

ITALIAN PATENT OFFICE

Document No.

102012902038604A1

Publication Date

20131003

Applicant

METALLUX SA

Title

PROCEDIMENTO DI PRODUZIONE DI UN TRASDUTTORE DI FORZA E
RELATIVO TRASDUTTORE DI FORZA

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

“Procedimento di produzione di un trasduttore di forza e relativo trasduttore di forza”

di: Metallux SA, di nazionalità svizzera, con sede in Via Moree 12, CH-6850 Mendrisio (Svizzera).

Inventori designati: Mattia CROCI, 6834 Morbio Inferiore (Svizzera).

Depositata il: 3 aprile 2012

TESTO DELLA DESCRIZIONE

Campo dell'invenzione

La descrizione si riferisce alle tecniche di taratura.

La descrizione è stata messa a punto portando attenzione per il suo possibile uso per effettuare una taratura di un trasduttore di forza.

Descrizione della tecnica relativa

Sono note nella tecnica varie soluzioni per tarare e/o calibrare un trasduttore di forza, quale ad esempio un sensore di pressione. In questo contesto, l'esperto del ramo apprezzerà che le definizioni “taratura” o “calibrazione”, pur indicate individualmente o separatamente nella descrizione, sono anche atte ad indicare elementi e/o processi tra loro equivalenti o complementari.

Ad esempio, le Figure 1a e 1b mostrano diverse viste di un tipico sensore di pressione 1.

Nell'esempio considerato, il sensore di pressione 1 ha un corpo di sensore includente una parte o porzione spostabile, ovvero deformabile e/o movibile, quale ad esempio una porzione a membrana 10. La porzione a membrana 10 può essere definita integralmente nel corpo di sensore, ad esempio quando questo è di tipo monolitico (ad esempio di materiale ceramico, quale allumina), oppure può essere configurata come parte applicata. Nell'esempio schematico rappresentato, la porzione a membrana 10, in seguito definita per semplicità “membrana”, è esposta ad una prima pressione P1 sul lato superiore e ad una seconda pressione P2 sul lato inferiore. Di conseguenza, la

membrana 10 viene deformata a causa della differenza tra le forze sviluppate dalle pressioni P_1 e P_2 .

Ad esempio, per sensori di pressione assoluta una delle pressioni P_1 o P_2 è fissa e preimpostata. In questo caso, la membrana 10 è associata tipicamente ad una camera 12 in cui sussiste la pressione preimpostata. Ad esempio, tale pressione fissa può essere impostata durante la produzione tramite un'apertura 14 che viene in seguito chiusa.

Come menzionato in precedenza, la deformazione della membrana è proporzionale alla differenza tra le pressioni P_1 e P_2 . Ad esempio, nel caso di sensori di pressione piezoresistivi, la deformazione della membrana 10 viene rilevata tramite almeno un elemento piezoresistivo. Tale elemento piezoresistivo è un elemento resistivo che segue la deformazione della superficie della membrana 10 a cui è fissato e le rispettive deformazioni causano una variazione della resistività elettrica del materiale del resistore, e di conseguenza la sua resistenza elettrica. Al posto di elementi piezoresistivi possono anche essere utilizzati altri tipi di estensimetri, quali ad esempio estensimetri a filo o a strato metallico.

Ad esempio, la Figura 1b mostra una tipica configurazione in cui si utilizzano quattro resistori piezoresistivi R_1 , R_2 , R_3 e R_4 che sono collegati insieme secondo un ponte di Wheatstone. Tipicamente, i resistori R_2 e R_3 sono disposti al centro della membrana 10, mentre i resistori R_1 e R_4 sono disposti al perimetro della membrana 10. Di conseguenza, almeno le resistenze dei resistori R_2 e R_3 variano.

In una forma di attuazione, i resistori R_1 e R_4 sono disposti vicino al bordo della membrana 10 ma sempre sulla parte flessibile.

In questo modo i resistori R_1 e R_4 svolgono un'azione contrapposta ai resistori R_2 e R_3 e incrementano l'effetto piezo-resistivo, in quanto applicando una pressione, i resistori R_2 e R_3 si allungano mentre i resistori R_1 ed R_4 si accorciano.

In una forma di attuazione, nel caso in cui fosse necessaria la compensazione della temperatura, possono essere aggiunti, ad esempio, due resistenze PTC, una per ramo.

Ad esempio, la Figura 1c mostra uno schema circuitale di un tipico collegamento dei resistori R_1 , R_2 , R_3 , e R_4 .

In particolare, nell'esempio considerato, il ponte di Wheatstone viene alimentato mediante una tensione V_{dd} che è applicata tra due terminali HI e LO.

Ad esempio, per la disposizione di sensori mostrata in Figura 1c, i resistori R_3 e R_1 formano un primo divisore di tensione collegato tra i terminali HI e LO, ed i resistori R_4 e R_2 formano un secondo divisore di tensione collegato tra i terminali HI e LO.

Di conseguenza, secondo i ben noti principi del ponte di Wheatstone, la tensione al resistore R_3 , ossia la tensione tra il terminale HI e il punto intermedio S- del primo divisore di tensione R_3 , R_1 , è:

$$V_{R3} = V_{HI,S-} = V_{dd} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} \quad (1)$$

e la tensione al resistore R_4 , ossia la tensione tra il terminale HI e il punto intermedio S+ del secondo divisore di tensione R_4 , R_2 , è:

$$V_{R4} = V_{HI,S+} = V_{dd} \cdot \frac{R_4}{R_2 + R_4} \quad (2)$$

Di conseguenza, la tensione V_s tra i terminali S+ e S- è:

$$\begin{aligned} V_s &= V_{R4} - V_{R3} = V_{dd} \cdot \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4} - \frac{R_3}{R_1 + R_3} \right) \\ &= V_{dd} \cdot \frac{R_1 \cdot R_4 - R_2 \cdot R_3}{(R_2 + R_4)(R_1 + R_3)} \end{aligned} \quad (3)$$

da cui si ricava la condizione di bilanciamento:

$$V_s = 0 \text{ per } R_1 \cdot R_4 = R_3 \cdot R_2 \quad (4)$$

Tipicamente tutti gli elementi R_1 , R_2 , R_3 e R_4 hanno la stessa resistenza, ossia

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad (5)$$

Nell'esempio considerato, il ponte viene quindi sbilanciato tramite le variazioni delle resistenze dei sensori R_2 e R_3 intorno ai rispettivi valori iniziali R , ossia:

$$\begin{aligned} V_s &= V_{dd} \cdot \frac{R^2 - (R + \Delta R)(R + \Delta R)}{(R + \Delta R + R)(R + R + \Delta R)} \\ &= V_{dd} \cdot \frac{-2R\Delta R - \Delta R^2}{(2R + \Delta R)^2} \end{aligned} \quad (6)$$

Come menzionato in precedenza, anche le resistenze dei resistori R1 e R4 possono cambiare per aumentano la variazione della tensione V_s .

Di conseguenza, per piccole variazioni $\Delta R \ll R$ segue:

$$V_s \propto \Delta R \quad (7)$$

Tuttavia, a cause di tolleranze di produzione, tali resistenze hanno valori leggermente diversi ed il ponte è sbilanciato, ossia la condizione dell'equazione (4) non è sempre soddisfatta.

Pertanto, per calibrare il sensore di pressione 1, si utilizza spesso una resistenza collegata in serie o in parallelo ad una resistenza del ponte.

Ad esempio, la Figura 1d mostra un esempio, in cui un resistore di calibrazione RC è collegato in serie all'elemento piezoresistivo R4.

Scopo e sintesi dell'invenzione

Gli inventori hanno osservato che la taratura di una tale resistenza di calibrazione, o in generale di un elemento di calibrazione, è particolarmente complessa.

Inoltre, gli inventori hanno osservato che la taratura di un tal elemento di calibrazione può avere anche problemi legati all'affidabilità e/o stabilità nel tempo.

Uno scopo dell'invenzione è quindi di fornire un procedimento per tarare un elemento di calibrazione di un trasduttore di forza in modo semplice e preciso.

Un ulteriore scopo dell'invenzione è di migliorare l'affidabilità e/o stabilità nel tempo della calibrazione, migliorando in questo modo anche la qualità del trasduttore di forza.

Secondo l'invenzione, uno o più di tali scopi sono raggiunti grazie ad un procedimento di produzione di un trasduttore di forza avente le caratteristiche richiamate nelle rivendicazioni che seguono. Le rivendicazioni riguardano anche un relativo trasduttore di forza, quale ad esempio un sensore di pressione.

Le rivendicazioni formano parte integrante dell'insegnamento tecnico qui somministrato in relazione all'invenzione.

Come menzionate in precedenza, la presente descrizione ha lo scopo di fornire soluzioni per la taratura di un elemento di calibrazione di un trasduttore di forza.

Ad esempio, in varie forme di attuazione, il trasduttore di forza include almeno una parte spostabile, ovvero elasticamente deformabile e/o movibile, quale ad esempio una membrana, alla quale è accoppiato un sensore, quale ad esempio un sensore di deformazione, quale ad esempio un estensimetro, in modo tale da rilevare un segnale identificativo dello spostamento della parte spostabile, ad esempio un segnale identificativo della deformazione della parte elasticamente deformabile.

In varie forme di attuazione, il trasduttore di forza comprende inoltre almeno un elemento di calibrazione, quale ad esempio un elemento resistivo. Tale elemento di calibrazione è accoppiato elettricamente ad almeno un sensore, eventualmente tramite un relativo circuito elettrico o un componente elettronico, e ha lo scopo di tarare il segnale identificativo dello spostamento della parte spostabile, ad esempio per compensare tolleranze di produzione. Ad esempio, in varie forme di attuazione, l'elemento di calibrazione è collegato direttamente in serie o in parallelo con almeno un sensore, o è accoppiato ad almeno un sensore tramite un componente elettrico e/o elettronico interposto, quale ad esempio un amplificatore operazionale e/o un microcontrollore.

In varie forme di attuazione, il segnale viene tarato tramite una o più incisioni nell'elemento di calibrazione.

In particolare, in varie forme di attuazione, l'elemento di calibrazione comprende una pluralità di aperture, preferibilmente delle aperture interne all'elemento di calibrazione, e il segnale viene tarato tramite almeno una fra l'operazione di:

- tagliare l'elemento di calibrazione tra un suo bordo ed almeno una delle aperture, e
- tagliare l'elemento di calibrazione tra almeno due di dette aperture.

Breve descrizione dei disegni

Ulteriori scopi, caratteristiche e vantaggi della presente invenzione risulteranno chiari dalla descrizione particolareggiata che segue e dai disegni annessi, forniti a puro titolo di esempio esplicativo e non limitativo, in cui

- le Figure da 1a a 1d sono state già descritte in precedenza; (N.B.: Vedi nota precedente per eventuale modifica di Fig. 1b)

- le Figure da 2a a 2d illustrano taluni svantaggi delle tecniche di calibrazione note;

- le Figure da 3 a 9 illustrano varie forme di attuazione della tecniche di calibrazione secondo la presente invenzione; e

- le Figure da 10a e 10b mostrano una forma di attuazione di un sensore di pressione che utilizza l'elemento di calibrazione qui descritto.

