



MINISTERO DELLO SVILUPPO ECONOMICO
DIREZIONE GENERALE PER LA TUTELA DELLA PROPRIETA' INDUSTRIALE
UFFICIO ITALIANO BREVETTI E MARCHI

UIBM

DOMANDA NUMERO	101996900549697
Data Deposito	17/10/1996
Data Pubblicazione	17/04/1998

Sezione	Classe	Sottoclasse	Gruppo	Sottogruppo
H	02	N		

Titolo

MOTORE ELETTROSTATICO LINEARE

DESCRIZIONE dell'invenzione industriale dal titolo:

"Motore elettrostatico lineare"

di: C.R.F. Società Consortile per azioni, .

nazionalità italiana, Strada Torino 50 - 10143

ORBASSANO (Torino)

Inventori designati: KOSTSOV Edward; DYATLOV

Vincislao, PERLO Piero

Depositata il: 17 ottobre 1996

T096 A 000846

* * *

TESTO DELLA DESCRIZIONE

La presente invenzione si riferisce in generale ai motori elettrostatici di bassa potenza e piccole dimensioni adatti all'impiego come attuatori in applicazioni di tecnologia microelettronica per l'azionamento di dispositivi meccanici e simili in condizioni in cui si verificano vibrazioni e scossoni, come ad esempio in campo automobilistico.

In siffatte applicazioni sono stati proposti motori-attuatori elettrostatici di tipo piezoelettrico, in cui la conversione di energia elettromeccanica è basata sull'effetto piezoelettrico inverso. Questi motori presentano diversi inconvenienti, tra cui un costo di realizzazione relativamente elevato ed una scarsa affidabilità, richiedono tensioni di alimentazione abbastanza

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI D'OUIX
s.r.l.

elevate e sono dotati di un rendimento non sufficientemente elevato. Conseguentemente, l'impiego di questi motori piezoelettrici non è generalmente soddisfacente per gli impieghi menzionati all'inizio, particolarmente a bordo di autoveicoli.

Sono anche noti motori elettrostatici di tipo alternativo lineari comprendenti uno stato piano a struttura capacitiva formata da uno strato metallico e da uno strato di materiale dielettrico, ed un cursore parallelo e distanziato rispetto allo statore e recante mezzi a film sottile conduttore definenti piedi sporgenti elasticamente deformabili disposti in contatto con lo strato di materiale dielettrico dello statore, e mezzi di alimentazione ad impulsi di tensione per applicare un campo elettrico fra detti piedi e detto strato metallico dello statore in modo da deformare elasticamente detti piedi per effetto elettrostatico e produrre una spinta di traslazione del cursore lungo una direzione parallela allo statore.

Nei motori-attuatori elettrostatici di questo tipo, l'impiego di un gran numero di piedi (o "petali" oppure "ciglia") consente di ottenere un rapidissimo effetto di cattura elettrostatica, il che assicura un'elevatissima affidabilità operativa che

in pratica non viene influenzata da vibrazioni, difetti di planarità dello statore, eventuale presenza di polvere. Per tale motivo, questi motori sono considerati adatti per l'applicazione a sistemi microelettronici installati a bordo di autoveicoli.

La caratteristica peculiare della conversione di energia elettromeccanica alla base del funzionamento di questi motori risiede nel fatto che all'atto del rotolamento dei piedi del cursore lungo lo statore si realizza una concentrazione di energia estremamente elevata in corrispondenza dell'interfaccia piedistrato di materiale dielettrico, con una forza equivalente ad una pressione dell'ordine di 100-150 kg/cm², e come risultato la forza con la quale il cursore si sposta linearmente rispetto allo statore raggiunge valori fino a 10 N. L'efficienza di questa conversione di energia è assai superiore a quella tipica dei motori piezoelettrici, e raggiunge valori dell'ordine del 90%.

