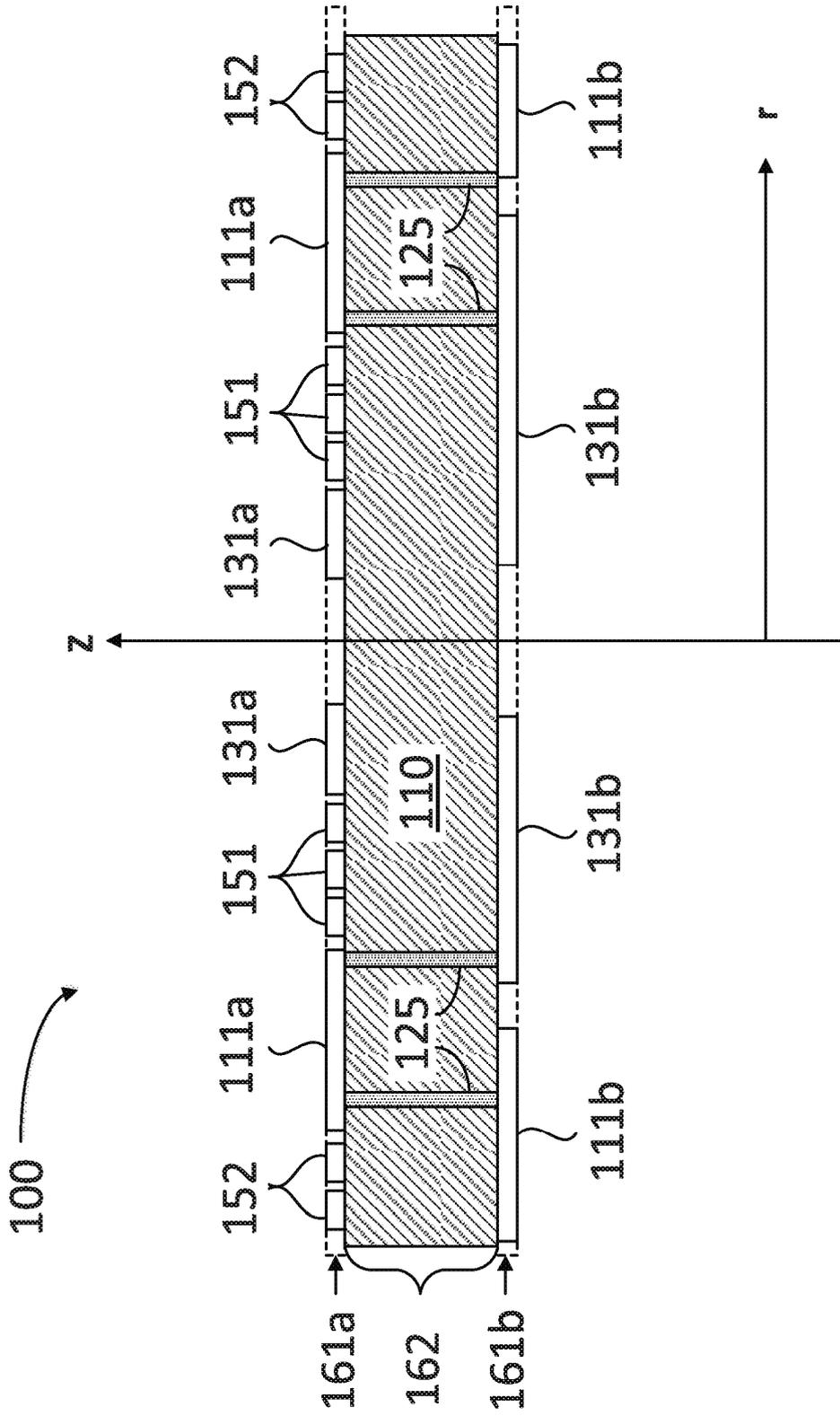


FIG. 1B

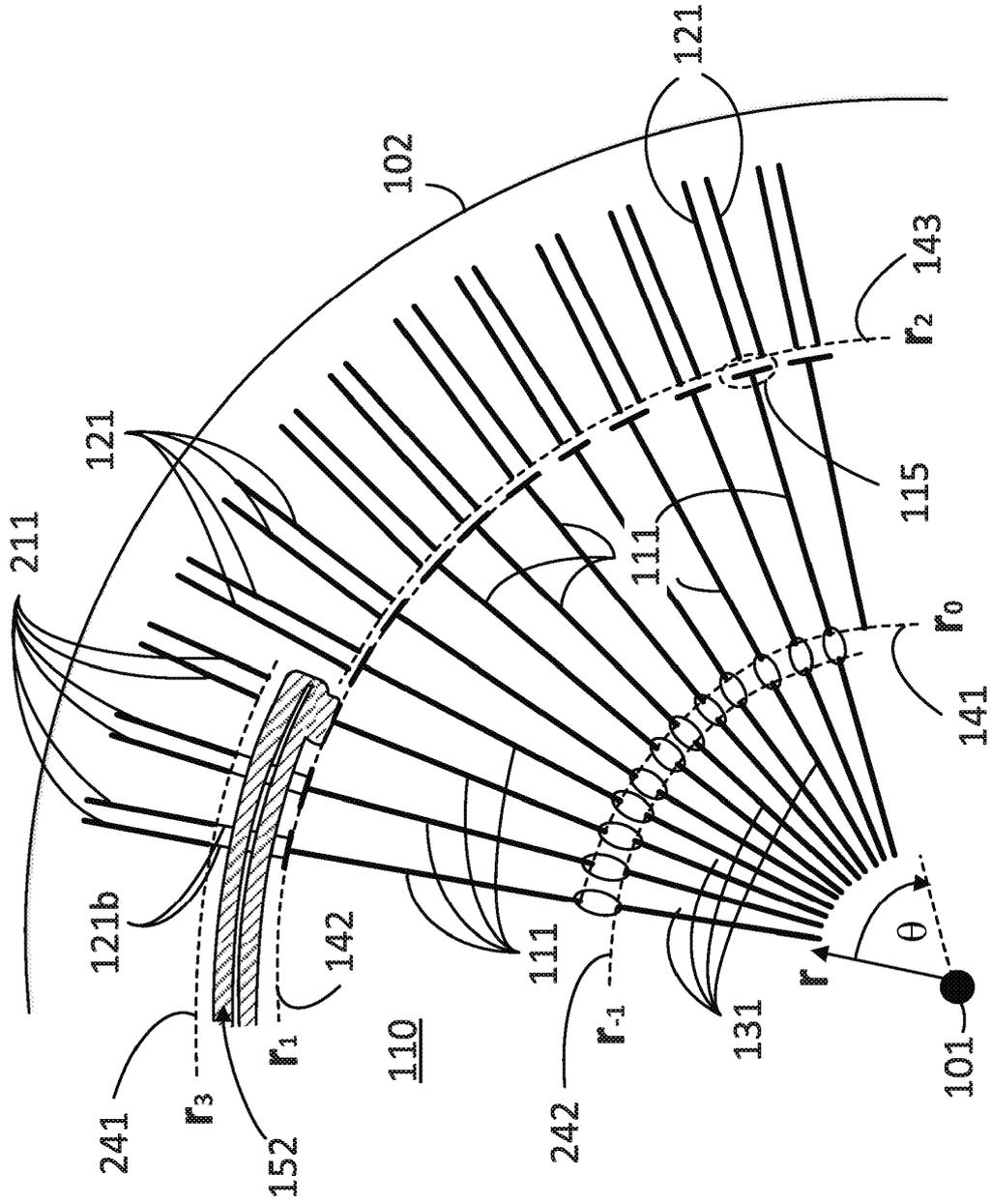


FIG. 2

