

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 898 507**

51 Int. Cl.:

H01L 41/04 (2006.01)

H02N 2/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **20.10.2016** **PCT/DE2016/100490**

87 Fecha y número de publicación internacional: **27.04.2017** **WO17067544**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **20.10.2016** **E 16797453 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.10.2021** **EP 3365926**

54 Título: **Procedimiento para controlar un elemento electromecánico**

30 Prioridad:

20.10.2015 DE 102015013553

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

07.03.2022

73 Titular/es:

**PHYSIK INSTRUMENTE (PI) GMBH & CO. KG
(100.0%)
Auf der Römerstraße 1
76228 Karlsruhe, DE**

72 Inventor/es:

**MARTH, HARRY y
REISER, JONAS**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 898 507 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

Procedimiento para controlar un elemento electromecánico

- 5 La invención se refiere a un procedimiento para controlar al menos una sección de un elemento electromecánico.

En el documento JP 61-1278 se describe una conmutación entre el estado totalmente polarizado y el estado no polarizado de un elemento electromecánico. En la publicación de U.Kushnir y O.Rabinovitch "*Sensors and Actuators*" A 150 (2009), páginas 102 a 109, con referencia al estado de la técnica posterior, se describe el comportamiento de material en una conmutación entre el estado totalmente polarizado y el estado no polarizado de un elemento electromecánico. Por el documento US 8,138,658 B2 se conoce un actuador con varias capas de un material piezoeléctrico-ferroeléctrico en el que, con un fin determinado, puede aplicarse en capas individuales un campo eléctrico definido para aprovechar allí el efecto no lineal de la parte ferroeléctrica mediante traslado de un estado de dominio no polarizado por completo a un estado de dominio completamente polarizado o a la inversa, es decir mediante una rotación de dominio. Mediante dicha rotación de dominio pueden alcanzarse modificaciones de deformación discontinuas, es decir saltos de deformación, en estas capas, mientras que el aprovechamiento del efecto piezoeléctrico en el resto de las capas del actuador lleva a una modificación de deformación lineal y continua. En conjunto esto produce un actuador con un intervalo de trayecto de regulación ampliado. Una ventaja adicional consiste en que las deformaciones del actuador generadas mediante rotaciones de dominio también se mantienen sin aplicar una tensión externa.

En el actuador conocido por el documento US 8,138,658 B2 es desventajosa la generación de saltos de deformación de modo que este actuador no puede emplearse para movimientos de regulación muy precisos o solo con un esfuerzo de control muy alto.

Por consiguiente la invención se basa en el objetivo de facilitar un procedimiento para controlar al menos una sección de un elemento electromecánico, concretamente una sección de modificación que sea adecuado para movimientos de regulación muy precisos y definidos, en donde las deformaciones de la sección de modificación generadas mediante aplicación de campos eléctricos se mantienen también después de retirar los campos eléctricos correspondientes.

Este objetivo se consigue mediante el procedimiento según la reivindicación 1, en donde las reivindicaciones subordinadas que se añaden representan al menos perfeccionamientos convenientes.

Por consiguiente se parte de un procedimiento para controlar como mínimo de una sección de un elemento electromecánico, en donde la sección correspondiente define una sección de modificación. Cabe destacar en este punto que la sección de modificación también puede comprender el elemento electromecánico completo. En otras palabras, la invención incluye que el elemento electromecánico completo se corresponde con la sección de modificación, y el elemento electromecánico completo se controla según el procedimiento de acuerdo con la invención.

El procedimiento de acuerdo con la invención comprende en este sentido las siguientes etapas: facilitar un elemento electromecánico como elemento de regulación, en donde en el caso del elemento electromecánico al menos la sección de modificación presenta como mínimo dos electrodos distanciados unos de otros y un material dispuesto entre los electrodos policristalinos y ferroeléctricos o ferroeléctrico- piezoeléctrico con una pluralidad de dominios, en donde en un estado inicial, al menos una parte de los dominios presenta direcciones de polarización diferentes unas de otras; generar un campo eléctrico entre los electrodos de la sección de modificación mediante aplicación de una tensión eléctrica en forma de como mínimo de un pulso de tensión con una amplitud definida y una duración definida y una modificación duradera del grado de polarización de la sección de modificación dependiendo de la amplitud y de la duración del pulso de tensión para una modificación de expansión duradera controlada de la sección de modificación del elemento de regulación con: traslado de una parte de los dominios con direcciones de polarización diferentes unas de otras a un estado de misma dirección de polarización debido al como mínimo un pulso de tensión, y por ello, generación de un aumento de la expansión de la sección de modificación del elemento electromecánico definido y duradero sin la presencia de una tensión eléctrica a lo largo de una dirección de expansión V o traslado de una parte de los dominios con misma dirección de polarización a un estado con direcciones de polarización diferentes unas de otras debido al como mínimo un pulso de tensión, y por ello, generación de una disminución de la expansión de la sección de modificación del elemento electromecánico definida y duradera sin la presencia de una tensión eléctrica a lo largo de la dirección de expansión V.

La expresión empleada "elemento electromecánico" citada anteriormente se refiere en este sentido, en el sentido más general, a un elemento en el que, debido a la actuación de una tensión eléctrica o a la actuación de un campo eléctrico puede provocarse una reacción mecánica, por ejemplo una modificación de expansión, que a su vez por ejemplo puede utilizarse para un movimiento de ajuste. Al mismo tiempo la expresión en el sentido más general se refiere a un elemento en el que, de manera inversa, una actuación mecánica, por ejemplo la aplicación de una fuerza de compresión, la generación de un campo eléctrico o de una tensión eléctrica.

El término empleado anteriormente "dominio" señala una zona un material policristalino y ferroeléctrico o ferroeléctrico

-piezoeléctrico en la cual está presente una dirección de polarización idéntica o casi idéntica.

La expresión señalada anteriormente "dirección de expansión V" describe la dirección de la expansión del elemento electromecánico mayor en cuanto a cantidad y que puede utilizarse para el caso de aplicación específico.

5 Mediante el como mínimo un pulso de tensión - dependiendo de la amplitud y de la duración del pulso de tensión – en una parte menor o mayor de los dominios el estado de polarización se modifica de manera duradera, de modo que resultan modificaciones de deformación correspondientes definidas y duraderas de la sección de modificación del elemento electromecánico. Si en este sentido los dominios correspondientes con diferente dirección de polarización
10 se trasladan a un estado de misma dirección de polarización, entonces se produce una expansión incrementada de la sección de modificación del elemento electromecánico a lo largo de la dirección de expansión V, mientras que el traslado de dominios con misma dirección de polarización a un estado de dirección de polarización diferente lleva a una disminución de la expansión de la sección de modificación del elemento electromecánico a lo largo de la dirección de expansión V.

15 Puede ser ventajoso que la duración de un pulso de tensión ascienda entre 50 y 150 ms, y preferentemente entre 70 y 120 ms.

20 En este sentido puede ser ventajoso que la duración de la sección de subida de un pulso de tensión y la duración de la sección de bajada de un pulso de tensión ascienda entre 5 y 20 ms, y preferentemente entre 8 y 12 ms.

Puede ser también ventajoso que, después de la etapa de facilitación de un elemento electromecánico, y antes de la etapa de generación de un campo eléctrico entre los electrodos de la sección de modificación mediante aplicación de una tensión eléctrica en forma de como mínimo de un pulso de tensión, se lleve a cabo una etapa de procedimiento
25 adicional para generar una expansión inicial definida de la sección de modificación, en la que una tensión eléctrica de este tipo o tensiones eléctricas de este tipo se aplica o se aplican en los electrodos de la sección de modificación, según lo cual resultan/resulta un aumento de expansión máximo de acuerdo con un grado de polarización de 100 %, y/o una disminución de expansión máxima de acuerdo con un grado de polarización de 0 % de la sección de modificación, en donde la diferencia entre el aumento de expansión máximo y la disminución de expansión máxima
30 define el intervalo de modificación de expansión máximo posible.