I motori elettrostatici del tipo suddetto presentano tuttavia alcuni inconvenienti, riassunti in quanto segue:

- tensione di alimentazione relativamente elevata (normalmente non inferiore a 200-300 V);

- manifestazione di scariche parziali a causa della tensione di alimentazione elevata e della dipendenza lineare fra l'intensità del campo elettrico e la polarizzazione dello strato di materiale dielettrico;

- formazione di scariche concentrate nello strato di materiale dielettrico, il che comporta la necessità di utilizzare i flussi di tensione in diverse polarità;

- concentrazione di energia insufficientemente elevata a causa della bassa permittività di un dielettrico a polarizzazione lineare.

Lo scopo della presente invenzione è quello di ovviare ai suddetti inconvenienti, e tale scopo viene raggiunto grazie al fatto che un motore elettrostatico lineare del tipo sopra definito è essenzialmente caratterizzato dal fatto che lo strato di materiale dielettrico è a polarizzazione non lineare nei confronti del campo elettrico applicato.

Preferibilmente, tale strato dielettrico è costituito da un film di materiale termoelettrico, più convenientemente un film di niobato-bario-stronzio.

L'invenzione verrà ora descritta dettagliatamente con riferimento ai disegni annessi,

forniti a puro titolo di esempio non limitativo, nei quali:

la figura 1 è una vista in parziale sezione longitudinale che mostra la struttura elementare di un motore elettrostatico lineare secondo l'invenzione nella condizione diseccitata,

la figura 2 è una vista analoga alla figura 1 che mostra il motore nella condizione eccitata,

la figura 3 è un grafico che mostra l'andamento della polarizzazione del dielettrico del motore secondo l'invenzione nei confronti dell'intensità del campo elettrico applicato,

la figura 4 è un diagramma che mostra l'andamento della conversione di energia elettromeccanica nel motore elettrostatico secondo l'invenzione, e

la figura 5 è un diagramma comparativo che mostra l'andamento del lavoro specifico meccanico in rapporto alla tensione o al potenziale applicato.

Conformemente alle figure 1 e 2, la struttura elementare di un motore elettrostatico lineare secondo l'invenzione comprende un elemento stazionario o statore 1 ed un elemento mobile o cursore 2.

Lo statore 1 comprende una base di materiale isolante 3, uno strato metallico 4 ed uno strato piano di materiale dielettrico 5 sovrapposto sullo strato metallico 4.

Il cursore 2 comprende un supporto di materiale isolante 6 provvisto inferiormente di elementi di appoggio 7 in contatto di scorrimento sullo statore 1, nonchè dei piedi elasticamente deformabili 8 (uno solo dei quali visibile nei disegni) costituiti da elementi a film sottile conduttore sporgenti verso lo statore 1. I piedi 8 presentano, in condizioni indeformata di riposo, una sezione trasversale configurata sostanzialmente a S con flessi ad ampi raggi di curvatura, nel modo rappresentato nella figura 1. Tali piedi 8 sono fissati ad un'estremità al supporto 6 del cursore 2, ed all'estremità opposta sono disposti in contatto sullo strato dielettrico 5 dello statore 1. Eventualmente il foro terminale di tale estremità può anche essere fissato, con qualsiasi sistema convenzionale, allo strato dielettrico 5.

Lo strato metallico 4 e i piedi 8 sono elettricamente connessi, nel modo rappresentato schematicamente nella figura 1, ad una sorgente di alimentazione 9 di impulsi di tensione. Nel

funzionamento, il campo elettrico generato dalla sorgente di alimentazione 9 tra gli elettrodi definiti dallo strato metallico 4 dello statore 1 da una parte e dai piedi 8 del cursore 2 dall'altra, produce una variazione di configurazione di tali piedi 8 dalla condizione indeformata della figura 1 alla condizione elasticamente deformata della figura 2 (in cui i flessi della configurazione S presentano un minore raggio di curvatura) per effetto elettrostatico, ed il conseguente rotolamento lungo lo strato dielettrico 5 delle corrispondenti porzioni dei piedi 8. Conseguentemente, il cursore viene traslato parallelamente allo statore 1, verso sinistra con riferimento alle figure 1 e 2, di un passo di ampiezza prestabilita.

