

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 667 502**

51 Int. Cl.:

H02N 2/18 (2006.01)

H01L 41/113 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.12.2015** E 15382601 (1)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **21.02.2018** EP 3176942

54 Título: **Sistema generador piezoeléctrico y sistema eléctrico que incluye dicho sistema generador piezoeléctrico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.05.2018

73 Titular/es:

ANDRÉS CUENCA, FRANCISCO JOSÉ (50.0%)
C/ Independència, 111, 1º 3ª
08915 Badalona, ES y
GONZÁLEZ MUÑOZ, ELSA (50.0%)

72 Inventor/es:

ANDRÉS CUENCA, FRANCISCO JOSE y
GONZALEZ MUNOZ, ELSA

74 Agente/Representante:

CONTRERAS PÉREZ, Yahel

ES 2 667 502 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

Sistema generador piezoeléctrico y sistema eléctrico que incluye dicho sistema generador piezoeléctrico

- 5 La presente descripción se refiere a sistemas generadores piezoeléctricos y sistemas eléctricos que incluyen dichos sistemas generadores piezoeléctricos.

ANTECEDENTES

- 10 El aumento continuo de la demanda mundial de energía es uno de los problemas más importantes que existen en la actualidad, lo que provoca déficit de fuentes de energía, el uso de fuentes de energía contaminantes, impactos sobre el cambio climático, enfermedades, reducción de la esperanza de vida, pobreza, hambre y guerras por el control de las fuentes de energía.

- 15 Esto ha atraído considerablemente la atención en los últimos años y se han propuesto alternativas a la contaminación de fuentes de energía como fuentes de energía renovables y sostenibles. Sin embargo, no proporcionan suficiente energía para un aumento en la demanda de energía y, por tanto, dichas fuentes de energía perjudiciales para el medio ambiente siguen siendo utilizados de forma masiva.

- 20 Las fuentes de energía limpias, tales como plantas de energía hidráulica o eólica, necesitan grandes fuerzas de la naturaleza para la generación de energía, como por ejemplo para mover las turbinas de una planta de energía hidráulica, se necesitan grandes fuerzas proporcionadas por el viento o por el agua que cae. Esto implica limitaciones geográficas y en consecuencia estas plantas de generación no pueden entregar el poder en todas las partes del planeta.

- 25 Por otro lado, uno de los mayores contaminadores es el transporte, ya sea por tierra, mar o aire, debido a que utilizan combustibles fósiles.

- 30 Por las razones anteriores, se han desarrollado y se utilizan cada vez más vehículos eléctricos tales como los vehículos híbridos que combinan un motor eléctrico con un motor de combustión. Cuando una batería en un vehículo híbrido se ha agotado, o se necesita energía adicional para la aceleración, o cuando se tiene que recorrer un viaje más largo, también se requiere un motor de combustible para continuar circulando.

- 35 Aunque los vehículos eléctricos son cada vez más populares, sufren de una autonomía limitada, ya que las baterías deben ser recargadas con frecuencia.

- 40 Por ejemplo, un vehículo eléctrico que utiliza una batería de 60 kWh tiene una autonomía del orden de alrededor de 370 km, y un vehículo eléctrico que utiliza una batería de 85 kWh tiene una autonomía de conducción del orden de unos 480 kilómetros. Por lo tanto, aunque se han hecho esfuerzos en la técnica para desarrollar baterías con alta densidad de energía con el fin de aumentar la autonomía de conducción de vehículos y reducir el tiempo de carga de la batería, aún se requieren baterías recargables muy grandes para proporcionar una autonomía razonable.

- 45 Una alternativa de cargar las baterías es reemplazar una batería débil o agotada por otra cargada. Sin embargo hay implicados unos elevados costes en la construcción y el mantenimiento de las estaciones de servicio de sistemas de carga de baterías automatizados.

- 50 Recientemente, se han propuesto otras tecnologías tales como para recargar completamente una batería extrayendo el electrolito o el líquido del interior de las baterías mediante el uso de mangueras especiales, y su sustitución por un electrolito completamente cargado. Aunque esto correspondería sustancialmente al repostaje de un vehículo para el cual las estaciones de servicio existentes podrían adaptarse fácilmente a dicha aplicación, sin embargo, existe el problema de que todas las marcas tienen que utilizar este tipo de baterías y tecnología, lo cual podrían ser un obstáculo.

- 55 En cualquier caso, independientemente del desarrollo de la tecnología de la batería en relación a aumentar la densidad de energía de la batería para proporcionar una mayor autonomía, y el desarrollo en relación a reducir el tiempo de recarga, un gran número de inconvenientes se derivan de los sistemas de generador eléctrico de la técnica anterior. Estos siguen ofreciendo una autonomía muy limitada, las baterías necesitan ser recargadas con frecuencia, los tiempos de carga requieren mucho tiempo, infraestructuras muy grandes, así como problemas relacionados con la saturación de las redes eléctricas y, por tanto, la necesidad de aumentar el número de redes eléctricas, etcétera

- 60 También se han propuesto generadores piezoeléctricos. Se basan en un efecto que consiste en la generación de electricidad que resulta de las fuerzas mecánicas que actúan sobre los elementos piezoeléctricos. Ya en 1880,

Jacques y Pierre Curie descubrieron el fenómeno piezoeléctrico. Cuando se aplica presión o un esfuerzo mecánico en cristales como cuarzo, turmalina, topacio, azúcar de caña, sal de Rochelle, etc. se generan cargas de potencial eléctrico.

5 El efecto piezoeléctrico se utiliza actualmente en muchas aplicaciones tales como por ejemplo los generadores eléctricos. Los generadores piezoeléctricos comprenden elementos piezoeléctricos realizados en materiales basados en el efecto piezoeléctrico, de manera que, cuando están sometidos a unas fuerzas mecánicas, se polarizan y generan electricidad de acuerdo con el fenómeno piezoeléctrico antes mencionado. Las fuerzas mecánicas pueden provenir, por ejemplo, de un vehículo a medida que circula por la carretera, por ejemplo, fuerzas
10 resultantes del movimiento de los amortiguadores montados debido al peso, movimiento, impactos, vibraciones, etc. La generación de electricidad resultante de dichas fuerzas mecánicas es, por lo tanto, conocido en la técnica.

Por ejemplo, US3559027, US7936113 y US8143766 describen el uso de generadores piezoeléctricos asociados a amortiguadores o la suspensión de un vehículo. En funcionamiento, el generador piezoeléctrico convierte la energía mecánica aplicada en energía eléctrica para cargar una batería tal como, por ejemplo, para proporcionar una fuente
15 adicional de energía para el vehículo o para ayudar en la carga de la batería en vehículos híbridos.

En general, los generadores piezoeléctricos conocidos en la técnica comprenden típicamente elementos piezoeléctricos tales como compuestos de fibra de piezoeléctricos y pueden clasificarse en dos tipos.

20 Un primer grupo de generadores piezoeléctricos están equipados con elementos piezoeléctricos dispuestos en láminas superpuestas una sobre la otra. Por ejemplo, WO2006047926 describe un generador piezoeléctrico asociado a la suspensión de un vehículo para la generación de energía eléctrica que incluye generadores piezoeléctricos del primer grupo.

25 El principal inconveniente en el primer grupo de generadores piezoeléctricos es que la corriente de salida generada en un elemento piezoeléctrico es pequeña debido a la disposición apilada que se traduce en que la actuación de la fuerza inicialmente en la pila de elementos piezoeléctricos sólo afecta a los elementos piezoeléctricos de las capas externas de la pila y dicha fuerza se transmite poco a poco a las capas internas de la pila.

30 Un segundo grupo de generadores piezoeléctricos incluye barras piezoeléctricas tales como por ejemplo los descritos en BE881528A1, US8143766 o FR2619765.

35 El principal inconveniente del segundo grupo de generadores piezoeléctricos es que, debido a la utilización de barras piezoeléctricas, la fuerza aplicada resultada en la torsión de las barras lo que se traduce en que la fuerza aumenta gradualmente y por lo tanto la corriente que generan los elementos piezoeléctricos es indeseablemente pequeña.

40 Se hace igualmente referencia a los documentos de la técnica anterior US20120286625, CN1603155, y US2005258717.

45 En los generadores piezoeléctricos de la técnica anterior, los elementos piezoeléctricos están conectados en serie, entonces la tensión de salida es la suma de las tensiones generadas para todos los elementos piezoeléctricos. Por lo tanto, para obtener una elevada tensión de salida la fuerza que actúa sobre los elementos piezoeléctricos debe ser elevada. Esto se traduce en un alto riesgo de dañar o romper los elementos piezoeléctricos si son del primer o el segundo grupo de generadores piezoeléctricos antes mencionados.

50 Por lo tanto, los generadores piezoeléctricos que se han propuesto hasta ahora para la utilización de la energía asociada por ejemplo a la suspensión de un vehículo para proporcionar electricidad han demostrado ser ineficaces e insuficientes para suministrar una potencia eléctrica para mover un vehículo. Por lo tanto, los generadores piezoeléctricos de la técnica anterior utilizados en los vehículos, etc. sólo pueden utilizarse como fuente de energía adicional para mover parcialmente un vehículo, etc.

55 Por lo tanto, sigue existiendo la necesidad de un generador eléctrico capaz de utilizar eficientemente la energía cinética, es decir, las fuerzas o cargas dinámicas, para transformarlas en energía eléctrica para accionar automóviles, motocicletas, camiones, locomotoras, trenes, aviones, barcos, maquinaria, etc.

60 También hay la necesidad de generadores eléctricos capaces de generar energía eléctrica a partir fuerzas pequeñas. Estos generadores eléctricos deben ser también capaces de montarse en cualquier posición de modo que dichas fuerzas pequeñas, por ejemplo fuerzas disponibles geográficamente en cualquier lugar en el mundo que pueda recibir adecuadamente el generador, de modo que es posible reducir los problemas asociados al aumento continuo mencionado de la demanda mundial de energía.

DESCRIPCIÓN

5 La presente descripción se refiere en general al campo de la generación y la gestión de energía eléctrica, y específicamente a sistemas generadores piezoeléctricos que se ha encontrado que resuelven los problemas mencionados anteriormente inherentes a la técnica anterior la vez que proporciona una serie de ventajas adicionales sobre los generadores piezoeléctricos existentes como se describirá más adelante.

10 Se describe un sistema generador piezoeléctrico que tiene un gran número de aplicaciones, tales como máquinas o vehículos eléctricos, ya sean vehículos terrestres, acuáticos o aéreos o máquinas, aplicaciones eólicas e hidráulicas en plantas de generación de energía, aplicaciones asociadas a vehículos, personas o animales en movimiento sobre una superficie de suelo, y aplicaciones asociadas con la generación de energía en general, etc.

15 El presente sistema generador piezoeléctrico comprende por lo menos una unidad de generador piezoeléctrico. El sistema generador piezoeléctrico puede incluir tantas unidades de generador piezoeléctrico como sea necesario para la recepción de cargas o fuerzas dinámicas mecánicas y convertirlas en energía eléctrica.

20 Tal como se utiliza aquí, las cargas o fuerzas mecánicas dinámicas se refieren a las cargas o fuerzas recibidas por la unidad o unidades del generador piezoeléctrico cuyos valores o vectores varían con el tiempo. Las fuerzas o cargas externas pueden ser, por ejemplo, fuerzas o cargas mecánicas recibidas y transmitidas continuamente por vehículos que van por una carretera, trenes que circulen por pistas, barcos que navegan, aviones o vehículos que van por una pista, personas o animales que caminan, que pueden provenir, por ejemplo, de la acción de la gravedad proporcional a la masa en movimiento, por un terreno irregular, por la inercia debido a la aceleración, al frenar, girar a la derecha o la izquierda, o incluso por la resistencia al viento o al agua.

25 El presente sistema generador piezoeléctrico es capaz de convertir la energía cinética debido a dichas cargas o fuerzas dinámicas mecánicas en energía eléctrica que se utilizará para el funcionamiento de un vehículo, máquina, y generación de energía en general.

30 Cada unidad de generador piezoeléctrico en el presente sistema de generador piezoeléctrico comprende una serie de módulos piezoeléctricos. Tal como se utiliza aquí, un conjunto de módulos piezoeléctricos se refiere a un número de módulos piezoeléctricos interconectados eléctricamente que están dispuestos adecuadamente en filas y columnas virtuales que forman una matriz. La matriz puede ser una matriz cuadrada, es decir, con el mismo número de filas y columnas; una matriz rectangular, es decir, formado por un número diferente de filas y columnas; o puede ser una matriz irregular, es decir, con número variable de elementos en filas y columnas diferentes.

35 Cada módulo piezoeléctrico comprende un elemento piezoeléctrico y un convertidor de corriente alterna/corriente continua (convertidor CA/CC) que se describirá más adelante.

40 Pueden utilizarse diferentes materiales para los elementos piezoeléctricos del generador piezoeléctrico. Por ejemplo, puede utilizarse un material cerámico tal como titanato zirconato de plomo, también llamado PZT. El material PZT proporciona una diferencia de potencial a través de dos superficies opuestas de la piezoeléctrico cuando se aplica sobre las mismas cargas o fuerzas dinámicas. Se ha demostrado que este material tiene una temperatura de funcionamiento relativamente baja (200 °C), que de bajo coste y es físicamente fuerte y químicamente inerte. Sin embargo, es evidente que no se descartan otros materiales adecuados para los elementos piezoeléctricos.

45 La zona de los elementos piezoeléctricos donde se aplican cargas o fuerzas dinámicas está diseñada para que sea tan pequeña como sea posible, y de manera que sus grosores sean tan grandes como sea posible. Los elementos piezoeléctricos se hacen lo suficientemente robustos como para soportar cargas dinámicas o fuerzas aplicadas perpendicularmente a su área. Sin embargo, éste no es un punto crítico en el diseño de los elementos piezoeléctricos, ya que, como se explicará más adelante, las cargas o fuerzas dinámicas se controlan adecuadamente para proteger los módulos piezoeléctricos.

50 Se prefiere que los elementos piezoeléctricos de la matriz sean del mismo tipo en términos de por lo menos el material piezoeléctrico, la forma y las dimensiones. Sin embargo, el tipo de material piezoeléctrico, la forma y las dimensiones de los elementos piezoeléctricos en cada módulo piezoeléctrico de la matriz podría ser diferente, si es necesario, siempre y cuando la tensión en los terminales de cada conjunto de módulos piezoeléctricos conectados en serie sea siempre la misma por lo que puedan conectarse eléctricamente entre sí en paralelo. Ventajosamente, esto se traduce en que se obtiene una elevada potencia de salida debido a las condiciones controladas de conexión en serie y en paralelo de los módulos piezoeléctricos en la matriz.