Descrizione particolareggiata di forme di attuazione

Nella seguente descrizione sono illustrati vari esempi e/o dettagli specifici finalizzati ad un'approfondita comprensione dell'invenzione e/o delle relative forme di attuazione. Le forme di attuazione possono essere realizzate senza uno o più dei dettagli specifici, o con altri metodi, componenti, materiali ecc. In altri taluni casi, alcuni componenti o strutture o materiali o operazioni non sono mostrati o descritti in dettaglio per evitare di rendere oscuri vari altri aspetti delle forme di attuazione secondo l'invenzione.

Il riferimento ad "una forma di attuazione" nell'ambito di questa descrizione sta ad indicare che una particolare configurazione, struttura o caratteristica descritte in relazione alla forma di attuazione è compresa in almeno una forma di attuazione. Quindi, frasi come "in una forma di attuazione", eventualmente presenti in diversi luoghi di questa descrizione, non sono necessariamente riferite alla stessa forma di attuazione. Inoltre, particolari conformazioni, strutture o singole caratteristiche, descritte in riferimento ad uno o più esempi secondo l'invenzione, possono essere combinati in un modo adeguato in una o più forme di attuazione.

I riferimenti qui utilizzati sono soltanto per comodità e non definiscono o non limitano dunque l'ambito di tutela o la portata delle forme di attuazione differenti, ovvero combinate in modo da realizzare forme di attuazione anche differenti da quelle indicate a titolo di esempio non limitativo.

Come menzionato in precedenza, uno degli scopi della presente descrizione è la taratura di un elemento di calibrazione di un trasduttore di forza. Ad esempio, in varie forme di attuazione, tale elemento di calibrazione è un elemento resistivo, quale ad esempio una resistenza di calibrazione di un trasduttore di forza, e la taratura di tale

resistenza di calibrazione viene effettuata nel corso della produzione del trasduttore stesso.

Nella seguente descrizione verrà fatto riferimento soprattutto ad un sensore di pressione e ad un ponte di Wheatstone. Tuttavia, in generale, le tecniche di taratura descritte qui possono anche essere utilizzate per altri traduttori di forza e/o altri ponti di misura. Inoltre, le tecniche di calibrazione qui descritte possono essere utilizzate non solo per tarare la resistenza elettrica di un elemento resistivo, ma possono anche essere utilizzate, ad esempio, per tarare la capacità di un elemento capacitivo e/o l'induttanza di un elemento d'induttivo, ossia in generale per tarare l'impedenza di un elemento d'impedenza. Pertanto, le tecniche di taratura qui descritte possono essere utilizzate, ad esempio, anche per la taratura di trasduttori capaci e/o induttivi.

La Figura 2a mostra un tipico elemento resistivo 30, quale ad esempio una pista elettrica o un strato di materiale resistivo, avente due terminali 302 e 304. Ad esempio, una tale pista elettrica può essere creata all'interno di un circuito integrato tramite un processo di serigrafia, litografia o deposizione. L'elemento resistivo 30 potrebbe anche essere realizzato in un altro materiale, quale ad esempio carbone, grafite, talco, argilla, ossido di metallo, vernici metalliche, o un miscela di tale sostanze.

La resistenza elettrica di un tale elemento 30 è direttamente proporzionale alla sua lunghezza ed è inversamente proporzionale alla sua sezione.

Di conseguenza, il valore della resistenza di un tale elemento 30 può essere modificato tramite piccole incisioni effettuate, ad esempio, tramite laser o sabbiatura di parte della pista.

Ad esempio, le Figure 2b e 2c mostrano due esempi d'incisione o taglio 32 che modificano la resistenza elettrica dell'elemento 30.

Tuttavia, come mostrato anche nella Figura 2d, tali incisioni o tagli 32 presentano il tipico difetto di avere un profilo irregolare, in particolare nella zona di estremità terminale del taglio, dove tipicamente si innescano dei punti di tensionamento o rottura, i quali lasciano propagare il taglio nel tempo. Di conseguenza, il valore della taratura può variare nel tempo, soprattutto per sensori che sono esposti a deformazioni, quali ad esempio trasduttori di forza, quali ad esempio sensori di pressione.

Ad esempio, un taglio laser fatto sino al centro pista, che nel tempo determina la formazione di una crepa che si propaga verso l'estremità opposta, può variare sostanzialmente la lunghezza effettiva e/o la sezione dell'elemento resistivo 30 e, di conseguenza, anche la sua resistenza elettrica. Ad esempio, nel caso estremo in cui la crepa si propaga sino all'estremità opposta o sino ad un taglio adiacente, la resistenza sarebbe interrotta.

Pertanto, la taratura o calibrazione di un dispositivo tramite uno o più tagli in un elemento di calibrazione è particolarmente complessa e presenta taluni rischi o inconvenienti, ad esempio a fronte dell'affidabilità e/o stabilità nel tempo di tale taratura o calibrazione.

Per questo motivo, in accordo alla presente invenzione, si propone l'uso di un elemento di calibrazione, quale ad esempio un elemento resistivo, che permetta di evitare o almeno ridurre questo fenomeno.

Inoltre, in accordo alla presente invenzione, si propone l'uso di un elemento di calibrazione che consenta una più agevole calibrazione o taratura, preferibilmente compensando o rendendo ininfluenti eventuali tolleranze nel posizionamento del taglio.

In particolare, l'elemento di calibrazione della presente descrizione comprende una pluralità di aperture o "buchi" 34, quali ad esempio fori, ovvero delle zone prive del materiale dell'elemento di calibrazione, preferibilmente delimitate o circondate in origine dal materiale dell'elemento di calibrazione. Dette aperture o fori 34 hanno un profilo predefinito, preferibilmente fatto con criteri che riducano la creazione dei punti d'innescio delle crepe sopra menzionate, quale ad esempio un profilo privo di angoli o spigoli o vertici o punti d'intersezione, preferibilmente un profilo curvo o circolare.

Ad esempio le Figure 8a a 8g mostrano alcune forme di attuazioni di possibile aperture 34.

In particolare, gli inventori hanno osservato che aperture con sezione rettangolare o quadrata non sono sempre adatte a ridurre il rischio di crepe a causa dei vertici che facilmente sono la base o punto d'innescio di crepe, quali vertici con angoli interni prossimi ai 90°.

Invece, gli inventori hanno osservato che sezioni senza vertici o spigoli, quali ad esempio i detti profili curvi, in particolare fori circolari (vedere la Figura 8b),

ellissoidali o ovali (vedere la Figura 8a), sono particolarmente resistenti contro le formazioni di crepe.

Tuttavia, sezioni con profili curvi o poligonali chiusi che comprendono soltanto vertici con un angolo interno superiore a 90° , ad esempio compreso tra 105° e 180° , sono anche accettabili per ridurre il rischio di crepe (vedere le Figura 8c, 8d e 8e).

I fori 34 possono anche avere forme composte da tratti curvi e tratti lineari (vedere la Figura 8f). Ad esempio, i vertici dei profili poligonali possono essere realizzate tramite tratti curvi (vedere la Figura 8g), preferibilmente almeno un tratto curvo compreso tra due tratti rettilinei o lineari, in particolare almeno un tratto curvo ubicato sul vertice di uno spigolo, quale un tratto curvo con raggio di almeno 0,05 mm o superiore, preferibilmente con raggio di almeno 0,2 mm.

Ad esempio, le Figure 3a a 3d mostrano possibili disposizioni delle aperture 34 previste secondo l'invenzione.

In particolare, nelle forme di attuazione considerate, le aperture 34, quali ad esempio fori circolari, sono disposti equidistanti lungo linee longitudinali.

In particolare, nella Figura 3a è prevista soltanto un'unica fila o riga 340 di aperture 34, nella Figure 3b e 3c sono previste due file 340 e 342 di aperture 34, e nella Figura 3d sono previste tre file 340, 342 e 344 di aperture 34.

La Figura 3c mostra che le file, o in generale le aperture 34, possono anche essere sfasate tra loro in direzione longitudinale.

In varie forme di attuazione, le aperture 34 sono disposte invece lungo linee trasversali. Pertanto, varie forme di attuazione descritte qui per file o righe di aperture possono anche essere applicate a colonne di aperture. Ad esempio, le colonne, o in generale le aperture 34, possono anche essere sfasate tra loro in direzione laterale.

In generale, per elementi di calibrazioni rettangolari, con “direzione longitudinale” viene inteso la direzione di un asse che si estende tra i due contatti o elettrodi 302 e 304, mentre la “direzione laterale o trasversale” è una direzione ortogonale a tale asse.

In generale, le aperture 34 possono essere quindi disposte secondo uno schema arbitrario. Ad esempio, le aperture 34 possono anche essere disposte lungo una linea diagonale o una linea curva o con tratti differenti o andamento variabile.

Pertanto, per rendere i disegni più comprensibile, alcune figure potrebbero non indicare esplicitamente i riferimenti delle aperture 34, ma le aperture 34 potrebbero essere indicate semplicemente come file di fori con i numeri 340, 342 e/o 344. Inoltre, anche alcuni elementi, quali ad esempio i terminali 302 e 304, possono essere omessi in alcune figure se la loro presenza non è strettamente necessaria per la comprensione della figura.

Le Figure da 4a a 4m mostrano in questo contesto possibili incisioni 32, che possono essere effettuate, ad esempio, tramite un taglio a laser, una microabrasione e/o sabbiatura.

In particolare, nelle forme di attuazione considerate, il taglio 32 parte da un bordo laterale dell'elemento 30 e prosegue linearmente fino ad una delle aperture 34.

Ad esempio, nella Figura 4a, i tagli 32 partono sempre dallo stesso bordo laterale, mentre nelle Figure 4b a 4d sono previsti tagli a partire da bordi opposti.

In generale, non è necessario che per ogni apertura 34 venga effettuato un taglio. Ad esempio, come mostrato nella Figura 4c, alcune delle aperture 34 potrebbero essere “saltate” e prive di tagli.

In varie forme di attuazione, l'almeno un taglio 32 può anche proseguire verso altre aperture 34 in direzione trasversale (vedere ad esempio le Figure 4f e 4h) o in direzione longitudinale (vedere ad esempio la Figura 4i). In generale, il profilo finale può anche essere composto da una combinazione di tagli laterali e longitudinali (vedere ad esempio le Figure 4j e 4k).

Infine, la Figura 4l mostra una forma di attuazione, in cui le aperture 34, quali ad esempio fori ovali, sono disposte lungo una linea diagonale 340.

Ad esempio, in questa forma di attuazione, ciascun taglio 34 può avere una diversa lunghezza, in particolare nel caso di taglio che parte dal bordo o lato. Inoltre, in quanto i fori sono tipicamente decentrati, anche il lato da cui parte il taglio cambia il peso del taglio. In alternativa o aggiunta potrebbero essere previsti dei tagli in diagonale (non raffigurati), da apertura ad apertura.

Pertanto, nelle forme di attuazione descritte in precedenza, l'elemento di calibrazione 30, quale ad esempio un elemento resistivo, comprende una pluralità di aperture 34, e il comportamento elettrico, quale ad esempio la resistenza, capacità e/o

induttanza, viene tarato tramite uno o più tagli 32 che si estendono da almeno un bordo dell'elemento di calibrazione 30, quale ad esempio il bordo laterale, sino ad almeno una delle aperture 34.

La Figura 4m mostra invece una forma di attuazione in cui vengono effettuate soltanto incisioni tra le aperture 34.

In particolare, nella forma di attuazione considerata, l'elemento di calibrazione comprende otto aperture 34a, 34b, ..., 34h.