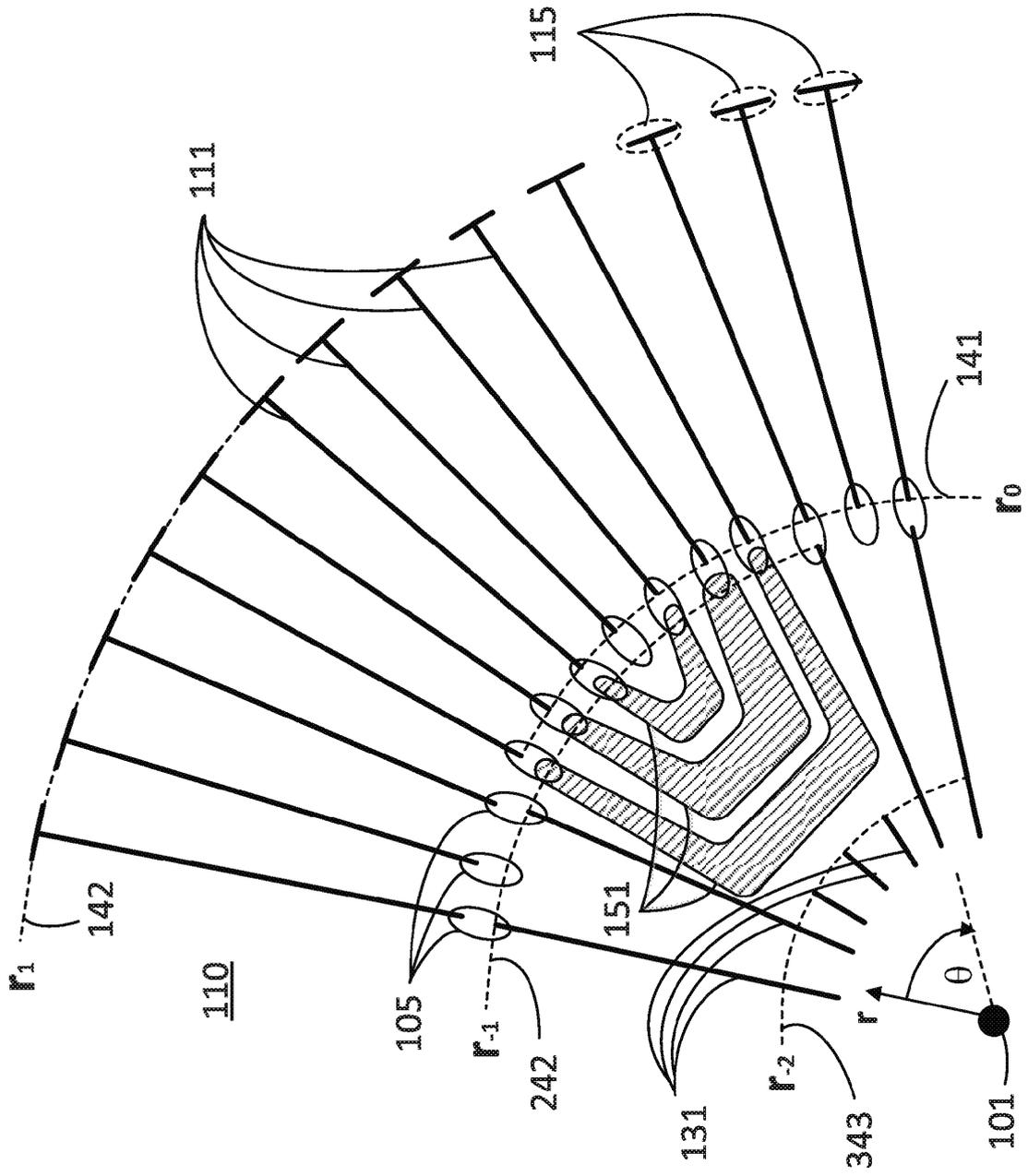


FIG. 3

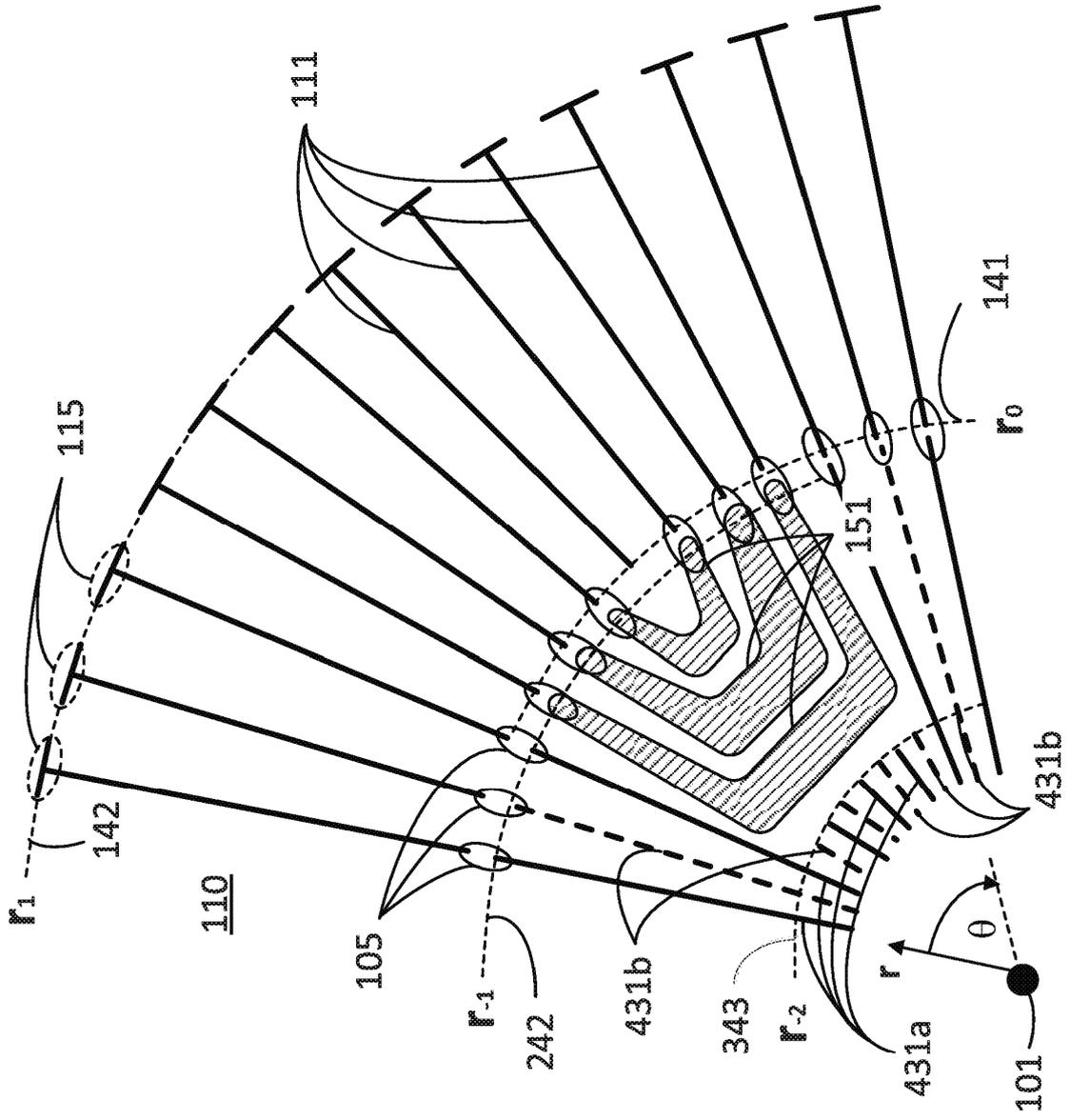


FIG. 4