Al mismo tiempo puede ser ventajoso que, en caso de una modificación de expansión intencionada de menos de 50 % del intervalo de modificación de expansión máximo se aplique una tensión eléctrica de este tipo en los electrodos de la sección de modificación de modo que resulte un grado de polarización de 0 %, y en caso de una modificación
35 de expansión intencionada de más de 50 % del intervalo de modificación de expansión máximo se aplique una tensión eléctrica de este tipo en los electrodos de la sección de modificación de modo que resulte un grado de polarización de 100 %.

Por lo demás puede ser ventajoso que se facilite un elemento electromecánico en el que, en el estado inicial, el material de la sección de modificación presente un grado de polarización entre 40 % y 60 %, y de manera especialmente
40 preferente un grado de polarización de 50 %. Con grado de polarización se señala en este sentido la parte de los dominios del material de la sección de modificación del elemento electromecánico que presenta una dirección de polarización igual. Mediante la correspondiente polarización del material de la sección de modificación del elemento electromecánico en su estado inicial es posible, ya partiendo del estado inicial mediante reducción del número de
45 dominios de misma dirección de polarización una disminución de la expansión de la sección de modificación del elemento electromecánico a lo largo de la dirección de expansión V.

Adicionalmente puede ser ventajoso que la amplitud de los pulsos de tensión para un aumento de la expansión definido de la sección de modificación del elemento electromecánico a lo largo de la dirección de expansión V esté
50 dimensionada de modo que una intensidad de campo eléctrico resultante entre electrodos contiguos ascienda entre 50 % y 200 % de la intensidad de campo coercitivo. En este sentido la amplitud correspondiente puede estar dimensionada menor cuanto mayor sea la duración y/o cuanto mayor sea el número de los impulsos de tensión aplicados, y a la inversa, la amplitud correspondiente puede estar dimensionada mayor, cuanto menor sea la duración y/o el número de los impulsos de tensión aplicados. La intensidad de campo coercitivo se refiere a la intensidad de
55 campo que es suficiente para o alinear todos los momentos de dipolo de los dominios de un material ferroeléctrico en la dirección de campo (polarización de saturación) o para reducir la polarización a cero.

Además, puede ser ventajoso que la amplitud de los pulsos de tensión para una disminución definida de la expansión de la sección de modificación del elemento electromecánico a lo largo de la dirección de expansión V esté
60 dimensionada de modo que la intensidad de campo eléctrico resultante entre electrodos contiguos ascienda entre 10 % y 90 % de la intensidad de campo coercitivo. También en este sentido la amplitud correspondiente puede estar dimensionada menor, cuanto mayor sea la duración y/o cuanto mayor sea el número de los impulsos de tensión aplicados, y a la inversa, la amplitud correspondiente puede estar dimensionada mayor, cuanto menor sea la duración y/o el número de los impulsos de tensión aplicados.

65 Asimismo puede ser ventajoso que a un primer impulso de tensión le siga un segundo pulso de tensión, en donde el

segundo pulso de tensión presenta de polaridad diferente al primer pulso de tensión.

Además, puede ser ventajoso que la amplitud del segundo pulso de tensión se diferencie de la amplitud del primer pulso de tensión, y preferentemente la amplitud del segundo pulso de tensión sea en cuanto a la cantidad menor que la amplitud del primer pulso de tensión.

Puede ser ventajoso que entre el elemento electromecánico controlado con el procedimiento de acuerdo con la invención y un elemento que va a moverse mediante el elemento electromecánico esté dispuesto un elemento electromecánico adicional, preferentemente un actor piezoeléctrico. Igualmente sin embargo es concebible que un elemento electromecánico presente dos secciones diferentes, de la cuales una sea la sección de modificación que se controla según el procedimiento de acuerdo con la invención, mientras que la otra parte – que se corresponde entonces con el actor piezoeléctrico adicional o el actor piezoeléctrico en el sentido de lo anterior-, represente un actor convencional.

Muestran:

figura 1: configuración experimental para determinar la modificación de expansión o de grosor de un elemento electromecánico aplicando el procedimiento de acuerdo con la invención

figura 2: aumento de expansión o de grosor del elemento electromecánico de acuerdo con configuración experimental según la figura 1 en la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención con la utilización de varios pulsos de tensión de igual duración y diferentes tensiones eléctricas positivas

figura 3: disminución de expansión o de grosor del elemento electromecánico de acuerdo con configuración experimental según la figura 1 en la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención con la utilización de varios pulsos de tensión de igual duración y tensiones eléctricas negativas diferentes

figura 4: aumento de expansión o de grosor y estabilidad de posición del elemento electromecánico de acuerdo con configuración experimental según la figura 1 en la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención con la utilización de pulsos de tensión múltiples de igual duración e igual tensión eléctrica positiva

figura 5: aumento de expansión o de grosor y estabilidad de posición del elemento electromecánico de acuerdo con configuración experimental según la figura 1 en la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención con la utilización de pulsos de tensión sencillos de igual duración y diferente tensión eléctrica positiva

figura 6: disminución de expansión o de grosor y estabilidad de posición del elemento electromecánico de acuerdo con configuración experimental según la figura 1 en la aplicación del procedimiento de acuerdo con la invención con la utilización de pulsos de tensión sencillos de igual duración y tensiones eléctricas negativas diferentes

figura 7: representación esquemática para el uso de un elemento electromecánico controlado según el procedimiento de acuerdo con la invención como elemento de regulación o su disposición correspondiente

figura 8: representación de la evolución en el tiempo de la modificación de expansión de un elemento electromecánico sometido a un pulso de tensión individual

figura 9: representación de la evolución en el tiempo de la modificación de expansión de un elemento electromecánico sometido a dos impulsos de tensión consecutivos de polaridad y amplitud diferentes

La figura 1 muestra la configuración experimental para determinar el comportamiento de modificación de expansión de un elemento electromecánico a lo largo de una dirección de expansión V aplicando procedimiento de acuerdo con la invención. La sección de modificación del elemento electromecánico comprende en este sentido el elemento electromecánico completo.

El elemento electromecánico 3 en forma de un anillo con un diámetro externo de 16 mm, un diámetro interno de 8 mm y un grosor de 2,5 mm se compone en este sentido del material piezocerámico PIC252 de la empresa PI Ceramic GmbH, Thüringen. Este material piezocerámico posee una intensidad de campo coercitivo de 1,1 kV/mm. La dirección de expansión V se corresponde con la dirección de la expansión de grosor del elemento electromecánico.

El elemento electromecánico 3 presenta una pluralidad de capas de material piezocerámico, en donde las capas individuales están separadas mediante electrodos dispuestos entre medias (la denominada estructura multicapa), y en cada caso entre dos electrodos contiguos puede aplicarse la tensión eléctrica correspondiente para configurar el campo eléctrico deseado dentro del material piezocerámico. La dirección de apilado de las capas de material piezocerámico y de los electrodos dispuestos entre estas está en este sentido en la dirección de la expansión de grosor del elemento electromecánico. La dirección de expansión V discurre por consiguiente en esencia en perpendicular a los electrodos. Sin embargo también es concebible que la dirección de expansión V del elemento electromecánico discorra paralela a los electrodos.

Además de la estructura multicapa descrita anteriormente para el elemento electromecánico se considera también una estructura en la que solo en los lados externos del elemento electromecánico están dispuestos electrodos, y por consiguiente entre los electrodos solo se encuentra el material con propiedades electromecánicas.

El elemento electromecánico 3 está sujeto firmemente entre la placa base 2 y la placa móvil 1 mediante un equipo de pretensión 4 que consta de un tornillo fijado en la rosca de la placa base y un resorte de disco que está dispuesto entre cabeza de tornillo y placa móvil, de modo que se produce una fuerza de pretensión de aproximadamente 100N. Entre la placa base y la placa móvil está previsto un sistema de medición 5 capacitivo para registrar su distancia, en donde esta distancia está correlacionada con la modificación de expansión del elemento electromecánico.