Come menzionato in precedenza, tali aperture 34a...34h possono essere disposte arbitrariamente all'interno dell'elemento di calibrazione 30. Ad esempio, nella forma di attuazione considerata, le aperture sono disposte equidistanti in due file 340, 342.

Nella forma di attuazione considerata, due incisioni 32a e 32b vengono effettuate. La prima incisione 32a comprende soltanto un unico segmento di taglio 32a1 che si estende tra le aperture 34a e 34e, ad esempio in direzione laterale per la disposizione mostrata nella Figura 4m.

Invece, la seconda incisione 32b comprende quattro segmenti di taglio 32b1...32b4. In particolare, nella forma di attuazione considerata:

- il segmento di taglio 32b1, quale ad esempio un taglio longitudinale, è tra le aperture 34c e 34d,

- il segmento di taglio 32b2, quale ad esempio un taglio laterale, è tra le aperture 34d e 34h,

- il segmento di taglio 32b3, quale ad esempio un taglio longitudinale, è tra le aperture 34g e 34h, e

- il segmento di taglio 32b4, quale ad esempio un taglio laterale, è tra le aperture 34c e 34g,

ovvero la seconda incisione 32b taglia un segmento dell'elemento di calibrazione 30.

Pertanto, in generale, il comportamento elettrico dell'elemento di calibrazione 30, quale ad esempio la resistenza, capacità e/o induttanza, viene tarato tramite uno o più tagli 32 che si estendono:

- a) tra un bordo dell'elemento 30 ed una apertura 34, e/o

- b) tra almeno due aperture 34.

In generale, tali tagli possono avere percorsi arbitrari, anche se tagli lineari, ad esempio in direzione laterale o longitudinale, sono preferibili. Detti tagli potrebbero all'occorrenza avere un andamento almeno in parte curvo o curvilineo e/o essere dei tagli lineari angolati rispetto a detta direzione laterale e/o detta direzione longitudinale; quali dei tagli curvi o curvilinei o angolati che si estendono tra detto bordo e almeno un'apertura 34 e/o che si estendono tra almeno due aperture 34.

Le Figure 5a e 5b illustrano che piccole tolleranze nella posizione e la lunghezza dell'almeno un taglio 32 non determinano variazioni sostanziali nel valore tarato, quale ad esempio la resistenza elettrica.

Infatti, variazioni nella lunghezza del taglio 32 possono essere compensate, in quanto è sufficiente che il taglio 32 arrivi sino all'apertura. Infatti, le variazioni nell'area dell'apertura 34 che non comportino una asportazione di materiale non variano il valore della resistenza. In modo simile vengono anche compensate variazioni nel posizionamento trasversale del laser e/o del taglio, quali delle variazioni laterali e/o longitudinali.

Infatti, le Figure 6a a 6d mostrano direttamente il confronto tra i sistemi di taratura noti (vedere Figure 6c e 6d) e la presente soluzione (vedere Figure 6a e 6b). In particolare, mentre nell'arte nota viene utilizzata una taratura "analogica" che è basata sulla esatta lunghezza e/o posizione del taglio 32, nella presente soluzione viene utilizzato un approccio "digitale" che è basato su segmenti di taglio, che possono avere tolleranze maggiori per la lunghezza e/o posizione del taglio.

L'esperto del ramo apprezzerà che questo approccio "digitale" ha lo svantaggio che il valore della resistenza potrebbe non essere impostabile in continuo. Tuttavia, utilizzando elementi di calibrazione 30 con una sufficiente lunghezza e un adeguato numero di aperture 32, questo effetto è trascurabile, almeno per il settore della calibrazione di trasduttori per grandezze fisiche. Infatti, in tale settore la stabilità della calibrazione nel tempo è di solito più importante.

In generale, l'inventore ha osservato che il peso di ogni taglio dipende da vari parametri, quali ad esempio, il valore resistivo/capacitivo/induttivo del materiale utilizzato per l'elemento di calibrazione, dalla sequenza di taglio, la distanza tra i fori, e/o dalla lunghezza del taglio.

La variazione del comportamento elettrico dell'elemento di calibrazione, ad esempio il valore della resistenza tarata, può essere determinato, ad esempio, tramite simulazione, elaborazione e/o misurazione, ad esempio misurando il valore della resistenza dell'elemento 30. Tuttavia, mentre nelle soluzioni note era necessario misurare tale resistenza in continuazione, a causa delle differenti tolleranze del taglio, nella presente soluzione è sufficiente misurare il valore della resistenza per ogni segmento di taglio.

Preventivamente e/o conseguentemente a tale misura, conoscendo in particolare la predefinita disposizione delle aperture ed il valore dell'elemento 30, è possibile elaborare opportunamente i dati per definire il “peso” o incidenza di ogni singolo taglio e quindi elaborare o definire le successive fasi di taratura, quale ad esempio la definizione o individuazione delle aperture tra cui o verso cui è opportuno effettuare i tagli. Tali operazioni possono ad esempio comprendere una definizione di primi tagli basata su detta elaborazione, una successiva misurazione del valore di taratura ottenuto con i tagli, una elaborazione dei dati per definire gli ulteriori tagli.

Come menzionato in precedenza con riferimento alle Figure 8a a 8g, le aperture 34 possono avere diverse forme e diametri. Ad esempio, per tipici processi di taglio, è sufficiente che il diametro delle aperture 34 sia leggermente superiore alla larghezza del taglio 32. Tuttavia, lo specifico diametro richiesto dipende dalle tolleranze per la lunghezza e il posizionamento del taglio. Ad esempio, un diametro maggiore (vedere ad esempio la Figura 7a) consente tolleranze maggiori di posizionamento del taglio. Per questo motivo, aperture 34 con sezione ovale o ellissoidale (vedere ad esempio la Figura 7b) possono essere particolarmente vantaggiose, perché tipiche macchine di taglio possono avere diverse tolleranze per l'asse X e l'asse Y, e la lunghezza e la larghezza delle aperture 34 possono essere proporzionali a tali tolleranze.

Inoltre, le aperture 34 con sezione ovale o ellissoidale (vedere ad esempio la Figura 7b) possono essere particolarmente vantaggiose per ridurre gli ingombri dell'apertura in almeno una direzione, quale la direzione laterale, consentendo l'utilizzo di un elemento 30 con minore larghezza e/o una ridotta dimensione in direzione laterale.

In generale, una delle dimensioni della aperture 34, ossia la larghezza e/o la lunghezza, è maggiore della larghezza dei tagli 32, ad esempio, almeno due volte la

larghezza del taglio e preferibilmente compresa tra tre e dieci volte la larghezza del taglio.

Inoltre, le aperture 34 possono essere disposte equidistanti (vedere ad esempio la Figura 7a) o anche a distanze variabili (vedere ad esempio la Figura 7c), ad esempio, per cambiare il peso di ogni taglio 32.

Come menzionato in precedenza, nel caso in cui i tagli siano lungo linee rette, la taratura dell'elemento di calibrazione 30 è "digitale" e l'impedenza dell'elemento di calibrazione 30, ad esempio la sua resistenza, può essere impostata soltanto tramite la selezione delle aperture 34 e del numero dei tagli 32. Di conseguenza, anche se questo approccio è molto facile da realizzare, il valore dell'impedenza potrebbe non essere impostabile in continuo. Come menzionato anche in precedenza, utilizzando elementi di calibrazione 30 con una sufficiente lunghezza e un adeguato numero di aperture 32, questo effetto può essere trascurabile.

Tuttavia, in alcuni settori tecnologici, questo non è sempre possibile, e pertanto potrebbe essere necessaria una taratura "analogica", ossia una taratura in cui l'impedenza dell'elemento di calibrazione 30, quale ad esempio la sua resistenza, sia impostabile in continuo.

L'inventore ha osservato, che una tale taratura "analogica" è anche realizzabile con gli elementi di calibrazione 30 qui descritte. Infatti, secondo la presente invenzione, un taglio parte sempre da una zona senza materiale e termina in una zona senza materiale, ma può seguire un percorso arbitrario. Pertanto, è possibile realizzare una taratura analogica controllando il percorso del taglio 32 tra questi due zone senza materiale. Ad esempio, le Figure 9a e 9b mostrano una forma di attuazione di una calibrazione analogica, in cui si utilizza un elemento di calibrazione 30 con forma trapezoidale, ovvero un elemento di calibrazione, in cui la sezione, quale ad esempio la sezione trasversale, è variabile nella lunghezza, ad esempio, al fine di ottenere dei differenti pesi ad ogni taglio. Tuttavia, anche gli altri elementi di calibrazione 30 descritte in precedenza, potrebbero essere utilizzate.

Nella forma di attuazione considerata, per tarare l'elemento di calibrazione 30, possono essere effettuati anche tagli lineari, quale ad esempio tagli che impostano approssimativamente il valore della taratura in modo "digitale". Ad esempio, nella

Figure 9a e 9b sono mostrati due tagli lineari 32 che partano dal bordo laterale e terminano in due rispettivi aperture 34.

Invece per effettuare la taratura analogica, almeno un taglio o segmento di taglio segue un percorso che non è lineare.

Ad esempio, nella forma di attuazione considerata, l'elemento di calibrazione 30 comprende un taglio 32c3 che ha una forma curva, ad esempio un taglio che segue un arco di circonferenza. Anche tale taglio può essere tra il bordo e un'apertura o (come mostrato nella Figura 9) tra due aperture. Inoltre, tale taglio curvo 32c3 può anche essere un segmento di taglio che fa parte di un'incisione composta comprendente altri segmenti di taglio, quali ad esempio due segmenti di taglio lineari (o anche curvi) 32c1 e 32c2.

Ad esempio, nella forma di attuazione considerata, il valore della taratura può essere impostato in continuo, impostando l'altezza del taglio rispetto alle aperture, ad esempio impostando il raggio dell'arco di circonferenza.

In particolare, nelle Figura 9a e 9b sono mostrati due differenti tagli curvi 32c3 che hanno due differenti altezze h_1 e h_2 , tramite i quali è possibile variare la larghezza della pista (larghezza tra il taglio 32c3 e il bordo) di un valore variabile, ovvero di un valore che non ha un peso fisso, come nel caso dei tagli lineari corrispondenti alla precedente "taratura digitale".

Preferibilmente, per evitare il propagarsi di crepe lungo il taglio curvo è opportuno che la pendenza della curva sia tale da evitare curve troppo chiuse o cambi di direzione repentini.

In varie forme di attuazione, il taglio curvo viene effettuato mentre si misura in continuo la resistenza, ad esempio riducendo la pendenza della curva man mano che ci si avvicina al valore ottimale, preferibilmente in modo che tale valore finale della taratura corrisponda alla tangente di tale curva, la quale curva viene poi fatta "scendere" sino all'apertura successiva, in modo tale che l'ultima parte della curva di taglio non incida sostanzialmente sul valore della resistenza ma ottenendo comunque un taglio che termina in un'apertura.

Come menzionato in precedenza, la calibrazione descritta in precedenza può essere utilizzata per calibrare un trasduttore di forza, quale ad esempio un sensore di pressione.

La Figura 10a mostra una possibile forma di attuazione di un sensore di pressione 1 secondo la presente soluzione.

Nella forma di attuazione considerata, il sensore di pressione 1 comprende quattro estensimetri, quali ad esempio elementi piezoresistivi R1, R2, R3, e R4, che sono collegati insieme secondo lo schema circuitale mostrato nella Figura 1c. Per il funzionamento di base di tale sensore viene quindi fatto riferimento a quanto precedentemente descritto.