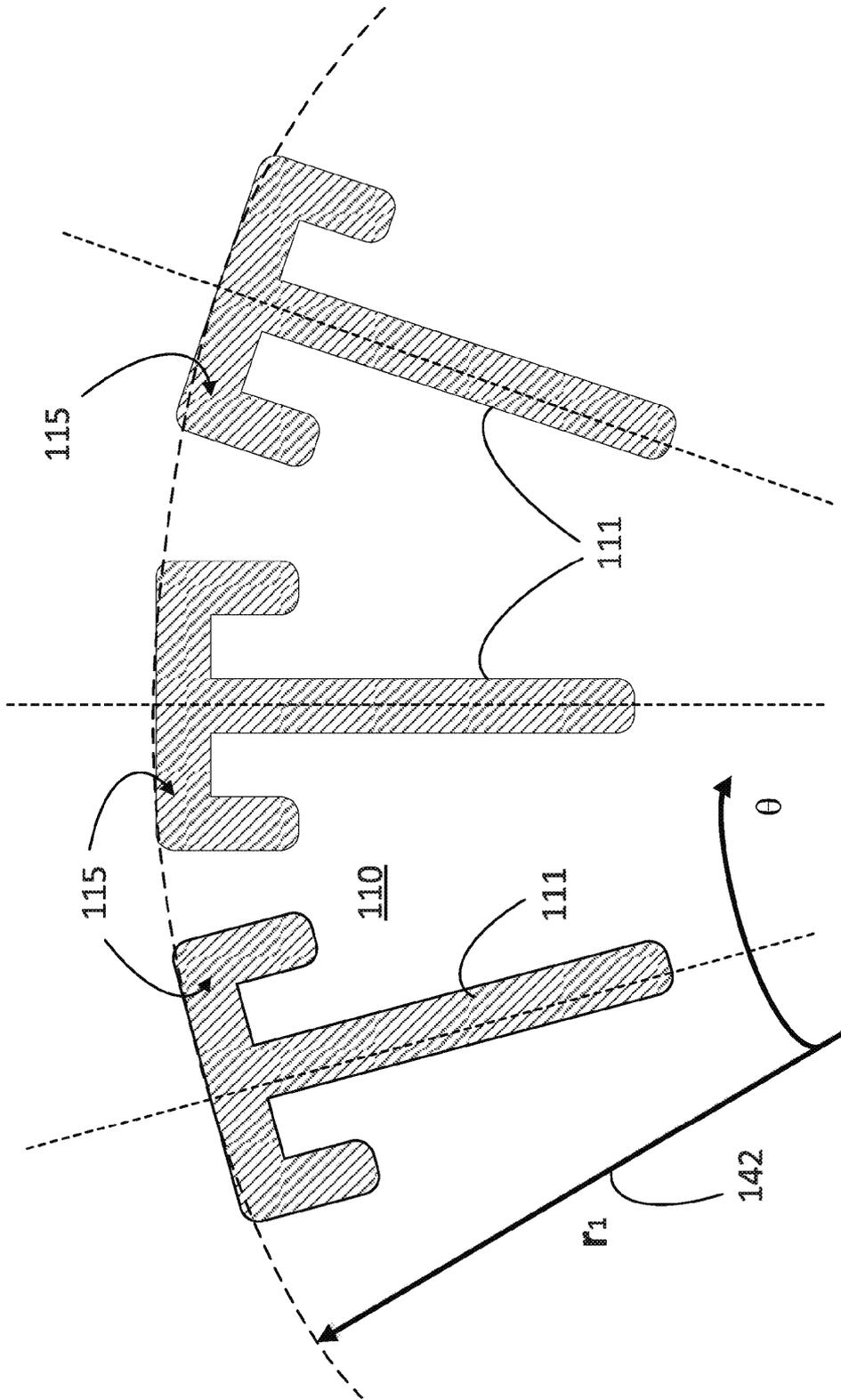


FIG. 5

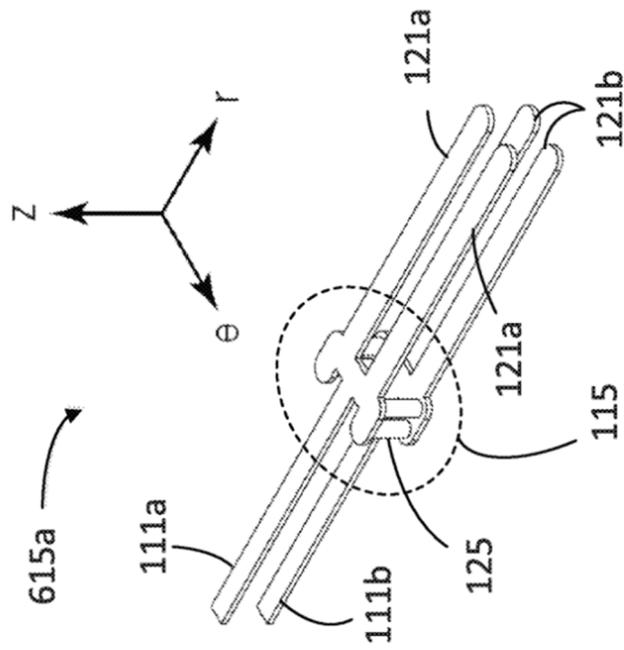


FIG. 6A

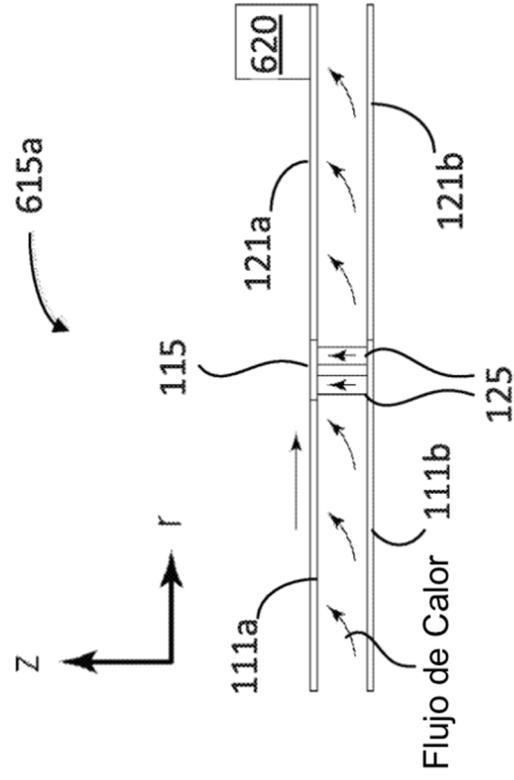