60 La matriz de módulos piezoeléctricos que se ha definido anteriormente formada por una serie de conjuntos (columnas virtuales) de módulos piezoeléctricos formados cada uno por una serie de módulos piezoeléctricos (filas virtuales) está dispuesta para suministrar una elevada potencia eléctrica, por ejemplo para accionar un vehículo. Tal

como se ha indicado anteriormente, sin embargo, el presente sistema generador piezoeléctrico no está limitado de ninguna manera a esta aplicación y puede aplicarse en una amplia gama de múltiples aplicaciones diferentes.

5 Tal como se ha indicado anteriormente, cada unidad de generador piezoeléctrico en el presente sistema de generador piezoeléctrico comprende una serie de módulos piezoeléctricos. Dicho conjunto de módulos piezoeléctricos comprende una serie de conjuntos de módulos piezoeléctricos.

10 En el diseño de un generador piezoeléctrico, hay que conocer la potencia que el generador piezoeléctrico es capaz de generar. La potencia es proporcional a la tensión y la corriente, y en consecuencia el generador debe diseñarse con el fin de obtener la tensión y la corriente requerida.

15 Con el fin de obtener la tensión requerida, una serie de módulos piezoeléctricos se conectan eléctricamente en serie teniendo en cuenta que la tensión de salida será la suma de las tensiones generadas para todos los módulos piezoeléctricos. Estos módulos piezoeléctricos corresponderían a filas virtuales en dicho conjunto de módulos piezoeléctricos.

20 Con el fin de obtener la corriente requerida, una serie de conjuntos de módulos piezoeléctricos conectados eléctricamente en serie se conectará eléctricamente entonces en paralelo teniendo en cuenta que la corriente de salida será la suma de las corrientes generadas para todos los conjuntos de módulos piezoeléctricos. Estos conjuntos se corresponderían con columnas virtuales de la matriz de módulos piezoeléctricos.

Es importante tener en cuenta que para la conexión eléctrica anteriormente, la tensión en los terminales de todos los conjuntos de módulos conectados eléctricamente piezoeléctricos es la mismo.

25 El convertidor CA/CC mencionado anteriormente tiene la función de convertir la corriente alterna generada por el elemento piezoeléctrico en corriente continua. Dicho convertidor CA/CC dispuesto en cada módulo piezoeléctrico es adecuado para la conversión de corrientes alternas pequeñas en una corriente de CC de salida controlada. Se proporciona una conexión eléctrica con otros módulos piezoeléctricos de acuerdo a la matriz mencionada anteriormente. Esto se traduce en la obtención de una elevada potencia de salida.

30 Con la configuración de la matriz anterior, el presente generador piezoeléctrico es capaz de convertir pequeñas fuerzas que actúan sobre cada elemento piezoeléctrico fácilmente de corriente alterna a corriente continua. Esto es muy ventajoso respecto a los generadores piezoeléctricos conocidos en la técnica donde los elementos piezoeléctricos están conectados en serie y sólo la corriente resultante se convierte de corriente alterna a corriente
35 continua de manera que se genera baja potencia.

Tal como se ha indicado anteriormente, la potencia eléctrica que puede suministrar el conjunto de módulos piezoeléctricos proviene de cargas o fuerzas dinámicas. Dichas cargas o fuerzas dinámicas actúan sobre los
40 módulos piezoeléctricos de la matriz y se convierten en una tensión que es sustancialmente la misma.

45 Para este fin, las cargas o fuerzas dinámicas que actúan sobre los módulos piezoeléctricos se controlan de manera que sólo una cantidad predeterminada de fuerza con una velocidad predeterminada de aplicación actúa al mismo tiempo y durante el mismo tiempo en cada conjunto de módulos piezoeléctricos. Como consecuencia, todos y cada uno de los módulos piezoeléctricos de la matriz recibe la misma cantidad de fuerza a la misma velocidad de aplicación, al mismo tiempo, y durante el mismo tiempo, de modo que la corriente se genera simultáneamente en todos los módulos piezoeléctricos. Esta misma cantidad de fuerza denominará aquí fuerza de activación predeterminada o simplemente fuerza de activación.

50 Con el fin de establecer la cantidad de fuerza de activación predeterminada y la velocidad predeterminada a la que se aplica esta fuerza en cada módulo piezoeléctrico, se dispone un dispositivo de control de fuerza de entrada. El dispositivo de control de fuerza de entrada está adaptado para controlar la cantidad de fuerza de activación que se aplica y la velocidad a la que se aplica esta fuerza, de modo que se aplica al mismo tiempo y durante el mismo tiempo en los módulos piezoeléctricos de tal manera que la unidad de generador piezoeléctrico suministra una energía eléctrica de salida.

55 El dispositivo de control de la fuerza de entrada comprende una placa de activación. Esta placa de activación puede estar formada por un único elemento adecuado para actuar mecánicamente sobre todos los módulos piezoeléctricos simultáneamente con el fin de transmitir las cargas dinámicas externas o fuerzas de manera uniforme a todos los elementos piezoeléctricos. Puede disponerse un mecanismo de guía para este propósito. El mecanismo de guía
60 puede incluir una serie de guías alineadas y calibradas dispuestas de manera que el elemento de placa se mueva con precisión con el fin de distribuir uniformemente dichas cargas o fuerzas dinámicas a los módulos piezoeléctricos simultáneamente. Dichas guías están distribuidas en todo el generador piezoeléctrico de manera que se garantiza la

uniformidad de la placa de activación y de manera que las fuerzas ortogonales uniformes actúan sobre todos los módulos piezoeléctricos, a la misma velocidad de aplicación, al mismo tiempo y durante el mismo tiempo.

La placa de activación está dispuesta para moverse sólo cuando se ha alcanzado una cantidad predeterminada de fuerza, es decir, cuando se ha alcanzado un valor preestablecido de fuerza de activación predeterminada. Cuando esto sucede, tal fuerza se transmite por la placa de activación a todos los elementos piezoeléctricos a la misma velocidad predeterminada. De esta manera, una gestión eficaz de la energía se lleva a cabo de manera que la tensión y la corriente que generan los módulos piezoeléctricos se controlada directamente y con precisión, a diferencia de los generadores piezoeléctricos descritos conocidos en la técnica.

El dispositivo de control de fuerza de entrada comprende además un elemento de amortiguación. El elemento de amortiguación está adaptado para amortiguar las cargas dinámicas con el fin de proteger los módulos piezoeléctricos absorbiendo el exceso de fuerzas recibidas por los elementos piezoeléctricos. En un ejemplo, el elemento de amortiguación puede ser por lo menos uno seleccionado de un elemento mecánico, neumático, hidráulico, y magnético. En algunos de dichos ejemplos, el elemento de amortiguación puede comprender un elemento de caucho de una dureza adecuada dispuesto detrás de los módulos piezoeléctricos para absorber dicho exceso de fuerzas de manera que sólo un valor predeterminado de la fuerza activación a una velocidad predeterminada de aplicación sólo será admitido en los módulos piezoeléctricos. De esta manera, los módulos piezoeléctricos y por lo tanto los elementos piezoeléctricos y otras partes de los mismos se encuentran debidamente protegidos contra daños.

Con la configuración anterior, la tensión y la corriente se generan por el presente sistema de generador piezoeléctrico de una manera controlada. Mediante el control de la fuerza de disparo F que actúa sobre los módulos piezoeléctricos, la tensión generada por cada módulo piezoeléctrico también puede controlarse. Por lo tanto, teniendo en cuenta que la tensión generada por el generador piezoeléctrico es proporcional a la presión aplicada sobre los módulos piezoeléctricos:

$$V_{out} = -g_{33} \cdot h \cdot P,$$

en el que

- g_{33} es una constante de voltaje piezoeléctrico en milivoltios por metro/Newton correspondiente a una relación entre una diferencia de potencial generada (en voltios) y la fuerza F aplicada (en Newton) para un elemento piezoeléctrico de 1 metro de largo;

- h es el grosor o la altura del elemento piezoeléctrico; y

- P es una presión aplicada sobre el elemento piezoeléctrico; como que la presión es la fuerza F aplicada perpendicular a una superficie del elemento piezoeléctrico por área sobre la cual esa fuerza se distribuye F , es decir, $P = F / A$, entonces:

$$V_{out} = g_{33} \cdot h \cdot \frac{F}{A}$$

De la misma manera, controlando la velocidad a la que se aplica la carga o fuerza dinámica, la corriente I_{out} de cada elemento piezoeléctrico puede controlarse a partir la corriente I depende de la variación de la carga eléctrica (dQ) con el tiempo (dt):

$$I_{out} = \frac{dQ}{dt}$$

Por lo tanto, aplicando la misma cantidad de fuerza, es decir, la citada fuerza de aplicación, a la misma velocidad predeterminada, al mismo tiempo, y durante el mismo tiempo para todos y cada módulo piezoeléctrico de la matriz de módulos piezoeléctricos, se genera y se transmite una elevada cantidad de energía desde el conjunto de módulos piezoeléctricos.

Con la configuración descrita anteriormente, sólo se requiere una pequeña cantidad de la fuerza de activación que se aplica en correspondientes áreas pequeñas de elementos piezoeléctricos a alta velocidad, es decir, impactos bruscos en los elementos piezoeléctricos. Dicha pequeña cantidad de fuerza de activación genera valores pequeños de corriente alterna en cada elemento piezoeléctrico que se transforman individualmente por cada convertidor de CA/CC asociado a cada elemento piezoeléctrico en corriente CC. Dado que los elementos piezoeléctricos están conectados entre sí en serie y en paralelo en la matriz, se obtiene ventajosamente un aumento de la tensión de salida y un aumento de la corriente de salida lo que se traduce en una elevada potencia de salida. Esto es altamente

ventajoso en comparación con los generadores piezoeléctricos de la técnica anterior donde se requieren elevadas cantidades gradualmente crecientes de fuerzas para obtener pequeñas cantidades de potencia de salida.

5 Pueden también incluirse también elementos de tope para asegurar la placa de la activación del dispositivo de control de la fuerza de entrada para que siempre vaya por el mismo camino a los módulos piezoeléctricos de manera que la citada fuerza de activación actúe perpendicular a los módulos piezoeléctricos.

10 Uno o una serie de dispositivos de almacenamiento y suministro de energía eléctrica pueden incluirse, cada uno incluyendo una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica. En algunos ejemplos, la unidad de almacenamiento y suministro de energía puede ser una batería. Sin embargo, cualquier otro dispositivo de almacenamiento y suministro de energía o acumulador pueden utilizarse, siempre que por lo menos uno de ellos sea capaz de trabajar en una o más de las siguientes condiciones o modos de funcionamiento:

15 La(s) unidad(es) de almacenamiento y suministro de energía eléctrica es/son capaces de trabajar en un primer estado o modo de almacenamiento, donde es (son) capaz(es) de almacenar energía eléctrica. Cuando una o más unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica se montan en vehículos tales como automóviles, motocicletas, camiones, locomotoras, trenes, aviones, barcos, o maquinaria, etc. esta condición o modo de almacenamiento es incluso cuando con el vehículo está parado, debido a las cargas dinámicas externas o fuerzas que actúan sobre el mismo.

20 La(s) unidad(es) de almacenamiento y suministro de energía eléctrica es/son capaces de trabajar en una segunda condición o el modo de suministro, donde es(son) capaz(es) de suministrar energía eléctrica, por ejemplo, para la alimentación de automóviles, motocicletas, camiones, locomotoras, trenes, aviones, barcos, maquinaria, etc.

25 La(s) unidad(es) de almacenamiento y suministro de energía eléctrica puede(n) ser también capaz(es) de trabajar en una tercera condición o modo de espera. En este estado o modo de funcionamiento, no se almacena energía eléctrica en la unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica ni se suministra de ésta. La(s) unidad(es) de almacenamiento y suministro de energía eléctrica puede cargarse completamente en este estado de funcionamiento de espera y preparada para pasar a un estado de alimentación según sea necesario. También en el estado de funcionamiento de espera la(s) unidad(es) de almacenamiento y suministro de energía eléctrica puede(n) descargarse porque otra unidad(es) de almacenamiento y suministro de energía eléctrica está(n) en este momento en estado de almacenamiento, y a la espera de cambiarse a un estado de almacenamiento cuando la otra está completamente cargada.

35 Son posibles otras condiciones o modos operativos de dichas unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica.

40 Con el fin de recibir la energía eléctrica de todos los generadores piezoeléctricos y suministrar dicha energía eléctrica a la unidad o unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica, puede disponerse también por lo menos un dispositivo de control de salida.

45 Puede preferirse que se disponga, además, un dispositivo de monitorización del estado de carga para controlar por lo menos uno de: el estado de carga y las citadas condiciones o modos de funcionamiento de por lo menos una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica.

Si se dispone, el dispositivo de monitorización del estado de carga es capaz de realizar una serie de funciones diferentes.

50 Por ejemplo, el dispositivo de monitorización del estado de carga puede ser capaz de realizar una monitorización en tiempo real una serie de parámetros, tales como por ejemplo el almacenamiento anteriormente mencionado, el suministro y modos de funcionamiento en espera de por lo menos una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica. El dispositivo de monitorización del estado de carga puede ser también capaz de realizar una monitorización en tiempo real el estado de carga de por lo menos una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica. Esto puede representarse, por ejemplo, por un porcentaje.

55 El dispositivo de monitorización del estado de carga también puede ser capaz de transmitir información en tiempo real sobre dichos parámetros a un sistema externo. El sistema externo puede incluir, por ejemplo, una pantalla de visualización para la visualización de por lo menos dicha información.

60 El cambio entre los modos o condiciones de funcionamiento de almacenamiento, suministro y espera se lleva a cabo en base al estado de carga de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica. El cambio entre dichos modos o estados de funcionamiento puede realizarse mediante un dispositivo de cambio asociado al dispositivo de monitorización del estado de carga citado anteriormente.

Puede haber casos en los que el dispositivo de monitorización del estado de carga antes mencionado sea adecuado para procesar dicha información sobre los parámetros asociados a las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica y por lo tanto capaz de enviar instrucciones directamente al dispositivo de cambio para cambiar entre dichos modos de funcionamiento o condiciones de la unidad o unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica. En otros casos, el dispositivo de monitorización del estado de carga sólo recoge dicha información sobre los parámetros asociados a las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica y lo transmite al dispositivo de cambio. En este caso, el dispositivo de cambio es responsable del procesamiento de dicha información a fin de decidir cuando debe cambiarse el modo de funcionamiento de la unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica

Podría haber también casos en los que el presente sistema generador piezoeléctrico no tenga ningún dispositivo de monitorización del estado de carga. En este caso particular, el dispositivo de cambio está adaptado para cambiar automáticamente entre dichos modos o condiciones de funcionamiento de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica en función del estado de carga de las mismas.