Ad esempio, nel caso di elementi piezoresistivi, gli elementi R1, R2, R3, e R4 possono essere serigrafati direttamente sulla membrana 10 del sensore di pressione 1. Tuttavia, a cause di tolleranze di produzione, tali elementi possono avere valori leggermente diversi ed il ponte può essere sbilanciato, ossia la condizione dell'equazione (4) non è soddisfatta.

In una forma di attuazione, per calibrare il sensore di pressione 1, il sensore comprende anche almeno un elemento di calibrazione 30, quale un elemento resistivo, collegato in serie o in parallelo con almeno uno degli elementi piezoresistivi R1, R2, R3, e R4.

Ad esempio, nella forma di attuazione considerata, si utilizzano due elementi di calibrazione RP1 e RP2 che sono collegati ripetitivamente in parallelo ai resistori R4 e R2, ossia in parallelo ai resistori di uno dei rami del ponte di Wheatstone.

Ad esempio, in una forma di attuazione, tali elementi di calibrazione RP1 e RP2 (comprendenti le aperture 34) vengono serigrafati insieme o in fasi differenti rispetto alle altre piste elettriche del circuito sulla membrana 10 del sensore di pressione. Di conseguenza, l'elemento di calibrazione 30 è preferibilmente realizzato in un materiale conduttivo e/o resistivo, quale ad esempio metallo, una lega metallica e/o un materiale resistivo.

Tuttavia, l'elemento resistivo potrebbe anche essere di altra tipologia, quale un componente discreto che viene saldato sulla membrana del sensore di pressione.

In generale, per la realizzazione dell'elemento 30, si può utilizzare qualsiasi processo atto allo scopo, quale un processo di produzione di circuiti integrati o circuiti stampati. Ad esempio, per sensori piezoresistivi, l'elemento 30 potrebbe essere realizzato anche direttamente nel silicio, potenzialmente con drogaggio, e soltanto i contatti elettrici 302 e 304 possono essere realizzati in un materiale metallico.

Successivamente, le resistenze elettriche degli elementi RP1 e RP2 vengono tarati per compensare lo sbilanciamento del ponte, in modo tale da avere l'uscita differenziale V_S ad un valore specifico, ad esempio pari a zero.

Ad esempio, la Figura 10b mostra un esempio per le incisioni effettuate negli elementi di calibrazione RP1 e RP2. In particolare, nella forma di attuazione considerata, i tagli vengono effettuate soltanto tra il bordo laterale e le aperture. Tali tagli creano quindi una "serpentina" che incrementa la lunghezza e diminuisce la larghezza dell'elemento di calibrazione aumentandone così il valore resistivo. Ad esempio, nel caso in cui si utilizza un ponte di Wheatstone, ogni taglio in uno degli elementi di calibrazione RP1 o RP2 sposta l'uscita del sensore di pressione, ossia il segnale V_S , di una certa quantità. Ad esempio, per un sensore di pressione è preferibile che ciascun taglio corrisponda ad alcuni mV.

Le forme di attuazione degli elementi di calibrazione mostrate nelle Figure 10a e 10b illustrano inoltre che gli elementi di calibrazione 30 possono avere anche altre forme arbitrarie e non soltanto rettangolari, quali forme curve o sostanzialmente curve, ad esempio realizzate da tratti lineari disposti a formare un elemento 30 curvo o curvilineo. In detta disposizione curva degli elementi di calibrazione RP1, RP2, i relativi tagli 32 possono avere un andamento lineare, ad esempio lungo una linea che è ortogonale o parallela alla linea su cui sono disposte le aperture, o radiale, ad esempio rispetto al centro definito dal rispettivo elemento curvo RP1 o RP2, ovvero detti tagli 32 potrebbero essere angolati tra loro. Pertanto anche le aperture possono essere disposte su una linea curva, ad esempio lungo un arco di circonferenza.

Il trasduttore di forza o sensore di pressione 10, come visibile nelle figure 10a e 10b, prevede preferibilmente le dette aperture 34 con sezione ovale o ellissoidale in elementi RP1 ed RP2 di ridotta larghezza, in particolare al fine di ridurre gli ingombri del trasduttore di forza o sensore di pressione 10.

Quindi in generale, è sufficiente che l'elemento di calibrazione 30 comprenda una pluralità di aperture 34 avente profili predeterminati. Il valore della resistenza dell'elemento di calibrazione 30 viene successivamente impostato tramite segmenti di taglio, che possono essere tagli:

- a) tra un bordo dell'elemento 30 ed una apertura 34, e/o
- b) tra due aperture 34.

Preferibilmente, questi tagli vengono effettuati linearmente in direzione longitudinale e/o in direzione laterale o trasversale.

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari e le forme di attuazione possono variare, anche in modo significativo, rispetto a quanto è stato descritto a puro titolo di esempio, senza uscire dall'ambito dell'invenzione, così come definito dalle rivendicazioni annesse.

RIVENDICAZIONI

1. Procedimento per produrre un trasduttore di forza (1) comprendente i passi di:

i) provvedere un corpo di trasduttore includente almeno una parte spostabile (10),

ii) accoppiare a detta parte spostabile (10) almeno un sensore di spostamento (R1..R4) in modo tale che detto almeno un sensore di spostamento (R1..R4) è configurato per rilevare un segnale (S+, S-) identificativo dello spostamento di detta parte spostabile (10),

iii) provvedere almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2),

iv) accoppiare elettricamente detto almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) a detto almeno un sensore di spostamento (R1..R4), e

v) tarare detto segnale (S+, S-) identificativo dello spostamento di detta parte spostabile (10) tramite una o più incisioni o tagli (32) in detto almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2),

caratterizzato dal fatto che almeno uno tra i passi iii) and v) comprende l'operazione di definire in detto almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) una pluralità di aperture (34) e che il passo v) include almeno una fra l'operazione di:

- incidere o tagliare detto elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) tra un suo bordo ed almeno una di dette aperture (34), e

- incidere o tagliare detto elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) tra almeno due di dette aperture (34).

2. Il procedimento secondo la rivendicazione 1, in cui detto trasduttore di forza (1) è un sensore di pressione.

3. Il procedimento secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazioni 2, in cui:

- detta parte spostabile (10) è una parte elasticamente deformabile (10), quale ad esempio una membrana (10), ed in cui detto sensore di spostamento (R1..R4) è un sensore di deformazione (R1..R4), preferibilmente un estensimetro; e/o

- detta parte spostabile (10) è una parte movibile, ed in cui detto sensore di spostamento è un sensore di movimento.

4. Il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, in cui detto accoppiare elettricamente detto almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) a detto almeno un sensore di spostamento (R1..R4) include almeno uno tra :

- collegare almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) in serie o in parallelo con almeno un sensore di spostamento (R1..R4);

- collegare almeno un elemento di calibrazione ad almeno un sensore di spostamento attraverso un componente elettrico o elettronico, quale ad esempio un amplificatore operazionale o un microcontrollore.

5. Il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, comprendente accoppiare a detta parte spostabile (10) quattro sensori di spostamento (R1..R4), in cui detti sensori di spostamento (R1..R4) formano un ponte di Wheatstone.

6. Il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, in cui detto elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) è un elemento elettricamente resistivo, ed in cui detto tarare detto segnale (S+, S-), identificativo dello spostamento di detta parte spostabile (10), comprende variare la resistenza elettrica di detto almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) tramite incisioni o tagli (32).

7. Il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, in cui le aperture di detta pluralità di aperture (34) sono disposte, preferibilmente equidistanti:

- su almeno una linea retta, quale ad esempio una linea longitudinale, trasversale o diagonale di detto elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2), e/o

- su almeno una linea curva, ad esempio lungo un arco di circonferenza.

8. Il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, in cui dette incisione o tagli vengono effettuate:

- lungo una linea retta,

- lungo una linea curva, preferibilmente un arco di circonferenza, e/o

- nel caso in cui le aperture di detta pluralità di aperture (34) sono disposte su una linea retta o curva, lungo una linea che è ortogonale alla linea su cui sono disposte dette aperture (34), e/o lungo la linea su cui sono disposte dette aperture (34).

9. Il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, in cui dette aperture (34) hanno una sezione scelta fra:

- profili senza vertici o spigoli, quali ad esempio profili curvi, in particolare fori circolari, ellissoidali o ovali,

- profili poligonali, in cui tutti i vertici hanno un angolo interno superiore a 90° , preferibilmente compreso tra 105° e 180° , e/o

- profili composti da tratti curvi e tratti lineari, quali ad esempio profili poligonali in cui tutti i vertici hanno un tratto curvo, quale un tratto curvo compreso tra due tratti lineari.

10. Il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, in cui la larghezza e/o la lunghezza di dette aperture (34) sono maggiori della larghezza di dette incisioni o tagli (32), preferibilmente almeno due volte la larghezza di dette incisioni o tagli, preferibilmente compresa tra tre e dieci volte la larghezza di dette incisioni o tagli (32).

11. Il procedimento secondo una delle precedenti rivendicazioni, comprendente determinare la variazione del comportamento elettrico causata da dette incisioni o tagli (32) in detto elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2; 40) tramite simulazione, elaborazione e/o misurazione.

12. Trasduttore di forza (1) comprendente:

- un corpo di trasduttore includente almeno una parte spostabile (10),

- almeno un sensore di spostamento (R1..R4) accoppiato a detta parte spostabile (10) in modo tale che detto almeno un sensore (R1..R4) è configurato per rilevare un segnale (S+, S-) identificativo dello spostamento di detta parte spostabile (10), e

- almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) accoppiato elettricamente a detto almeno un sensore di spostamento (R1..R4), in cui detto almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) comprende almeno un taglio o incisione (32) per tarare detto segnale (S+, S-) identificativo dello spostamento di detta parte spostabile (10),

caratterizzato dal fatto che detto almeno un elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2) comprende una pluralità di aperture (34) e almeno una fra:

- almeno un'incisione o taglio (32) tra un bordo di detto elemento di calibrazione ed almeno una di dette aperture (34), e

- almeno un'incisione o taglio (32) tra almeno due di dette aperture (34).

13. Il trasduttore di forza (1) secondo la rivendicazione 12, in cui le aperture di detta pluralità di aperture (34) sono disposte, preferibilmente equidistanti:

- su almeno una linea retta, quale ad esempio una linea longitudinale, trasversale o diagonale di detto elemento di calibrazione (30; RC; RP1, RP2), e/o
- su almeno una linea curva, ad esempio lungo un arco di circonferenza.

14. Il trasduttore di forza (1) secondo la rivendicazione 12 o la rivendicazione 13, in cui dette incisione o tagli sono:

- lungo una linea retta,
- lungo una linea curva , preferibilmente un arco di circonferenza, e/o
- nel caso in cui le aperture di detta pluralità di aperture (34) sono disposte su una linea retta o curva, lungo una linea che è ortogonale alla linea su cui sono disposte dette aperture (34), e/o lungo la linea su cui sono disposte dette aperture (34).