FIG. 6B

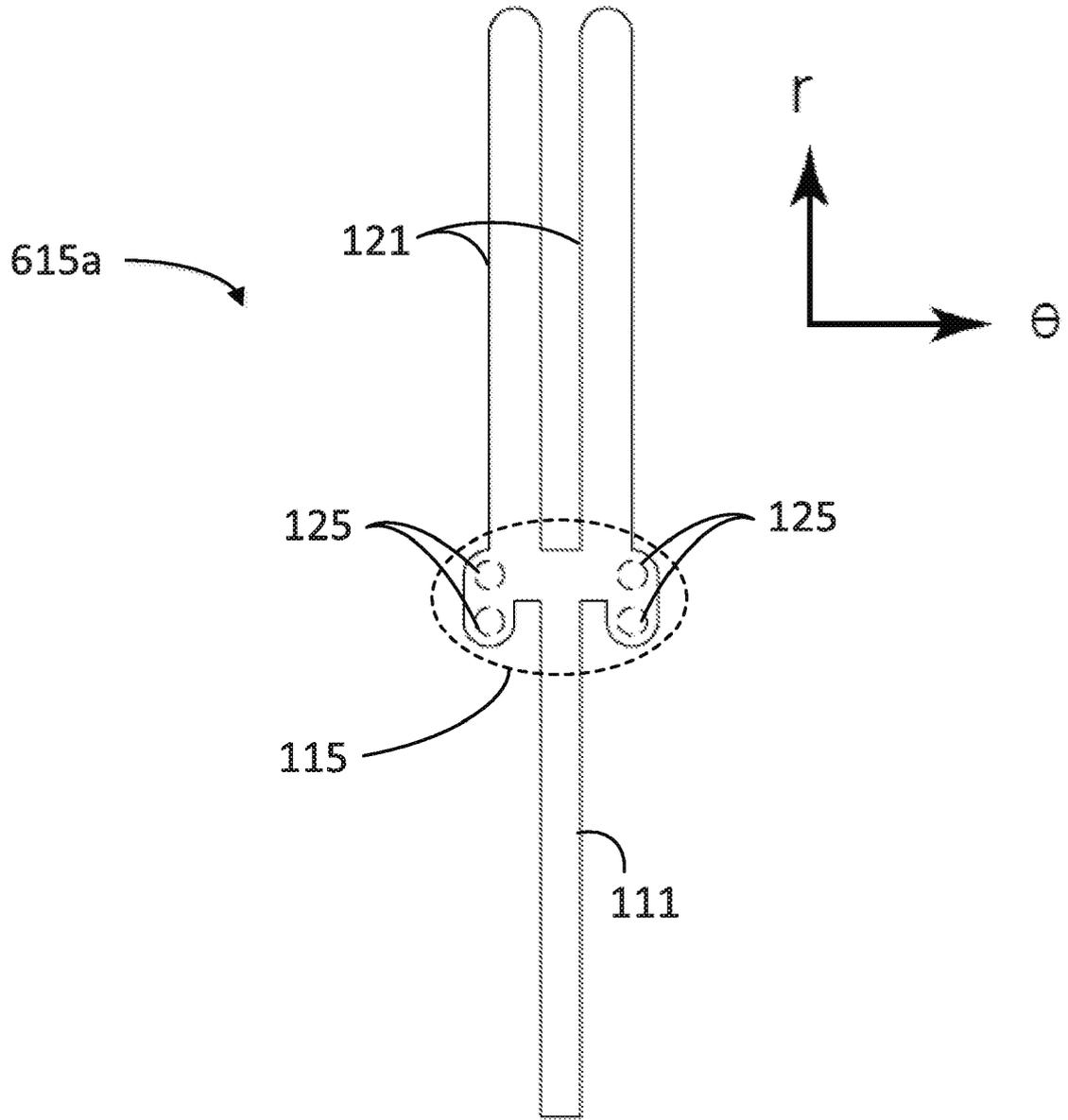


FIG. 6C

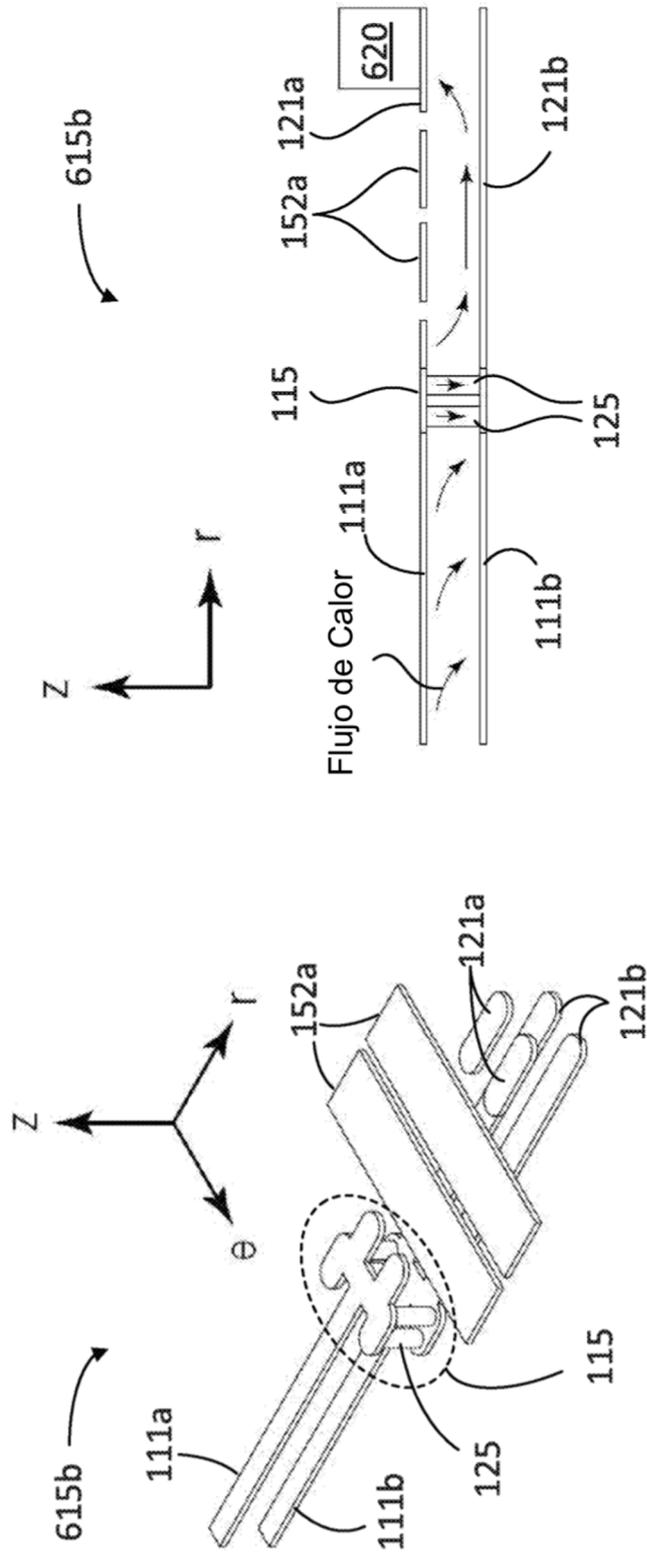