En cuanto al dispositivo de cambio citado anteriormente, puede estar adaptado para operar por lo menos en las siguientes situaciones.

El dispositivo de cambio es capaz de cambiar uno o más de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica de las condiciones de suministro a las condiciones de almacenamiento cuando la unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica se agotado o está a una carga mínimo predeterminada aceptable, tal como, por ejemplo, 5%, y no hay unidades de almacenamiento y de suministro de energía en ese momento en el modo de almacenamiento.

El dispositivo de cambio también es capaz de cambiar una o más de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica del estado de alimentación al estado de espera cuando dicha unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica se ha agotado y se ha alcanzado una carga mínima predeterminada aceptable, tal como, por ejemplo, un 5%, por lo menos una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica está disponible en el modo de almacenamiento.

El dispositivo de cambio también es capaz de cambiar una o más unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica del estado de almacenamiento al estado de espera cuando dicha unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica está completamente cargada y esperando para cambiar al estado de suministro.

El dispositivo de cambio también es capaz de cambiar una o más de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica del estado de almacenamiento al estado de suministro cuando hay que suministrar energía a por lo menos una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica que se encontraba previamente en estado de suministro se ha agotada totalmente o se ha llegado a una carga mínimo aceptable predeterminada, como por ejemplo 5%, y se cambia al modo de almacenamiento o al modo de espera.

El dispositivo de cambio también es capaz de cambiar una o más de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica del estado de espera al estado de almacenamiento cuando por lo menos una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica que se encontraba previamente en estado de almacenamiento se ha recargado totalmente y se cambia al de espera o al modo de suministro.

Por último, el dispositivo de cambio también es capaz de cambiar una o más unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica de estado de espera a estado de suministro en caso de que la unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica en estado de suministro se haya agotado totalmente o haya llegado a una carga mínimo aceptable predeterminada, como por ejemplo un 5%, y se cambia a modo de espera o a modo de almacenamiento.

En cualquier caso, es importante tener en cuenta que el sistema presente sistema generador piezoeléctrico debe dimensionarse de manera que el tiempo necesario para cargar completamente una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica sea menor que el tiempo empleado para descargar la unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica cuando se suministra energía eléctrica. De este modo, la recarga de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica se realiza más rápida que la descarga de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica cuando el vehículo, máquina, etc. está en uso o está siendo operado. Como resultado, el sistema generador piezoeléctrico es capaz de proporcionar un vehículo eléctrico o una máquina con una autonomía ilimitada.

La presente descripción también se refiere a un sistema eléctrico que incluye el sistema de generador piezoeléctrico descrito anteriormente como fuente de energía.

5 Por ejemplo, los elementos piezoeléctricos de cada sistema generador piezoeléctrico de dicho sistema eléctrico pueden ser accionados por al menos una carga dinámica que se genera a partir de una o más piezas en movimiento de un vehículo eléctrico y/o una máquina eléctrica. Por lo tanto, el actual sistema generador piezoeléctrico puede
 10 instalar en cualquier tipo de maquinaria eléctrica de manera que todas las posibles cargas o fuerzas dinámicas puedan transformarse en energía eléctrica, ya sea que provengan de causas externas o por la propia vibración de la máquina.

10 En el ejemplo anterior donde el sistema eléctrico está asociado a un vehículo eléctrico terrestres, múltiples generadores piezoeléctricos pueden estar adaptados para montarse en una o más ubicaciones de un vehículo. Tales ubicaciones pueden ser una o más seleccionadas de por lo menos una de la parte inferior de un amortiguador en la que el amortiguador está conectado a una dirección del vehículo; entre un muelle del amortiguador y un soporte muelle del amortiguador inferior; entre los amortiguadores y suspensiones; entre el motor y un sistema de bloqueo de motor; entre suspensiones y la carrocería de un vehículo; entre un eje delantero del bastidor del vehículo y la carrocería de vehículo; entre un eje trasero de bastidor del vehículo y una carrocería de vehículo; y debajo de
 15 los asientos del vehículo. Sin embargo, el presente sistema generador piezoeléctrico descrito puede montarse en cualquier otra posición de un vehículo en la cual puedan recibirse cargas o fuerzas dinámicas para transformarlas en energía eléctrica.

20 En los ejemplos en los que el presente sistema generador piezoeléctrico está instalado en una embarcación, ésta recibe continuamente fuerzas externas como de las olas y el viento incluso cuando está amarrado con el motor apagado. En este caso, pueden instalarse múltiples generadores piezoeléctricos en varias posiciones de la embarcación donde ambas cargas o fuerzas dinámicas externas e internas pueden ser recibido, tal como de partes sumergidas y partes exterior del casco, así como en los asientos de los miembros de la tripulación y pasajeros, a
 25 través del suelo, etc.

30 En los ejemplos en los que el presente sistema generador piezoeléctrico está instalado en vehículos aéreos, las fuerzas recibidas durante el despegue, durante el vuelo, durante el aterrizaje y durante el tránsito del vehículo a través de las pistas son extremas y por lo tanto una gran fuente de energía disponible. Pueden instalarse múltiples generadores piezoeléctricos en varias posiciones del vehículo para recibir tanto las cargas dinámicas externas e internas tales como amortiguadores de choque en, alas, en otras partes del fuselaje, en los asientos de miembros de la tripulación y los pasajeros, etc. Así, aprovechando cargas y fuerzas recibidos, así como altas vibraciones en todo el aparato una enorme cantidad de energía puede ser generada que puede ser almacenada en las baterías para ellos de carga cuando el avión está despegando de nuevo ya que es la fase de vuelo cuando se consume más
 35 energía.

40 Todavía otro ejemplo de aplicación para el presente sistema generador piezoeléctrico corresponde a las cargas dinámicas generadas a partir de fuerzas de la naturaleza, tales como el agua o el viento. En este caso, el generador piezoeléctrico puede instalarse en centrales hidroeléctricas o eólicas obteniendo ventajas importantes. Una ventaja importante es que el presente generador piezoeléctrico es capaz de generar energía a partir de fuerzas pequeñas por lo que es posible instalarse en varias ubicaciones de la planta para aprovechar muchas cargas o fuerzas dinámicas de alrededor. Una ventaja adicional importante es que el presente generador piezoeléctrico es mucho más eficiente en la transformación de la energía mecánica en energía eléctrica de manera que con la misma fuerza puede generarse mucha más energía ocupando menos espacio que los métodos actuales de generación de energía.
 45 Por ejemplo, el presente generador piezoeléctrico puede instalarse también en lechos de ríos, en el fondo del mar, en las costas, en las laderas de las montañas, en las fachadas de los edificios altos, y en cualquier lugar general en la que pueda captarse un número significativo de fuerzas pequeñas.

50 Otro ejemplo de aplicación del presente generador piezoeléctrico es transformar la energía mecánica generada por los vehículos tales como automóviles, motocicletas, camiones, trenes, tranvías e incluso personas o animales que viajan en una carretera, en una pista, en la calle y también en edificios, granjas, etc., en electricidad. En este caso, se montan una serie de generadores piezoeléctricos en calles, carreteras, pistas, etc. Esto también es aplicable a los aviones durante el despegue o el aterrizaje aprovechando el movimiento en la pista.

55 Aparte de las posibles aplicaciones anteriores del presente sistema generador piezoeléctrico para vehículos tales como automóviles, motocicletas, camiones, aviones, barcos, etc., que van por las carreteras, así como los trenes, tranvías, etc. que viajan por las vías del ferrocarril, otras aplicaciones no se descartan.

60 Por lo tanto, el presente sistema generador piezoeléctrico encuentra aplicación en una gran variedad de campos como el transporte, en la tierra eléctrica, vehículos marinos y transmitidas por el aire, motocicletas, camiones, locomotoras, trenes, aviones, barcos, así como maquinaria en general, y aplicaciones hidráulicas, eólicas y muchas otras, tales como las asociadas a vehículos, personas o animales que se desplazan sobre una superficie del suelo, etc.

5 El presente sistema generador piezoeléctrico puede aplicarse a por lo menos alguna de las aplicaciones antes mencionadas sin cambios particulares en sus partes. Solamente serían necesarios cambios mínimos, tales como por ejemplo la forma de los módulos piezoeléctricos, para adaptarse a la aplicación particular dependiendo de dónde se coloque el generador y la placa de activación asociada al mismo. En cualquier caso, el principio de funcionamiento del presente sistema generador piezoeléctrico siempre sigue siendo el mismo tal como se ha descrito anteriormente.

10 En todas las aplicaciones anteriores, así como en muchas otras, se ha encontrado que el presente sistema generador piezoeléctrico da una elevada potencia de CC de salida, mientras que contribuye a una mejora de los recursos ecológicos y renovables.

15 Con el presente sistema generador piezoeléctrico, se prevé ventajosamente una autonomía ilimitada tal que no se requiere ningún repostaje o recarga de la batería, independientemente de la aplicación para la que se utiliza este sistema generador piezoeléctrico.

Otros objetivos, ventajas y características de ejemplos del presente sistema generador piezoeléctrico serán claros para los expertos en la materia al examinar la descripción, o pueden derivarse al poner en práctica los mismos.

20 BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

A continuación, se describirá el presente sistema generador piezoeléctrico por medio de un ejemplo no limitativo con referencia a los dibujos adjuntos, en los cuales:

25 La figura 1 es una vista esquemática de un ejemplo de un sistema generador piezoeléctrico;

La figura 2 es una vista esquemática de un módulo piezoeléctrico;

30 La figura 3 es un diagrama de circuito esquemático de un ejemplo de un convertidor CA/CC que forma parte del módulo piezoeléctrico que se muestra en la figura 2 con gráficas que muestran diferentes formas de la tensión a través de las diferentes etapas del convertidor CA/CC;

La figura 4 es una vista esquemática de una serie de módulos piezoeléctricos;

35 La figura 5 es una vista esquemática de una unidad de generador piezoeléctrico;

La figura 6 es una gráfica que muestra cambios en los niveles de energía eléctrica de la primera y segunda batería con el tiempo, así como el cambio entre los estados o modos de funcionamiento de la batería;

40 La figura 7 es una vista en planta esquemática del vehículo terrestre donde está instalado el presente sistema generador piezoeléctrico y representaciones de ejemplos de cargas o fuerzas mecánicas dinámicas que intervienen en el mismo;

La figura 8 es una vista en alzado lateral del vehículo terrestre que se muestra en la figura 7; y

45 Las figuras 9 y 10 son dibujos sinópticos que muestran otro ejemplo de aplicación del presente sistema generador piezoeléctrico.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE UN EJEMPLO

50 El ejemplo del sistema de generador piezoeléctrico que se da a continuación en relación con las figuras se ha indicado en conjunto por el número de referencia 100.

55 El sistema generador piezoeléctrico 100 del ejemplo tiene un gran número de aplicaciones, tales como vehículos eléctricos terrestres, acuáticos y aéreos o máquinas, así como otras aplicaciones, como centrales hidráulicas y eólicas e incluso aplicaciones asociadas a vehículos, personas o animales en movimiento sobre una superficie del suelo, y aplicaciones asociadas a la generación de energía en general, etc.

60 En particular, el ejemplo no limitativo mostrado, el sistema generador piezoeléctrico 100 se utiliza en el vehículo eléctrico 1000 mostrada en la figura 7 y la figura 8 de los dibujos. Los detalles específicos del vehículo eléctrico 1000 se dan a continuación.

En el ejemplo, el sistema generador piezoeléctrico 100 va equipado con una unidad de generador piezoeléctrico 650. Los expertos en la materia entenderán, sin embargo, que puede incluirse cualquier otro número de unidades de generador 650 según se requiera dependiendo de la aplicación específica.

5 La unidad de generador piezoeléctrico 650 está instalada en diferentes posiciones adecuadas del vehículo eléctrico 1000 para recibir cargas dinámicas mecánicas o fuerzas $F_1, F_2 \dots F_n$ y convertirlas en energía eléctrica. Las posiciones específicas de las unidades de generador piezoeléctrico 650 deben ser tales que se optimice el uso de dichas cargas o fuerzas mecánicas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ implicadas en el vehículo eléctrico 1000. Ejemplos de posiciones en las que pueden colocarse las unidades de generador piezoeléctricos 650 en el vehículo eléctrico 1000 pueden ser la parte inferior del amortiguador donde se conecta a la dirección del vehículo, entre el muelle del amortiguador y el muelle del amortiguador de soporte inferior, entre los amortiguadores y las suspensiones del vehículo eléctrico 1000, entre el motor y el sistema de bloqueo de motor, entre las suspensiones y el cuerpo del vehículo eléctrico 1000, entre el eje delantero del bastidor del vehículo eléctrico 1000 y el cuerpo del vehículo eléctrico 1000, entre el eje trasero del bastidor del vehículo eléctrico 1000 y el cuerpo del vehículo eléctrico 1000, y debajo de los asientos del vehículo eléctrico 1000, etc. Otras posiciones supuesto, son posibles para recibir adecuadamente las cargas o fuerzas dinámicas mecánicas $F_1, F_2 \dots F_n$ del vehículo eléctrico 1000 y convertirlo en energía eléctrica.

20 Por lo tanto, en el presente ejemplo específico, el sistema de generador piezoeléctrico 100 comprende una unidad de generador piezoeléctrico 650 que se instala en el vehículo eléctrico 1000 de manera que se reciben cargas o fuerzas dinámicas mecánicas $F_1, F_2 \dots F_n$ y se transmiten por la suspensión a medida que el vehículo eléctrico 1000 viaja por un camino 1100 debido a un terreno irregular, la inercia debido a la aceleración, frenado, girando a la derecha o la izquierda, o incluso por la resistencia del viento.

25 Cada unidad de generador 650 en el ejemplo comprende una matriz 400 de módulos piezoeléctricos eléctricamente interconectados $M_{j_i, i}$. Un ejemplo no limitativo de la matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ se ha mostrado en la figura 4 de los dibujos. El conjunto 400 comprende un número de módulos piezoeléctricos interconectados $M_{j_i, i}$ dispuestos en filas y columnas tal como se explicará más adelante también en relación con la figura 4, formando una matriz. La matriz 400 es en este caso una matriz cuadrada. La matriz puede ser sin embargo rectangular o irregular según se requiera.