Secondo l'aspetto caratteristico fondamentale dell'invenzione, lo strato dielettrico 5 dello statore 1 è a polarizzazione P non lineare nei confronti del campo elettrico E_i applicato. In particolare, lo strato dielettrico 5 è preferibilmente costituito da un film di materiale ferroelettrico avente un elevato valore di permittività dielettrica ϵ , convenientemente di niobato-bario-stronzio. La saturazione della polarizzazione di siffatti film si verifica in

corrispondenza di un'intensità di campo elettrico

$$E_i = E_{i0} = (1,5 - 2) \cdot 10^6 \frac{V}{m}, \text{ e la polarizzazione } P \text{ è}$$

$$\text{pari a } P_0 = (3 - 20) \cdot 10^{-2} \frac{C}{m^2} \text{ (figura 2).}$$

Il processo di rotolamento elettrostatico dei piedi 8 nel motore secondo l'invenzione che utilizza un siffatto strato dielettrico 5 è dato dalle seguenti equazioni:

$$\epsilon_0 E_i + P(E_i) = \epsilon_0 E_e + \sigma;$$

$$E_i d_i + E_e d_e = U_m$$

in cui:

U_m = ampiezza dell'impulso di tensione;

E_i, E_e = intensità del campo elettrico nel film di materiale ferroelettrico e in un gap operativo, rispettivamente;

σ = densità di una carica elettrica polarizzata sulla superficie del film ferroelettrico;

$P(E_i)$ = dipendenza della polarizzazione del film ferroelettrico in rapporto al campo elettrico;

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m^2}$$

Con la struttura del motore elettrostatico secondo l'invenzione sopra descritta, la carica elettrica è sostanzialmente completamente concentrata

nella regione di rotolamento già completato dei piedi 8 ($d_e \approx 0$), cioè:

$$Q = S \varepsilon_0 E_e \approx S \left[P \left(\frac{U}{d_1} \right) - \sigma \right],$$

poichè ad elevati valori di polarizzazione

$$\varepsilon_0 E_e \ll P \left(\frac{U}{d_1} \right).$$

In base alla relazione che precede, si può tracciare un diagramma relativo alla conversione di energia elettromeccanica del motore elettrostatico secondo l'invenzione, per esempio per $\sigma = 0$. Tale diagramma è illustrato nella figura 4, in cui la linea a tratti indica il caso di un dielettrico a polarizzazione lineare, e l'area OABC indica l'integrale dell'energia elettrica alimentata al motore dalla sorgente di alimentazione 9 durante un ciclo operativo (presenza dell'impulso di tensione, e l'area OAB indica l'integrale dell'energia elettrica durante l'esecuzione del rotolamento elettrostatico dei piedi 8, e l'area OBC indica l'energia elettrica immagazzinata nella struttura capacitiva per $S = S_4$ (completamento del rotolamento elettrostatico); $S_1 = 0$, $S_1 < S_2 < S_3 < S_4$.

Dal diagramma della figura 4 si vede che con un'elevata non linearità $P(E_j)$ dello strato

dielettrico di materiale ferroelettrico 5 e con una compatta aderenza dei piedi 8 su tale strato 5 ($d_e = 0$) il motore secondo l'invenzione presenta un rapporto estremamente elevato fra l'energia elettrica spesa per l'esecuzione del lavoro meccanico e l'energia totale consumata dalla sorgente di alimentazione 9 durante un ciclo. Questo rapporto è considerevolmente più elevato rispetto al caso dei motori convenzionali con rotolamento elettrostatico su un dielettrico a polarizzazione lineare, nonché rispetto al caso dei motori ad effetto piezoelettrico inverso. Ciò è riassunto nella tabella che segue:

Motori elettrostatici	Rapporto fra lavoro meccanico ed energia totale durante un ciclo
Effetto piezoelettrico inverso	0.17 - 0,29
Rotolamento elettrostatico su film ferroelettrico	Prossimo a 1