FIG. 6E

FIG. 6D

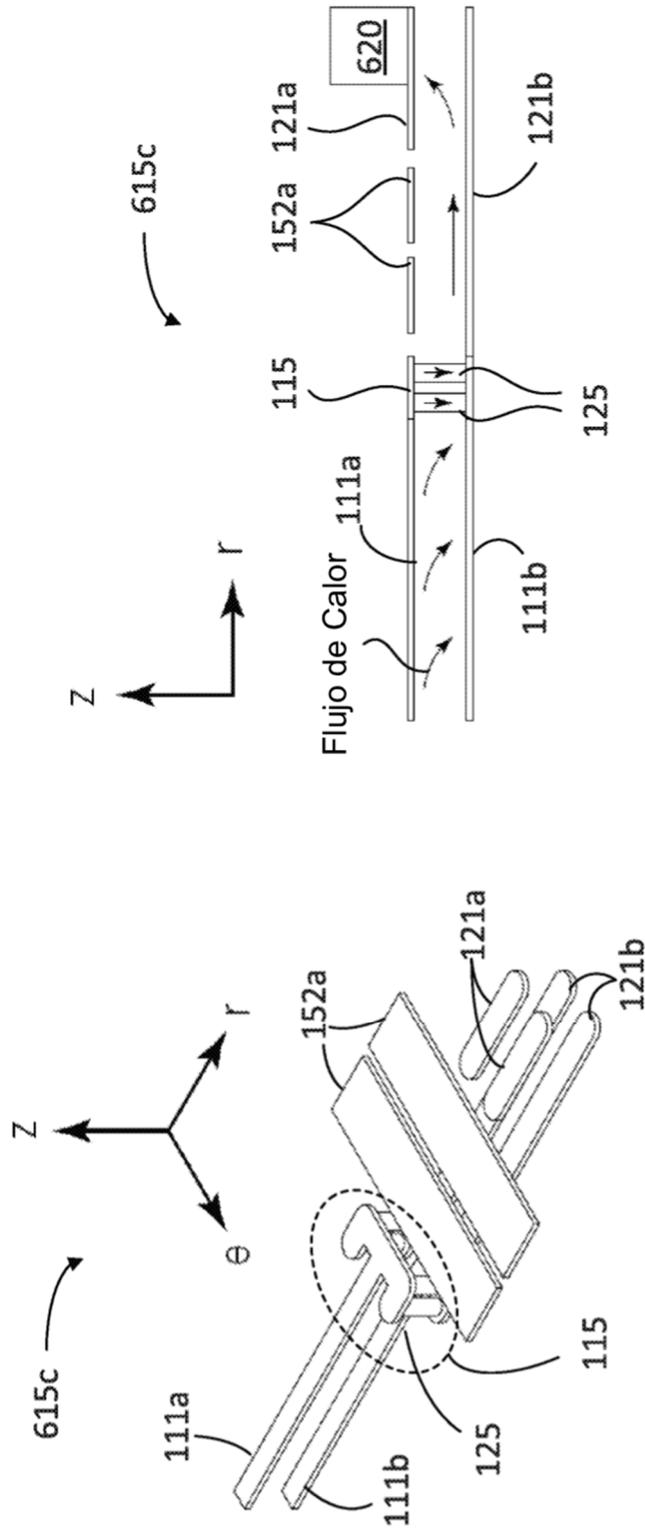


FIG. 6G

FIG. 6F

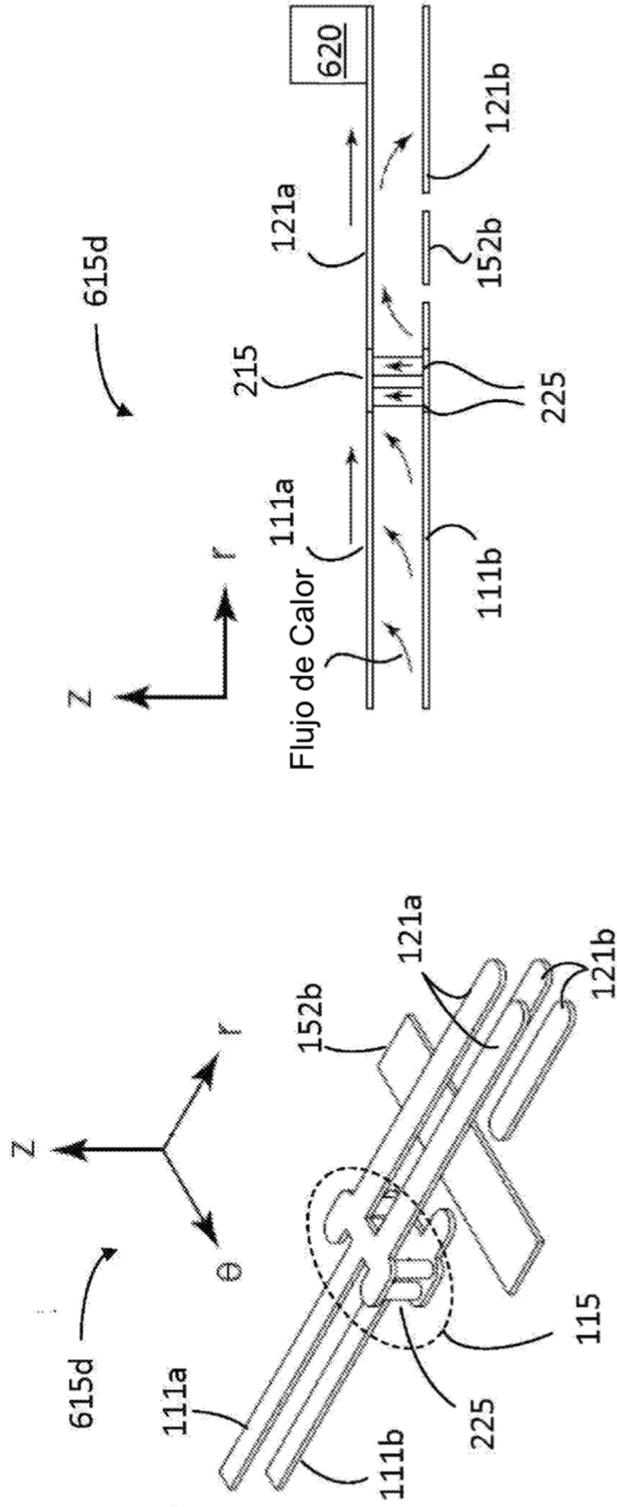