35 Referencia a la figura 3 de los dibujos, cada módulo piezoeléctrico $M_{j_i, i}$ comprende un elemento piezoeléctrico $E_{j_i, i}$ y un convertidor de corriente alterna/corriente continua (convertidor de CA/CC) $C_{j_i, i}$. El elemento piezoeléctrico $E_{j_i, i}$ y el convertidor CA/CC $C_{j_i, i}$ van encapsulados en el módulo piezoeléctrico $M_{j_i, i}$. Tal como se muestra en la figura 3, el convertidor CA/CC $C_{j_i, i}$ incluye una etapa de filtro 910 y una etapa de regulador de tensión 920. En el convertidor CA/CC $C_{j_i, i}$ que se muestra, la tensión VA de un elemento piezoeléctrico $E_{j_i, i}$ se convierte en una tensión de rizado reducido VB a medida que la corriente pasa a través de la etapa de filtro 910 que se convierte entonces en una tensión de CC $V_{j_i, i}$ después de pasar por la etapa de regulador de voltaje 920, con una salida de corriente de CC $I_{j_i, i}$.

40 Tal como se muestra en la figura 4, la matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ comprende una serie de conjuntos de módulos piezoeléctricos $i M_{j_i, i}$. El número $J_1, J_2, J_3, \dots j_i$ de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ en cada conjunto i están conectados eléctricamente entre sí en serie. Cada módulo piezoeléctrico $M_{j_i, i}$, a su vez, comprende el elemento piezoeléctrico mencionada $E_{j_i, i}$ y convertidor CA/CC $C_{j_i, i}$. Los conjuntos de módulos piezoeléctricos $i M_{j_i, i}$ están conectados eléctricamente entre sí en paralelo.

45 El convertidor CA/CC $C_{j_i, i}$ en cada módulo piezoeléctrico $M_{j_i, i}$ es capaz de convertir corrientes alternas pequeñas generadas por la fuerza (F) que actúa sobre cada elemento piezoeléctrico $E_{j_i, i}$ en una corriente CC de salida controlada como se describirá más adelante. Como resultado, se obtiene ventajosamente una salida de alta potencia continua.

50 De acuerdo con lo anterior, la matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ está definida por una matriz que comprende un número de columnas (conjuntos de i de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$) y un número de filas ($J_1, J_2, J_3, \dots j_i$ módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$). Las columnas i y de las filas $J_1, J_2, J_3, \dots j_i$ de la matriz 400 están dispuestas para suministrar energía eléctrica al vehículo eléctrico 1000. Por lo tanto, la matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ puede entonces definirse generalmente por la siguiente matriz:

$$\begin{matrix}
 & M_{1,1}, & M_{1,2}, & M_{1,3}, & \dots, & M_{1,i} \\
 & M_{2,1}, & M_{2,2}, & M_{2,3}, & \dots, & M_{2,i} \\
 & M_{3,1}, & M_{3,2}, & M_{3,3}, & \dots, & M_{3,i} \\
 & & & & \dots & \\
 60 & M_{j_1,1}, & M_{j_2,2}, & M_{j_3,3}, & \dots, & M_{j_i,i}
 \end{matrix}$$

En el ejemplo que se describe aquí, todos los elementos piezoeléctricos $E_{ji, i}$ incluidos en la matriz 400 son del mismo tipo en términos de material piezoeléctrico (siendo todos realizados en PZT, titanato zirconato de plomo), la geometría (son de forma cilíndrica) y las dimensiones (todos ellos tienen un área A en la que la fuerza F que se aplica que es tan pequeña como sea posible, y todos ellos tienen un espesor tan grande como sea posible).

5 La configuración anterior de la matriz 400 de módulos piezoeléctricos interconectados eléctricamente $M_{ji, i}$ resulta en que la tensión V_{out} en los terminales en todos los conjuntos conectados eléctricamente i de módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ es la misma.

10 Para controlar y ajustar las cargas o fuerzas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ involucrados en el vehículo eléctrico 1000 con el fin de tener una fuerza de activación predeterminada F que actúa al mismo tiempo y durante el mismo tiempo en cada conjunto i de módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$, se dispone un dispositivo de control de fuerza de entrada 700.

15 Un ejemplo de un dispositivo de control de fuerza de entrada 700 se muestra en las figuras 1, 2 y 5. En este ejemplo, el dispositivo de control de fuerza de entrada 700 comprende una placa de activación 750, un elemento de amortiguación 760, un mecanismo de guía 770 y una placa de fijación 780.

20 La placa 750 de activación del dispositivo de control de fuerza de entrada 700 está formado por un único elemento dispuesto para moverse sólo cuando se ha alcanzado una cantidad predeterminada de una fuerza de activación F . Dicha fuerza de activación predeterminada F se transmite por la placa de activación 750 simultáneamente y de manera uniforme en todos los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ de la unidad de generador piezoeléctrico 650.

25 El mecanismo de guía 770 del dispositivo de control de fuerza de entrada 700 se muestra en la figura 5. El mecanismo de guía 770 está destinado para guiar la placa de activación 750 cuando es impulsada por las cargas dinámicas o fuerzas $F_1, F_2 \dots F_n$ del vehículo 1000. Para este fin, el mecanismo de guía 770 incluye una serie de guías alineadas y calibradas dispuestas de manera que la placa de activación 750 se mueve con precisión para distribuir uniformemente dicha predeterminada cantidad de fuerza F con una velocidad predeterminada a la que dicha fuerza F se aplica a los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$. El mecanismo de guía 770 coopera para asegurar que la fuerza (F) se aplica ortogonalmente en todos los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ a la misma velocidad de aplicación, al mismo tiempo, y durante el mismo tiempo.

35 El elemento de amortiguación 760 del dispositivo de control de la fuerza de entrada 700 está destinado para amortiguar las fuerzas o cargas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ del vehículo 1.000 con el fin de evitar que los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ sean dañados por las fuerzas o cargas en exceso $F_1, F_2 \dots F_n$. En el ejemplo mostrado en la figura 1, 2 y 5, el elemento amortiguador 760 comprende una almohadilla de caucho de una dureza adecuada que está dispuesta detrás de los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$.

40 La placa de fijación 780 del dispositivo de control de entrada 700 se fuerza se muestra en la figura 5. El propósito principal de la placa de fijación 780 es la unión de los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$. Los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ están calibrados con el fin de que todos tienen el mismo posicionamiento y todas tienen una planitud perfecta. Un propósito adicional de la placa de fijación 780 es sostener con firmeza la placa de activación 750 para cooperar aún más en distribuir uniformemente la cantidad predeterminada de fuerza F con una velocidad predeterminada a la que dicha fuerza F se aplica como se ha indicado anteriormente.

45 Una tapa posterior 790 también se dispone en el sistema generador piezoeléctrico 100 para el cierre de las unidades de generador 650 y para su fijación a una parte adecuada del vehículo eléctrico 1000 como se describió anteriormente.

50 Volviendo ahora a la figura 1 de los dibujos, se dispone un dispositivo de almacenamiento y suministro de energía eléctrica 200 comprendiendo cada uno dos unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica 250 tal como se muestra en la figura 1. En el caso particular que se describe aquí, cada unidad de almacenamiento y suministro de energía comprende una batería 250. Así, a una unidad de almacenamiento y suministro de energía se hará referencia en lo sucesivo como batería. Por lo tanto, en este ejemplo, el dispositivo de almacenamiento y suministro de energía 200 comprende una primera batería 250 y una segunda batería 250.

55 En el presente sistema generador piezoeléctrico 100, la primera y la segunda batería 250 de la unidad de generador 650 es capaz de trabajar en tres condiciones o modos de funcionamiento diferentes:

- 60 - una primera condición o modo de funcionamiento de almacenamiento en la que la batería 250 es capaz de almacenar la energía eléctrica que genera la unidad de generador piezoeléctrico correspondiente 650;
- una segunda condición o modo de funcionamiento de suministro en la que la batería 250 es capaz de suministrar energía eléctrica para alimentar el vehículo eléctrico 1000; y

ES 2 667 502 T3

- una tercera condición o modo de funcionamiento de modo de espera donde no se almacena energía eléctrica y la batería 250 no suministra energía eléctrica al vehículo eléctrico 1000.

5 Si es necesario, pueden disponerse más baterías 250 funcionando en diferentes condiciones o modos de funcionamiento. En general, cualquiera de las baterías 250 en cada dispositivo de almacenamiento de energía y suministro de eléctrico 200 es capaz de funcionar de acuerdo con las tres condiciones o modos de funcionamiento mencionadas.

10 El cambio entre las condiciones o modos de funcionamiento de la batería se describe ahora en conexión con la gráfica representado en la figura 6 de los dibujos. En dicha gráfica, la línea A corresponde al nivel de potencia eléctrica de la primera batería 250 mientras que la línea B corresponde al nivel de potencia eléctrica de la segunda batería 250.

15 Según la figura 6, en el instante T0, la primera batería 250 está en un estado completamente cargada, que está en su valor máximo de nivel de potencia eléctrica (max) tal como se muestra por la línea A. Por lo tanto, la primera batería 250 está lista para funcionar en la condición de funcionamiento de suministro de energía eléctrica al vehículo eléctrico 1000. Por otro lado, la segunda batería 250 está en su nivel mínimo de energía eléctrica, es decir, a su valor mínimo de nivel de potencia eléctrica (min) tal como se muestra por la línea B. Por lo tanto, la segunda batería 250 está lista para funcionar en el estado de funcionamiento de almacenamiento, para almacenar la energía eléctrica generada por la unidad de generador piezoeléctrico 650 correspondiente del vehículo eléctrico 1000.

20 Durante el intervalo de tiempo T0 - T1, la primera batería 250 está en la condición de funcionamiento de alimentación, suministrando energía eléctrica al vehículo eléctrico 1000. Por esta razón, su valor de nivel de potencia eléctrica que se muestra por la línea A disminuye con el tiempo t. Por otro lado, la segunda batería 250 está en la condición de funcionamiento de almacenamiento que almacena la energía eléctrica generada por la unidad correspondiente generador piezoeléctrico 650 en el vehículo eléctrico 1000. Por esta razón, su valor de nivel de potencia eléctrica se muestra por un aumento de la línea en el tiempo t.

25 En el instante T1 se alcanza un valor máximo del nivel de potencia eléctrica (max) de la segunda batería 250, mientras que el nivel de potencia eléctrica de la primera batería 250 que se muestra mediante la línea A todavía está disminuyendo.

30 Durante el intervalo de tiempo T1 - T2, el valor máximo del nivel de potencia eléctrica (max) de la segunda batería 250, que se muestra por la línea B, se mantiene constante mientras que la segunda batería 250 se mantiene en condiciones de funcionamiento en espera en dicho valor máximo de nivel de potencia eléctrica (max). Durante dicho intervalo de tiempo T1 - T2, el nivel de potencia eléctrica de la primera batería 250, que se muestra por la línea A, que está todavía en la condición de funcionamiento de alimentación, todavía está disminuyendo.

35 En el instante T2 se alcanza un valor mínimo del nivel de potencia eléctrica (min) de la primera batería 250. También en el instante T2 se produce el cambio entre las condiciones de funcionamiento de las dos baterías 250. La condición de funcionamiento de alimentación de la primera batería 250 cambia en el estado de funcionamiento de almacenamiento de manera que de vez en T2 la primera batería 250 comienza a almacenar la energía eléctrica generada por la unidad de generador piezoeléctrico correspondiente 650 y por lo tanto su valor de nivel de potencia eléctrica que se muestra por la línea aumenta con el tiempo t tal como se muestra por la línea A desde el instante T2. En el mismo instante T2, la segunda batería 250 cambia al estado de funcionamiento de suministro para alimentar el vehículo eléctrico 1000 de manera que a partir de dicho instante T2 la segunda batería 250 comienza el suministro de energía eléctrica al vehículo eléctrico 1000 de manera que su valor de nivel de potencia eléctrica mostrado por la línea disminuye con el tiempo t tal como se muestra por la línea B desde el instante T2.

40 Durante el intervalo de tiempo T2 - T3, se alcanza un valor máximo del nivel de potencia eléctrica (max) de la primera batería 250, que se muestra por la línea A, mientras que el nivel de potencia eléctrica de la segunda batería 250 que se muestra por la línea B aún disminuye con el tiempo t.

45 En el intervalo de tiempo T3 - T4, el valor máximo del nivel de potencia eléctrica (max) de la primera batería 250, que se muestra por la línea A, permanece constante mientras que dicha primera batería 250 permanece en la condición de funcionamiento de espera en dicho valor máximo de nivel de potencia eléctrica (max). Durante dicho intervalo de tiempo T3 - T4, el nivel de potencia eléctrica de la segunda batería 250, que se muestra por la línea B, que se encuentra todavía en el estado de funcionamiento de suministro, sigue disminuyendo.

50 En el instante T4 se alcanza otro valor mínimo del nivel de potencia eléctrica (min) de la segunda batería 250. También en el instante T4, se produce un cambio más entre las condiciones de funcionamiento de las dos baterías 250. La condición de operación en espera de la primera batería 250 cambia al estado de funcionamiento de suministro para suministrar energía eléctrica al vehículo eléctrico 1000 y por lo tanto su nivel de potencia eléctrica

que se muestra por la línea A disminuye. Al mismo tiempo, la segunda batería 250 varía en el estado de funcionamiento de almacenamiento para almacenar la energía eléctrica generada por la unidad de generador piezoeléctrico correspondiente 650 y por lo tanto su nivel de potencia eléctrica representada por la línea B aumenta.

5 Es importante señalar que, tal como se muestra en la figura 6 de los dibujos, el intervalo de tiempo T0 - T1 es menor que el intervalo de tiempo T0 - T2. Esto significa que el tiempo de carga de la segunda batería 250 para alcanzar su nivel máximo de potencia eléctrica (max) es siempre menor que el tiempo de descarga de la primera batería 250. Del mismo modo, el intervalo de tiempo T2 - T3 es menor que el intervalo de tiempo T2 - T4. Esto significa que el tiempo de carga de la primera batería 250 para llegar a su nivel de potencia eléctrica máxima (max) es siempre menor que
10 el tiempo de descarga de la segunda batería 250.

En general, las unidades de generador piezoeléctricos 650 son de tamaño tal que el tiempo de carga necesario para cargar completamente una batería 250 es menor que el tiempo de carga que se tarda para descargar completamente la batería 250 cuando se suministra potencia eléctrica al vehículo eléctrico 1000.

15 El ciclo anterior se muestra en la figura 6 se repite indefinidamente, o por lo menos cada vez que se reciben fuerzas o cargas dinámicas externas $F_1, F_2 \dots F_n$, lo que resulta en la autonomía de funcionamiento ilimitada del vehículo eléctrico 1000 ya que no se requieren operaciones externas de recarga de baterías.

20 El cambio entre dichos modos o condiciones de operación de almacenamiento, suministro y espera de las baterías 250 se lleva a cabo por medio de un dispositivo de cambio 300. El dispositivo de cambio 300 es capaz de cambiar entre los mencionados modos o condiciones de operación en base al estado de carga de las baterías 250. Se prevé que el cambio entre los modos o condiciones de funcionamiento de las baterías 250 pueda realizarse automáticamente según sea necesario.