La figura 2 muestra resultados de medición obtenidos con la configuración experimental de acuerdo con figura 1 en el elemento electromecánico que se han averiguado a temperatura ambiente. En este sentido, están representados por un lado los pulsos de tensión en cada caso aplicados en el elemento electromecánico, y por otro lado las modificaciones de expansión correspondientes del elemento electromecánico. Los pulsos de tensión individuales tienen una duración de 10 ms, y la frecuencia de los pulsos de tensión aplicados asciende a 1Hz.

Los pulsos de tensión empleados en la configuración experimental de laboratorio con una duración de 10 ms son más bien desventajosos para casos de aplicación reales porque los pasos finales de la fuente de tensión correspondiente por regla general solo poseen potencias de salida limitadas, y en tales tiempos de impulso breves deben facilitarse corrientes muy altas, que dado el caso, no pueden garantizarse por los pasos finales. Los pulsos de tensión con una duración entre 50 y 150 ms, preferentemente entre 70 y 120 ms han sido calificados como practicables para casos de aplicación reales, en donde el tiempo de subida y el de bajada en los flancos de los pulsos de tensión se sitúan en el mejor de los casos entre 5 y 20 ms, y preferentemente entre 8 y 12 ms.

En pulsos de tensión con una amplitud por debajo de una tensión positiva eléctrica de 80 volt en el caso del elemento electromecánico no se realiza ninguna modificación de expansión o de grosor apreciable. Solo en pulsos de tensión de +80 volt con cada pulso individual se realiza un cierto aumento de expansión o de grosor que en los pulsos iniciales es mayor y se reduce con un número de pulsos en aumento.

En la figura 2 cabe distinguir en este sentido que al comienzo de cada uno de los pulsos de tensión se realiza una modificación de expansión o de grosor relativamente grande, esta, sin embargo, en primer lugar, baja bruscamente con la finalización del pulso de tensión, y directamente a continuación durante un periodo más largo solo desciende muy levemente. Este comportamiento de expansión puede deberse a que inicialmente, es decir, con el comienzo del pulso de tensión, tiene lugar tanto un cambio de orientación duradero e inestable de dominios como una excitación del efecto piezoeléctrico inverso dentro del elemento electromecánico. Realmente puede utilizarse en este sentido solo el cambio de orientación duradero de los dominios y la correspondiente expansión remanente. La expresión "cambio de orientación inestable de dominios" designa la circunstancia de que, mediante el pulso de tensión, un cierto número de dominios si bien inicialmente experimenta un cambio de orientación, este sin embargo no es estable, sino solo inestable, de modo que tiene lugar una reorientación hacia el estado anterior. Este proceso, la denominada deformación por fluencia, requiere algo de tiempo, por lo que puede aclararse la bajada más lenta de la expansión en esta zona.

El aumento de expansión o de grosor duradero, descontando el proceso de deformación por fluencia, se basa por tanto en la alineación duradera o permanente de un cierto número de dipolos en los dominios individuales del material piezocerámico del elemento electromecánico. Con un número creciente de pulsos de tensión aplicados con una tensión de +80 volt el elemento electromecánico experimenta una polarización creciente, provocando esta polarización una extensión duradera o remanente que también se mantiene tras la retirada de la tensión eléctrica.

La figura 3 muestra otros resultados de medición obtenidos con la configuración experimental de acuerdo con figura 1 en el elemento electromecánico a temperatura ambiente, y concretamente tras llevar a cabo las mediciones de acuerdo con figura 2. El estado inicial es por consiguiente un elemento electromecánico ya incrementado en la expansión a lo largo de la dirección de expansión V o en la dirección de expansión, en el que en una primera etapa se aplican pulsos con una tensión eléctrica negativa escasa de -20 volt. Ya esta tensión eléctrica baja es suficiente a este respecto de modo que los individuales pulsos provocan una reducción de expansión o de grosor del elemento electromecánico, que con los pulsos iniciales resulta más intensa que en los pulsos siguientes. Esta reducción de expansión o de grosor se basa en una despolarización parcial del material piezocerámico del elemento electromecánico, de modo que los dipolos ya alineados en los dominios individuales se trasladan a un estado no alineado.

Si la tensión eléctrica negativa se modifica posteriormente a -40 volt, con cada pulso correspondiente se realiza una reducción de expansión o de grosor o despolarización mayor que al principio es claramente más intensa. En una modificación posterior de la tensión eléctrica negativa a -60 volt, se produce de nuevo una reducción de expansión o grosor elevada en comparación con los dos pulsos de tensión anteriormente aplicados. Si la tensión se ajusta a -80 volt, en los dominios del material piezocerámico del elemento electromecánico tiene lugar un denominado cambio de polarización en el que resulta una alineación espontánea de los dipolos en una dirección, que es contraria a la dirección de alineación en la despolarización precedente. Los pulsos con una tensión eléctrica negativa de -80 volt provocan a

este respecto etapas consecutivas del aumento de expansión o de grosor que son similares a las etapas del aumento de expansión o de grosor en la aplicación de los pulsos con una tensión positiva eléctrica de +80 volt.

La figura 4 muestra resultados de medición en un elemento electromecánico de acuerdo con la configuración experimental en la figura 1, en donde exactamente cinco pulsos de tensión con una duración de pulso respectiva de 10 ms, una frecuencia de pulso de 1 Hz y una tensión eléctrica de +80 volt se aplican a temperatura ambiente sobre el elemento electromecánico, y después la fuente de tensión se separa del elemento electromecánico. Tras dicha separación de la fuente de tensión del elemento electromecánico este conserva de manera permanente y estable el aumento de expansión o de grosor inducido en correspondencia debido a la polarización correspondiente.

En la figura 5 se muestran resultados de medición que asimismo se han averiguado en un elemento electromecánico de acuerdo con la configuración experimental en la figura 1 a temperatura ambiente. En este sentido sobre el elemento electromecánico se aplican sucesivamente tres pulsos individuales con una duración de pulso de 10 ms en cada caso con tensiones eléctricas positivas de diferente altura con la subsiguiente retirada de la tensión eléctrica respectiva. Después del primer pulso de tensión con una amplitud de +80 volt se produce un determinado aumento de expansión o de grosor o polarización que se mantiene tras la retirada de la tensión eléctrica (expansión remanente), en el segundo pulso de tensión subsiguiente con una amplitud de +90 volt se produce un aumento de expansión o de grosor, que es mayor que en el primer pulso de tensión. También este aumento de expansión o de grosor se mantiene tras la retirada de la tensión eléctrica. En el tercer pulso de tensión con una amplitud de +100 volt finalmente se produce el mayor aumento de expansión o de grosor, en donde sin embargo la diferencia con el aumento de expansión en +90 volt resulta menor que la diferencia correspondiente entre +80 volt y +90 volt. También tras la retirada de la tensión de +100 volt la extensión correspondiente es remanente.

Directamente después de averiguar los resultados de medición de acuerdo con la figura 5 al mismo elemento electromecánico a temperatura ambiente y asimismo con la utilización de la configuración experimental de acuerdo con figura 1 se aplican pulsos con diferentes tensiones eléctricas negativas con la subsiguiente retirada (véase figura 6). Ya en caso de una tensión muy baja de -5 volt resulta una despolarización mínima con correspondiente reducción de expansión o de grosor del elemento electromecánico, en donde la modificación de expansión o de grosor resultante es duradera o remanente. Esto se muestra de manera análoga para los pulsos de tensión subsiguientes con amplitudes de -10 volt, -20 volt, -30 volt y -40 volt. En cada caso se produce una reducción de expansión o reducción de grosor duradera o remanente del elemento electromecánico, en donde la reducción respectiva es mayor cuanto más alta sea la tensión negativa. Este efecto es especialmente claro en los primeros cuatro pulsos de tensión mientras que la diferencia en la modificación de expansión en -30 volt y -40 volt solo es todavía marginal.