FIG. 6I

FIG. 6H

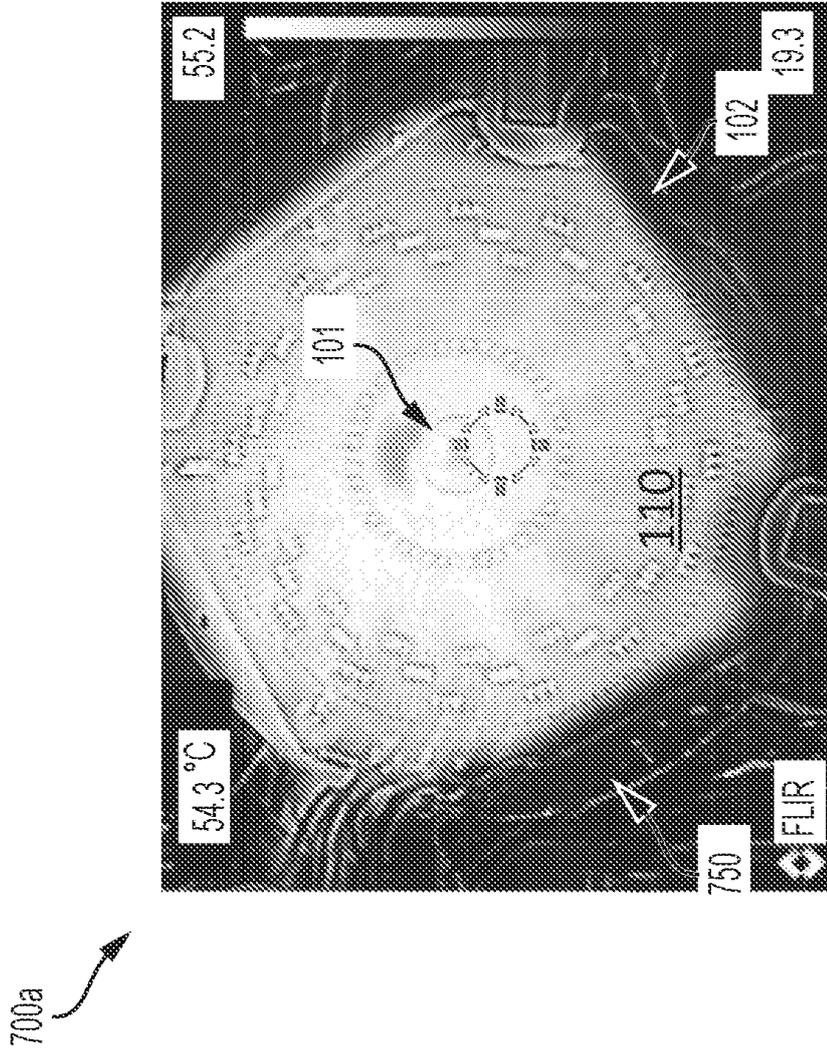


FIG. 7A

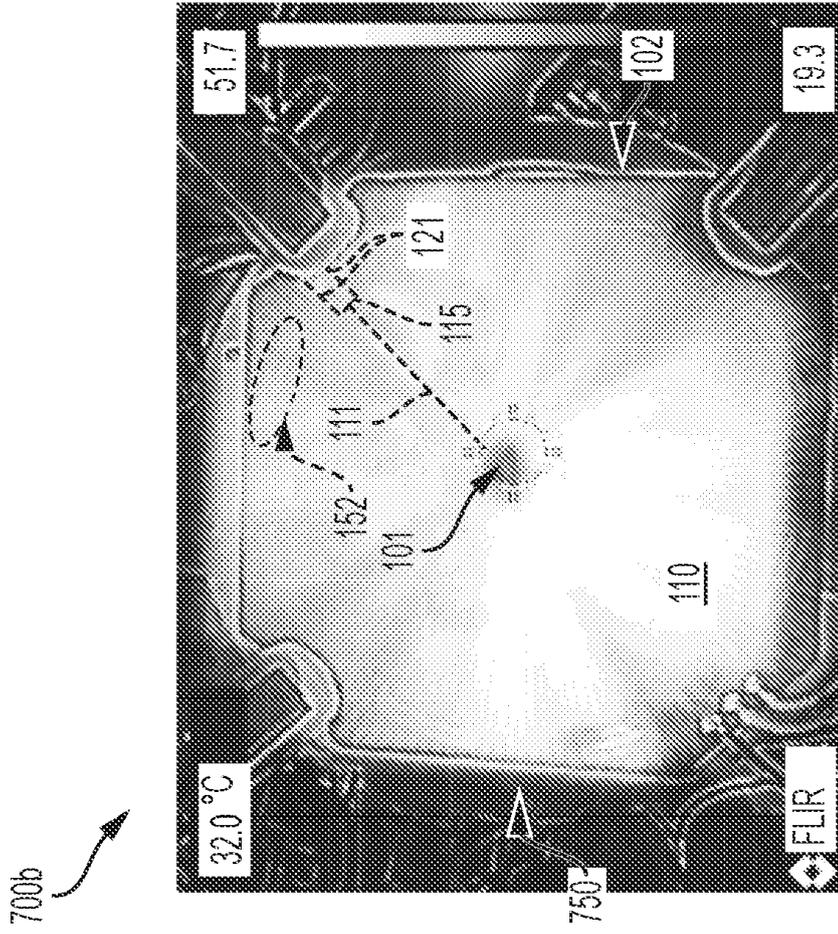