25 El dispositivo de cambio 300 está asociado a un dispositivo de monitorización del estado de carga 600. El dispositivo de monitorización del estado de carga 600 es capaz de monitorizar en tiempo real el estado de carga de las baterías 250 en el dispositivo de almacenamiento y suministro de energía eléctrica 200, que puede representarse, por ejemplo, en un porcentaje, y sus condiciones o modos de funcionamiento. El dispositivo de monitorización del estado de carga 600 también es capaz de transmitir información en tiempo real sobre dichos parámetros a un sistema externo 610. El sistema externo 610 se muestra esquemáticamente en la figura 1 e incluye una pantalla de visualización 620 para la visualización de dicha información desde el dispositivo de monitorización del estado de carga 600 y otros parámetros relacionados con las baterías 250 y otras partes del dispositivo de almacenamiento y
30 suministro de energía eléctrica 200.

35 Tal como se muestra en la figura 1, también se dispone un dispositivo de control de salida 800. El dispositivo de control de salida 800 está destinado a garantizar que la energía eléctrica se recibe desde todas las unidades de generador piezoeléctrico 650 y que dicha potencia eléctrica es suministrada a las baterías 250.

40 Un ejemplo de dimensionamiento de la unidad de generador 650 y, en particular, la matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$, del presente sistema generador piezoeléctrico 100 en el vehículo eléctrico de 1000 es como sigue.

45 El vehículo eléctrico 1000 del ejemplo está equipado con dos baterías 250 estándar cada una con una capacidad de batería BC de 60 kWh. Esto le da al vehículo eléctrico 1000 una autonomía de 370 km. Considerando una velocidad máxima autorizada 130 km/h, el tiempo máximo de recarga R_{tmax} de cada batería 250 es de 2,85 horas.

A partir de lo anterior puede calcularse la potencia eléctrica de salida mínima P_{out} de cada unidad de generador piezoeléctrico 650 con el fin de proporcionar autonomía ilimitada para el vehículo eléctrico 1000 teniendo en cuenta el tiempo de carga anterior para cada una de dichas dos baterías 250 y una eficiencia φ de aproximadamente 75%.

Así:

$$P_{out} = \frac{BC}{Rt_{max}} \cdot \varphi$$

$$P_{out} = \frac{60}{2,85} \cdot (1 + (1 - 0,75)) = 26,35 \text{ KW}$$

5 En consecuencia, la unidad de generador piezoeléctrico 650 del sistema generador piezoeléctrico 100 debe ser capaz de generar una potencia eléctrica teórica $P_{out-tot-T}$ de aproximadamente 26.350 W. Cabe señalar que en este ejemplo, la potencia eléctrica teórica $P_{out-tot-T}$ de cada unidad de generador piezoeléctrico 650 se determina en un escenario teniendo en cuenta el peor caso, es decir, teniendo en cuenta la eficiencia del 75% antes mencionada, para la recarga de una batería estándar 250 de 60 kWh para una autonomía de conducción de 370 km durante un tiempo de desplazamiento de 2,85 horas a una velocidad constante de 130 km/h.

10 La tensión de salida V_{out} que puede ser generada por cada unidad de generador piezoeléctrico 650 es proporcional a la presión P que se aplica en los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ de acuerdo con una constante tensión piezoeléctrica g_{33} . Dicha constante de tensión piezoeléctrica g_{33} (que viene dada en voltios por metro/Newton, Vm/N) corresponde a una relación de una diferencia de potencial (voltios) que se genera por las fuerzas o cargas $F_1, F_2 \dots F_n$ que se aplica (Newton) para un elemento piezoeléctrico de 1 metro de longitud. Así:

15
$$V_{out} = g_{33} \cdot h \cdot P$$

Tal como se mencionó anteriormente, los elementos piezoeléctricos $E_{ji, i}$ en los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ son de forma cilíndrica. Cada elemento piezoeléctrico $E_{ji, i}$ es de 3 mm de altura h y 5 mm de diámetro d .

20 Teniendo en cuenta una presión P aplicada a cada elemento piezoeléctrico $E_{ji, i}$ que corresponde a una fuerza o carga F aplicada por área A perpendicular a su superficie sobre la cual dicha fuerza o carga F se distribuye, es decir, $P = F / A$, entonces:

25
$$V_{out} = g_{33} \cdot h \cdot \frac{F}{A} = g_{33} \cdot h \cdot \frac{F}{\pi \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

30 El uso de módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ que comprenden elementos piezoeléctricos $E_{ji, i}$ con una constante de tensión piezoeléctrica g_{33} de 0,035 Vm/N, entonces cada elemento piezoeléctrico $E_{ji, i}$ es capaz de generar la siguiente tensión de salida V_{out} cuando el dispositivo de control de fuerza de entrada 700 establece una fuerza de activación F recibida por cada uno de los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ de 5 N:

$$V_{out} = g_{33} \cdot h \cdot \frac{F}{A} = 0,035 \cdot 0,003 \cdot \frac{5}{\pi \cdot 0,0025^2} = 26,74V$$

35 Pueden considerarse otros valores para la tensión de salida V_{out} según los parámetros de fuerza F y dimensiones de los elementos piezoeléctricos $E_{ji, i}$ de acuerdo con múltiples configuraciones como se muestra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1

Configuración	g33 (Vm / N)	Espesor h (m)	Diametro D (m)	Tensión de salida (V) para F = 5N	Tensión de salida (V) para F = 6 N	Tensión de salida (V) para F = 7 N	Tensión de salida (V) para F = 8 N	Tensión de salida (V) para F = 9 N	Tensión de salida (V) para F = 10 N
1	0,03	0,0015	0,005	11,46	13,75	16,04	18,33	20,63	22,92
2		0,002		15,28	18,33	21,39	24,45	27,50	30,56
3		0,0025		19,10	22,92	26,74	30,56	34,38	38,20
4		0,003		22,92	27,50	32,09	36,67	41,25	45,84
5	0,035	0,0015		13,37	16,04	18,72	21,39	24,06	26,74
6		0,002		17,83	21,39	24,96	28,52	32,09	35,65
7		0,0025		22,28	26,74	31,19	35,65	40,11	44,56
8		0,003		26,74	32,09	37,43	42,78	48,13	53,48
9	0,04	0,0015		15,28	18,33	21,39	24,45	27,50	30,56
10		0,002		20,37	24,45	28,52	32,59	36,67	40,74
11		0,0025		25,46	30,56	35,65	40,74	45,84	50,93
12		0,003		30,56	36,67	42,78	48,89	55,00	61,12
13	0,03	0,0015	0,006	7,96	9,55	11,14	12,73	14,32	15,92
14		0,002		10,61	12,73	14,85	16,98	19,10	21,22
15		0,0025		13,26	15,92	18,57	21,22	23,87	26,53
16		0,003		15,92	19,10	22,28	25,46	28,65	31,83
17	0,035	0,0015		9,28	11,14	13,00	14,85	16,71	18,57
18		0,002		12,38	14,85	17,33	19,81	22,28	24,76
19		0,0025		15,47	18,57	21,66	24,76	27,85	30,95
20		0,003		18,57	22,28	26,00	29,71	33,42	37,14
21	0,04	0,0015		10,61	12,73	14,85	16,98	19,10	21,22
22		0,002		14,15	16,98	19,81	22,64	25,46	28,29
23		0,0025		17,68	21,22	24,76	28,29	31,83	35,37
24		0,003		21,22	25,46	29,71	33,95	38,20	42,44
25	0,03	0,0015	0,007	5,85	7,02	8,19	9,35	10,52	11,69
26		0,002		7,80	9,35	10,91	12,47	14,03	15,59
27		0,0025		9,74	11,69	13,64	15,59	17,54	19,49
28		0,003		11,69	14,03	16,37	18,71	21,05	23,39
29	0,035	0,0015		6,82	8,19	9,55	10,91	12,28	13,64
30		0,002		9,09	10,91	12,73	14,55	16,37	18,19
31		0,0025		11,37	13,64	15,92	18,19	20,46	22,74
32		0,003		13,64	16,37	19,10	21,83	24,56	27,28
33	0,04	0,0015		7,80	9,35	10,91	12,47	14,03	15,59
34		0,002		10,39	12,47	14,55	16,63	18,71	20,79
35		0,0025		12,99	15,59	18,19	20,79	23,39	25,98
36		0,003		15,59	18,71	21,83	24,95	28,06	31,18

5 Tal como se ha descrito anteriormente, la matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ se define a través de una matriz cuadrada, donde el número de conjuntos i de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$, es el mismo que el número de elementos piezoeléctricos $E_{j_i, i}$ en cada conjunto i , entonces $j = j_1 = j_2 = \dots = j_i$ de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$, Entonces, en este caso particular: $i = j$.

10 Cada módulo piezoeléctrico $M_{j_i, i}$ está a su vez provisto de un convertidor CA/CC $C_{j_i, i}$ que incluye un regulador LM7824 estándar, El regulador LM7824 da una salida tensión CC $V_{j_i, i}$ de 24 V, La velocidad a la que se aplica la fuerza de activación F en todos los módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ se establece mediante la placa de activación 750 de manera que una corriente de salida $I_{j_i, i}$ en cada de los módulos del piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ es 1,5 A. Cada módulo piezoeléctrico $M_{j_i, i}$ por lo tanto da una salida de tensión CC $V_{j_i, i}$ de 24 V y una corriente de salida $I_{j_i, i}$ de 1,5 A,

15 La matriz cuadrada 400 de módulos piezoeléctricos eléctricamente interconectados $M_{j_i, i}$, puede definirse entonces para la unidad de generador piezoeléctrico 650 en este ejemplo tal como sigue. La tensión de salida V_{out} en la unidad de generador piezoeléctrico 650 es la mismo en cada conjunto i de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$, Como cada conjunto i de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$, tiene j elementos piezoeléctricos, entonces, la tensión total $V_{out-tot-T}$ y la corriente total $I_{out-tot-T}$ a la salida de cada serie i de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ es, respectivamente:

20
$$\begin{aligned} V_{out-tot-T} &= V_{j_i, i} \\ I_{out-tot-T} &= I_{j_i, i} \end{aligned}$$

La potencia eléctrica teórica $P_{out-tot-T}$ se determina multiplicando la tensión de salida $V_{out-tot-T}$ en voltios por la salida de corriente $I_{out-tot-T}$ en amperios por lo que:

25
$$P_{out-tot-T} = V_{out-tot-T} \cdot I_{out-tot-T}$$

Entonces, la potencia eléctrica total teórica $P_{out-tot-T}$ generada por la unidad de generador piezoeléctrico 650 es:

30
$$P_{out-tot-T} = V_{out-tot-T} \cdot I_{out-tot-T} = (V_{j_i, i}) \cdot (I_{j_i, i})$$

Sustituyendo los valores anteriores:

35
$$\begin{aligned} P_{out-tot-T} &= (24 \cdot j) \cdot (1,5 \cdot i) \\ 26350 &= (24 \cdot j) \cdot (1,5 \cdot i) \end{aligned}$$

Tal como se ha indicado anteriormente, en el ejemplo mostrado se utiliza una matriz cuadrada 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ que se define por i conjuntos de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ cada uno con j elementos piezoeléctricos, es decir, $i = j$, y por lo tanto:

40
$$\begin{aligned} 26350 &= (24 \cdot j) \cdot (1,5 \cdot i) = (24 \cdot j) \cdot (1,5 \cdot j) = (24 \cdot 1,5) \cdot j^2 \\ 26350 &= 36 \cdot j^2 \end{aligned}$$

45 A partir de lo anterior, el número total j de elementos piezoeléctricos de la matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ puede determinarse entonces como sigue:

$$j = \sqrt{\frac{26350}{36}} = 27,05 \approx 28$$

50 Por lo tanto, en el presente ejemplo no limitativo, $i = j = 28$, de modo que se requiere que la unidad de generador piezoeléctrico 650 tenga cada una una matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ que incluya 28 conjuntos i conectados en paralelo de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ teniendo cada uno 28 módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ conectados en serie, Esto resulta en un número total de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ de $28 \times 28 = 784$.

55 A partir de la matriz 400 de módulos piezoeléctricos $M_{j_i, i}$ que se ha definido anteriormente, pueden determinarse los valores totales de la tensión $V_{out-tot}$, la corriente $I_{out-tot}$ y potencia real $P_{out-tot}$:

$$\begin{aligned} V_{out-tot} &= 24 \times 28 = 672 \text{ V} \\ I_{out-tot} &= 1,5 \times 28 = 42 \text{ A} \\ P_{out-tot} &= V_{out-tot} \times I_{out-tot} = 672 \times 42 = 28,22 \text{ KW} \end{aligned}$$

En la siguiente Tabla 2 se muestran ejemplos de las unidades de generador piezoeléctrico 650 mínimas necesarias para dar autonomía ilimitada a los vehículos eléctricos que más se comercializan hasta ahora.

Tabla 2

Vehículo	Autonomía del vehículo (km)	Tiempo de consumo de la batería a 130 Km/h (horas)	Capacidad de la batería (KWh)	Potencia teórica suministrada por la unidad de generador piezoeléctrico 650 $P_{out-tot-T}$ (KW) (eficiencia de carga 75%)	Módulos piezoeléctricos ($M_{j,i}$) conectados en serie (j)	Conjuntos (i) de módulos piezoeléctricos ($M_{j,i}$) conectados en paralelo	Tensión suministrada por la unidad de generador piezoeléctrico V_{out} (V) (eficiencia de carga 75%)	Corriente suministrada por la unidad de generador piezoeléctrico I_{out} (A) (eficiencia de carga 75%)	Potencia suministrada por la unidad de generador piezoeléctrico unit 650 P_{out} (KW) (eficiencia de carga 75%)
1	122	0,94	23	30,64	30	30	720	45	32,40
2	150	1,15	16	17,33	22	22	528	33	17,40
3	150	1,15	18,7	20,26	24	24	576	36	20,74
4	160	1,23	18,8	19,09	24	24	576	36	20,74
5	180	1,38	22	19,86	24	24	576	36	20,74
6	185	1,42	22	19,32	24	24	576	36	20,74
7	170	1,31	24	22,94	26	26	624	39	24,34
8	190	1,46	24,2	20,70	24	24	576	36	20,74
9	200	1,54	27	21,94	25	25	600	38	22,50
10	370	2,85	60	26,35	28	28	672	42	28,22
11	480	3,69	85	28,78	29	29	696	44	30,28

35 En la anterior Tabla 2, vehículo 1 es el Ford Focus Electric, el vehículo 2 es el Mitsubishi i-Miev, vehículo 3 es el Volkswagen E-Up !, vehículo 4 es el BMW i3, vehículo 5 es el Renault ZOE, vehículo 6 es el Renault ZE Fluence, vehículo 7 es el Nissan Leaf, el vehículo 8 es el Volkswagen e-Golf, vehículo 9 es el Kia Soul EV, el vehículo 10 es el modelo de Tesla S 60 y el vehículo 11 es el modelo de Tesla S 85.