La figura 7 aclara en una representación esquemática, por un lado, el uso de un elemento electromecánico controlado según el procedimiento de acuerdo con la invención como elemento de regulación, y por otro lado la disposición correspondiente de un elemento electromecánico de este tipo. Como en la figura 1 todo el elemento electromecánico representa la sección de modificación del elemento electromecánico.

El elemento electromecánico o el elemento de regulación 3 está dispuesto en este sentido entre un elemento estacionario en forma de la placa base 2 y un elemento que va a moverse con respecto a la placa base 2 en forma de la placa móvil 1, en donde mediante un sistema de medición 5 capacitivo se mide o se controla la distancia entre la placa base 2 y la placa móvil 1. Los datos de distancia averiguados de este modo se transmiten a un controlador 6 que envía señales de control correspondientes a la fuente de tensión 7, y la fuente de tensión 7 que está conectada eléctricamente con el elemento de regulación 3, somete a este, o a una secuencia de pulsos de tensión, o solo a un pulso de tensión individual, de modo que la posición deseada de la placa móvil 1, debido a un aumento o disminución definidos de la expansión del elemento de regulación en una dirección de expansión V, que discurre paralela a la dirección de desplazamiento de la placa móvil 1, se aproxima. Por consiguiente se realiza una separación de la conexión eléctrica entre la fuente de tensión 7 y el elemento de regulación 3, en donde el elemento de regulación 3 mantiene de manera permanente su modificación de expansión previamente ajustada y definida también sin someterse a una tensión eléctrica.

Además del uso descrito de este modo de un elemento electromecánico controlado según el procedimiento de acuerdo con la invención como elemento de regulación en un sistema regulado, es decir con la ayuda de un sistema de medición y la transferencia de los valores de medición correspondientes a un controlador, es posible también un uso como elemento de regulación en un sistema no regulado de bucle abierto (*open loop*). Los ensayos del solicitante a este respecto han demostrado que en este sentido pueden lograrse exactitudes de por ejemplo +/- 3 %, en donde mediante optimización también parecen ser posibles exactitudes mayores.

El uso de un elemento electromecánico controlado según el procedimiento de acuerdo con la invención como elemento de regulación permite en este sentido movimientos de ajuste con dimensiones mínimas, en donde la dimensión de los movimientos de ajuste, dependen en particular de la altura o de la amplitud y de la duración de los pulsos de tensión.

Por lo demás es concebible una disposición, en particular una disposición en fila, de un elemento electromecánico controlado con el procedimiento de acuerdo con la invención junto con un elemento electromecánico convencional, como por ejemplo un actor piezoeléctrico o piezoactor, en donde el piezoactor convencional mantiene la

correspondiente expansión solo mientras se aplica una tensión eléctrica en este, mientras que en el elemento electromecánico controlado según el procedimiento de acuerdo con la invención queda garantizado el aumento o reducción de expansión también sin aplicar una tensión eléctrica. La expresión señalada anteriormente “disposición en fila” describe en este sentido una disposición en la que el elemento electromecánico y el piezoactor convencional están dispuestos el uno detrás del otro, de modo que el piezoactor convencional está dispuesto entre el elemento electromecánico y uno de los elementos que van a moverse unos contra otros.

Además de la disposición en fila anteriormente descrita de elemento electromecánico y piezoelemento convencional, la invención prevé que esté presente un único elemento electromecánico, en el que una sección, concretamente la sección de modificación, esté controlada según el procedimiento de acuerdo con la invención, mientras que la parte o sección que queda del elemento electromecánico o presenta una estructura igual o diferente a la de la sección de modificación, y esta parte o sección que queda del elemento electromecánico está controlada según un procedimiento convencional para controlar de un elemento electromecánico. Por ejemplo, la parte o sección que queda del elemento electromecánico suele ser un material piezoeléctrico con como mínimo dos electrodos, entre los cuales está dispuesto este material piezoeléctrico, en donde el material piezoeléctrico está polarizado por completo, y puede realizarse una expansión en correlación con la tensión aplicada que en realizada con la retirada de la tensión eléctrica – a diferencia de una modificación de expansión de la sección de modificación – vuelve a caer de nuevo al valor original. Por consiguiente, la parte o sección que queda del material electromecánico representa un piezoactor convencional.

La expansión máxima posible, provocada mediante aplicación de una tensión eléctrica, de un piezoactor convencional asciende aproximadamente a 1-2 ‰ de su dimensión en la dirección de expansión sin tensión eléctrica aplicada. Por el contrario, la expansión máxima posible, que existe de forma duradera sin el efecto de una tensión eléctrica en la dirección de expansión de un elemento electromecánico controlado según el procedimiento de acuerdo con la invención asciende aproximadamente al 50-60 % de la expansión máxima posible de un piezoactor convencional (con la misma estructura de elemento electromecánico y piezoactor convencional).

La figura 8 aclara en un diagrama de medición la evolución en el tiempo de la modificación de expansión de un elemento electromecánico sometido a un pulso de tensión individual de acuerdo con la disposición experimental de la figura 1. El pulso de tensión tiene a este respecto una amplitud de 40 volt y una duración de 100 ms, en donde el tiempo de subida y el tiempo de bajada de los flancos del pulso poseen una duración de aproximadamente 10 ms. Con la utilización del pulso de tensión se realiza un incremento de expansión rápido del elemento electromecánico en casi 4,5 µm. Este incremento de expansión disminuye bruscamente con la finalización del pulso de tensión, en donde con respecto al estado inicial permanece una extensión remanente de aproximadamente 1,2 µm. En la evolución posterior cabe distinguir que la extensión remanente directamente tras la finalización del pulso de tensión todavía no es constante, sino que durante un cierto periodo tiene lugar todavía un descenso mínimo de la expansión. Esto se debe a que, si bien mediante el pulso de tensión tuvo lugar en algunos dominios un cambio de orientación, en donde sin embargo la energía introducida no es suficiente para un cambio de orientación permanente y duradero. Tienen lugar procesos de rotación inversa, por lo que el cambio de orientación de los correspondientes dominios realizado previamente se anula de nuevo (proceso de deformación por fluencia o deformación por fluencia). En conjunto, con el pulso de tensión individual se produce una modificación de expansión algo reducida.

Para tratar el fenómeno anteriormente descrito de la deformación por fluencia, existe la posibilidad de aplicar un segundo pulso de tensión directamente a continuación del primer pulso de tensión, en donde el segundo pulso de tensión sin embargo presenta una polaridad inversa al primer pulso de tensión. La figura 9 aclara los efectos que pueden lograrse mediante el segundo pulso de tensión o pulso contrario mediante un diagrama de medición, en donde, por lo demás, se presentaban condiciones de medición idénticas en comparación con la figura 8.

De la figura 9 puede deducirse que con el primer pulso de tensión de polaridad positiva se logra un comportamiento de extensión con respecto al elemento electromecánico como ya se conoce de la figura 8. Mediante el segundo pulso de tensión que sigue con polaridad negativa y de igual duración, pero de menor amplitud que en el primer pulso de tensión, a diferencia de la figura 8, se realiza una cierta despolarización del material polarizado previamente del elemento electromecánico, siendo esta despolarización reducida sin embargo y esencialmente se ocupa de que los procesos de rotación inversa descritos en la figura 8 se aceleren considerablemente, de modo que ya no haya que medir procesos de deformación por fluencia en el elemento electromecánico. Finalmente la extensión remanente del elemento electromecánico en comparación con la medición por lo demás idéntica de acuerdo con figura 8 mediante el pulso contrario se reduce solo mínimamente, aunque con la ventaja decisiva de que la extensión remanente ya no experimenta ahora ninguna modificación dependiente del tiempo y es estable.