FIG. 7B

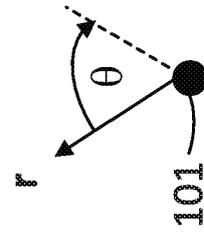
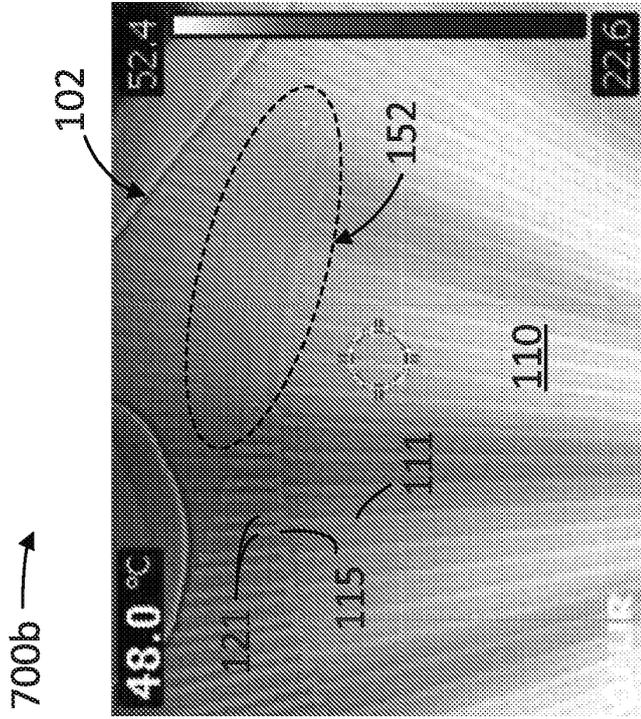


