



FI000093579B

**(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLAGNINGSSKRIFT**

93579

**(45) Patentti myönnetty
Patent meddelat 25 02 1995**

(51) Kv.1k.6 - Int.c1.6

G 01L 9/12, G 01P 15/13

SUOMI-FINLAND**(FI)****Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen**

(21) Patentihakemus - Patentansökning	933670
(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag	20.08.93
(24) Alkupäivä - Löpdag	20.08.93
(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig	13.01.95
(44) Nähtäväsipanon ja kuul.julkaisun pvm. - Ansökan utlagd och utl.skriften publicerad	13.01.95

(71) Hakija - Sökande

1. Vaisala Oy, PL 26, 00421 Helsinki, (FI)

(72) Keksijä - Uppfinnare

1. Ryhänen, Tapani, Mannerheimintie 150 A 22, 00270 Helsinki, (FI)

(74) Asiamies - Ombud: Seppo Laine Oy

(54) Keksinnön nimitys - Uppfinningens benämning

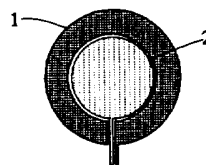
Sähköstaattisen voiman avulla takaisinkytketty kapasitiivinen anturi ja menetelmä sen aktiivisen elementin muodon ohjaamiseksi
Kapacitiv givare som är återkopplad med elektrostatisk kraft och förfarande för styrning av formen hos dess aktiva element

(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö koskee sähköstaattisen voiman avulla takaisinkytkettyä kapasitiivista anturia ja menetelmää sen ohjaamiseksi. Anturi käsittää runkorakenteen (8) tähän kiinnitetyn dynaamisen, mitattavalle suurelle herkän elimen kuten kalvon (9) tai taipuvan palkin (37) varaan ripustetun massan (36), joka on ainakin pinnaltaan johtavaa materiaalia anturin ensimmäisen elektrodin (9, 36) muodostamiseksi ja ainakin kaksi oleellisesti mitattavalle suurelle herkän elimen (9, 37) suuntaista kiinteää, tasomaista toista elektrodia (5, 6), jotka on sijoitettu mitattavalle suurelle herkän elimen (9, 37) samalle puolelle. Keksinnön mukaan toiset elektrodit (5,6) ovat efektiivisiltä pinta-aloiltaan ainakin likimain yhtäsuuria mitattavalle suurelle herkän elimen (9, 37) muodon määrittämiseksi ja pitämiseksi tarkasti määritellyssä geometrisessa tilassa.

Uppfinningen avser en med elektrostatisk kraft återkopplad kapacitiv givare och ett förfarande för styrning av densamma. Givaren omfattar en stomkonstruktion (8), ett vid denna fästast dynamiskt organ, som är känsligt för den storhet som skall mätas och som utgörs av exempelvis ett membran (9) eller en av en flexibel balk (37) uppburen massa (36), som åtminstone på ytan är av ledande material för bildning av en första givarelektrod (9, 36), och minst två med det för mätstorheten känsliga organet (9, 37) väsentligen parallella stationära, plana andra elektroderna (5, 6) anordnade på samma sida av det för mätstorheten känsliga organet (9, 37). Enligt uppfinningen uppvisar de andra elektroderna (5, 6) för bestämning av formen hos det för mätstorheten känsliga organet (9, 37) och för bibehållande av detta i ett exakt definierat geometriskt tillstånd åtminstone approximativt lika stora effektiva ytor.



Sähköstaattisen voiman avulla takaisinkytketty kapasitiivinen anturi ja menetelmä sen aktiivisen elementin muodon ohjaamiseksi

5 Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdannon mukainen sähköstaattisen voiman avulla takaisinkytketty kapasitiivinen anturi.

Keksinnön kohteena on myös menetelmä sähköstaattisen voiman avulla takaisinkytketyn kapasitiivisen anturin aktiivisen elementin muodon ohjaamiseksi.

10 Seuraaviin julkaisuihin viitataan tekniikan tason kuvaamiseksi:

USA:n patentit:

- 15 [p1] U.S. Pat. No. 4,257,274 (Shimada et al.)
[p2] U.S. Pat. No. 4,386,453 (Gianchino et al.)
[p3] U.S. Pat. No. 4,332,000 (Petersen)
[p4] U.S. Pat. No. 4,390,925 (Freud)
[p5] U.S. Pat. No. 3,397,278 (Pomerantz)
[p6] U.S. Pat. No. 4,589,054 (Kuisma)
20 [p7] U.S. Pat. No. 4,628,403 (Kuisma)
[p8] U.S. Pat. No. 4,594,639 (Kuisma)
[p9] U.S. Pat. No. 4,831,492 (Kuisma)
[p10] U.S. Pat. No. 4,996,627 (Zias et al.)
[p11] U.S. Pat. No. 5,019,783 (Cadwell)
25 [p12] U.S. Pat. No. 5,028,876 (Cadwell)
[p13] U.S. Pat. No. 5,048,165 (Cadwell)
[p14] U.S. Pat. No. 4,679,434 (Stewart)
[p15] U.S. Pat. No. 5,095,750 (Suzuki et al.)