40 En el dimensionamiento anterior para la unidad de generador piezoeléctrico 650 en el presente ejemplo, se ha considerado una gravedad normal, es decir 1G. Dependiendo del peso del vehículo eléctrico 1000, un número de diferentes unidades generadoras piezoeléctrico 650 puede dimensionarse adecuadamente de acuerdo con las cargas o fuerzas dinámicas mecánicas $F_1, F_2 \dots F_n$ que actúan sobre los módulos piezoeléctricos $M_{j,i}$ para convertirlo en energía eléctrica.

45 El vehículo eléctrico 1000 en el presente ejemplo es un vehículo estándar de masa $m = 2175$ kg vacío, lo que corresponde a $mg = 2175 \cdot 9,81 = 21337$ N. Este vehículo eléctrico 1000 está equipado con el presente sistema generador piezoeléctrico 100 que tiene un número de unidades generadoras piezoeléctricos 650 cada uno incluyendo 784 módulos piezoeléctricos $M_{j,i}$ determinados anteriormente. Cada unidad de generador piezoeléctrico 650 está configurada para transmitir una fuerza de disparo de 5 N, que corresponde a un total de 3920 N. La unidad de generador piezoeléctrico 650 se monta en la suspensión del vehículo eléctrico 1000, entre el soporte inferior del muelle y el muelle en sí en la suspensión. Para aumentar la capacidad de generación de energía, las unidades generadoras piezoeléctricos 650 se montan cerca de los cuatro amortiguadores del vehículo eléctrico 1000. Otras posiciones en las que las cargas o fuerzas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ puedan transformarse en energía eléctrica son posibles.

60 Las cargas o fuerzas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ que actúan sobre y/o son transmitidas por el vehículo eléctrico 1000, mientras circula por la carretera 1100, o incluso cuando está parado, se distribuyen así en una serie de pequeñas fuerzas de activación F que actúan al mismo tiempo en el mismo número de pequeños elementos piezoeléctricos $E_{j,i}$. Es importante tener en cuenta que las pequeñas fuerzas de activación F se transforman en correspondientes pequeñas tensiones de CA que, a su vez, las convierten los correspondientes convertidores CA/CC $C_{j,i}$ en tensiones

de DC $V_{ji, i}$. A través de la conexión específica de las matrices 400 de módulos piezoeléctricos eléctricamente interconectados $M_{ji, i}$, descrita anteriormente la conexión eléctrica de los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ en cada conjunto i en serie permite que la tensión de salida V_{out} que se incrementa mientras que la conexión eléctrica de los conjuntos de i de módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ en paralelo permite la corriente de salida I_{out} aumente obteniéndose altos valores potencia eléctrica de salida P_{out} .

En la práctica, sin embargo, las cargas o fuerzas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ se aplican con valores de gravedad mayores que el valor 1G anteriormente mencionado por lo que puede generarse mucha más potencia eléctrica. Los vehículos estándar están diseñados normalmente para soportar las vibraciones y aceleraciones del orden de 5G a 10G. Por lo tanto, teniendo en cuenta, por ejemplo, una fuerza $F_1, F_2 \dots F_n$ en 2G en el vehículo eléctrico 1000, es decir, con una aceleración de $19,62 \text{ m/s}^2$, se transmiten fuerzas totales $F_1, F_2 \dots F_n$ del orden de $m \cdot 2G = 2175 \cdot 19,62 = 42673,5 \text{ N}$ a las unidades de generador piezoeléctrico 650 de manera que se genera más energía eléctrica para el vehículo eléctrico 1000.

En el vehículo eléctrico 1000 equipado con el presente sistema de generador piezoeléctrico 100 con una unidad de generador piezoeléctrico 650 no requiere recarga de combustible, es decir, el vehículo eléctrico no necesita parar para recargar o sustituir las baterías 250. Las baterías se recargan 250 a medida que el vehículo eléctrico 1000 viaja e incluso como el vehículo eléctrico 1000 está parado debido a las fuerzas externas $F_1, F_2 \dots F_n$ recibidas.

Aunque solamente se ha descrito aquí un ejemplo particular del presente sistema de generador piezoeléctrico, los expertos en la materia entenderán son posibles otros ejemplos alternativos y/o usos y modificaciones obvias y equivalentes del mismo.

Por ejemplo, en el ejemplo que se describe aquí se ha instalado un sistema generador piezoeléctrico 100 en un vehículo eléctrico 1000 para la conducción por una carretera 1100, es decir, un coche, de manera que la energía cinética de las cargas o fuerzas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ se transforman de manera eficiente en energía eléctrica. Sin embargo, será evidente para los expertos en la materia que el presente sistema generador piezoeléctrico 100 puede también instalarse en otros vehículos terrestres tales como motocicletas, camiones, trenes, tranvías, locomotoras, así como en vehículos marinos y aéreos tales como aviones, barcos y maquinaria en general. El sistema generador piezoeléctrico 100 que se describe aquí también puede instalarse en plantas hidráulicas y eólicas para la generación de energía eléctrica.

En el dibujo sinóptico de la figura 9, se muestra un ejemplo adicional de aplicación del presente sistema generador piezoeléctrico 100. En este ejemplo de la figura 9, el sistema generador piezoeléctrico 100 se instala por debajo del suelo 1100. En dicho dibujo sinóptico se muestran en común diferentes suelos correspondientes a carreteras, autopistas, pistas de aterrizaje, etc. por el número de referencia 1100 donde vehículos automóviles 1001, camiones 1005, motocicletas 1010, personas 1015, tales como por ejemplo peatones, y aviones 1020 pueden viajar o caminar.

En el dibujo sinóptico de la figura 10, se ha ilustrado un tren 1025 situado en una vía 1110.

En ambos ejemplos mostrados en los dibujos sinópticos de las figuras 9 y 10, el sistema generador piezoeléctrico 100 está instalado de manera que las unidades de generador piezoeléctrico 650 están dispuestas por debajo de una superficie tal como el suelo 1100 o la vía 1110 en las figuras 9 y 10, respectivamente, y con los correspondientes dispositivos de almacenamiento y suministro de energía eléctrica 200 y los correspondientes dispositivos de control de salida 800 conectados a los mismos.

Con la configuración anterior, el sistema generador piezoeléctrico 100 es capaz de capturar las fuerzas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ desde dichos vehículos 1001, camiones 1005, motocicletas 1010, personas 1015, aviones 1020 y trenes 1025 que circulan o caminan sobre el suelo 1100 o la vía 1110 y transformarlas en energía eléctrica.

En la siguiente Tabla 3 se incluyen ejemplos de diferentes configuraciones de generadores piezoeléctricos 650 para una matriz cuadrada 400 de módulos piezoeléctricos eléctricamente interconectados $M_{ji, i}$ con elementos piezoeléctricos $E_{ji, i}$ que tienen las siguientes características:

- constante de tensión piezoeléctrica: $g_{33} = 0,04 \text{ Vm/N}$
- altura: $h = 0,04 \text{ m}$
- diámetro: $D = 0,003 \text{ m}$

para una fuerza de activación predeterminada F para cada módulo piezoeléctrico $M_{ji, i}$ de 2 N y un valor de corriente de cada uno de los módulos piezoeléctricos $M_{ji, i}$ de 1,5 A.

Tabla 3

Ge- ne- ra- dor	Módul os piezo- elétricos $M_{j,i}$ conect ados en serie	Conjuntos i de módulos piezo- elétricos $M_{j,i}$ conectados en paralelo	Número total de módulos piezo- elétricos $M_{j,i}$	Tensión de cada módulo piezo- elétrico $V_{j,i}$ (A)	V_{out} (V)	I_{out} (A)	P_{out} (W)	Fuerza total para activar el generador piezo- elétrico (N)	Peso equiva- lente (Kg)
1	2	2	4	56.59	113	3	340	8	0,82
2	3	3	9	56,59	170	5	764	18	1,83
3	4	4	16	56,59	226	6	1358	32	3,26
4	5	5	25	56,59	283	8	2122	50	5,10
5	10	10	100	56,59	566	15	8488	200	20,39
6	15	15	225	56,59	849	23	19099	450	45,87
7	25	25	625	56,59	1415	38	53052	1,250	127
8	75	75	5,625	56,59	4244	113	477464	11,250	1147
9	100	100	10000	56,59	5659	150	848824	20,000	2039
10	125	125	15625	56,59	7074	188	1326288	31,250	3186

La Tabla 3 anterior muestra la gran cantidad de potencia que puede ser generada por el presente sistema generador piezoeléctrico 100.

5 A partir de los ejemplos mostrados en los dibujos sinópticas de las figuras 9 y 10 es evidente que una ventaja importante del presente sistema generador piezoeléctrico 100 es que es capaz de generar energía a partir de pequeñas cargas o fuerzas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ ya que puede instalarse en varias ubicaciones. Por ejemplo, tal como se muestra en la Tabla 3, una unidad de generador piezoeléctrico 650 que comprende una matriz 400 de 2 x 2
10 módulos piezoeléctricos $M_{j,i}$ es capaz de generar una potencia eléctrica de 340 W a partir de una carga dinámica de 0,82 Kg. En este ejemplo, teniendo en cuenta que cada elemento piezoeléctrico $E_{j,i}$ es de 3 mm de diámetro, las dimensiones de la unidad de generador piezoeléctrico 650 se reducen ventajosamente. Un gran número de unidades de generador piezoeléctrico 650 puede instalarse, siendo capaz cada una de ellas de generar elevada energía eléctrica a partir fuerzas pequeñas.

15 Otros ejemplos de lugares en los que puede instalarse el presente generador piezoeléctrico son lechos de los ríos, de los fondos marinos, costas, laderas de las montañas, fachadas en edificios altos, y en cualquier lugar general donde pueda capturarse un número significativo de pequeñas fuerzas $F_1, F_2 \dots F_n$.

20 Todavía otro ejemplo de aplicación para el presente sistema de generador piezoeléctrico 100 corresponde a la captura de las cargas dinámicas $F_1, F_2 \dots F_n$ se generan a partir de fuerzas de la naturaleza, tal como el agua o el viento. En este caso, las unidades de generador piezoeléctrico 650 puede instalarse en plantas hidroeléctricas o eólicas obteniéndose ventajas importantes.

25 Sin embargo, otra ventaja importante es que el presente generador piezoeléctrico 100 es mucho más eficiente en la transformación de energía mecánica en energía eléctrica de manera que con la misma fuerza puede generarse mucha más energía ocupando menos espacio que los métodos actuales de generación de energía. Haciendo referencia de nuevo a la Tabla 3, utilizando un generador piezoeléctrico 100 que incluya una unidad de generador piezoeléctrico 650 que tenga una matriz 400 de 125 x 125 módulos piezoeléctricos $M_{j,i}$, puede generarse una
30 potencia de 1,3 MW a partir de una carga dinámica de 3186 Kg. Teniendo en cuenta que cada elemento piezoeléctrico $E_{j,i}$ es de 3 mm de diámetro, las dimensiones de la unidad de generador piezoeléctrico 650 se reducen ventajosamente. Puede instalarse un gran número de unidades de generador piezoeléctrico 650 por ejemplo en una planta hidráulica para generar una elevada potencia eléctrica. Esto es muy ventajoso en particular teniendo en cuenta que las plantas hidráulicas actualmente se consideran que generan una gran cantidad de
35 energía eléctrica cuando la cantidad de energía eléctrica que se genera es del orden de más de 10 MW.

5 En todas las aplicaciones previstas, el presente sistema generador piezoeléctrico 100 puede instalarse para funcionar de manera eficiente sin cambios particulares en sus partes, requiriéndose sólo cambios mínimos, tales como por ejemplo la configuración de los módulos piezoeléctricos M_{ji} . En cualquier caso, el principio de funcionamiento del presente sistema de generador piezoeléctrico 100 es siempre el mismo que el que se ha descrito anteriormente.

10 Por lo tanto, la presente descripción cubre todas las posibles combinaciones del ejemplo particular que se ha descrito aquí de manera que el alcance no debe limitarse por dicho ejemplo particular, sino que debe determinarse solamente por una lectura razonable de las siguientes reivindicaciones.

Los signos de referencia relacionados con dibujos y entre paréntesis en una reivindicación son únicamente para tratar de aumentar su inteligibilidad y no se interpretarán como una limitación de su alcance.