FIG. 7D

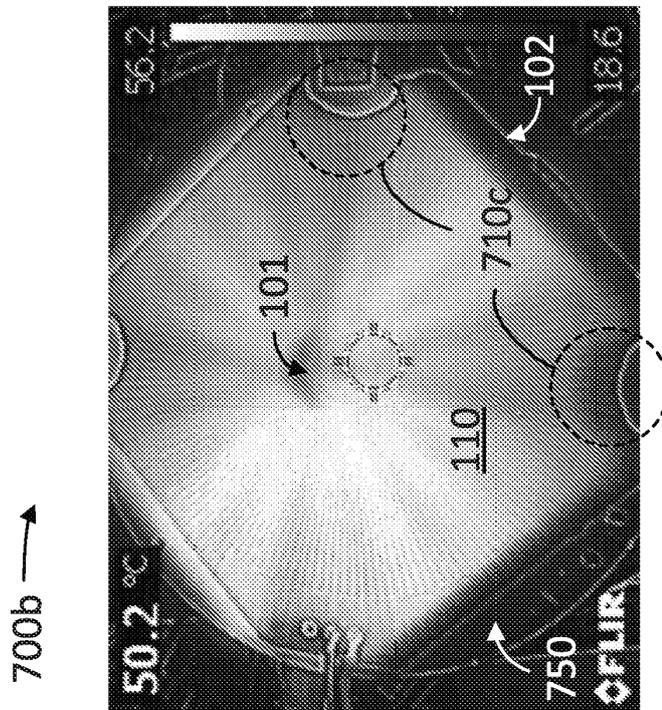


FIG. 7C

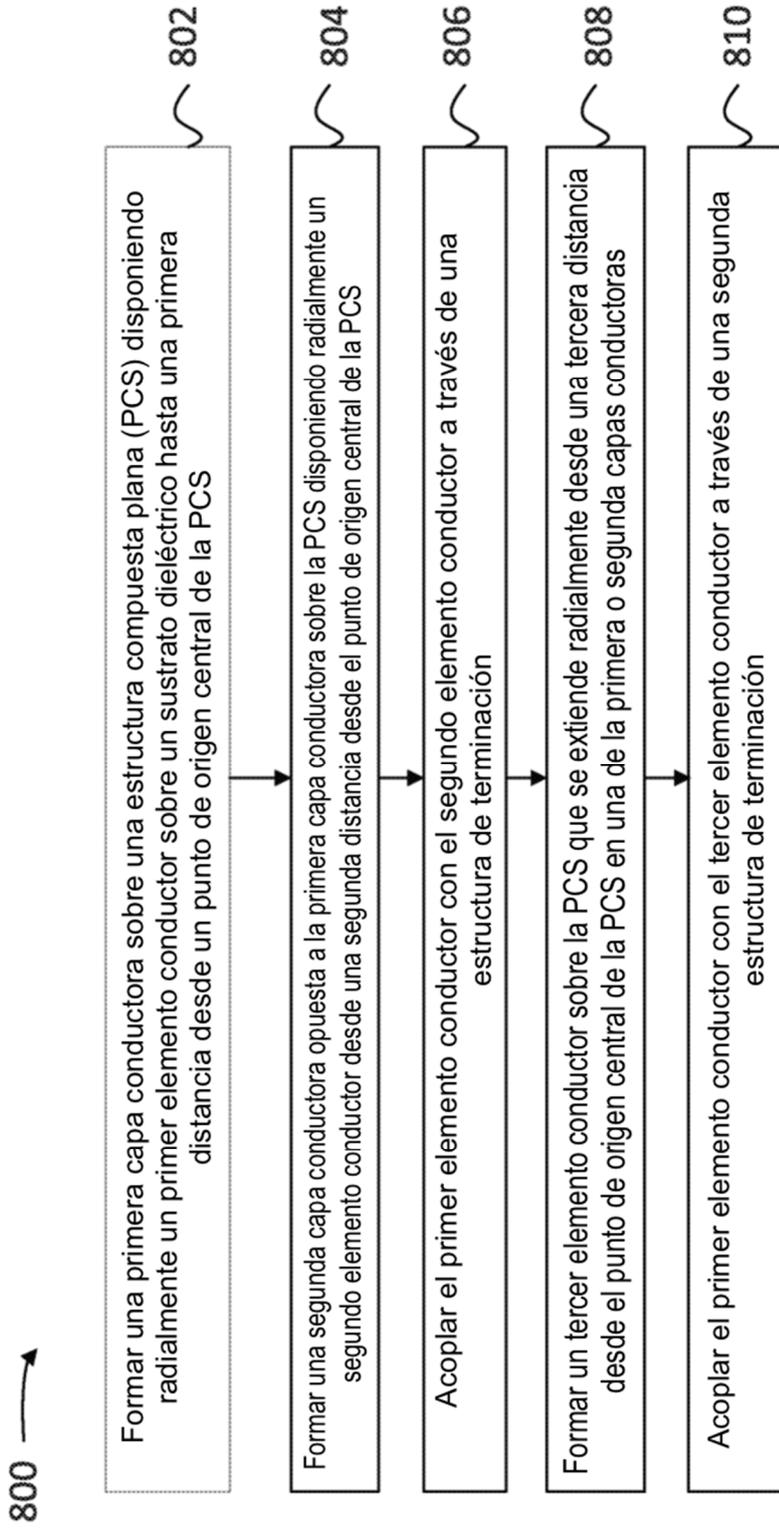


FIG. 8