Cabe indicar explícitamente que el procedimiento de acuerdo con la invención prevé tanto la aplicación de una secuencia de pulsos de tensión, como la aplicación de un pulso de tensión individual o único para alcanzar una expansión deseada del elemento electromecánico.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar al menos una sección de un elemento electromecánico, en donde la sección correspondiente define una sección de modificación, que comprende las siguientes etapas:

5 facilitar un elemento electromecánico como elemento de regulación, en donde en el caso del elemento electromecánico al menos la sección de modificación presenta como mínimo dos electrodos distanciados el uno del otro y un material policristalino y ferroeléctrico o ferroeléctrico-piezoeléctrico, dispuesto entre los electrodos con una pluralidad de dominios, en donde en un estado inicial al menos una parte de los dominios presentan
10 direcciones de polarización diferentes unas de otras,
generar un campo eléctrico entre los electrodos de la sección de modificación mediante la aplicación de una tensión eléctrica en forma de como mínimo un pulso de tensión con una amplitud definida y una duración definida y una modificación duradera del grado de polarización de la sección de modificación, dependiendo de la amplitud y de la duración del pulso de tensión para una modificación de expansión duradera controlada de la sección de
15 modificación del elemento de regulación con:

traslado de una parte de los dominios con direcciones de polarización diferentes unas de otras a un estado de la misma dirección de polarización debido al como mínimo un pulso de tensión y generación, por ello, de un aumento de la expansión de la sección de modificación del elemento electromecánico definida y duradera y sin
20 la presencia de una tensión eléctrica a lo largo de una dirección de expansión V o
traslado de una parte de los dominios con la misma dirección de polarización a un estado con direcciones de polarización diferentes unas de otras debido al como mínimo un pulso de tensión y generación, por ello, de una disminución de la expansión de la sección de modificación del elemento electromecánico definida y duradera sin la presencia de una tensión eléctrica a lo largo de la dirección de expansión V.

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde la duración de un pulso de tensión asciende a entre 50 y 150 ms, y preferentemente a entre 70 y 120 ms.

3. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde después de la etapa de facilitar un elemento electromecánico, y antes de la etapa de generar un campo eléctrico entre los electrodos de la sección de modificación mediante aplicación de una tensión eléctrica en forma de como mínimo un pulso de tensión, se lleva a cabo una etapa de procedimiento adicional para generar una expansión inicial definida de la sección de modificación, en la que una tensión eléctrica de este tipo o tensiones eléctricas de este tipo se aplica o se aplican a los electrodos de la sección de modificación, según lo cual resultan/resulta un aumento de expansión máximo de acuerdo con un grado de polarización del 100 % y/o una disminución de expansión máxima de acuerdo con un grado de polarización del 0 % de la sección de modificación, en donde la diferencia entre el aumento de expansión máximo y la disminución de expansión máxima define el intervalo de modificación de expansión máximo posible.

4. Procedimiento según la reivindicación 3, en donde en caso de una modificación de expansión intencionada de menos del 50 % del intervalo de modificación de expansión máximo se aplica una tensión eléctrica de este tipo a los electrodos de la sección de modificación, de modo que resulta un grado de polarización del 0 %, y en caso de una modificación de expansión intencionada de más del 50 % del intervalo de modificación de expansión máximo se aplica una tensión eléctrica de este tipo a los electrodos de la sección de modificación, de modo que resulta un grado de polarización del 100 %.

5. Procedimiento según las reivindicaciones 1 o 2, en donde está prevista la facilitación de un elemento electromecánico en el que, en el estado inicial, el grado de polarización del material de la sección de modificación del elemento electromecánico asciende a entre el 40 % y el 60 %, y de manera especialmente preferente al 50 %.

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la amplitud del como mínimo un pulso de tensión para un aumento de la expansión definido de la sección de modificación del elemento electromecánico a lo largo de la dirección de expansión V está dimensionada de modo que una intensidad de campo eléctrico resultante entre electrodos contiguos asciende a entre el 50 % y el 200 % de la intensidad de campo coercitivo.

7. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la amplitud del como mínimo un pulso de tensión para un acortamiento pretendido del elemento de regulación está dimensionada de modo que la intensidad de campo eléctrico resultante entre electrodos contiguos asciende a entre el 10 % y el 90 % de la intensidad de campo coercitivo.

8. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde a un primer pulso de tensión le sigue un segundo pulso de tensión, en donde el segundo pulso de tensión presenta una polaridad diferente al primer pulso de tensión.

9. Procedimiento según la reivindicación 8, en donde la amplitud del segundo pulso de tensión se diferencia de la amplitud del primer pulso de tensión.

10. Procedimiento según la reivindicación 9, en donde la amplitud del segundo pulso de tensión es cuantitativamente menor que la amplitud del primer pulso de tensión.