L'efficienza dei convertitori di energia con rotolamento elettrostatico è caratterizzata da un lavoro specifico di rotolamento elettrostatico per unità di area di rotolamento. Nel caso di un dielettrico a polarizzazione lineare questo lavoro specifico è definito dalla relazione:

$$\alpha = C_o \frac{U^2}{2}$$

in cui $C_0 = \frac{\epsilon\epsilon_0}{d_1} =$ capacità specifica

Dal diagramma della figura 4 si vede che questo lavoro nel caso di rotolamento elettrostatico su materiale dielettrico costituito da film ferroelettrico è espresso dalla relazione

$$\alpha \cong P_0 U$$

nel caso in cui $P_0 > \epsilon E_{\text{emax}}$, in cui E_{emax} = intensità di campo elettrico in corrispondenza della quale compare una considerevole corrente di tunnel ($E_{\text{emax}} \approx 2.10^9$ V/m), si verifica una parziale depolarizzazione del film di materiale ferroelettrico e P_0 dovrebbe essere sostituito da $P_0 - \sigma$ nella formula che precede.

La figura 5 mostra l'andamento del lavoro specifico del rotolamento elettrostatico in funzione della tensione nei casi di rotolamento elettrostatico su film di materiale ferroelettrico (con riferimento alla depolarizzazione, la curva 1 corrisponde a $P_0 = 3.10^{-2}$ C/m²; la curva 1' corrisponde a $P_0 = 20.10^{-2}$ C/m²; $E_{i0} = 1,5.10^6$ V/m), nel caso di rotolamento elettrostatico su dielettrico a polarizzazione lineare (la curva 2 corrisponde al caso in cui $d_e/\sigma = 10^{-7}$ m; la curva 3 corrisponde al caso di un film di polietilentereftalato avente uno spessore di 3-4 μ m). Con linea a tratti è indicato il lavoro specifico nel

caso di rotolamento elettrostatico su film di materiale ferroelettrico per $P_0 = 1.8 \cdot 10^{-2} \text{ C/m}^2$.

Sempre nella figura 5 il lavoro meccanico specifico di un piezoelemento ceramico avente uno spessore di 1 mm in un ciclo operativo è rappresentato dall'area tratteggiata 4.

Come si vede dal diagramma della figura 5, il lavoro specifico di rotolamento elettrostatico è sostanzialmente maggiore nel caso di rotolamento su film di materiale ferroelettrico rispetto al caso del rotolamento su strati di dielettrici a polarizzazione lineare. Questo lavoro è maggiore anche nei confronti di quello dei classici motori ad effetto piezoelettrico inverso. Di particolare importanza è il fatto che i valori relativamente elevati dei lavori specifici nel caso di rotolamento elettrostatico su film di materiale ferroelettrico possono essere ottenuti con tensioni relativamente basse, dell'ordine di 10-30 V.

Apparirà evidente da quanto precede che l'elevata efficienza del motore-attuatore lineare secondo l'invenzione che utilizza come strato dielettrico di rotolamento 5 un film di materiale ferroelettrico deriva dalla non linearità di polarizzazione di tale materiale.

Naturalmente i particolari di costruzione e le forme di realizzazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione, così come definita nelle rivendicazioni che seguono.

BUZZI, NOTARO
ANTONELLI & C.
s. r. l.

RIVENDICAZIONI

1. - Motore elettrostatico lineare comprendente uno statore piano (1) a struttura capacitiva formata da uno strato metallico (4) e da uno strato di materiale dielettrico (5), ed un cursore (2) parallelo e distanziato rispetto allo statore (1) e recante mezzi a film sottile conduttore definenti piedi sporgenti elasticamente deformabili (8) disposti in contatto sullo strato di materiale dielettrico (5) dello statore (1), e mezzi di alimentazione ad impulsi di tensione (9) per applicare un campo elettrico tra detti piedi (8) e detto strato metallico (4) dello statore (1) in modo da deformare elasticamente detti piedi (8) per effetto elettrostatico e produrre una spinta di traslazione del cursore (2) lungo una direzione parallela allo statore (1), caratterizzato dal fatto che lo strato di materiale dielettrico (5) è a polarizzazione (P) non lineare nei confronti del campo elettrico applicato (E).