15. Il trasduttore di forza (1) secondo una delle rivendicazioni da 12 a 14, in cui dette aperture (34) hanno una sezione scelta fra:

- profili senza vertici o spigoli, quali ad esempio profili curvi, in particolare fori circolari, ellissoidali o ovali,
- profili poligonali, in cui tutti i vertici hanno un angolo interno superiore a 90° , preferibilmente compreso tra 105° e 180° , e/o
- profili composti da tratti curvi e tratti lineari, quali ad esempio profili poligonali in cui tutti i vertici hanno un tratto curvo, quale un tratto curvo compreso tra due tratti lineari.

CLAIMS

1. A method of producing a force transducer (1) comprising the steps of:

- i) providing a transducer body including at least one displaceable part (10),
- ii) coupling with said displaceable part (10) at least one displacement sensor (R1..R4) so that said at least one displacement sensor (R1..R4) is configured for detecting a signal (S+, S-) indicative for the displacement of said displaceable part (10),
- iii) providing at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2),
- iv) electrically coupling said at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2) with said at least one displacement sensor (R1..R4), e
- v) adjusting said signal (S+, S-) indicative for the displacement of said displaceable part (10) by means of one or more notches or cuts (32) in said at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2),

characterized in that at least one of the steps iii) e v) comprises the operation of defining in said at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2) a plurality of apertures (34) and that the step v) includes at least one of the operations of:

- notching or cutting said calibration element (30; RC; RP1, RP2) between one of its edges and at least one of said apertures (34), and
- notching or cutting said calibration element (30; RC; RP1, RP2) between at least two of said apertures (34).

2. The method according to Claim 1, wherein said in cui force transducer (1) is a pressure sensor.

3. The method according to Claim 1 or Claim 2, wherein:

- said displaceable part (10) is an elastically deformable part (10), such as a diaphragm (10), and wherein said displacement sensor (R1..R4) is a deformation sensor (R1..R4), preferably a strain gauge; and/or
- said displaceable part (10) is a mobile part, and wherein said displacement sensor is a movement sensor.

4. The method according to any of the previous claims, wherein said electrically coupling said at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2) with said at least one displacement sensor (R1..R4) includes at least one of:

- connecting at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2) in series or in parallel with at least one displacement sensor (R1..R4);

- connecting at least one calibration element to at least one displacement sensor via an electrical or electronic component, such as an operational amplifier or a microcontroller.

5. The method according to any of the previous claims, comprising coupling with said displaceable part (10) four displacement sensors (R1..R4), wherein said displacement sensors (R1..R4) form a Wheatstone bridge.

6. The method according to any of the previous claims, wherein said calibration element (30; RC; RP1, RP2) is an electrically resistive element, and wherein said adjusting said signal (S+, S-), indicative for the displacement of said displaceable part (10), comprises varying the electrical resistance of said at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2) by means of notches or cuts (32).

7. The method according to any of the previous claims, wherein the apertures of said plurality of apertures (34) are arranged, preferably equally spaced:

- in at least one straight line, such as a longitudinal, traversal or diagonal line of said calibration element (30; RC; RP1, RP2), and/or
- in at least one curved line, such as along an arc.

8. The method according to any of the previous claims, wherein said notches or cuts are performed:

- along a straight line,
- along a curved line, preferably an arc, and/or
- in case said apertures of said plurality of apertures (34) are arranged in a straight or curved line, along a line which is orthogonal to the line in which are arranged said apertures (34), and/or along the line in which are arranged said apertures (34).

9. The method according to any of the previous claims, wherein said apertures (34) have a section being selected among:

- profiles without vertices and intersection points, such as curved profiles, in particular circular, elliptic or oval holes,
- polygonal profiles, wherein all vertices have an inner angel being greater than 90°, preferably comprised between 105° e 180°, and/or
- profiles being composed of curved sections and linear sections, such as polygonal profiles wherein all vertices have a curved profile, such as a curved section between two linear sections.

10. The method according to any of the previous claims, wherein the width and/or the length of said apertures (34) are greater than the width of said notches or cuts (32), preferably at least two times the width of said notches or cuts, preferably comprised between three and ten times the width of said notches or cuts (32).

11. The method according to any of the previous claims, comprising determining the variation of the electrical behavior caused by said notches or cuts (32) in said calibration element (30; RC; RP1, RP2; 40) by means of simulation, computation and/or measurement.

12. A force transducer (1) comprising:

- a transducer body including at least one displaceable part (10),
- at least one displacement sensor (R1..R4) coupled with said displaceable part (10) so that said at least one displacement sensor (R1..R4) is configured for detecting a signal (S+, S-) indicative for the displacement of said displaceable part (10), and
- at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2) electrically coupled with said at least one displacement sensor (R1..R4), wherein said at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2) comprises at least one notch or cut (32) for adjusting said signal (S+, S-) indicative for the displacement of said displaceable part (10),

characterized in that

said at least one calibration element (30; RC; RP1, RP2) comprises a plurality of apertures (34) and at least one of:

- at least one notch or cut (32) between an edge of said calibration element and at least one of said apertures (34), and
- at least one notch or cut (32) between at least two of said apertures (34).

13. The force transducer (1) according to Claim 12, wherein the apertures of said plurality of apertures (34) are arranged, preferably equally spaced:

- in at least one straight line, such as a longitudinal, traversal or diagonal line of said calibration element (30; RC; RP1, RP2), and/or
- in at least one curved line, such as along an arc.

14. The force transducer (1) according to Claim 12 or Claim 13, wherein said notches or cuts are:

- along a straight line,
- along a curved line, preferably an arc, and/or

- in case said apertures of said plurality of apertures (34) are arranged in a straight or curved line, along a line which is orthogonal to the line in which are arranged said apertures (34), and/or along the line in which are arranged said apertures (34).

15. The force transducer (1) according to any of claims 12 to 14, wherein said apertures (34) have a section being selected among:

- profiles without vertices and intersection points, such as curved profiles, in particular circular, elliptic or oval holes,

- polygonal profiles, wherein all vertices have an inner angle being greater than 90° , preferably comprised between 105° e 180° , and/or

- profiles being composed of curved sections and linear sections, such as polygonal profiles wherein all vertices have a curved profile, such as a curved section between two linear sections.

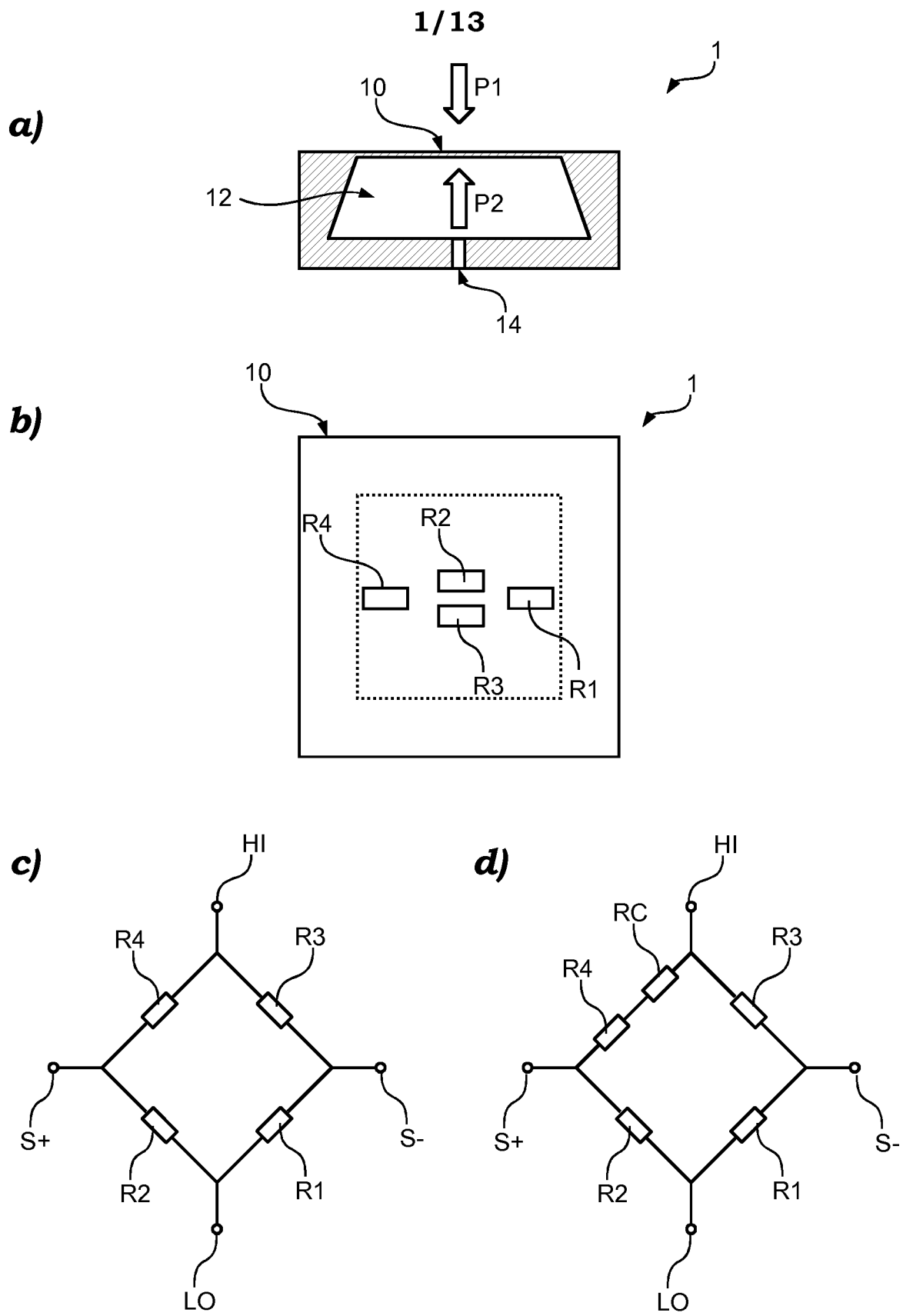
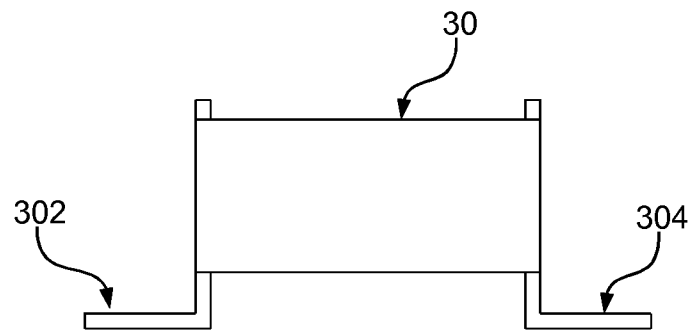
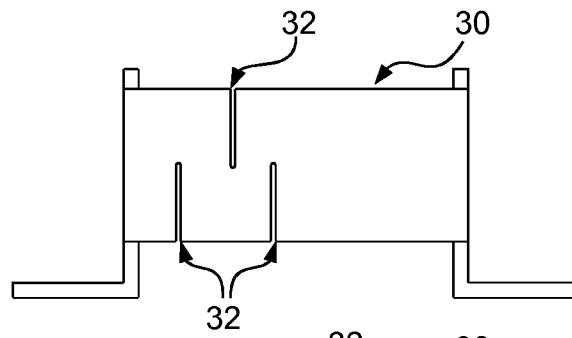