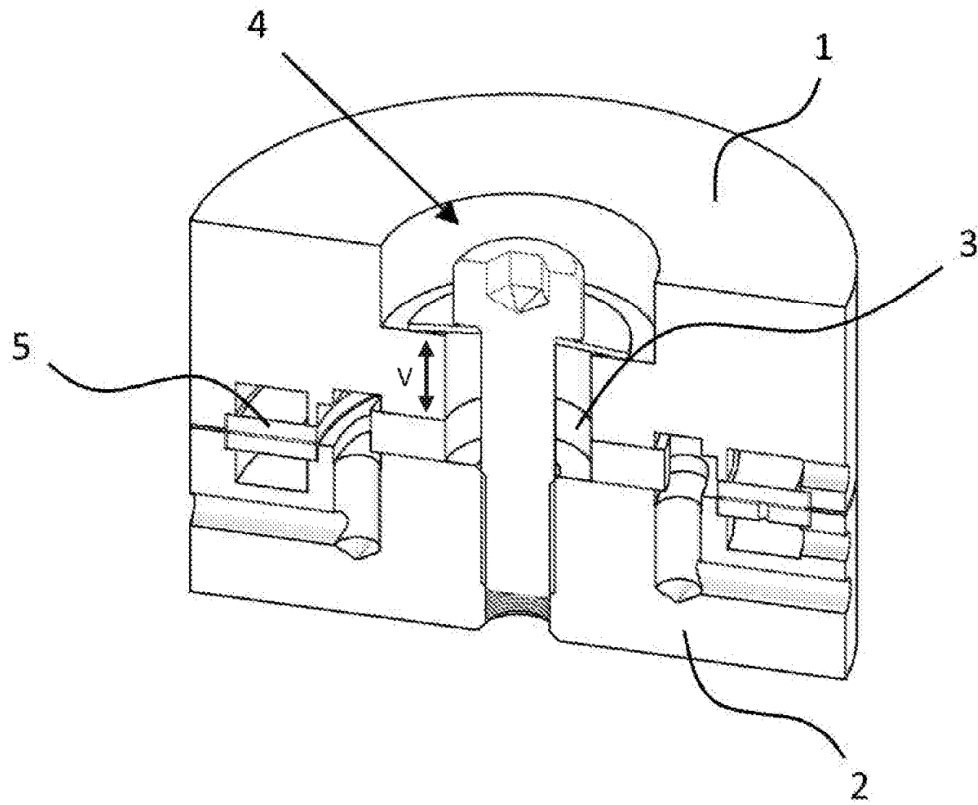


Fig. 1

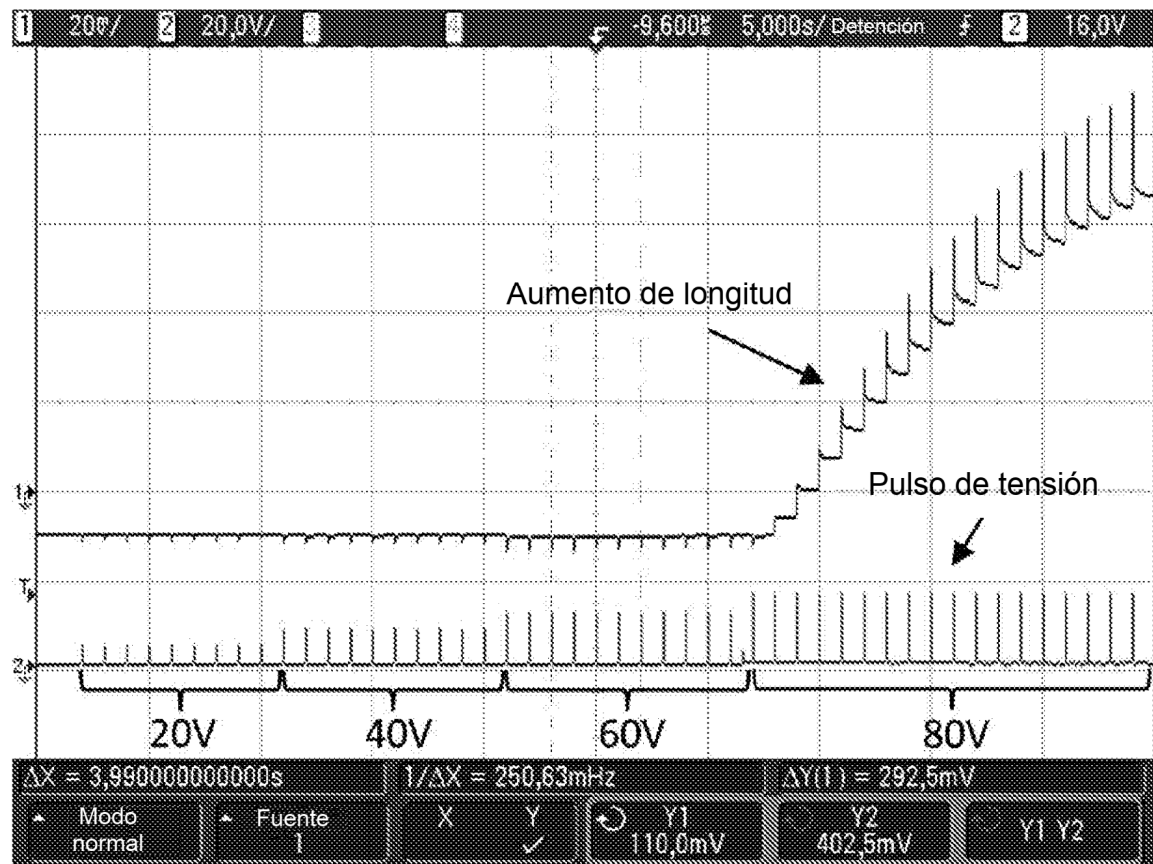


Fig. 2

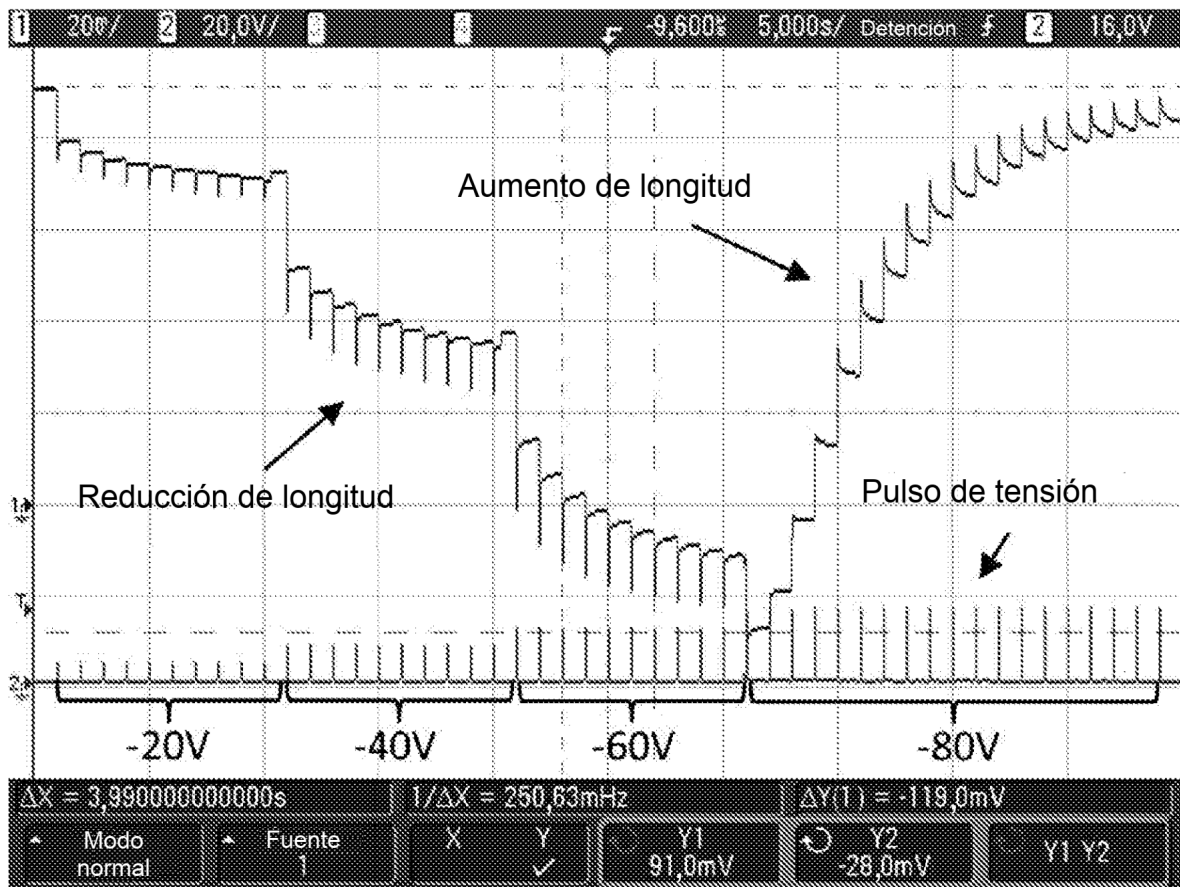


Fig. 3

