

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 611 481**

51 Int. Cl.:

H05H 1/24

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.11.2009** **PCT/US2009/064426**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.05.2010** **WO10059526**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.11.2009** **E 09761083 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.10.2016** **EP 2347637**

54 Título: **Matriz en cascada separada para generar y mover cúmulos de plasma para control activo del flujo de aire y método del mismo**

30 Prioridad:

19.11.2008 US 273650

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

09.05.2017

73 Titular/es:

**THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US**

72 Inventor/es:

**KHOZIKOV, VYACHESLAV y
LIU, SHENGYI**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 611 481 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

Matriz en cascada separada para generar y mover cúmulos de plasma para control activo del flujo de aire y método del mismo

Campo de la descripción

- 5 Esta descripción se refiere, en general, a la gestión de flujos de aire sobre superficies aerodinámicas, y se refiere, más específicamente a matrices de electrodos para generar y mover activamente cúmulos de plasma para gestionar esos flujos de aire.

Antecedentes

- 10 En diversos escenarios aerodinámicos diferentes, los flujos de aire que se producen sobre superficies aerodinámicas pueden volverse turbulentos, y en algunos casos, pueden reducir las características de sustentación de las superficies aerodinámicas. Estas características de sustentación reducidas pueden dar como resultado eficiencia aerodinámica global reducida, así como un mayor consumo de combustible.

- 15 Técnicas anteriores han abordado este asunto proporcionando diversos tipos de sistemas de control del flujo de aire activos. Sin embargo, estas técnicas previas normalmente implican sistemas mecánicos, electromecánicos o neumáticos. Además, instalar o actualizar dichos sistemas puede implicar una modificación significativa de la estructura subyacente a la superficie aerodinámica. Por lo tanto, estos sistemas previos pueden ser caros de implementar, en términos de coste y trabajo para instalar o actualizar sobre superficies aerodinámicas existentes.

- 20 Además, algunos sistemas de control del flujo de aire activos previos incorporan varios electrodos dispuestos a lo largo de un único dieléctrico dado. Sin embargo, dichos sistemas pueden no utilizar de forma eficiente el área superficial de una superficie aerodinámica que estaría, en caso contrario, disponible para generar plasma. Por ejemplo, si los electrodos están ubicados demasiado cerca entre sí, pueden formarse contrafuerzas entre electrodos adyacentes. Estas contrafuerzas pueden dar como resultado cúmulos de plasma más pequeños y más débiles, que son menos eficaces en la generación de flujos de aire en masa.

- 25 Para reducir la formación de estas contrafuerzas, estos sistemas de control del flujo de aire activos previos pueden incrementar las distancias entre los electrodos a lo largo del único dieléctrico. Sin embargo, estas distancias incrementadas entre electrodos pueden dar como resultado menos unidades de generación de plasma por unidad de área superficial sobre la superficie aerodinámica. Esta concentración reducida de unidades de generación de plasma, a su vez, puede reducir la eficiencia de estos sistemas de control del flujo de aire previos para influir en flujos de aire en masa.

30 Compendio

Debe apreciarse que este compendio se proporciona para presentar una selección de conceptos de forma simplificada, que se describen adicionalmente más adelante en la descripción detallada. Este compendio no está concebido para ser usado para limitar el alcance del asunto reivindicado.

- 35 Según una realización, en la presente memoria se describe una matriz de electrodos separada espacialmente para generar plasma. La matriz incluye un primer electrodo dispuesto sobre un primer dieléctrico, y al menos un segundo electrodo. Un segundo electrodo está intercalado entre el primer dieléctrico y el segundo dieléctrico. Una o más fuentes de alimentación proporcionan energía eléctrica a los primer y segundo electrodos. A su vez, un controlador de la fuente de alimentación controla la fuente de alimentación, para regular la energía eléctrica suministrada al primer y al segundo electrodos, y para hacer que los primer y segundo electrodos generen plasma a lo largo de la superficie del primer dieléctrico.

- 40 En otra realización, un método para construir una matriz de los electrodos incluye proporcionar los primer y segundo electrodos y los primer y segundo dieléctricos. El primer dieléctrico está intercalado entre los primer y segundo electrodos, y el segundo electrodo está escalonado con respecto al primer electrodo, de modo que el segundo electrodo se extienda más allá del primer dieléctrico. Los electrodos se colocan en comunicación con una fuente de alimentación, que proporciona energía eléctrica a los electrodos. Uno o más controladores de la fuente de alimentación es operativo para controlar individualmente la energía eléctrica suministrada al primer y al segundo electrodos, para generar cúmulos de plasma respectivos próximos a los electrodos.

- 45 Las características, funciones y ventajas descritas en la presente memoria pueden conseguirse independientemente en diversas realizaciones de la presente descripción o pueden combinarse en otras realizaciones más, de las cuales pueden verse detalles adicionales con referencia a la siguiente descripción y los dibujos.

El documento WO 2008/016928 se refiere a realizaciones de la presente invención que se refieren a un vehículo deslizador microaéreo sin alas (*Wingless Hovering Micro Air Vehicle* (WHOMAV)) y su Unidad de fuente de energía (*Power Source Unit* (PSU)). Realizaciones pueden funcionar a niveles de energía razonables para planear y soportar las ráfagas de viento esperadas. Realizaciones de la presente invención pueden tener un diámetro menor de 15 cm.

Las realizaciones pueden tener una o más superficies lisas (curvatura continua) y pueden accionarse usando principios electromagnéticos y electrohidrodinámicos. El diseño sin alas de realizaciones específicas puede permitir el funcionamiento sin componentes giratorios o móviles. Realizaciones adicionales pueden permitir una respuesta activa a las condiciones de flujo circundantes. El problema de baja relación de sustentación con respecto a resistencia aerodinámica y degradación de la eficiencia de la superficie aerodinámica debido a la incapacidad de fijación de capas limítrofes laminares también puede reducirse significativamente, o eliminarse. La fuerza electromagnética puede generarse aplicando una tensión pulsada (alterna/rf) entre un conjunto de electrodos conectados a tierra y alimentados separados por un aislante polimérico, dieléctrico, u otro material con propiedades aislantes.

- 10 La presente invención se expone en las reivindicaciones independientes, con algunas características opcionales expuestas en las reivindicaciones dependientes de éstas.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra casos ejemplares de matrices en cascada para generar selectivamente y mover cúmulos de plasma, instaladas sobre una superficie aerodinámica.

- 15 La figura 2 es un diagrama esquemático que ilustra cómo las matrices en cascada mostradas en la figura 1 pueden ajustar selectivamente un punto en el que flujos de aire turbulentos se separan de la superficie aerodinámica.

La figura 3 es un diagrama que ilustra una única unidad que está incluida en las matrices en cascada mostradas en figuras previas.

- 20 La figura 4 es un diagrama que ilustra varias de las unidades para generar y mover plasma, que pueden estar incluidas en las matrices en cascada mostradas en figuras previas.

La figura 5 es un diagrama que proporciona otra vista de unidades que están en cascada en matrices para generar y mover plasma.

La figura 6 es un diagrama que ilustra cúmulos de plasma generados por las matrices en cascada en respuesta a una primera fase de una forma de onda de tensión de entrada.

- 25 La figura 7 es un diagrama que ilustra el movimiento de los cúmulos de plasma generados en la figura 6, en respuesta a una fase posterior de la forma de onda de tensión de entrada.

La figura 8 es un diagrama de circuitos que ilustra un ejemplo de una fuente de tensión para la matriz en cascada.

La figura 9 es un diagrama de circuitos que ilustra otro ejemplo de una fuente de tensión para la matriz en cascada.

- 30 La figura 10 es un diagrama de bloques que ilustra sensores de tensión y un controlador de tensión para regular la fuente de tensión.

Descripción detallada

La siguiente descripción detallada describe diversas herramientas y técnicas relacionadas con matrices en cascada para generar y mover selectivamente cúmulos de plasma. Esta descripción se entiende de la forma más fácil con referencia a los dibujos adjuntos, en los que números de referencia similares pueden aparecer en diferentes dibujos para referirse a elementos similares.

- 35

Para los fines de esta descripción, pero sin limitar posibles implementaciones, el término "plasma", tal como se usa en la presente memoria, puede referirse a moléculas de gas o aire ionizadas que resultan cuando las moléculas de gas o aire pasan a través de un campo eléctrico definido entre dos electrodos. Normalmente, las moléculas de aire pierden uno o más electrones, o se dividen, por lo tanto producen partículas con carga neutra, positiva o negativa, y también liberan otros eléctricos libres.

- 40

La figura 1 ilustra sistemas, indicados generalmente en 100, en el que una superficie aerodinámica 102 tiene instalados cualquier número de elementos de matriz en cascada 104A, 104B, 104C, 104D, y 104N (colectivamente, matrices en cascada 104). La superficie aerodinámica 102 puede representar, por ejemplo, un ala fija. Otros ejemplos de la superficie aerodinámica 102 pueden incluir superficies exteriores de camiones, coches de carreras, vehículos lúdicos, u otros vehículos. Las superficies aerodinámicas 102 también pueden incluir palas de turbina. En general, la superficie aerodinámica 102 puede representar superficies exteriores proporcionadas por cualquier vehículo (o componentes del mismo) que se mueve o es movido a través de aire o gas, que también experimenta pérdidas asociadas con fuerzas de resistencia aerodinámica impuestas por el aire o gas. Por concisión de descripción, pero no para limitar posibles implementaciones, esta descripción se refiere a flujos de aire y de gas colectivamente como flujos de aire.