Fig. 1

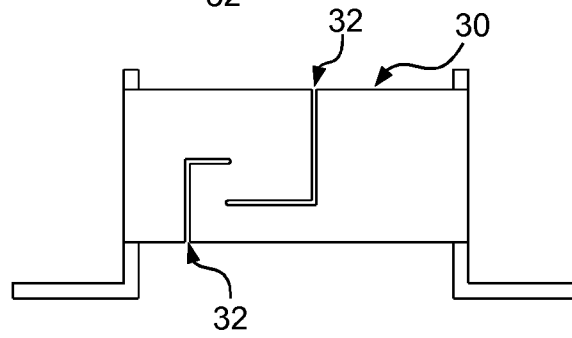
a)



b)



c)



d)

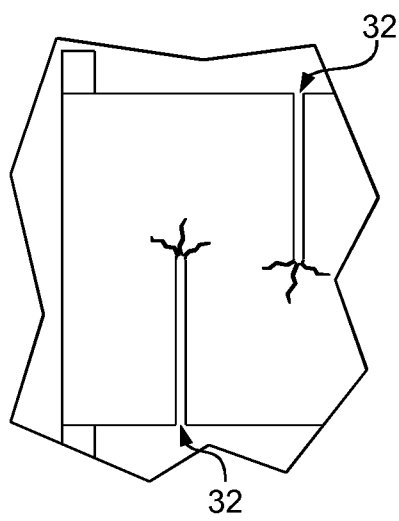
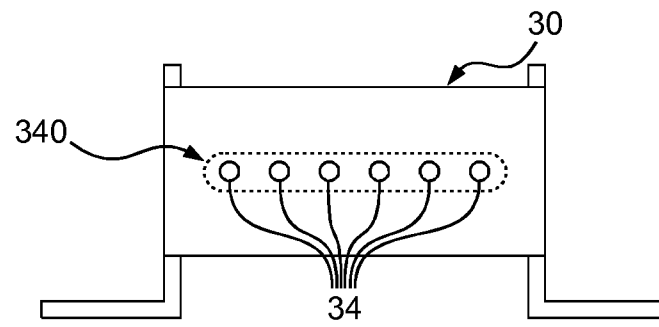
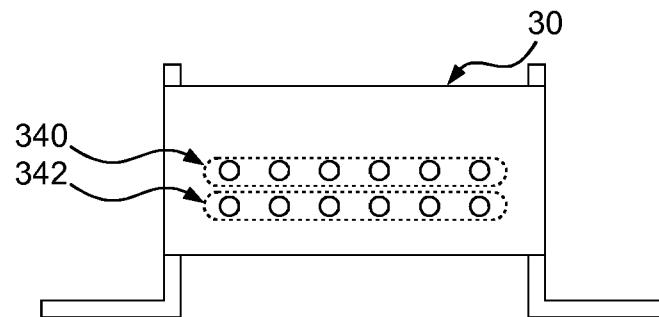


Fig. 2

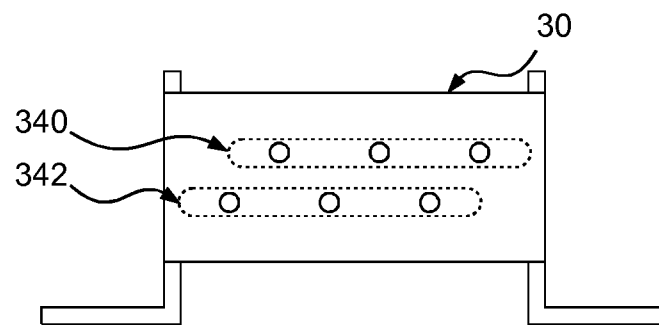
a)



b)



c)



d)

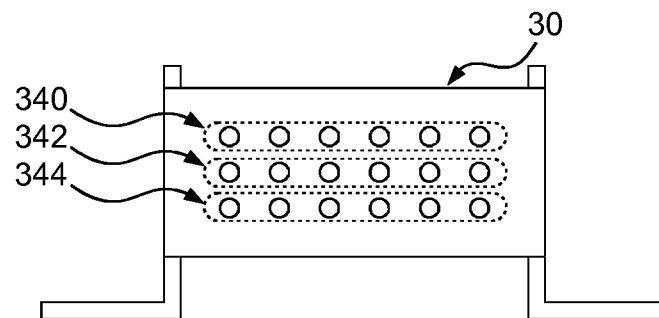
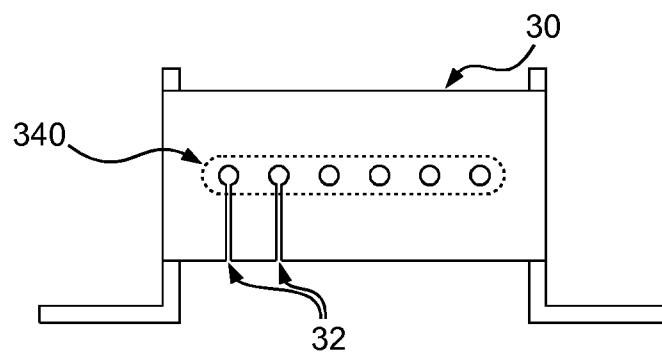
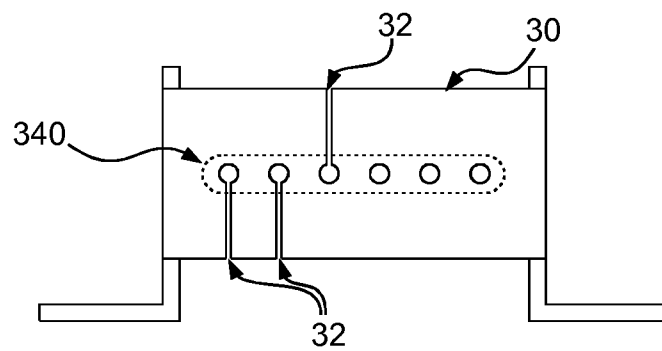


Fig. 3

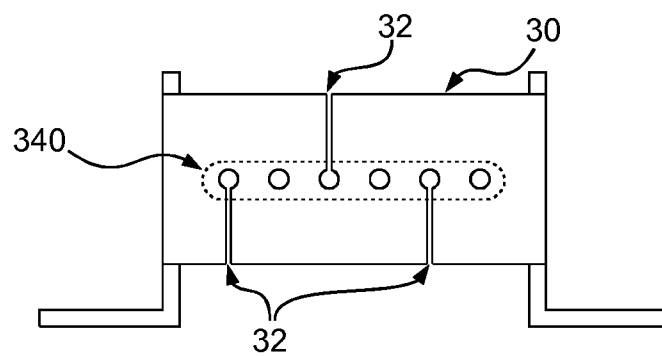
a)



b)



c)



d)

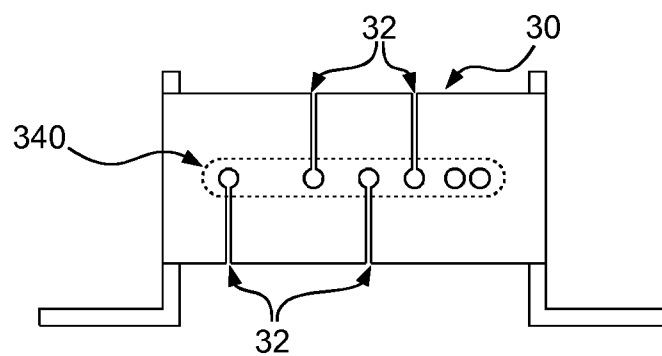
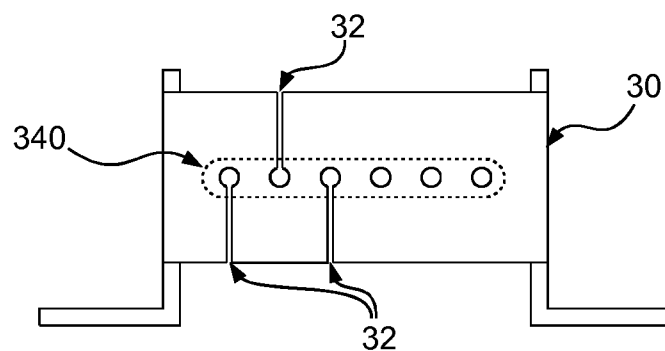
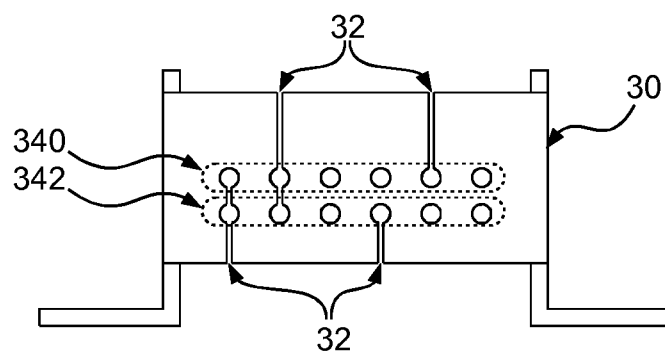


Fig. 4

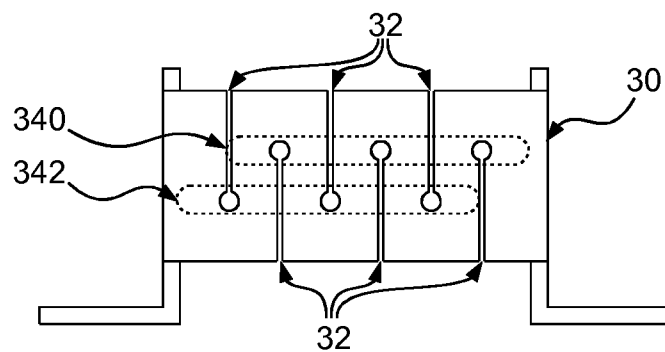
e)



f)



g)



h)

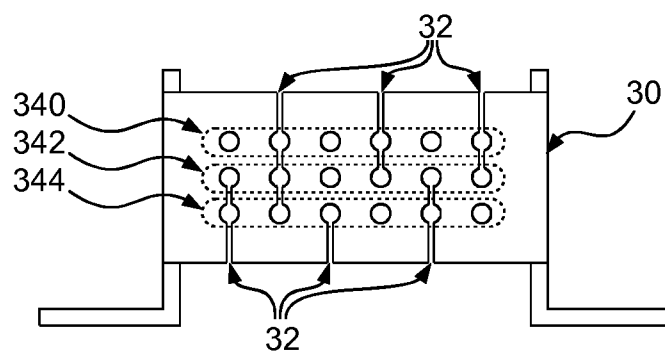
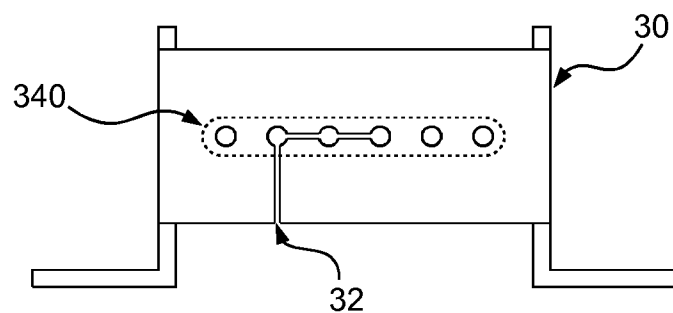
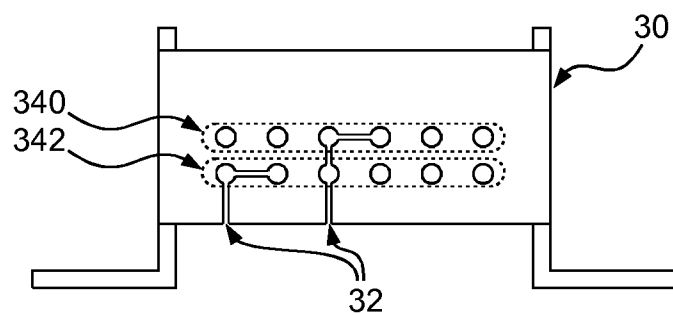