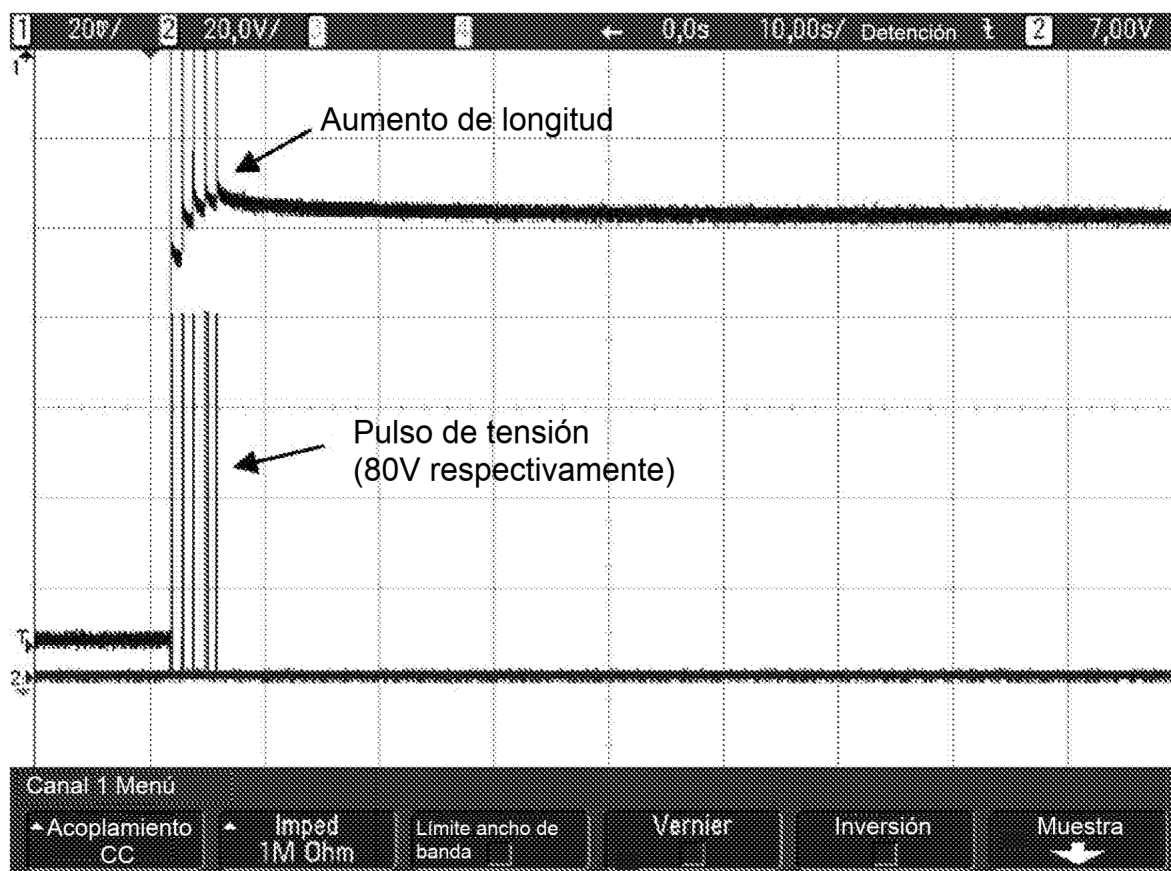


Fig. 4

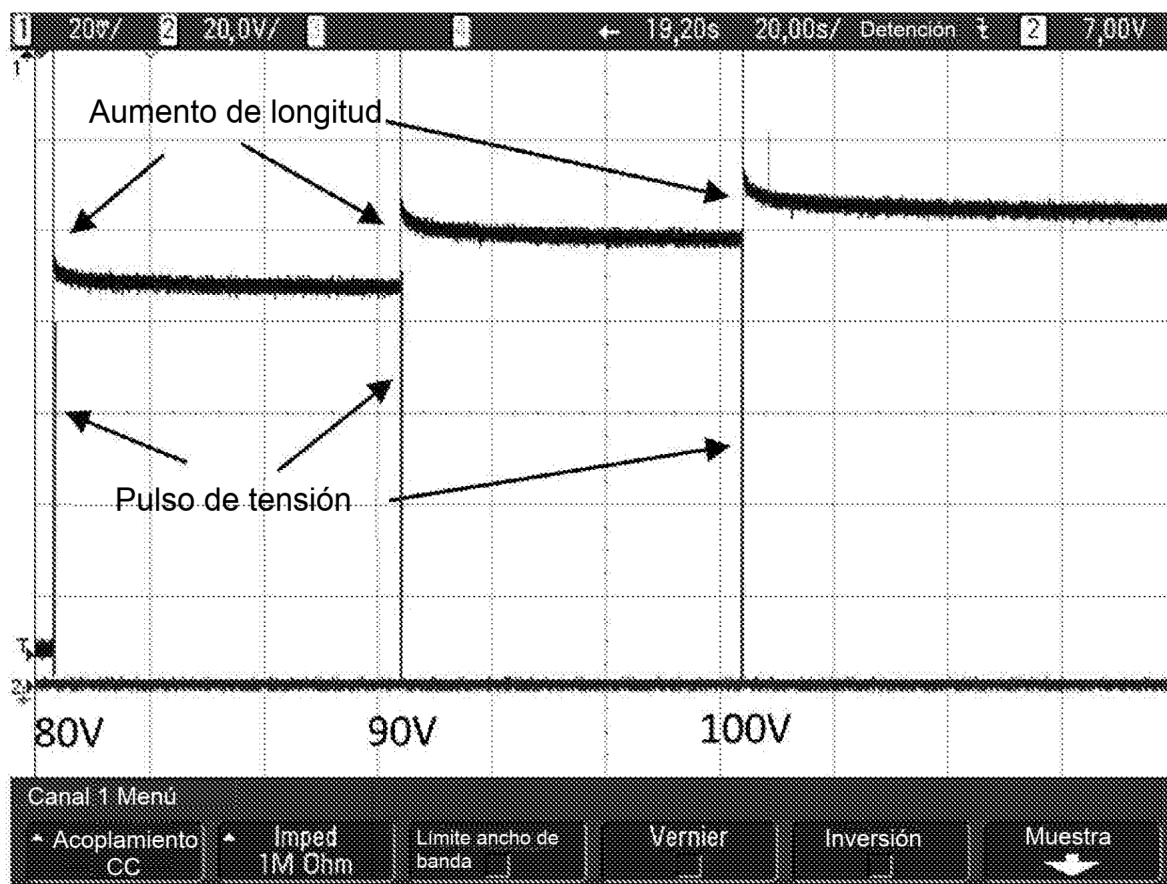


Fig. 5

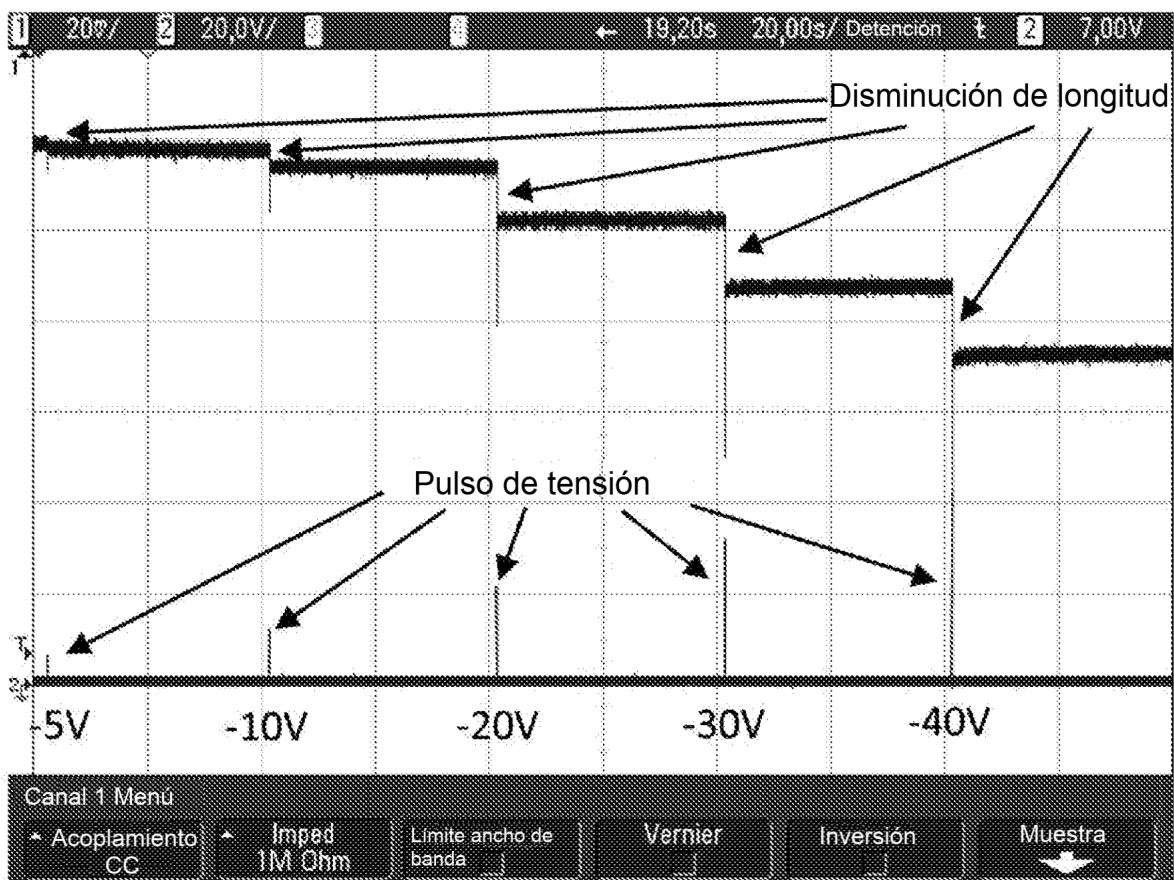


Fig. 6