- 50

Volviendo a la superficie aerodinámica 102 con más detalle, la superficie aerodinámica puede experimentar flujos de aire en el sentido de la corriente, indicados generalmente en 106. Estos flujos de aire en el sentido de la corriente

106 pueden producirse cuando una superficie aerodinámica fija 102 se mueve a través de una masa de aire como parte de un vehículo más grande. Estos flujos de aire en el sentido de la corriente 106 también pueden producirse cuando una superficie aerodinámica giratoria o móvil es impulsada a través de la masa de aire. Para controlar estos flujos de aire en el sentido de la corriente 106, la superficie aerodinámica 102 puede incluir cualquier número de los elementos de matriz en cascada 104A-104C, dispuestos de forma generalmente perpendicular a estos flujos de aire en el sentido de la corriente 106, tal como se muestra.

La superficie aerodinámica 102 también puede experimentar flujos de aire de fuga, representados generalmente en 108. Para controlar estos flujos de aire de fuga 108, la superficie aerodinámica 102 puede incluir cualquier número de elementos de matriz en cascada 104D y 104N. En el ejemplo mostrado, el elemento de matriz en cascada 104D está instalado en un lado de la superficie aerodinámica 102, mientras que el elemento de matriz en cascada 104N está instalado en un lado opuesto de la superficie aerodinámica 102. Por esta razón, la figura 1 representa el elemento de matriz 104N en contorno en línea discontinua.

En algunas implementaciones, los elementos de matriz en cascada 104D y 104N pueden estar instalados sobre la superficie de la superficie aerodinámica 102, sin modificar sustancialmente la superficie que subyace a la superficie aerodinámica. Aparte de recibir energía eléctrica procedente del vehículo, los elementos de matriz 104D y 104N pueden tener un impacto estructural mínimo sobre el vehículo en el que están instalados.

Considerados conjuntamente, los elementos de matriz en cascada 104 pueden controlar flujos de aire que se mueven sobre la superficie aerodinámica 102 en dirección en el sentido de la corriente y/o en el sentido de la envergadura. Para describir los tipos de control proporcionados por los elementos de matriz 104, la descripción vuelve ahora a la figura 2.

La figura 2 ilustra puntos de separación de flujos de aire, indicados generalmente en 200, que pasan sobre una superficie aerodinámica (p. ej., 102A y 102B) en diferentes escenarios. En un primer escenario, indicado generalmente en 202, la superficie aerodinámica 102a experimenta un flujo de aire en el sentido de la corriente 106A. En el escenario 202, la superficie aerodinámica 102A no está equipada con los elementos de matriz en cascada 104. Cuando el flujo de aire 106a se encuentra con un borde de ataque 204A de la superficie aerodinámica 102A, al menos una parte del flujo de aire 106A puede pasar sobre la superficie aerodinámica 102, tal como se muestra. En ciertas condiciones aerodinámicas, el flujo de aire 106A puede experimentar condiciones turbulentas, indicadas generalmente en 206A: en algún punto a lo largo de la superficie aerodinámica 102A, indicado generalmente en 208A, el flujo de aire 106A puede separarse de la superficie aerodinámica 102A.

Si el punto de separación 208A está suficientemente cerca del borde de ataque 204A, puede crearse fuerza de resistencia aerodinámica adicional en la superficie aerodinámica 102A, reduciendo la capacidad de sustentación proporcionada por la superficie aerodinámica. En casos extremos, la superficie aerodinámica 102A puede experimentar condiciones de pérdida aerodinámica.

En otro escenario, indicado generalmente en 210, la superficie aerodinámica 102B experimenta un flujo de aire en el sentido de la corriente 106B. A medida que el flujo de aire 106B se encuentra con el borde de ataque 204B de la superficie aerodinámica 102, al menos una parte del flujo de aire 106B puede pasar sobre la parte superior de la superficie aerodinámica 102B, tal como se muestra. En el escenario 210, la superficie aerodinámica 102B está equipada con uno o más de los elementos de matriz en cascada 104. Estos elementos de matriz en cascada 104 pueden estar instalados en cualquier lugar a lo largo de la superficie aerodinámica 102B según sea apropiado, con la ubicación mostrada en la figura 2 proporcionada solamente como un ejemplo para facilitar esta descripción.

Volviendo a los elementos de matriz 104 con más detalle, estos elementos de matriz 104 pueden funcionar tal como se describe en la presente memoria selectivamente para controlar el punto de separación 208B a lo largo de la superficie de la superficie aerodinámica 102B. En el escenario ejemplar 210, los elementos de matriz 104 funcionan para mover el punto de separación 208B más hacia abajo en la superficie aerodinámica 102B. La figura 2 ilustra el punto de separación 208B en una ubicación arbitraria, no limitante a lo largo de la superficie aerodinámica 102B. En este escenario 210, una parte separada 206B del flujo de aire 106B se mueve más hacia abajo en la superficie aerodinámica, incrementando de este modo la capacidad de sustentación de la superficie aerodinámica e incrementando la tasa de sustentación de un vehículo aéreo, mientras que también se reduce la posibilidad de una condición de pérdida aerodinámica.

Habiendo ilustrado cómo los elementos de matriz 104 pueden controlar selectivamente el punto de separación 208 a lo largo de la superficie aerodinámica 102, la descripción vuelve ahora a una descripción más detallada de los elementos de matriz 104. Esta descripción se proporciona ahora con la figura 3.

La figura 3 ilustra una unidad, indicada generalmente en 300, que se apilará en una forma de matriz en cascada para generar y mover cúmulos de plasma. Las matrices en cascada 104, tal como se muestra en las figuras previas, pueden incluir cualquier número de estas unidades de generación de plasma 300.

Volviendo a las unidades de generación de plasma 300 con más detalle, estas unidades pueden incluir el electrodo 302 y un dieléctrico 304. En los ejemplos mostrados en la figura 3, el electrodo 302 y el dieléctrico 304 pueden estar prolongados a cualquier longitud conveniente, y pueden estar contruidos para tener cualquier espesor adecuado.

La figura 4 ilustra construcciones, indicadas generalmente en 400, que incluyen varias de las unidades de generación de plasma 300A-300N (colectivamente, unidades de generación de plasma 300), con una matriz en cascada dada 104 que incluye cualquier número de las unidades de generación de plasma 300. Tal como se muestra en la figura 4, la unidad de generación de plasma 300A puede incluir el electrodo 302A y el dieléctrico 304A.

5 Del mismo modo, la unidad de generación de plasma 300B puede incluir el electrodo 302B y el dieléctrico 304B, la unidad de generación de plasma 300C puede incluir el electrodo 302C y el dieléctrico 304C, y la unidad de generación de plasma 300N puede incluir el electrodo 302N y el dieléctrico 304N. Mientras que la figura 4 ilustra cuatro ejemplos de las unidades 300A-300N, se observa que implementaciones de esta descripción pueden incluir cualquier número de las unidades 300.

10 Volviendo a la figura 4 con más detalle, la matriz en cascada 104 puede construirse de modo que el dieléctrico 304A está intercalado entre los electrodos 302A y 302B, el dieléctrico 304B está intercalado entre los electrodos 302B y 302C, y así sucesivamente. En el ejemplo mostrado en la figura 4, el dieléctrico 304A es ligeramente más largo que el electrodo 302A, el electrodo 302B es ligeramente más largo que el dieléctrico 304A, y así sucesivamente.

15 Tal como se muestra y se describe adicionalmente a continuación en la figura 7, la matriz en cascada 104 también puede estar construida para tener una configuración curva, flexionada, o no plana. En estas últimas configuraciones, los electrodos y los dieléctricos pueden estar escalonados unos con respecto a otros, dando como resultado una disposición generalmente en escalón. En esta disposición, un electrodo dado puede extenderse algo más allá del dieléctrico inmediatamente por encima de éste en la matriz, el dieléctrico inmediatamente por debajo del electrodo dado puede extenderse más allá del electrodo, y así sucesivamente.

20 En la configuración mostrada en la figura 4, la matriz en cascada 104 puede definir una pluralidad de áreas 306A, 306B, 306C, y 306N (colectivamente, áreas 306) adecuadas para generar cúmulos de plasma. Estos cúmulos de plasma se ilustran y se describen con más detalle con la figura 6 más adelante. Sin embargo, para los fines de describir la figura 4, el área 306A puede estar definida en general por cuánto se extienden el dieléctrico 304A y el electrodo 302B pasado el extremo del electrodo 302A. Análogamente, el área 306B puede estar definida en general

25 por cuánto se extienden el dieléctrico 304B y el electrodo 302C pasado el extremo del electrodo 302B, y el área 306C puede estar definida por cuánto se extienden el dieléctrico 304C y un siguiente electrodo (no mostrado) pasado el electrodo 302C. Finalmente, el área 306N puede estar definida por cuánto se extiende un dieléctrico 304N pasado el electrodo 302N. Se aprecia a partir de esta descripción de la figura 4 que la construcción de la matriz 104 puede extenderse a cualquier nivel de cascada.