2. - Motore elettrostatico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detto strato di materiale dielettrico (5) è costituito da un film di materiale ferroelettrico ad elevato valore di permittività dielettrica.

3. - Motore

BUZZI, NOTARO &
ANTONIELLI D'OUX
s.r.l.

elettrostatico secondo la rivendicazione 2, caratterizzato dal fatto che detto strato di materiale dielettrico (5) è costituito da un film di niobato-bario-stronzio.

4. - Motore elettrostatico secondo la rivendicazione 1, caratterizzato dal fatto che detti piedi (8) presentano in sezione trasversale una configurazione sostanzialmente ad S.

5. - Procedimento per la conversione di energia elettromeccanica consistente nel realizzare sotto un campo elettrico un rotolamento elettrostatico di un sottile film conduttore ed elastico (8) su una superficie di materiale dielettrico (5), caratterizzato dal fatto che detto rotolamento elettrostatico viene realizzato in condizioni di intensità di campo elettrico non lineare che aumenta con la vicinanza di detto film conduttore (8) a detta superficie di materiale dielettrico (5).

6. - Procedimento secondo la rivendicazione 5, caratterizzato dal fatto che detta superficie di materiale dielettrico (5) è a polarizzazione (P) non lineare nei confronti del campo elettrico applicato (E) e presenta un elevato valore di permittività dielettrica.

7. - Procedimento secondo la rivendicazione 6, caratterizzato dal fatto che detta superficie di materiale dielettrico (5) è costituita da un film di materiale ferroelettrico.

8. - Procedimento secondo la rivendicazione 7, caratterizzato dal fatto che detto film di materiale ferroelettrico è un film di niobato-bario-stronzio.

Il tutto sostanzialmente come descritto ed illustrato e per gli scopi specificati.

Ing. Franco BUZZI
N. Inv. ALBO 259
(in proprio e per gli altri)