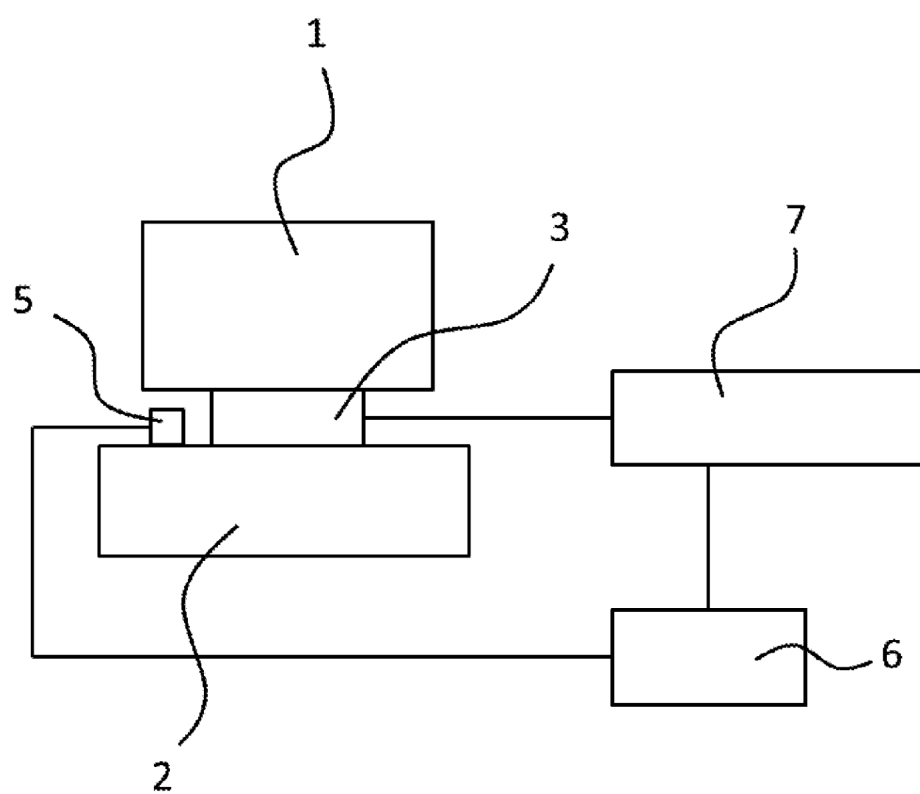


Fig. 7

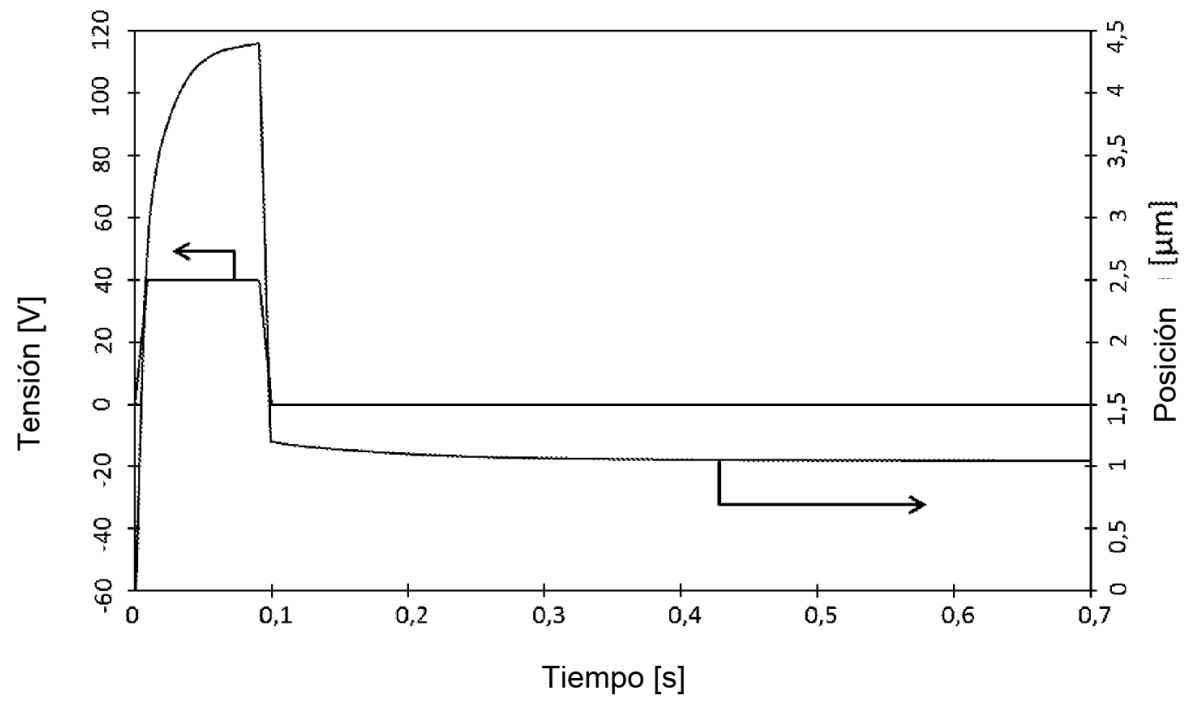


Fig. 8

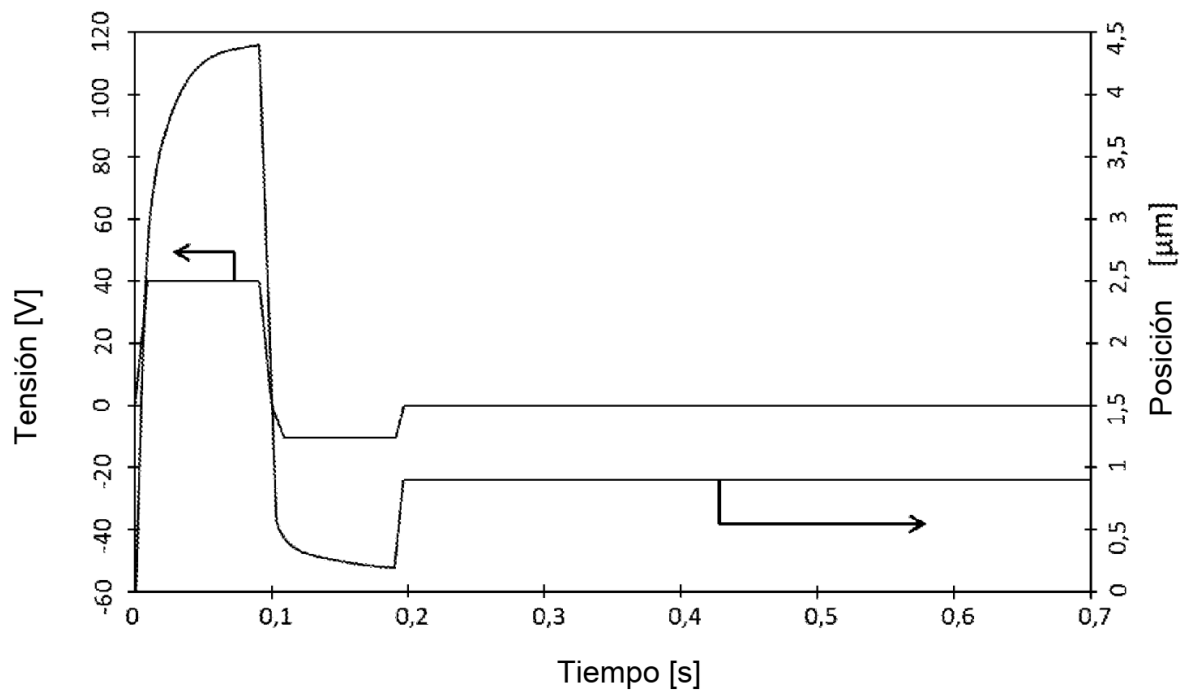


Fig. 9