30 La figura 5 ilustra un ejemplo de construcciones adicionales, indicadas generalmente en 500, de la matriz en cascada 104. Más específicamente, la matriz en cascada 104 puede incluir cualquier número de unidades 300A-300N, que, a su vez, pueden incluir pares respectivos de electrodos 302A-302N y dieléctricos 304A-304N que están en cascada en matrices para generar y mover plasma. Los dieléctricos 304A, 304B, 304C y 304N también pueden estar acortados, así como los electrodos 302B, 302C y 302N. Estos electrodos y dieléctricos acortados pueden

35 incrementar la flexibilidad física de la matriz en cascada global.

Comparando las matrices en cascada 104 tal como se muestra en las figuras 4 y 5, los dieléctricos 304 tal como se muestra en la figura 5 son de aproximadamente las mismas longitudes. Sin embargo, los dieléctricos 304 tal como se muestra en la figura 4 son de diversas longitudes diferentes, dependiendo de dónde estén ubicados dentro de la matriz en cascada 104. Con referencia a las figuras tanto 4 como 5, las matrices en cascada 104 pueden estar separadas o en cascada en una primera dirección (p. ej., horizontalmente, tal como se representa mediante la flecha 502), y pueden estar separadas o en cascada en otra dirección (p. ej., verticalmente, tal como se representa mediante la flecha 504). La disposición en cascada en la dirección representada mediante la flecha 502 puede depender de cuántas unidades diferentes 300A-300N están escalonadas unas con respecto a otras. La disposición en cascada en la dirección representada mediante la flecha 504 puede depender del espesor de los electrodos 302 y

45 los dieléctricos 304.

La figura 6 ilustra ejemplos de escenarios, indicados generalmente en 600, mediante los cuales a matriz en cascada dada 104 puede accionar las diferentes unidades 300A-300N para generar cúmulos de plasma en las diferentes áreas 306A-306N. Más específicamente, la matriz en cascada 104 puede funcionar en respuesta a una forma de onda de entrada, indicada generalmente en 602. Con referencia a la forma de onda de entrada 602, la energía de

50 entrada 604 (expresada sin limitación como tensión de entrada) puede tener forma, amplitud y/o polaridad 606 que varía a lo largo del tiempo 608. Dicho de forma diferente, la energía de entrada 604 puede alternar periódicamente a lo largo del tiempo.

Tal como se describe adicionalmente en las figuras 8-10, los diversos electrodos 302A-302N pueden estar acoplados para recibir la tensión de entrada 604. Sin embargo, los detalles de estas conexiones se omiten de la

55 figura 6 por comodidad de descripción. Volviendo a la figura 6 con más detalle, los electrodos 302A y 302B pueden definir una tensión 610A uno con respecto al otro, a través del dieléctrico 304A. En respuesta a una primera fase (o media) de un ciclo de esta tensión, gas o aire próximo al área 306A puede ionizarse, para formar un cúmulo de plasma 612A.

De manera similar, los electrodos 302B y 302C pueden definir una tensión 610B a través del dieléctrico 304B,

causando la generación del cúmulo de plasma 612B. Del mismo modo, los electrodos 302N y el electrodo previo 302(N-1) (no mostrado) pueden definir una tensión 610N a través del dieléctrico 304N, causando la generación del cúmulo de plasma 612N.

Los electrodos 302B, 302C y 302N pueden ser de configuración en forma de L, con una parte más espesa dispuesta tal como se muestra en la figura 6. Las partes más espesas de los electrodos 302B, 302C y 302N pueden colocar una parte de los electrodos generalmente a ras con los dieléctricos inmediatamente por encima de los electrodos. Esta configuración puede promover la generación de los cúmulos de plasma 612 en las áreas 306.

La figura 7 ilustra ejemplos de escenarios, indicados generalmente en 700, mediante los cuales los cúmulos de plasma 612A-612N que se generaron en la figura 6 se mueven en respuesta a una fase alternativa de un ciclo 604 de la forma de onda de entrada 602. Por ejemplo, suponiendo una forma de onda de entrada 602 que representa una fuente de energía de corriente alterna (CA), el escenario mostrado en la figura 6 puede producirse durante una fase 604 de la fuente de energía de CA, mientras que el escenario mostrado en la figura 7 puede producirse durante una fase posterior 702 de la fuente de energía.

Se observa que los ejemplos de las formas de onda de entrada 602 se proporcionan solamente para facilitar la ilustración, pero no para limitar posibles implementaciones. Más específicamente, se observa que las formas de onda de entrada pueden asumir otras formas, sin alejarse del alcance de esta descripción. Ejemplos de dichas otras formas pueden incluir, pero no se limitan a: forma de onda de diente de sierra, formas de onda triangulares, formas de onda que tienen ciclos de trabajo no uniformes o no estándar, y otras formas de onda no ilustradas específicamente en la presente memoria. En general, diferentes formas de onda pueden seleccionarse o personalizarse como adecuadas para las circunstancias de escenarios de implementación particulares, para conseguir efectos de generación y desplazamiento de plasma predefinidos particulares.

La figura 7 continúa con la matriz en cascada ejemplar 104, que puede incluir las unidades 300A-300N para generar los cúmulos de plasma 612A-612N en las inmediaciones de las áreas respectivas 306A-306N. Tomadas como un todo, las unidades 300A-300N puede estar sometidas a una tensión acumulativa 702 en la segunda fase del ciclo 602, que se mostró en la figura 6. A medida que la forma de onda de entrada 602 entra en la fase 704, la tensión aplicada a las unidades 300A-300N puede hacer que los cúmulos de plasma experimenten transición. Análogamente, el mismo efecto puede conseguirse cualitativamente aplicando la fase 704 entre los pares de electrodos ajustados 302A y 302B, generando tensión 610A de la polaridad opuesta; entre los pares ajustados 302B y 302C, generando tensión 610B de la polaridad opuesta, y así sucesivamente. Del mismo modo, la fase 704 puede aplicarse entre los electrodos 304N y 304(N-1) (no mostrados) generando tensión 610N de la polaridad opuesta. Estas etapas inversas pueden realizarse simultánea o subsiguientemente.

Suponiendo que la matriz en cascada 104 está instalada sobre la superficie de una superficie aerodinámica, el movimiento de los cúmulos de plasma 612A-612N pueden inducir colectivamente movimiento de la masa de aire a lo largo de la superficie de la superficie aerodinámica, en la dirección indicada por la flecha 706. De esta manera, las transiciones de tensión que se producen a través de las unidades 300 pueden inducir movimientos de aire a lo largo de la superficie aerodinámica, controlando de este modo selectivamente el punto de separación (p. ej., 208B en la figura 2).

Generalizando a partir del ejemplo mostrado en las figuras 6 y 7, la forma de onda 602 aplicada a las unidades 300 en la matriz en cascada 104 puede ajustarse, para inducir movimientos de aire en cualquier dirección generando y moviendo cúmulos de plasma, según sea apropiado. En general, las diferentes unidades 300 pueden estar controladas individualmente, para inducir movimiento de los cúmulos de plasma generados en las diferentes unidades.

La figura 8 ilustra ejemplos de sistemas de alimentación, indicados generalmente en 800, para suministrar tensión a los electrodos 302A-302N dentro de la matriz en cascada. En el escenario mostrado en la figura 8, los electrodos individuales 302A-302N están asociados con fuentes de alimentación discretas o individuales respectivas 802A-802N (colectivamente, fuentes de alimentación individuales 802). Estas fuentes de alimentación individuales 802 pueden funcionar para generar formas de onda (p. ej., 602 mostrada en las figuras 6 y 7), para proporcionarlas como entrada a los electrodos respectivos 302A-302N. Por lo tanto, estas fuentes de alimentación individuales 802 pueden proporcionar formas de onda personalizadas de CA a los electrodos 302A-302N.

La figura 9 ilustra ejemplos de sistemas de alimentación, indicados generalmente en 900, para suministrar tensión a los electrodos 302A-302N en la matriz en cascada. En los sistemas de alimentación 900 mostrados en la figura 9, una única fuente de alimentación 902 puede suministrar tensión a una red de resistencia-condensador (RC), que está indicada generalmente en 904. La red RC ejemplar 904 puede incluir resistencias 906A-906N (colectivamente, resistencias 906) y condensadores 908A-908N (colectivamente, condensadores 908) acoplados tal como se muestra en la figura 9. La red RC 904 puede recibir una forma de onda de CA de la fuente de alimentación 902, y puede generar formas de onda apropiadas (p. ej., 602 tal como se muestra en las figuras 6 y 7) para entrada a los diferentes electrodos 302A-302N.

Al ilustrar los escenarios de alimentación mostrados en las figuras 8 y 9, se observa que los electrodos 302 se

muestran como configurados solamente por comodidad, pero no para limitar posibles implementaciones. Más específicamente, los electrodos 302 pueden estar configurados de forma diferente a la mostrada en las figuras 8 y 9, mientras que también incorporan las fuentes de alimentación individuales 802 o la red RC 904. Con referencia a la figura 8, el número de fuentes de alimentación individuales 802 incluidas en una implementación dada puede depender de cuántos electrodos individuales 302 están incluidos en esa implementación. Con referencia a la figura 9, la configuración particular de la red RC 904 puede depender de cuántos electrodos individuales 302 estén incluidos en una implementación dada. Además, las resistencias individuales 906 y los condensadores 908 pueden estar configuradas de forma diferente a tal como se muestra en la figura 9, sin alejarse del alcance y el espíritu de la presente descripción.