Fig. 4

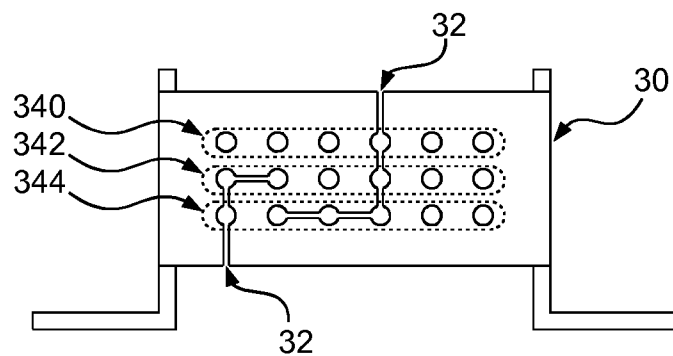
i)



j)



k)



l)

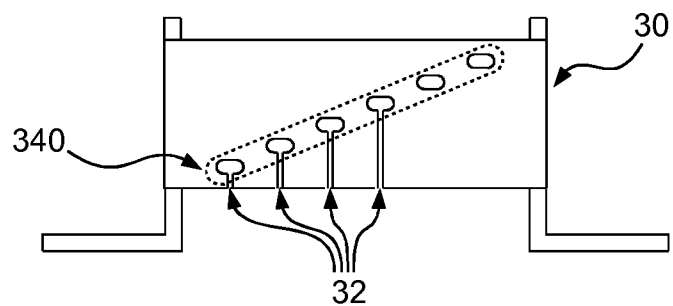


Fig. 4

m)

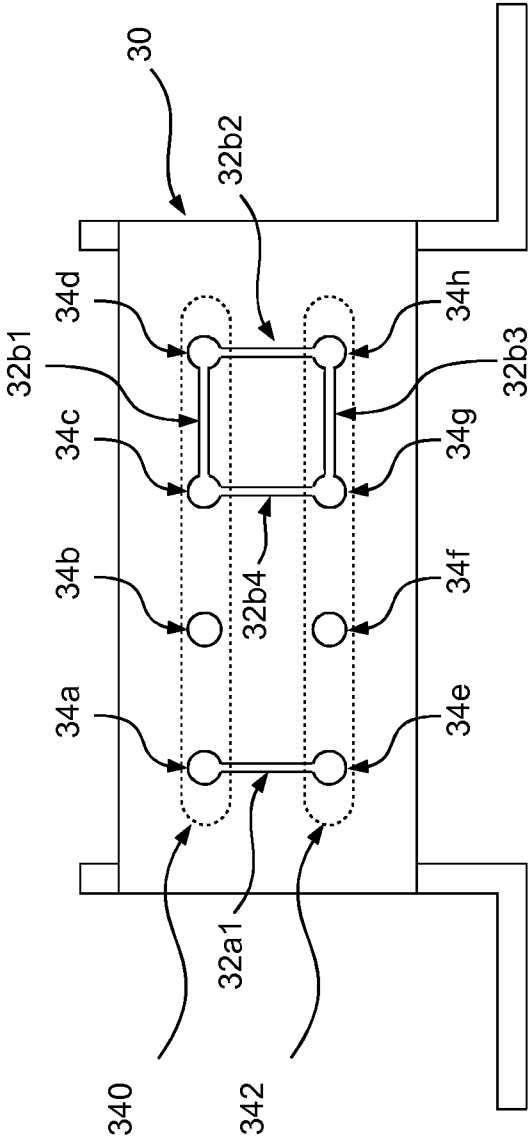
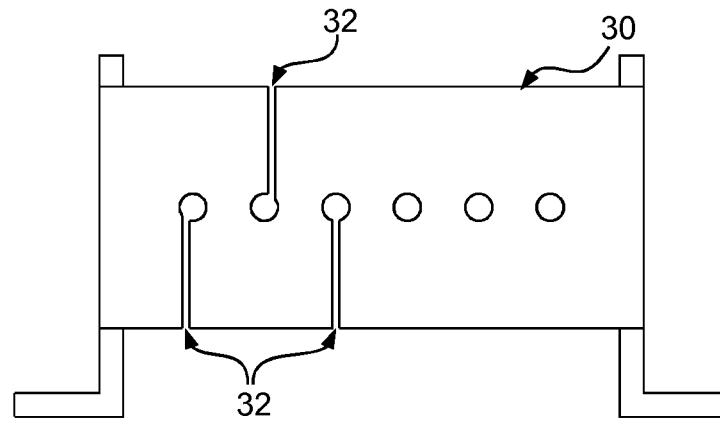


Fig. 4

a)



b)