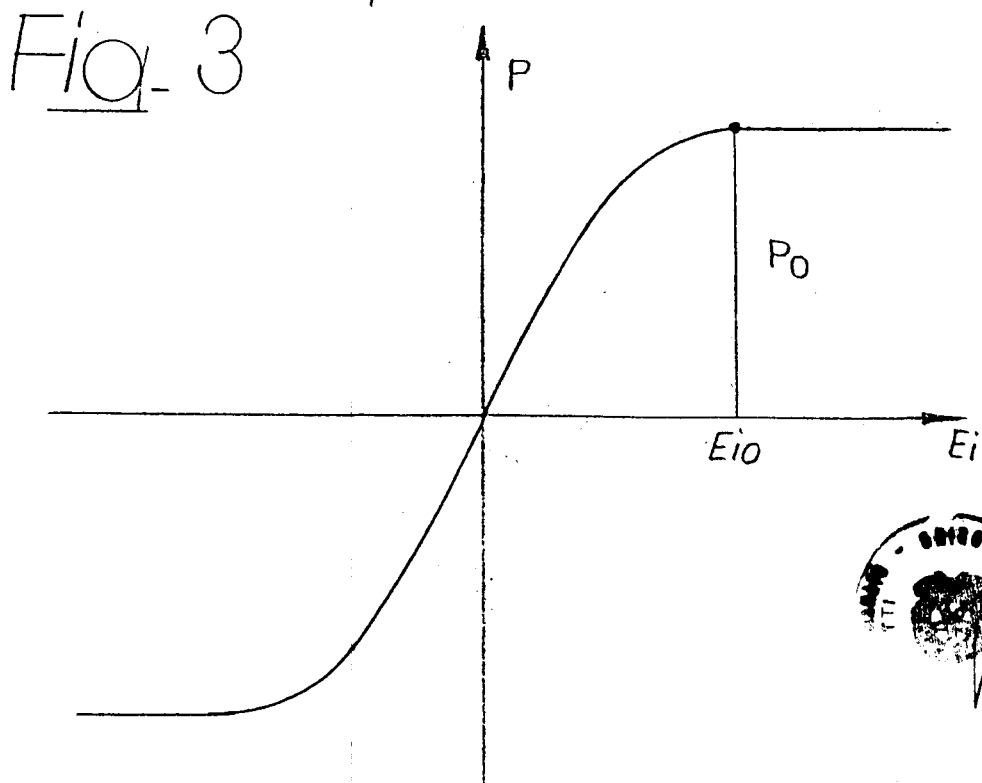
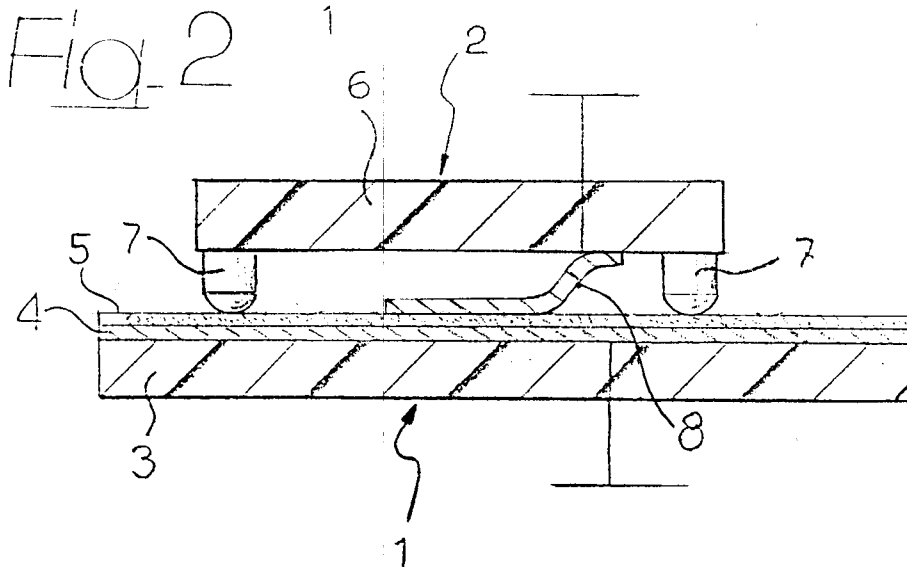
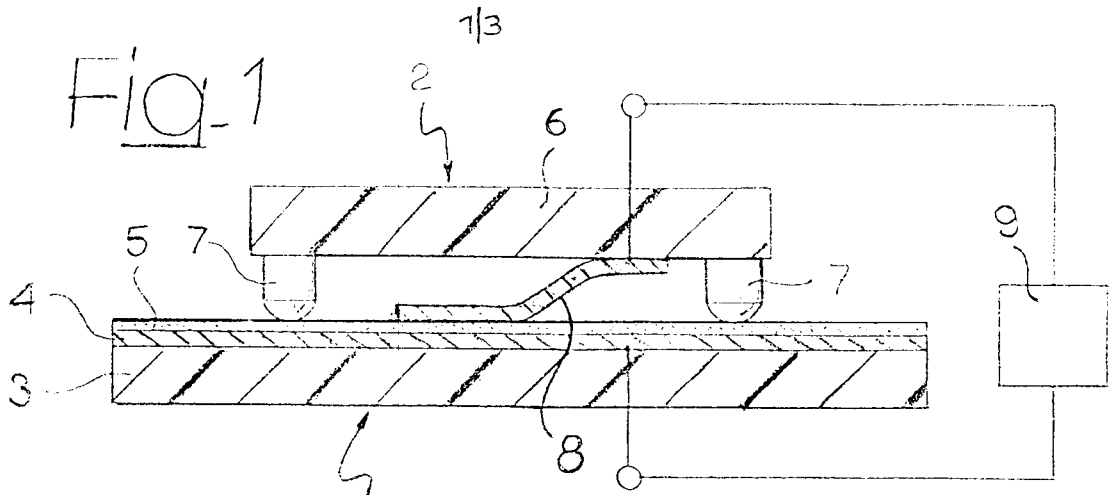


Fig. 5

$a, J/m^2$