También se observa que la figura 9 ilustra ejemplos no limitantes de utilización de una única fuente de alimentación 902 para controlar los electrodos. Sin embargo, estos ejemplos pueden ampliarse a otros escenarios. Por ejemplo, una fuente de alimentación dada 902 puede controlar dos o más electrodos al mismo tiempo, aunque no necesariamente suministrando el mismo potencial a estos dos o más electrodos.

Implementaciones de esta descripción también pueden generar formas de onda personalizadas individuales para entrada a los diferentes electrodos 302A-302N desde una única fuente de alimentación 902 usando circuitos diferentes de una red RC. Además, estas formas de onda de entrada pueden generarse usando redes RC diferentes de la red 904 mostrada como un ejemplo en la figura 9.

La figura 10 ilustra sistemas de control de tensión, indicados generalmente en 1000, para regular la fuente de tensión tal como se proporciona a la matriz de electrodos en cascada. Para claridad de ilustración, la figura 10 ilustra una superficie aerodinámica, tal como se ha descrito previamente, en forma de bloque en 102. La figura 10 también ilustra una matriz de electrodos en cascada, tal como se ha descrito previamente, en forma de bloque en 104. Se supone que la matriz en cascada 104 está instalada sobre la superficie aerodinámica, tal como se representa en general mediante la línea discontinua 1002. Además, la figura 10 ilustra una fuente de tensión, que puede representar las fuentes de tensión 800 o 900, tal como se muestra en las figuras 8 o 9. Tal como se ha descrito previamente, la fuente de tensión 800 o 900 puede generar las formas de onda de entrada 602 a las matrices en cascada 104.

Puede instalarse cualquier número de sensores de tensión y/o corriente 1004 para monitorizar tensión y corriente de una matriz en cascada sobre la superficie aerodinámica 102. En momentos dados, los sensores 1004 pueden obtener lecturas de corriente/tensión en bruto, tal como se representa generalmente en 1006. A su vez, los sensores 1004 pueden procesar o acondicionar estas lecturas 1006 según sea apropiado, y proporcionarlas como lecturas de corriente/tensión de entrada 1008 a un controlador de tensión 1010.

Volviendo al controlador de tensión 1010 con más detalle, este controlador puede analizar las condiciones de corriente/tensión en un momento dado sobre la superficie aerodinámica 102, y generar señales de control 1012 en respuesta a estas condiciones. A su vez, la fuente de tensión 800/900 puede recibir las señales de control 1012, y generar la forma de onda de entrada 602 en respuesta a las señales de control 1012. Por ejemplo, si las condiciones tal como se indica mediante los sensores 1004 sugieren que la formación de arcos eléctricos sobre la superficie aerodinámica 102 puede ser inminente, el controlador de tensión 1010 puede ajustar las señales de control 1012 para minimizar el riesgo de formación de arcos eléctricos.

De esta manera, el controlador de tensión 1010 puede regular el funcionamiento de la fuente de tensión 800/900, basándose en presentes condiciones detectadas sobre la superficie aerodinámica 102. Además, el controlador de tensión 1010 puede controlar individualmente las formas de onda enviadas como entrada a las diferentes unidades de generación de plasma (p. ej., 300 en la figura 3), para conseguir un movimiento de masa de aire deseado. El controlador de tensión 1010 puede incorporar circuitos analógicos y/o digitales en diferentes posibles implementaciones, y además pueden incluir componentes de software también.

Habiendo proporcionado la descripción anterior de las figuras 1 a 10, se indican varias observaciones. Las técnicas de separación o disposición en cascada vertical y horizontal tal como se describen e ilustran en la presente memoria, pueden generar cúmulos de plasma que están más cerca entre sí, en comparación de técnicas previas. En total, estos cúmulos de plasma generados pueden ser más grandes, en comparación con estas técnicas previas. Por lo tanto, estos cúmulos de plasma más grandes pueden inducir movimientos de aire mayores, y proporcionar mayores niveles de control sobre el punto de separación o flujo de aire en el sentido de la envergadura o en el sentido de la corriente sobre una superficie aerodinámica dada.

Además, proporcionando separación bidimensional de las unidades de generación de plasma, las unidades electrodo-dieléctricas descritas en la presente memoria pueden reducir o minimizar el efecto de contrafuerzas que actúan entre pares de electrodos colindantes, en comparación con las técnicas previas. En algunos enfoques previos, múltiples unidades de generación de plasma pueden colocarse sobre un único dieléctrico. Sin embargo, si estas unidades de generación de plasma están colocadas demasiado cerca entre sí, entonces los cúmulos de plasma generados por unidades colindantes pueden ejercer contrafuerzas uno sobre otro, reduciendo el tamaño global de los cúmulos de plasma.

- En algunas implementaciones, los diversos electrodos y dieléctricos descritos en la presente memoria pueden tener espesores de aproximadamente 0,5 mm o menos. Matrices en cascada de unidades de generación de plasma construidas a esta escala pueden proporcionar más unidades de generación de plasma por unidad de longitud de superficie aerodinámica, en comparación con técnicas previas. Con más unidades de generación de plasma por
- 5 unidad de longitud de superficie aerodinámica, también puede generarse más plasma por unidad de longitud de superficie aerodinámica.
- Puede producirse un consumo de energía reducido a partir de la gestión y el control del flujo de aire localmente en las unidades de generación de plasma. Por el contrario, técnicas previas pueden controlar el flujo de aire desde una ubicación centralizada que gestiona las unidades de generación de plasma a distancia.
- 10 Aunque las figuras previas ilustran ciertas configuraciones ejemplares de las unidades de generación de plasma, implementaciones de esta descripción también pueden incluir unidades de generación de plasma que tienen otras configuraciones también. Estas configuraciones pueden ser adecuadas para inducir patrones de aire en vórtice, u otros tipos de flujos de aire complejos.
- La descripción anterior proporciona varios ejemplos en los que se inducen flujos de aire en direcciones particulares.
- 15 Sin embargo, se observa que la noción de “controlar” flujos de aire, tal como se proporciona en esta descripción, puede incluir suprimir flujos de aire también. Por ejemplo, con referencia a la figura 1, las matrices en cascada 104d pueden funcionar para suprimirlos flujos de aire en el sentido de la corriente de o de fuga 108.
- El asunto descrito anteriormente se proporciona a modo de ilustración solamente y no limita posibles implementaciones. Pueden realizarse diversas modificaciones y cambios al asunto descrito en la presente memoria sin seguir las realizaciones y aplicaciones ejemplares ilustradas y descritas, y sin alejarse del alcance de la presente
- 20 descripción, que se describe en las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Una matriz de electrodos (104) para generar plasma, comprendiendo la matriz:
un primer electrodo (302A) que tiene un borde de ataque y uno de fuga, con respecto a un flujo de aire (106), dispuesto sobre un primer dieléctrico (304A);
- 5 al menos un segundo electrodo (302B) que tiene un borde de ataque y uno de fuga, con respecto al flujo de aire (106), intercalado entre el primer dieléctrico (304A) y un segundo dieléctrico (304B) de modo que el borde de ataque del primer electrodo (302A) se extienda más allá del borde de fuga del segundo electrodo (302B);
al menos un tercer electrodo (302C) que tiene un borde de ataque y uno de fuga, con respecto al flujo de aire (106), en donde el segundo dieléctrico (304B) está intercalado entre el segundo (302B) y el tercer (302C) electrodos, de modo que el borde de ataque del segundo electrodo (302B) se extienda más allá del borde de fuga del tercer electrodo (302C);
- 10 al menos una fuente de alimentación que proporciona energía eléctrica al primer, segundo y al menos tercer electrodos; y
un controlador de la fuente de alimentación (802) operativo para controlar la fuente de alimentación generando señales de control para regular la energía eléctrica suministrada al primer y el al menos segundo electrodos, y para hacer que los primer y segundo electrodos generen y muevan plasma, induciendo de este modo movimiento de una masa de aire a lo largo de una superficie aerodinámica;
- 15 caracterizado porque el primer dieléctrico (304A) tiene un borde de ataque que se extiende más allá del borde de ataque del primer electrodo (302A), y en donde el borde de ataque del dieléctrico está expuesto al aire cuando la matriz está instalada sobre un vehículo.
- 20 2. La matriz de la reivindicación 1, en donde el primer electrodo, el primer dieléctrico y el segundo electrodo comprenden una primera unidad de generación de plasma que es controlable independientemente por el controlador de la fuente de alimentación, o controlable por una red de resistencia-condensador (RC) acoplada al controlador de la fuente de alimentación, para generar un primer cúmulo de plasma próximo a la primera unidad, y en donde el segundo electrodo, el segundo dieléctrico y el tercer electrodo comprenden una segunda unidad de generación de plasma que es controlable por el controlador de la fuente de alimentación, o controlable por la red RC, para generar al menos un segundo cúmulo de plasma próximo a la segunda unidad.
- 25 3. La matriz de la reivindicación 2, en donde el controlador de la fuente de alimentación es operativo para coordinar la generación de los cúmulos de plasma por los electrodos, para hacer que los primer y segundo electrodos muevan el primer cúmulo de plasma, y hacer que los segundo y tercer electrodos muevan el segundo cúmulo de plasma independientemente de, o en cooperación con, el movimiento del primer cúmulo de plasma.
- 30 4. La matriz de la reivindicación 1, en donde el segundo electrodo (302B) tiene un borde de ataque que se extiende más allá del primer dieléctrico (304A), y en donde el segundo dieléctrico (304B) tiene un borde de ataque que se extiende más allá del borde de ataque del segundo electrodo (302B).
- 35 5. La matriz de la reivindicación 1, en donde la fuente de alimentación está configurada para suministrar una forma de onda a los electrodos.
6. La matriz de la reivindicación 6, en donde los electrodos son operativos para generar cúmulos de plasma respectivos en respuesta a una primera fase de un ciclo de la forma de onda aplicada, y en donde los electrodos son operativos para mover los cúmulos de plasma en respuesta a una fase adicional de un ciclo de la forma de onda aplicada.
- 40 7. La matriz de la reivindicación 1, en donde los primer y segundo electrodos se prolongan a lo largo de longitudes respectivas, y se disponen en paralelo entre sí, de modo que al menos los primer y segundo electrodos estén separados a lo largo de sus longitudes.
8. La matriz de la reivindicación 8, en donde el segundo electrodo se dispone con respecto al primer electrodo y al primer dieléctrico, de modo que solamente una parte del segundo electrodo esté expuesta más allá del primer dieléctrico.
- 45 9. La matriz de la reivindicación 1, en donde los primer y segundo electrodos y los primer y segundo dieléctricos tienen espesores respectivos, en donde el primer dieléctrico está intercalado entre los primer y segundo electrodos, y en donde el segundo dieléctrico está intercalado entre el segundo electrodo y un tercer electrodo, de modo que el segundo electrodo esté en cascada respecto al primer electrodo a lo largo del espesor del primer dieléctrico.
- 50 10. Un método de generación de plasma usando una matriz de electrodos (104) y dieléctricos instalados sobre una superficie aerodinámica según cualquiera de las reivindicaciones 1-9,