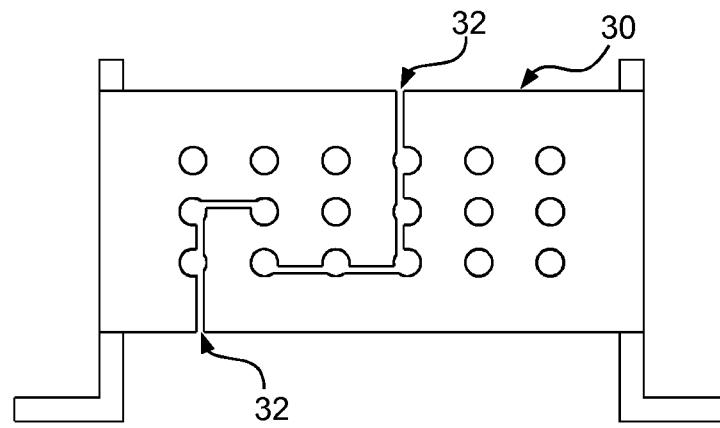


Fig. 5

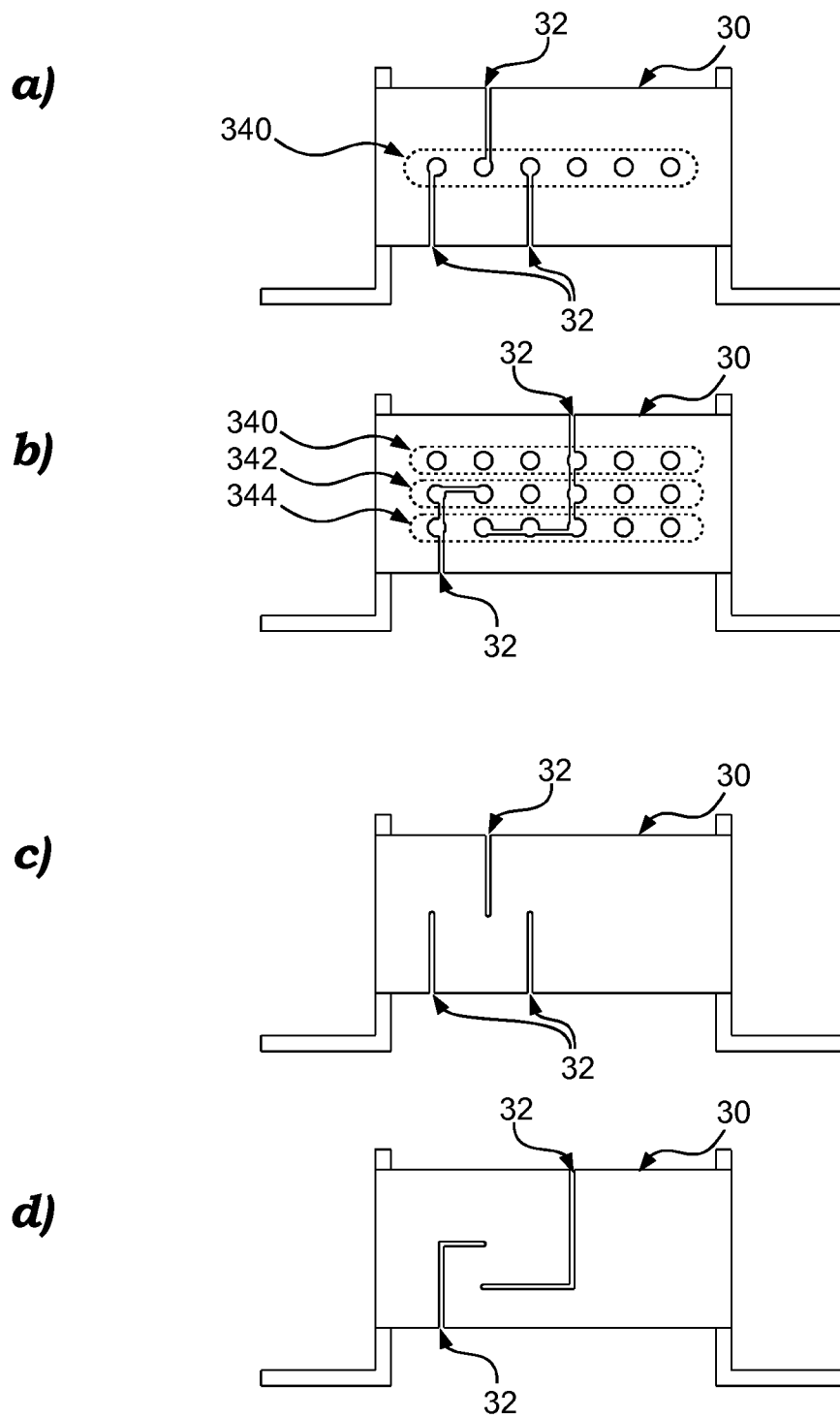


Fig. 6

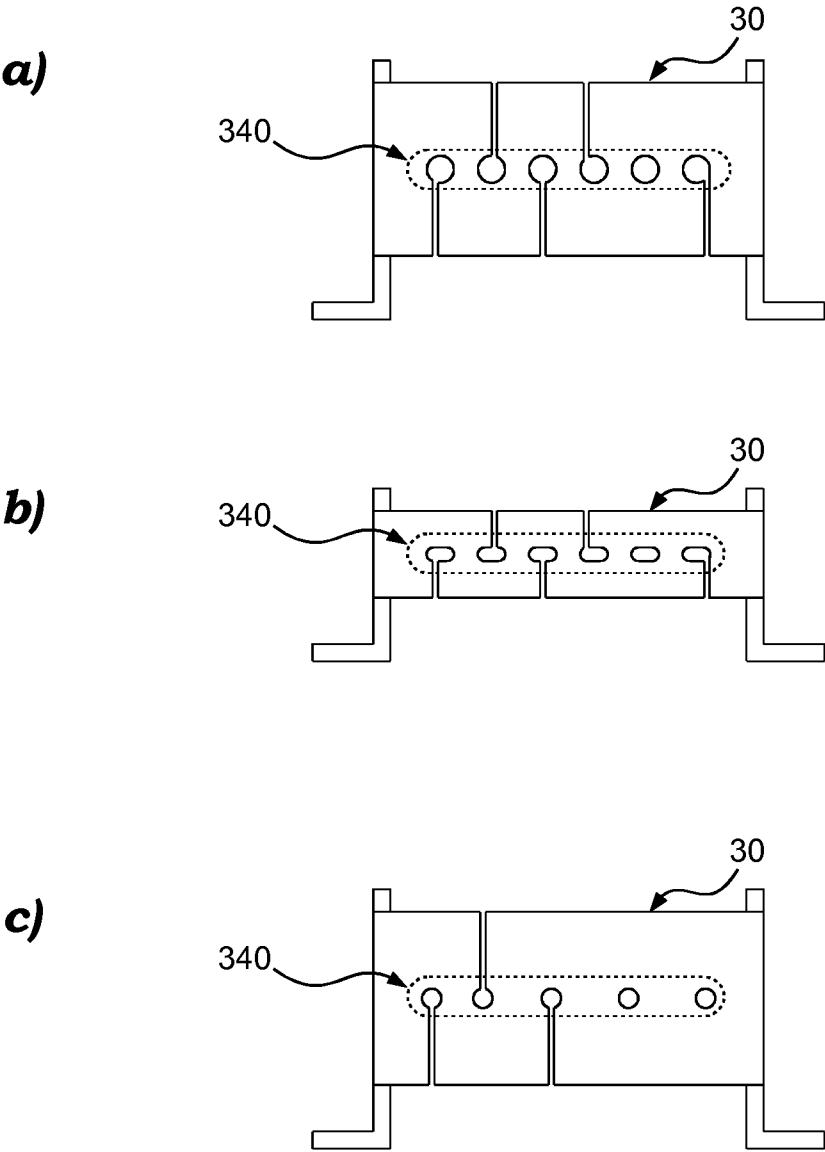


Fig. 7

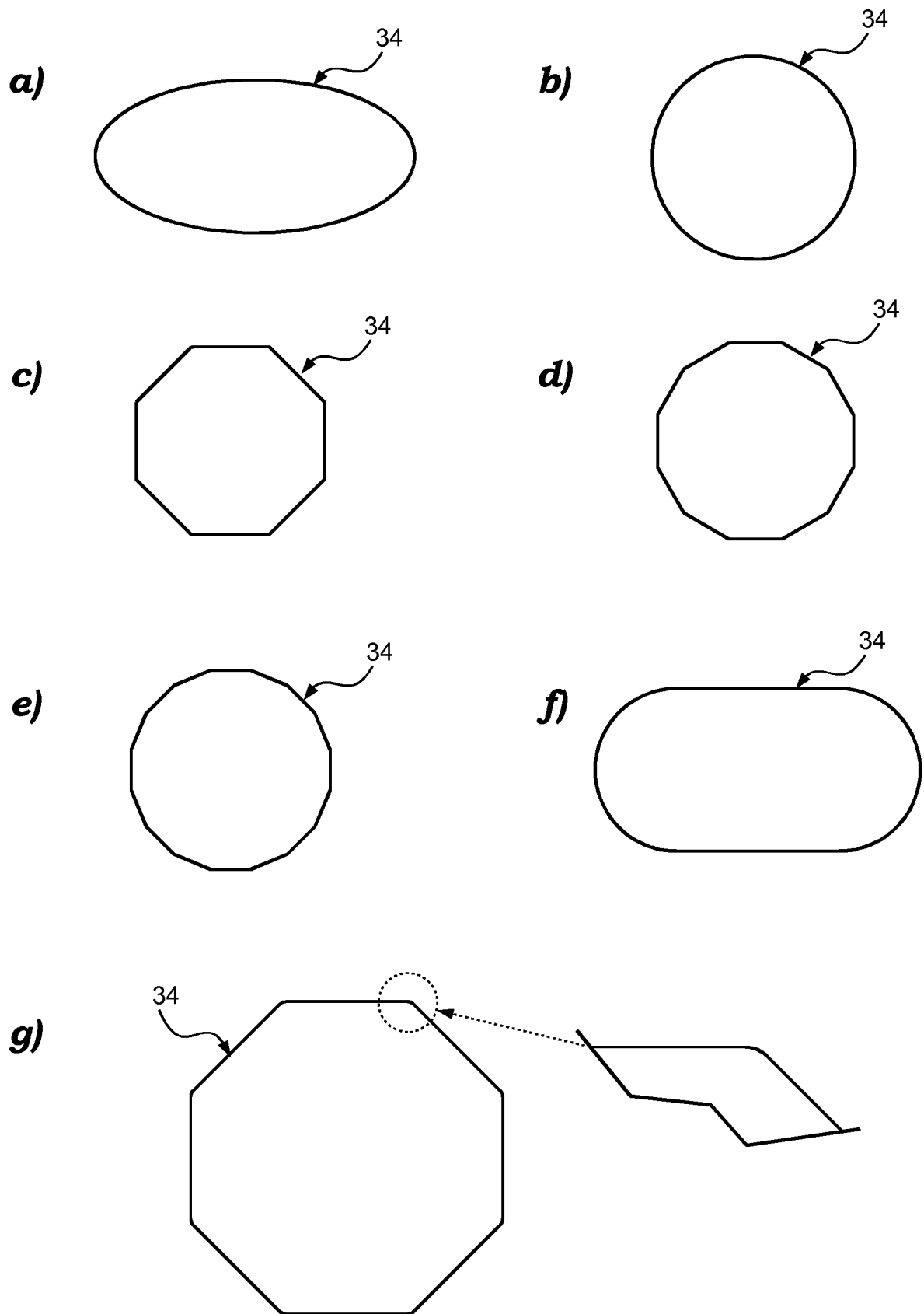
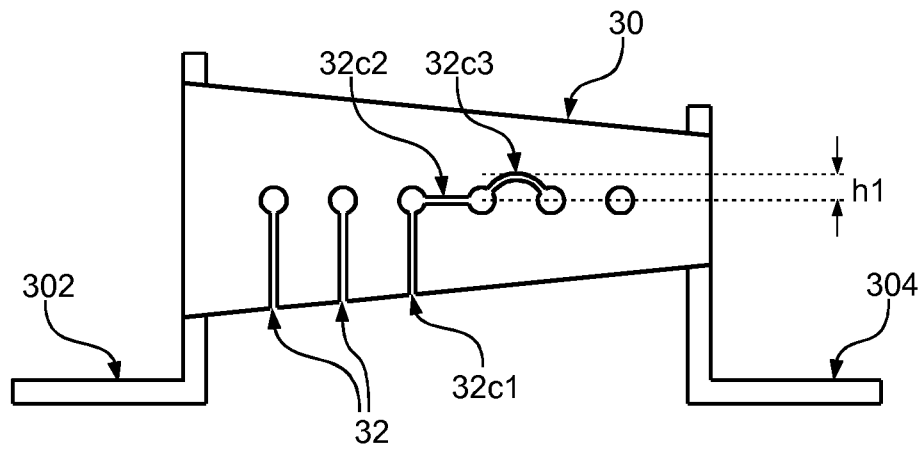


Fig. 8

a)



b)

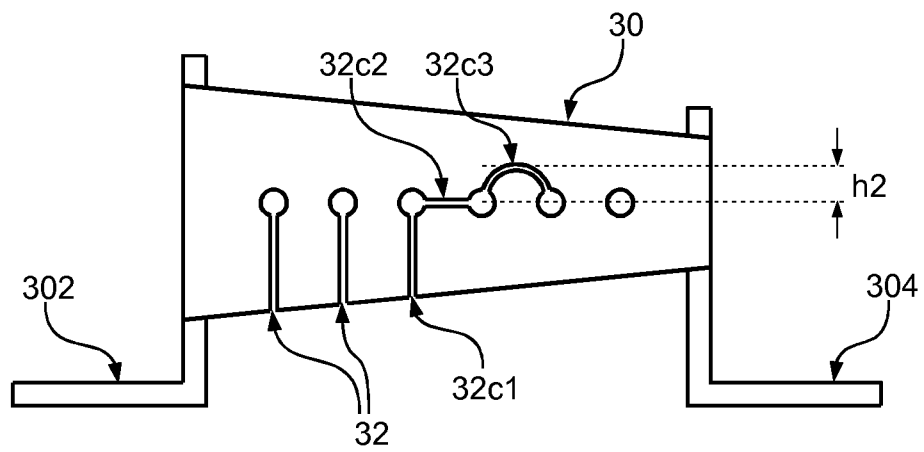
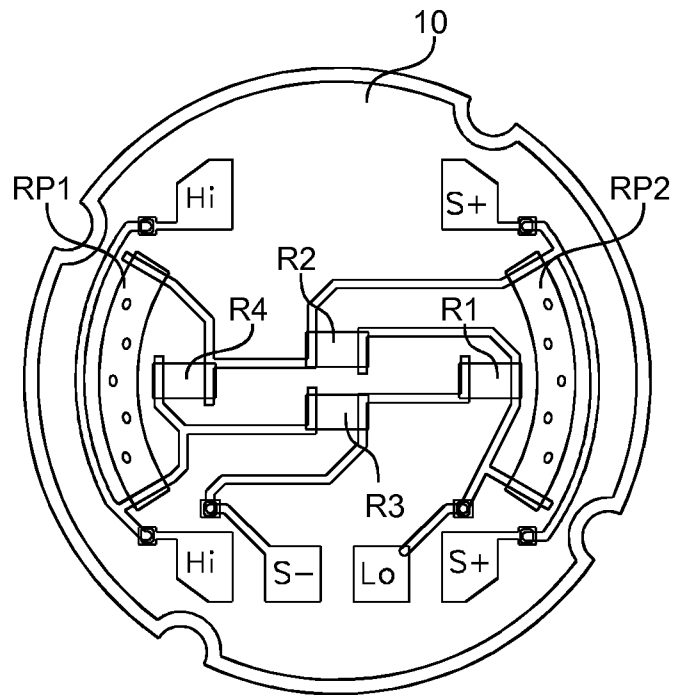


Fig. 9

a)



b)

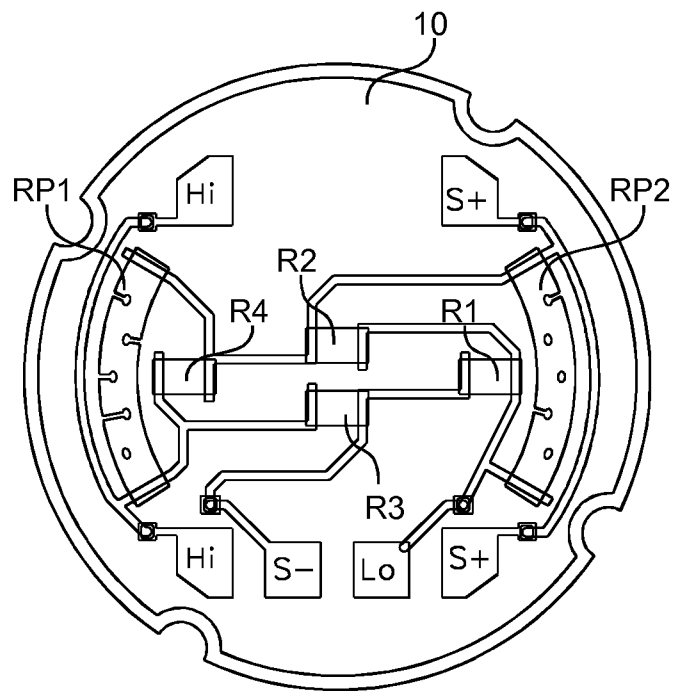


Fig. 10