REIVINDICACIONES

1. Sistema generador piezoeléctrico (100) que comprende por lo menos una unidad de generador piezoeléctrico (650), comprendiendo cada unidad de generador (650):
- 5 una matriz (400) de módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$), comprendiendo cada uno de dichos módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$) un elemento piezoeléctrico ($E_{ji, i}$) y un convertidor de corriente alterna/corriente continua ($C_{ji, i}$) para convertir la corriente alterna generada por el elemento piezoeléctrico ($E_{ji, i}$) en corriente continua;
- 10 comprendiendo la matriz (400) de módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$) una serie conjuntos (i) de dichos módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$), cada uno de dichos conjuntos (i) conectados eléctricamente entre sí en paralelo;
- comprendiendo los conjuntos (i) de módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$) una serie ($j_1, j_2, \dots j_i$) de módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$) conectados eléctricamente entre sí en serie;
- 15 estando destinada la matriz (400) para suministrar energía eléctrica (P_{out}) cuando dichos módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$) son accionados mecánicamente por al menos una carga dinámica ($F_1, F_2 \dots F_n$) de manera que una tensión eléctrica (V_{out}) en cada grupo (i) de módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$) es sustancialmente la misma;
- 20 caracterizado por un dispositivo de control fuerza de entrada (700) para controlar dichas cargas dinámicas ($F_1, F_2 \dots F_n$) de manera que sólo se aplica una cantidad predeterminada de fuerza (F) a una velocidad predeterminada a los módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$) de manera que la unidad de generador piezoeléctrico (650) genera una potencia eléctrica predeterminada (P_{out}); y
- 25 comprendiendo dicho dispositivo de control de la fuerza de entrada (700) una placa de activación (750) para distribuir uniformemente la fuerza predeterminada (F) que actúa sobre los módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$) de manera que todos reciben sustancialmente la misma fuerza predeterminada (F), sustancialmente en el mismo instante y sustancialmente durante el mismo tiempo; y un elemento de amortiguación (760) adecuado para la amortiguación de la fuerza predeterminada (F) con el fin de proteger los módulos piezoeléctricos ($M_{ji, i}$).
- 30
- 2 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado por el hecho de que comprende, además, un dispositivo de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (200) que comprende por lo menos una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (250), pudiendo funcionar por lo menos una dicha unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (250) por lo menos en un primera condición de almacenamiento, capaz de almacenar energía eléctrica, y en una segunda condición de suministro, capaz de suministrar energía eléctrica.
- 35
- 3 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por el hecho de que comprende, además, un dispositivo de control de salida (800) para recibir la energía eléctrica (P_{out}) procedente de todos los generadores piezoeléctricos (650) y suministrar dicha energía eléctrica (P_{out}) a dicho dispositivo de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (200).
- 40
- 4 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, caracterizado por el hecho de que la energía eléctrica (P_{out}) es proporcional a una altura (h) de los elementos piezoeléctricos ($E_{ji, i}$), un área (A) de los elementos piezoeléctricos ($E_{ji, i}$), y una constante de la tensión (g_{33}) de los elementos piezoeléctricos ($E_{ji, i}$) en cada generador piezoeléctrico (650), donde actúan las cargas dinámicas ($F_1, F_2 \dots F_n$).
- 45
- 5 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-4, caracterizado por el hecho de que comprende además un dispositivo de monitorización del estado de carga (600) para monitorizar por lo menos uno del estado de carga y el estado de funcionamiento de por lo menos una de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (250).
- 50
- 6 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con la reivindicación 5, caracterizado por el hecho de que comprende además un dispositivo de cambio (300) asociado al dispositivo de monitorización del estado de carga (600) para cambiar entre dichos estados de almacenamiento y suministro de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (250) en función del estado de carga de las mismas.
- 55
- 7 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con la reivindicación 6, caracterizado por el hecho de que el dispositivo de cambio (300) está adaptado para cambiar automáticamente entre dichos estados de almacenamiento y suministro de las unidades de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (250) en función del estado de carga de las mismas.
- 60

- 8 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por el hecho de que el elemento de amortiguación (760) del dispositivo de control de la fuerza de entrada (700) es por lo menos uno seleccionado de un mecánico, neumático, hidráulico, y el elemento magnético.
- 5 9 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-8, caracterizado por el hecho de que la unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (250) puede funcionar en por lo menos una tercera condición de espera, donde no se almacena energía eléctrica (Pout) ni se suministra energía eléctrica (Pout).
- 10 10 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-9, caracterizado por el hecho de que el tiempo empleado por una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (250) para cargarse completamente es menor que el tiempo que tarda una unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica (250) para descargarse cuando suministra energía eléctrica.
- 15 11 - Sistema generador piezoeléctrico (100) de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 2-10, caracterizado por el hecho de que la unidad de almacenamiento y suministro de energía eléctrica es una batería (250).
- 20 12 - Sistema eléctrico que incluye el sistema generador piezoeléctrico (100) según cualquiera de las reivindicaciones anteriores como fuente de energía.
- 25 13 - Sistema eléctrico de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por el hecho de que los elementos piezoeléctricos ($E_{j,i}$) del sistema generador piezoeléctrico (100) son impulsadas por al menos una carga dinámica ($F_1, F_2 \dots F_n$) genera a partir de al menos una parte móvil de al menos uno de un vehículo eléctrico y la máquina eléctrica.
- 30 14 - Sistema eléctrico de acuerdo con la reivindicación 13, caracterizado por el hecho de que el sistema de generador piezoeléctrico (100) está adaptado para montarse en una ubicación de un vehículo eléctrico seleccionado de por lo menos uno de: una parte inferior de un amortiguador donde se conecta a la dirección del vehículo, entre un muelle del amortiguador y un muelle amortiguador de soporte inferior, entre los amortiguadores y suspensiones, entre el motor y un sistema de bloqueo de motor, entre suspensiones y una carrocería de vehículo, entre un eje delantero bastidor del vehículo y una carrocería de vehículo, entre un vehículo enmarcar eje trasero y una carrocería de vehículo, y debajo de los asientos de un vehículo.
- 35 15 - Sistema eléctrico de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por el hecho de que el sistema de generador piezoeléctrico (100) es accionado por al menos una carga dinámica ($F_1, F_2 \dots F_n$) generada a partir de fuerzas de la naturaleza, tales como el agua o el viento.
- 40 16 - Sistema eléctrico de acuerdo con la reivindicación 12, caracterizado por el hecho de que el sistema de generador piezoeléctrico (100) es accionado por al menos una carga dinámica ($F_1, F_2 \dots F_n$) generada a partir de cualquier vehículo, personas o animales que se desplazan sobre una superficie del suelo.

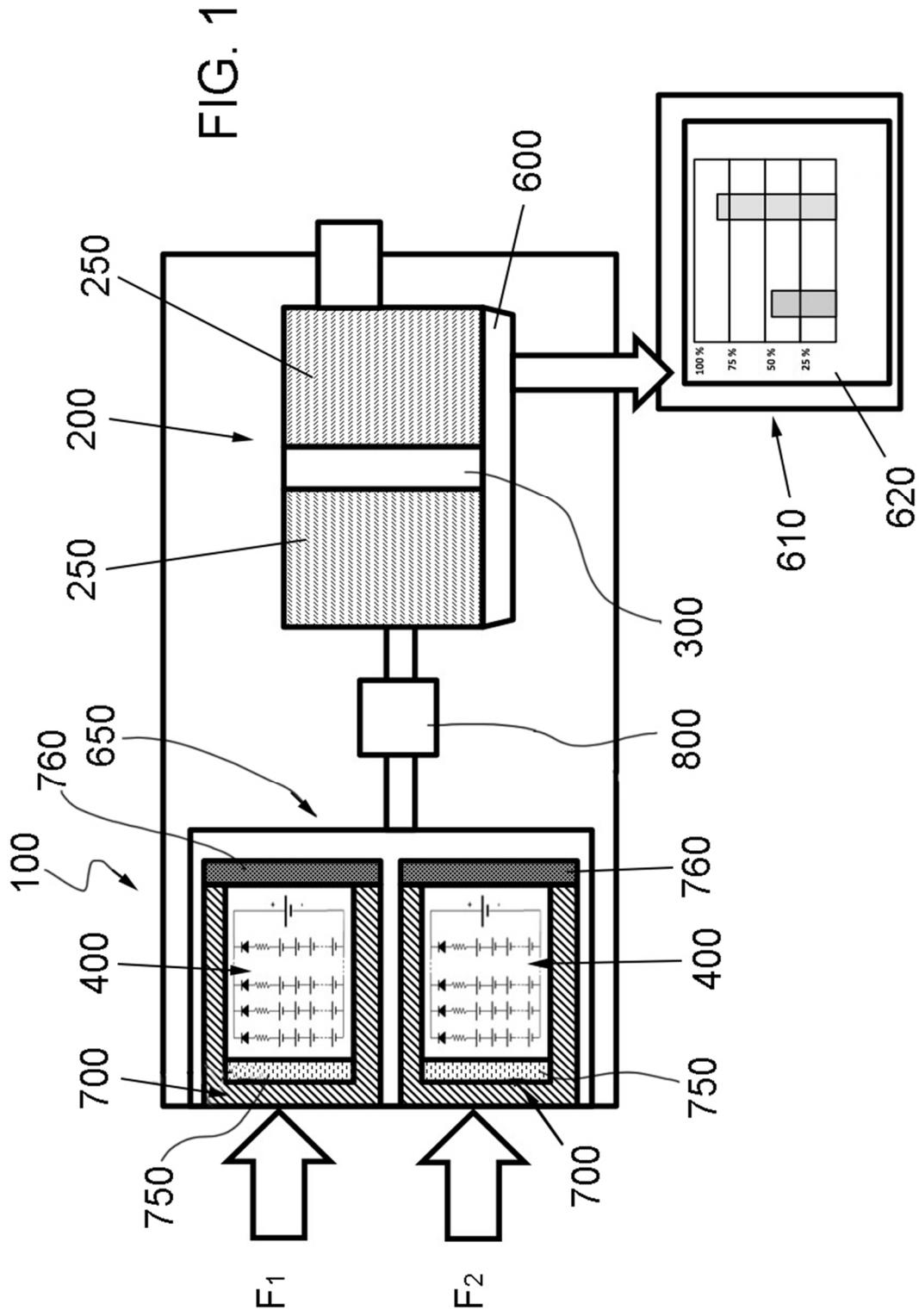


FIG. 2

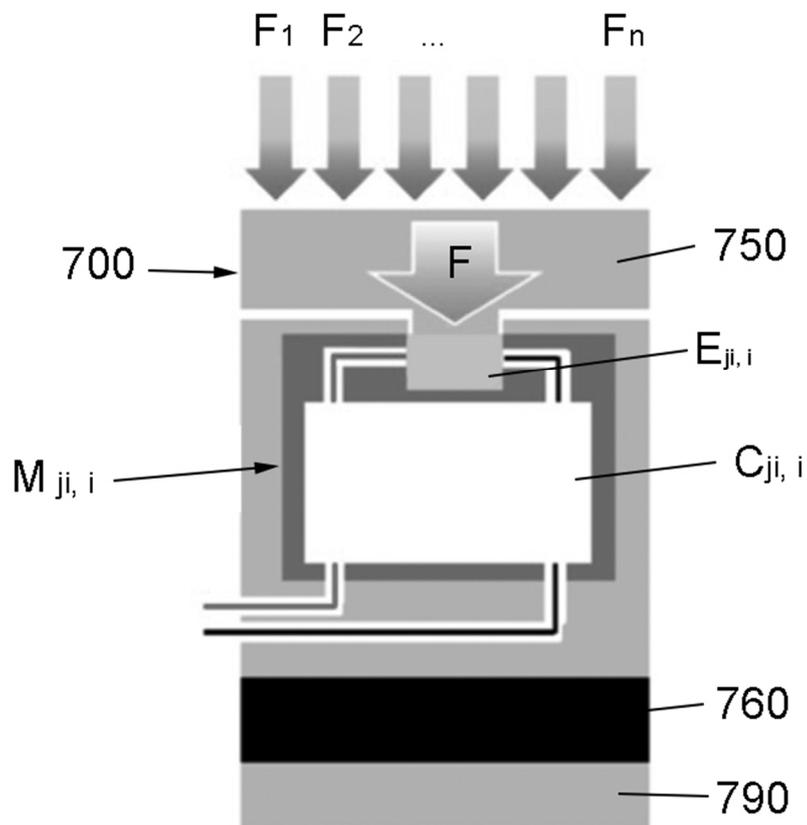


FIG. 3

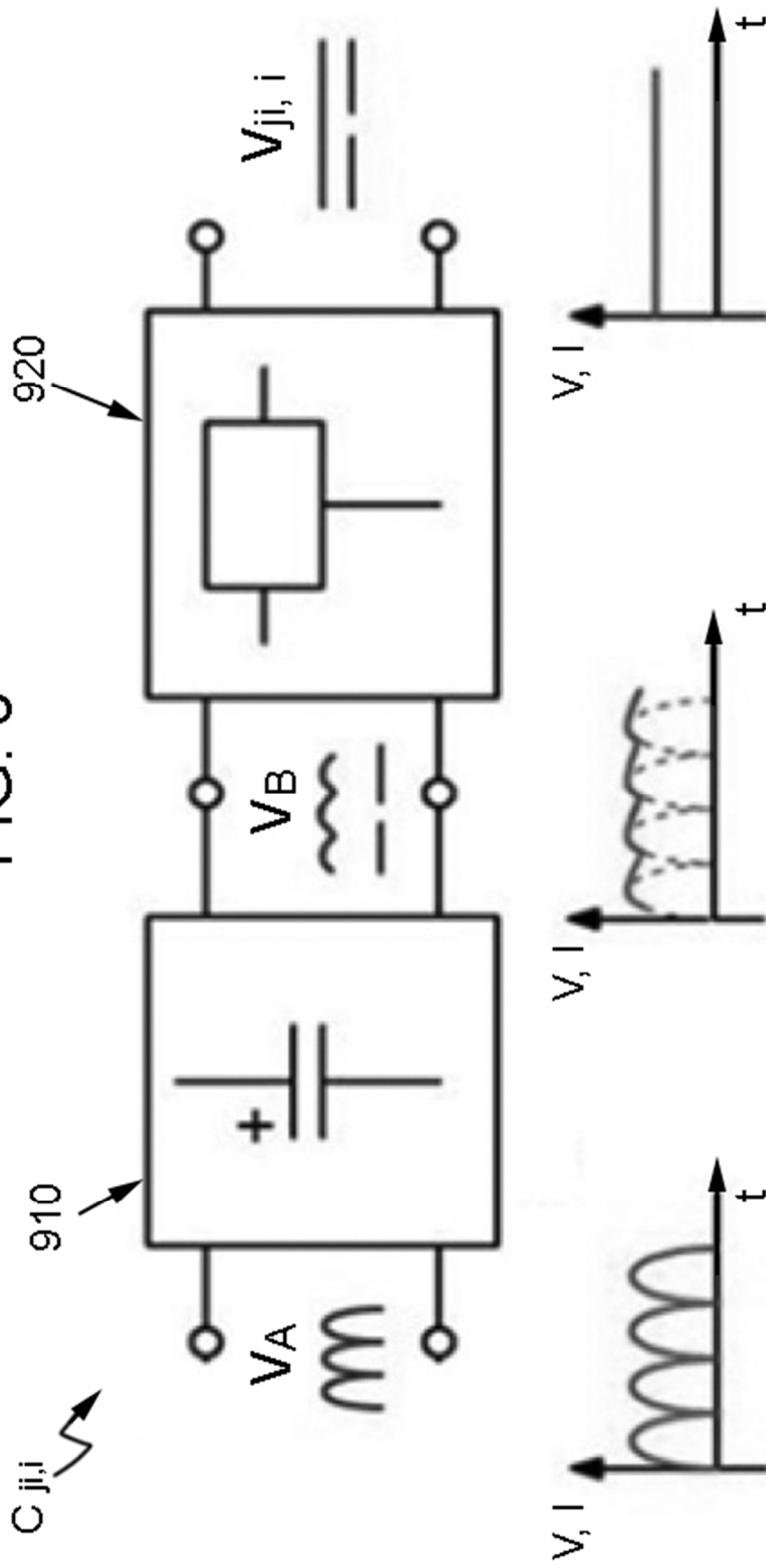
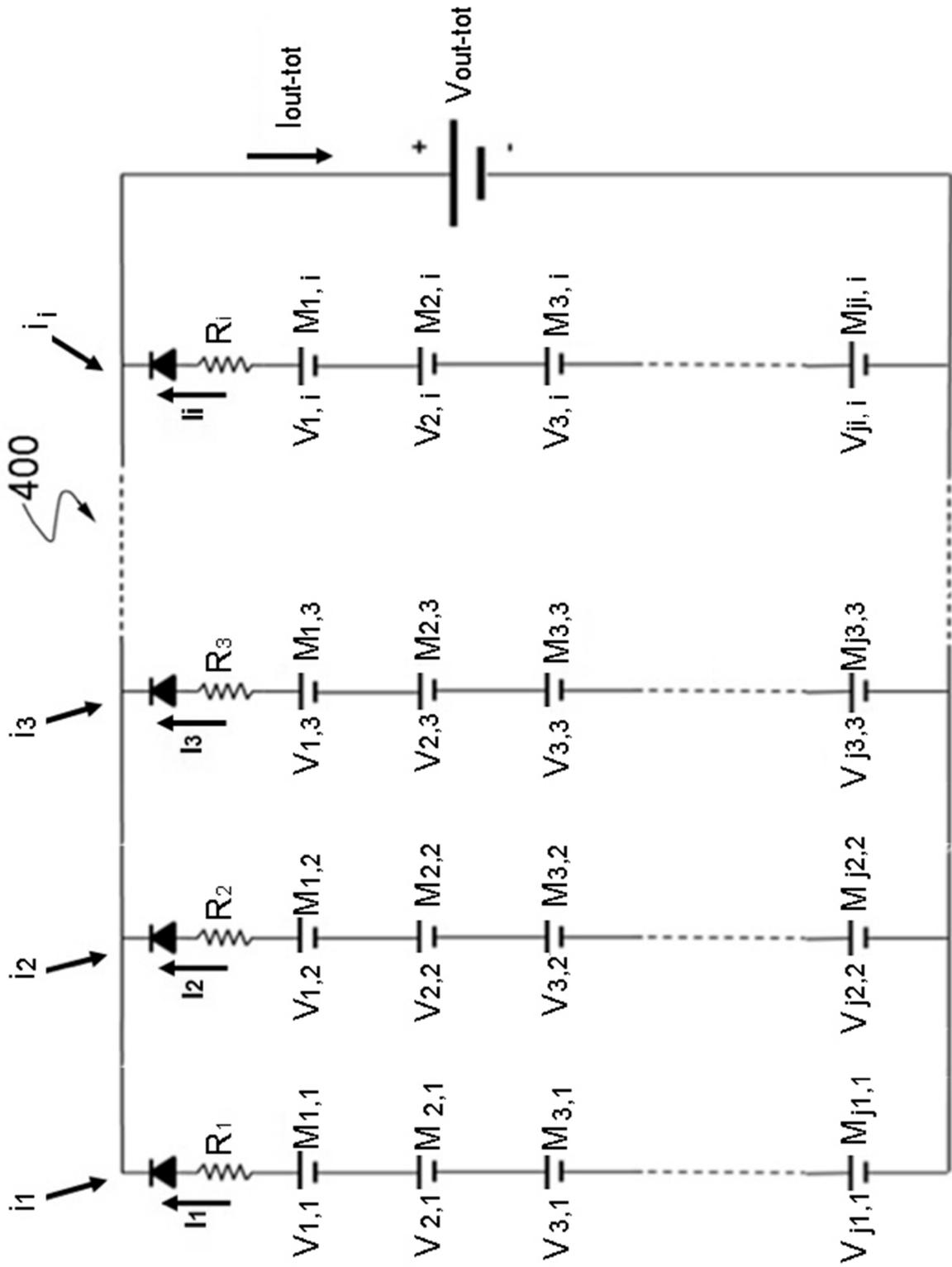