con los electrodos estando separados espacialmente en dimensiones tanto vertical como horizontal a lo largo de la superficie aerodinámica, comprendiendo el método:

proporcionar al menos primer, segundo y tercer electrodos (302A, B, C), y al menos primer y segundo dieléctricos (304A, B);

5 intercalar el primer dieléctrico entre los primer y segundo electrodos;

escalonar el segundo electrodo con respecto al primer electrodo, de modo que una primera parte del segundo electrodo se extienda más allá del extremo del primer dieléctrico y una segunda parte del tercer electrodo no se extienda más allá del extremo del primer electrodo;

intercalar el segundo dieléctrico entre los segundo y tercer electrodos;

10 escalonar el tercer electrodo con respecto al segundo electrodo, de modo que una primera parte del tercer electrodo se extienda más allá del segundo dieléctrico y una segunda parte del segundo electrodo no se extienda más allá del primer electrodo;

proporcionar energía eléctrica en forma de una forma de onda personalizada a los electrodos, en donde la forma de onda personalizada está definida para alcanzar un efecto predefinido sobre el flujo de aire que pasa sobre la superficie aerodinámica generando el plasma;

15

generar primer y segundo cúmulos de plasma respectivos próximos a los primer y segundo y al menos tercer electrodos durante una primera fase de la energía eléctrica, tal como se aplica a los electrodos; y

mover los cúmulos de plasma en respuesta a una fase adicional de la energía eléctrica, tal como se aplica a los electrodos; y

20 generar movimiento de una masa de aire en respuesta a la transición de cúmulo de plasma.

11. El método de la reivindicación 10, que comprende además coordinar la energía eléctrica tal como se suministra individualmente a los primer, segundo y al menos tercer electrodos, de modo que el segundo cúmulo de plasma se mueva independientemente o en coordinación con el primer cúmulo de plasma.

12. El método de la reivindicación 10, que comprende además coordinar la energía eléctrica tal como se suministra individualmente a los primer, segundo y al menos tercer electrodos, de modo que el primer cúmulo de plasma se mueva independientemente o en coordinación con el segundo cúmulo de plasma.

25

13. El método de la reivindicación 10, que comprende además controlar un punto en el que flujos de aire se separan de una superficie aerodinámica, o modificar el flujo de aire en el sentido de la envergadura o de la corriente accionando selectivamente los primer y al menos segundo electrodos.

30

100

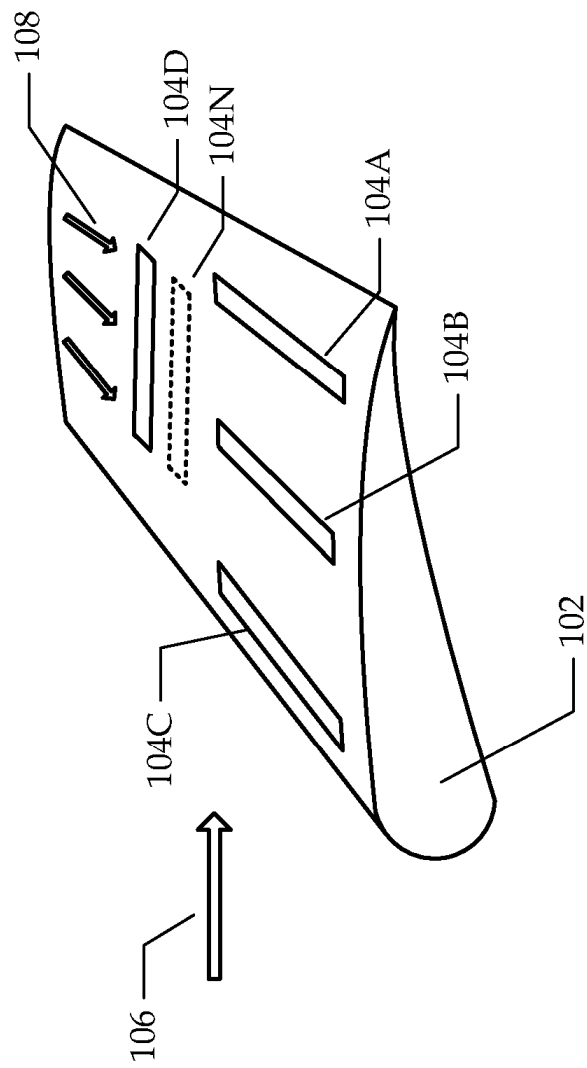


Fig. 1

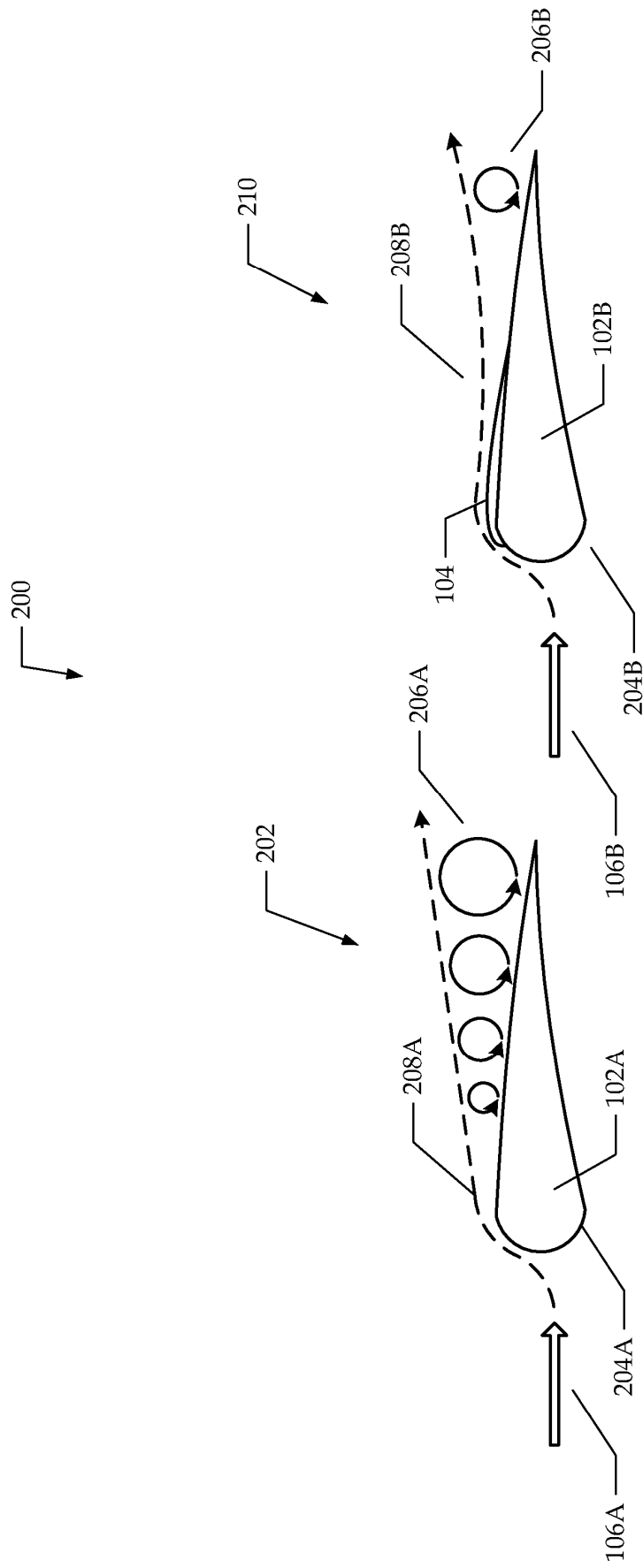


Fig. 2

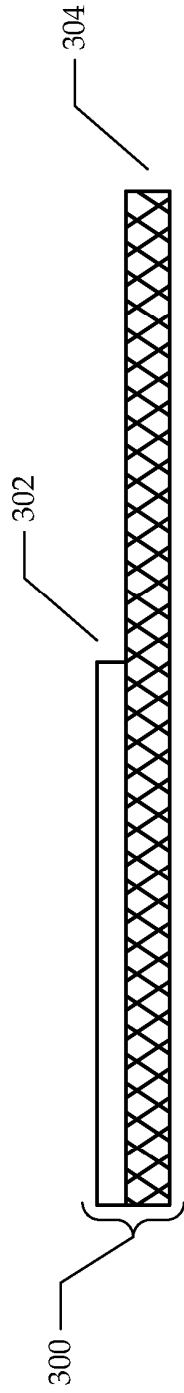


Fig. 3