FIG. 4



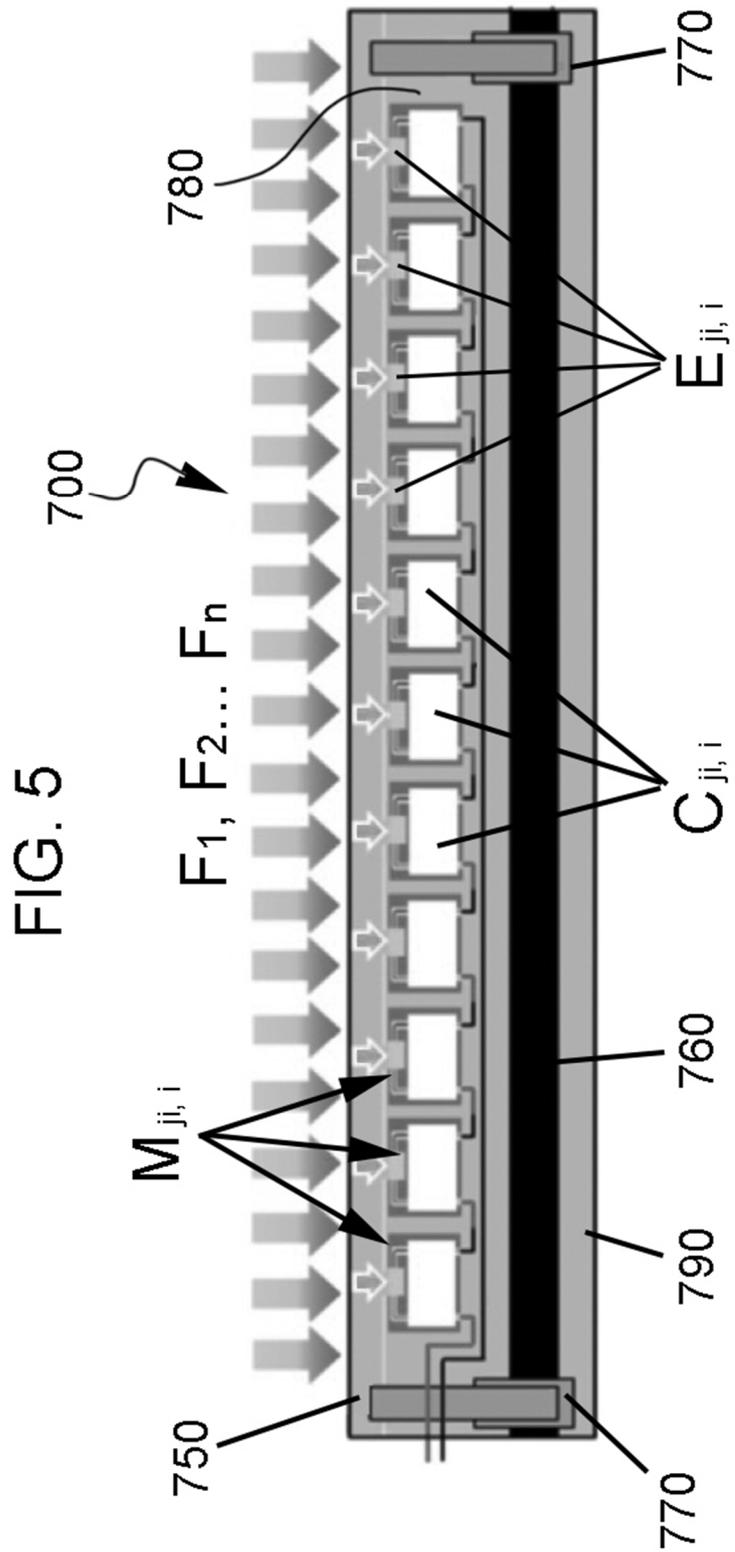
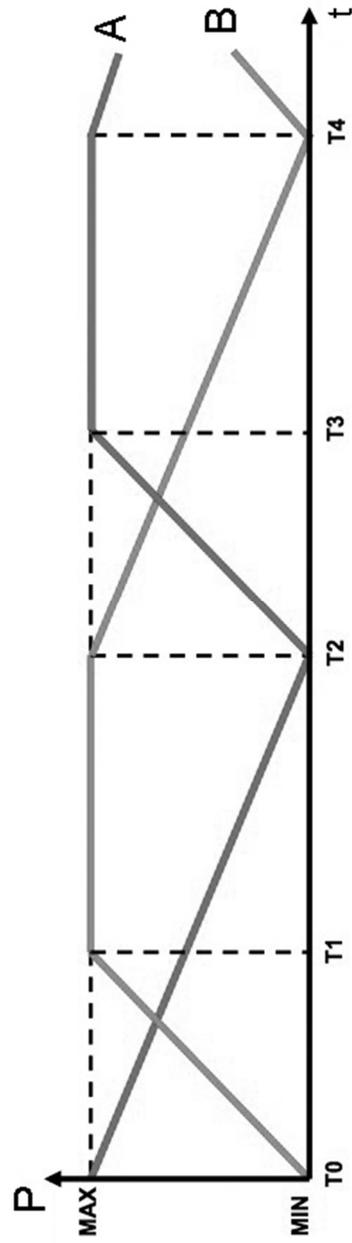


FIG. 6



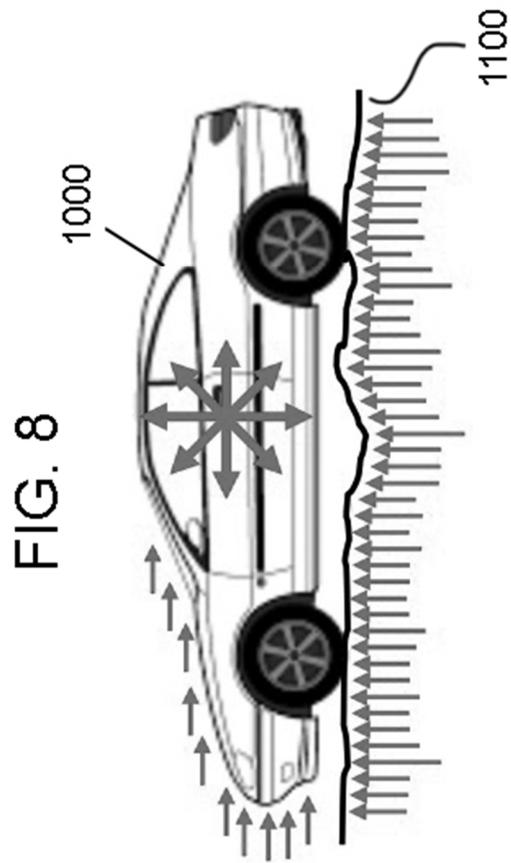
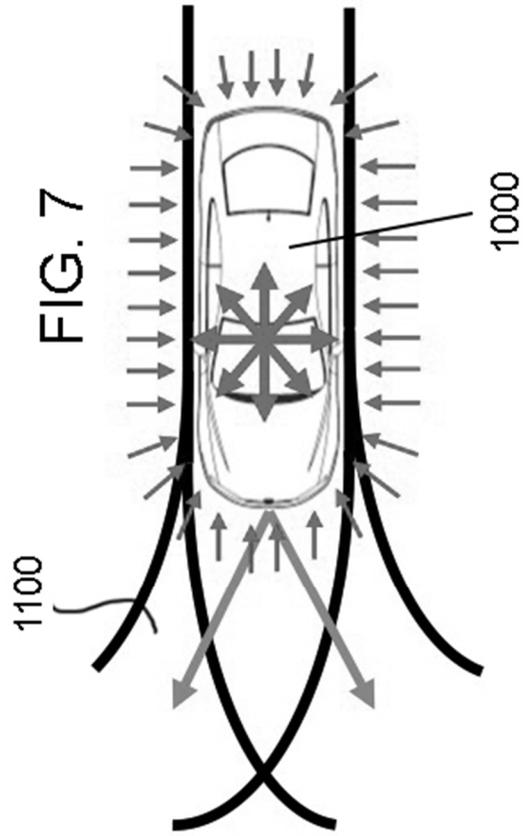


FIG. 9

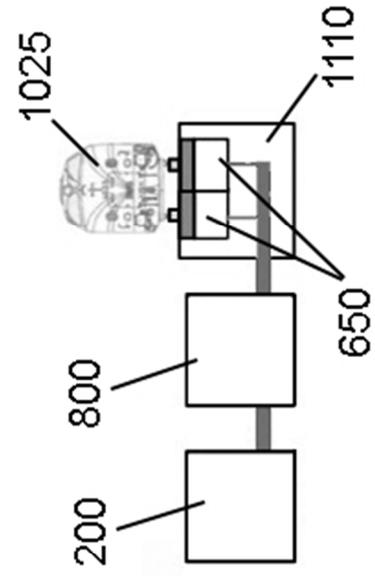
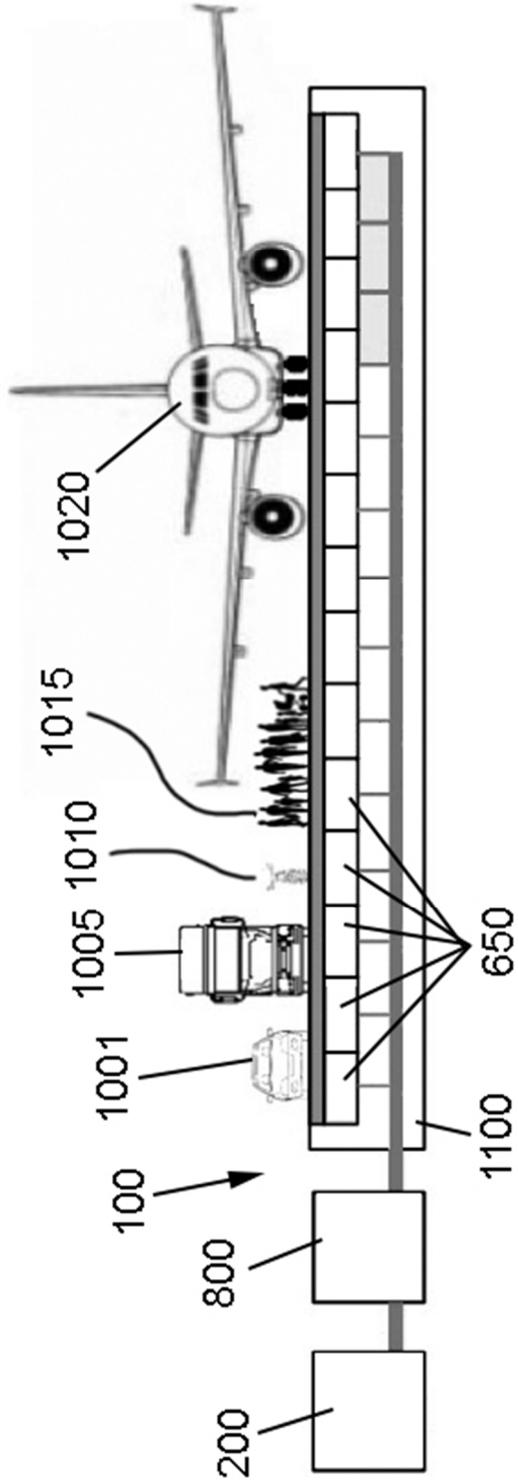


FIG. 10