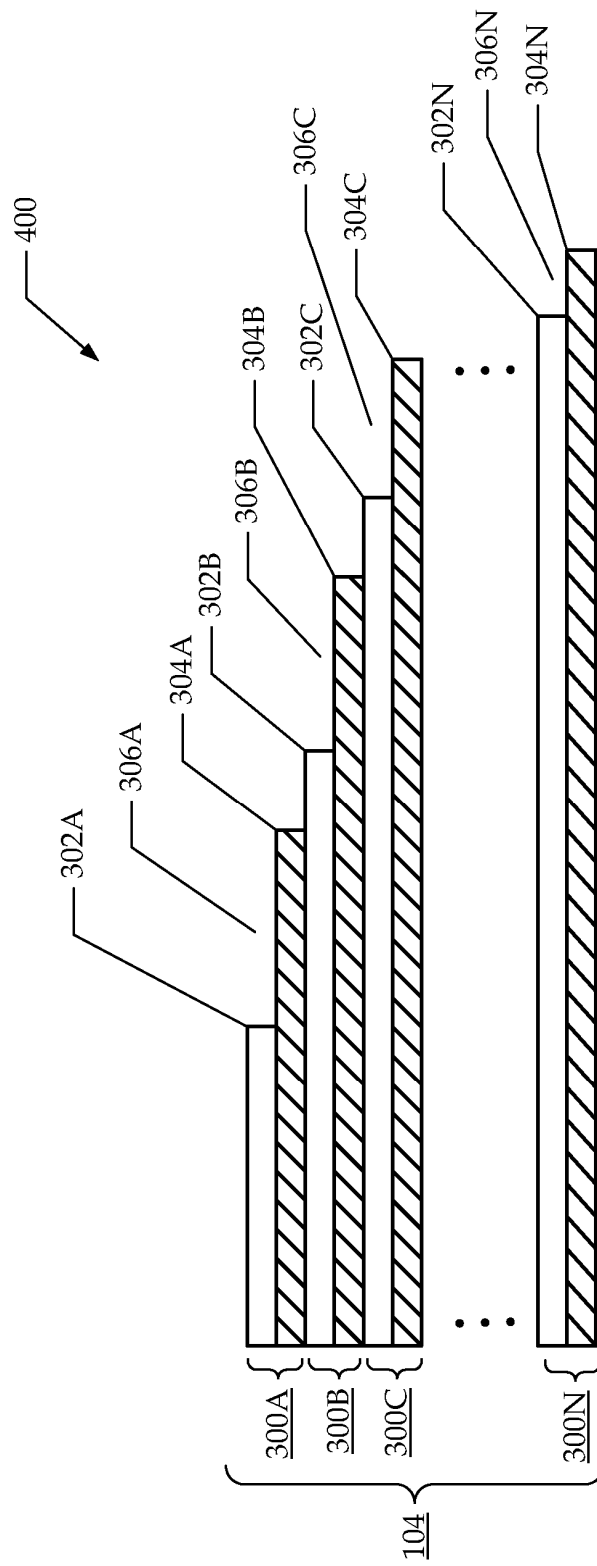


Fig. 4

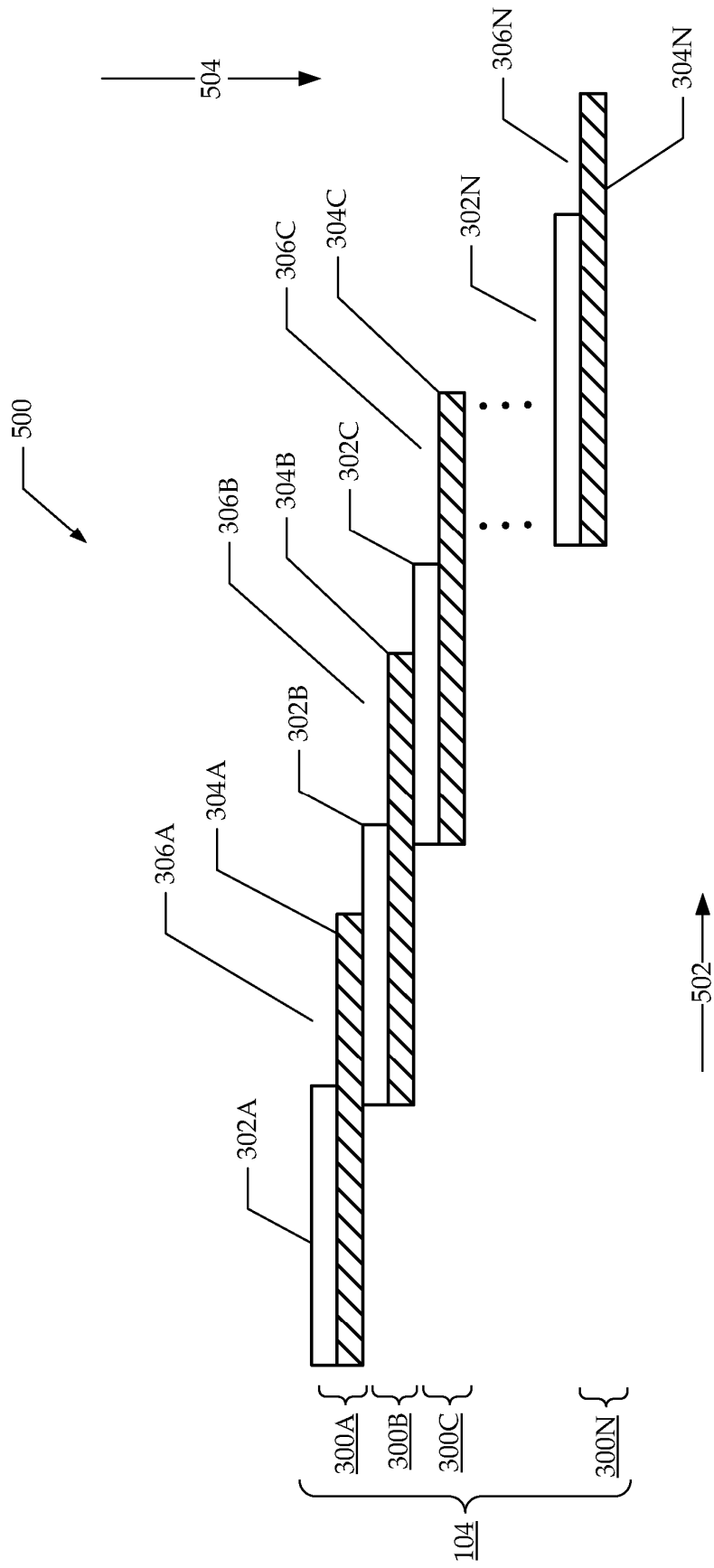


Fig. 5

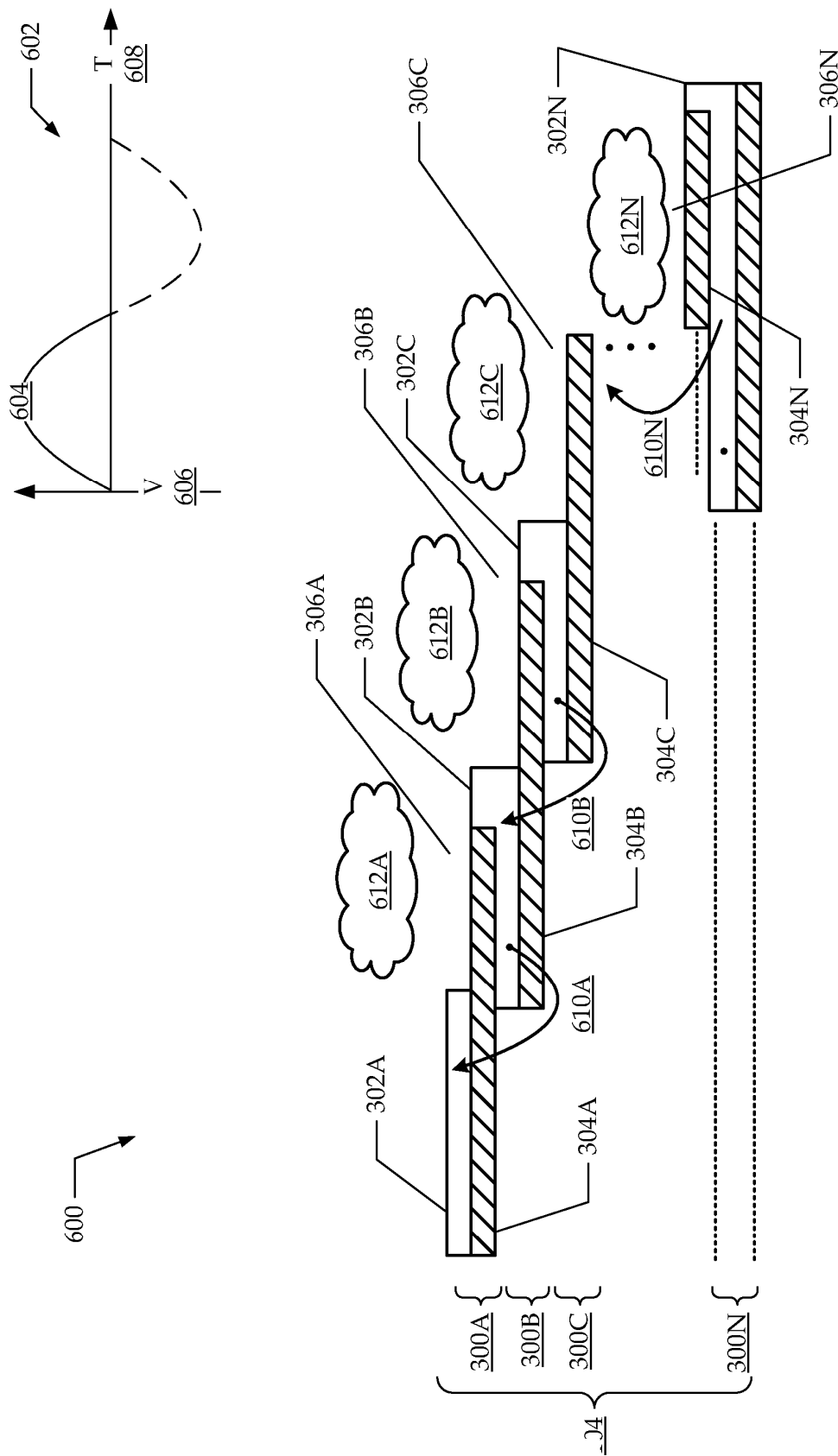


Fig. 6

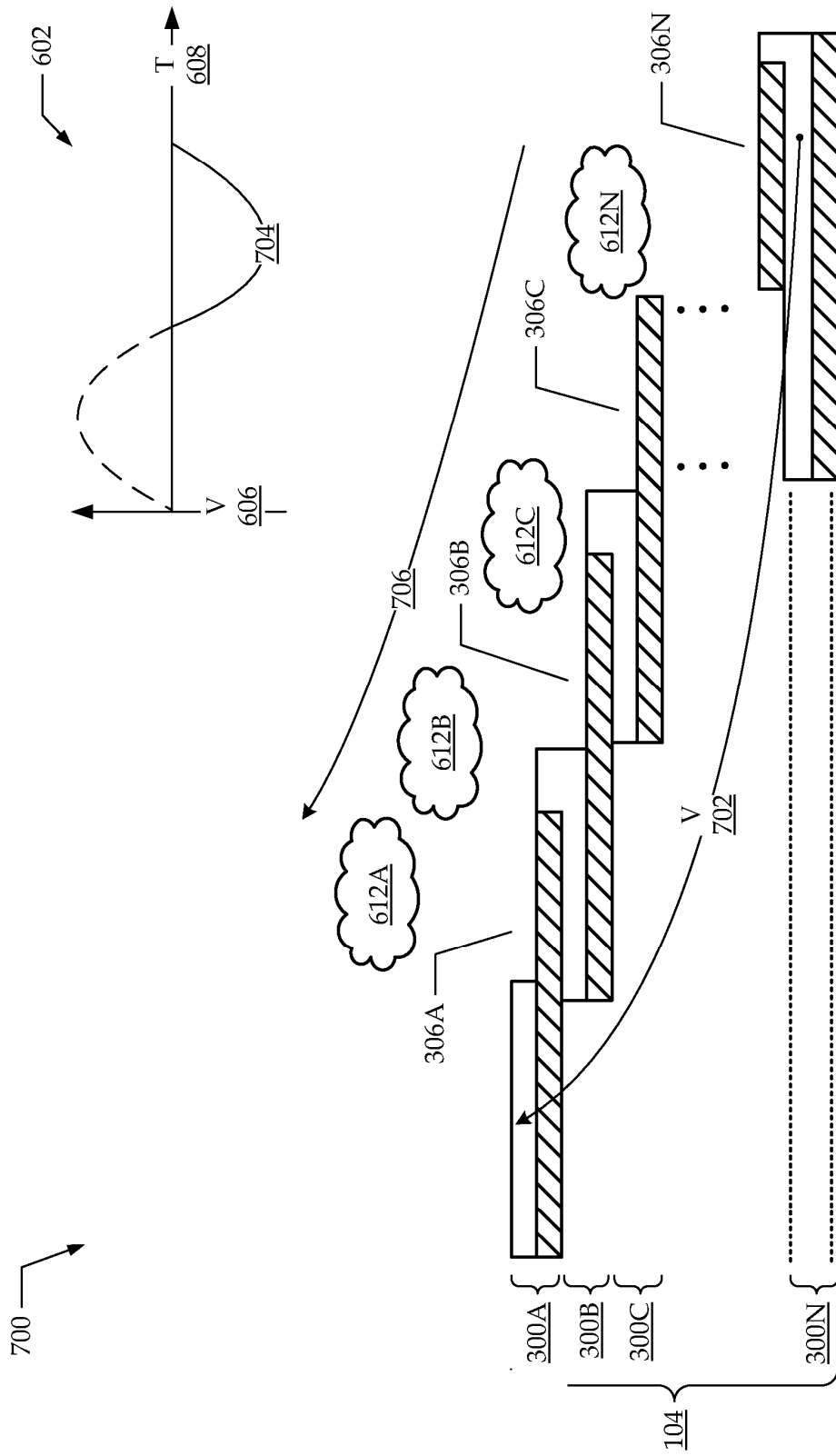


Fig. 7

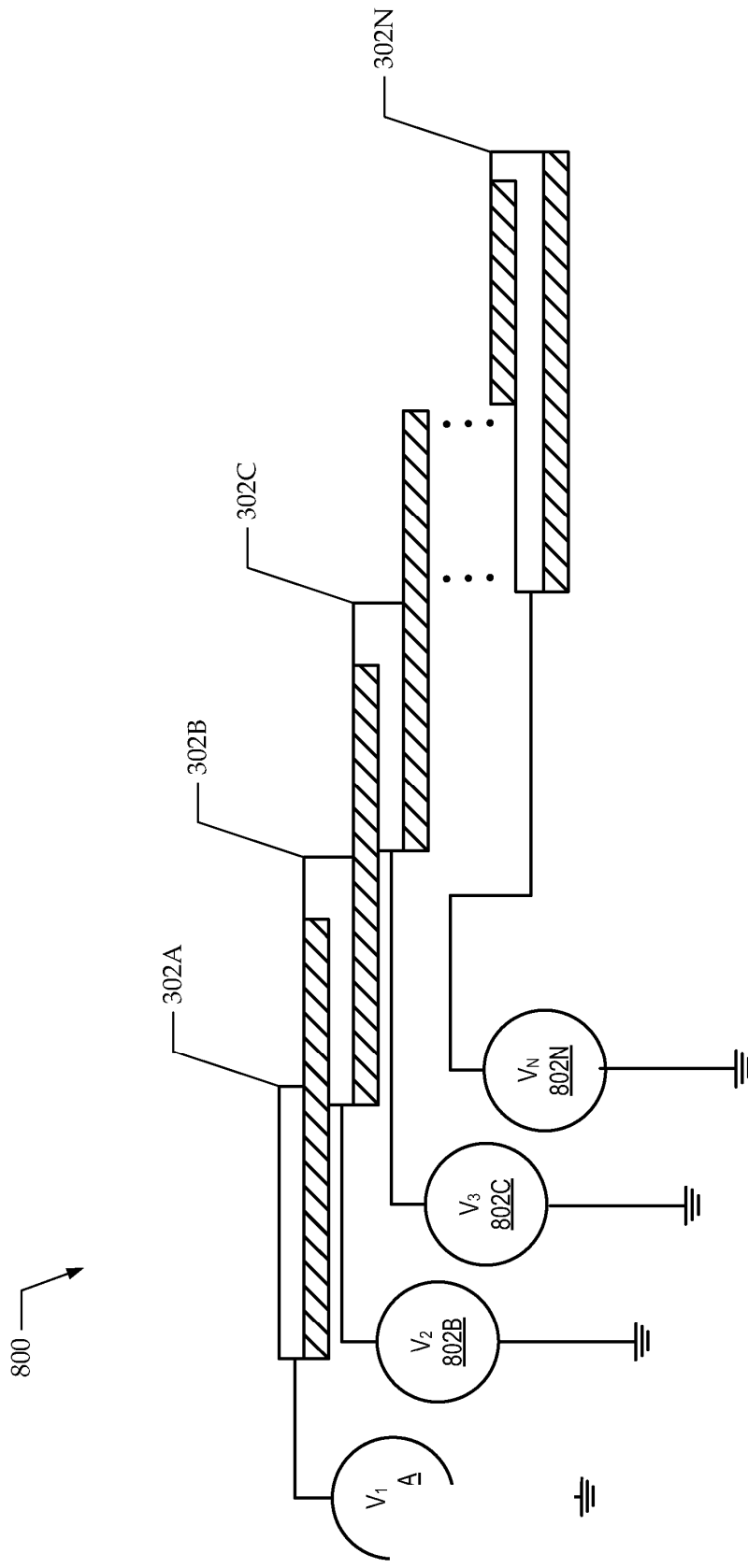


Fig. 8

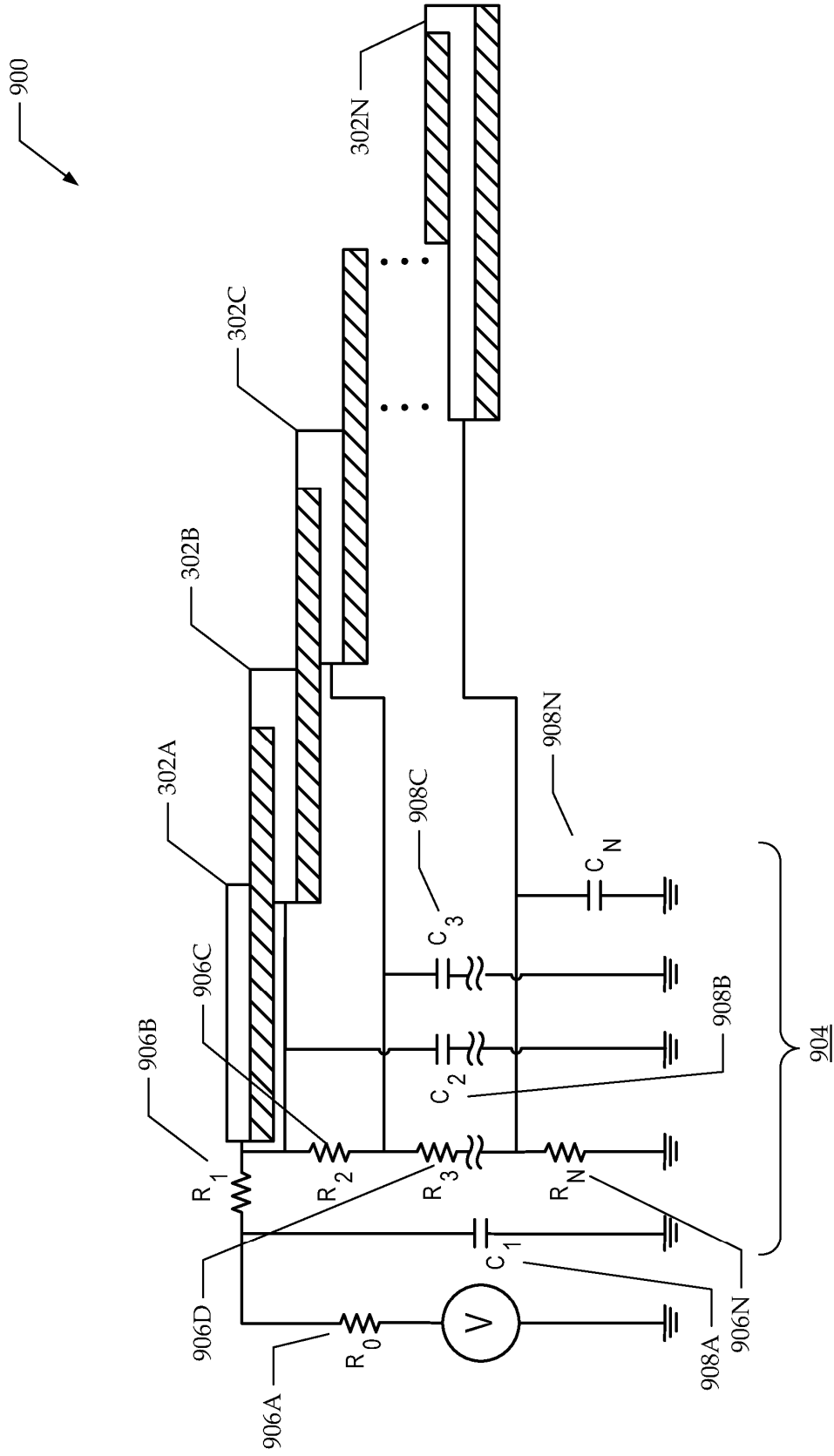


Fig. 9

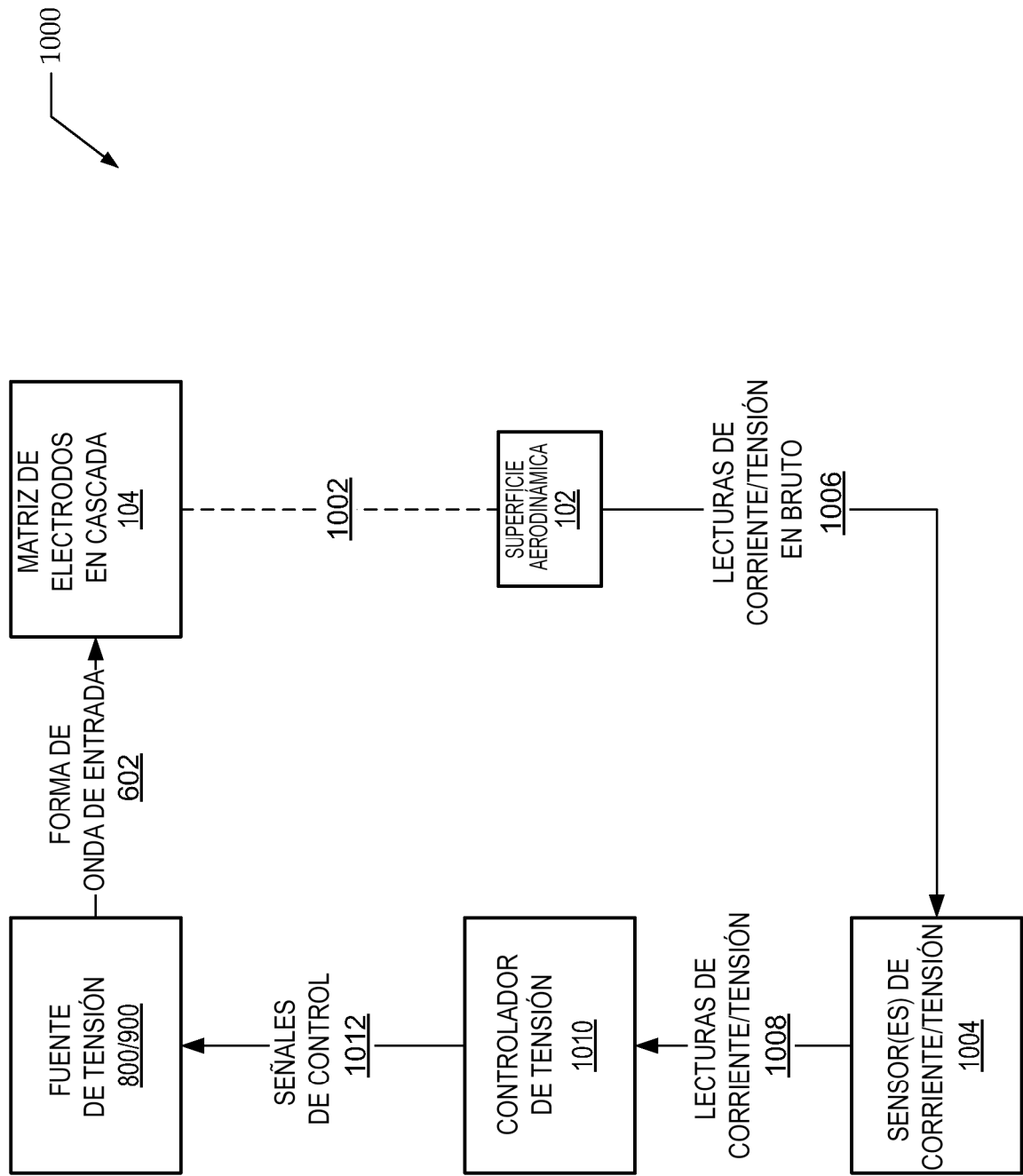


Fig. 10