30 Tieteelliset artikkelit:

- [a1] K. Warren, *Navigation* 38, 91 (1991).
[a2] K.D. Wise, in *Proceedings of the Workshop Advances in Analogue Circuit Design*, Katholieke Universiteit Leuven, April 1993.

[a3] Y. de Coulon et al, Design and Test of a Precision Servoaccelerometer with Digital Output, The Proceedings of the 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, pp.832-835, 1993]

5 Julkaisut [p1 - p10] käsittelevät kapasitiivisia paineanturirakenteita, joissa elektrodina toimiva piikalvo taipuu jäykän metallielektrodin suhteen. Patenteissa [p1, p10] käsitellään erityisesti anturirakennetta, jolla mitataan anturin kalvon eri puolille vaikuttavien paineiden eroa. Anturirakennetta nimitetään paine-eroanturiksi.

10 Aikaisemmin esitetyt paine-eroanturirakenteet voidaan jakaa epäsymmetrisiin ja symmetrisiin rakenteisiin. Epäsymmetrisessä rakenteessa [p1, p8] kapasitanssin muutos mitataan ainoastaan paineherkän kalvon ja yhden metallielektrodin väliltä. Symmetrisessä rakenteessa [p1, p4, p10] kapasitanssi mitataan paineherkän kalvon ja sen molemmiin puolin sijoitettujen metallielektrodien väliltä, mikä mahdollistaa
15 kapasitanssieron mittauksen.

Rakenteissa, joissa paineherkkä kalvo taipuu paineen vaikutuksen alaisena, lämpötilariippuvuus on karkeasti suoraan verrannollinen kalvon taipumaan. Valtaosa lämpötilariippuvuudesta symmetrisessä paine-eroanturirakenteessa muodostuu
20 piikalvon ja substraatin lämpölaajenemiskerrointen eroista.

Paine-eroanturin mittaukseen on yleisesti käytetty normaalia kapasitanssimittausta. Menetelmiä on useita. Symmetrisen paine-eroanturin mittauksessa saadaan aikaan siirtofunktio, joka on verrannollinen kapasitanssieron. Etuna on huomattavasti
25 parempi lineaarisuus nolapisteen ympäristössä kuin epäsymmetrisellä rakenteella.

Kirjallisuudessa tunnetaan piimikromeekaanisten rakenteiden mittaussysteemejä [p14, p15, a1], jotka perustuvat voimatasapainoperiaatteeseen. Anturiin vaikuttava mekaaninen voima kompensoidaan sähköisellä voimalla. Kahden elektrodin välinen
30 sähköinen vetovoima voidaan laskea kaavasta:

$$F_{electric} = \int_A \frac{\epsilon_0 \epsilon_r U^2 dA}{2d^2} ,$$

missä U on elektrodien välinen sähköinen potentiaaliero, d elektrodien välinen etäisyys, dA pinta-alaelementti ja $\epsilon_0\epsilon_r$ väliaineen dielektrisyysvakio. Jännite/voima-siirtofunktiolle on ominaista sen epälineaarisuus takaisinkytkentäjännitteen suhteen. Symmetrisessä rakenteessa siirtofunktio voidaan kuitenkin linearisoida periaatteessa kahdella eri tavalla. Kun metallielektrodit 74 biasoidaan kuvion 7b mukaisesti jännitteisiin 72 (V_{bias}) ja 73 ($-V_{bias}$) sekä kytketään keskimmäiseen elektrodiin 75 takaisinkytkentäjännite 71 (V), saadaan sähköiseksi nettovoimaksi

$$F_{electric} = \int_A \frac{\epsilon_0\epsilon_r (V+V_{bias})^2}{2d^2} dA - \int_A \frac{\epsilon_0\epsilon_r (V-V_{bias})^2}{2d^2} dA = \int_A \frac{2\epsilon_0\epsilon_r VV_k}{d^2}$$

Keskimmäisen elektrodin 75 jännite ohjataan esivahvistimeen edelleen käsiteltäväksi. RC-piiri 78 toimii ylipäästösuotimena.

10

Toinen mahdollisuus on kytkeä kuvion 7a mukaisesti biasjännitteet 72 (V_{bias}) ja 73 ($-V_{bias}$) metallielektrodeille 74, summata niihin takaisinkytkentäjännite 71 (V), ja kytkeä keskimäinen elektrodi 75 maapotentiaaliin vastuksen 77 kautta. Tuloksena on täsmälleen sama tulos kuin edellä: sähköinen voima on suoraan verrannollinen elektrodien väliseen jännitteeseen. Esivahvistimen 76 ulostulojännite kytketään säätäjälle (ei esitetty). Säätäjä pyrkii nollaamaan ulostulojännitteen.

15

Takaisinkytkävä voima voidaan luoda myös pulssitetulla jännitteellä. Jos pulssien taajuus on selvästi korkeampi kuin anturin dynaamisen kaistan katkaisutaajuus (anturin alin resonanssitaajuus), anturi näkee keskimääräisen voiman

20

$$F_{ave} \approx \frac{\epsilon_0\epsilon_r}{2d^2} \cdot U_{pulse}^2 \cdot T_{pulse} \cdot f_{pulse}$$

missä U_{pulse} on pulssien korkeus, T_{pulse} on pulssin leveys ja f_{pulse} on pulssijonon taajuus (tiheys). Takaisinkytkentää voidaan säätää pulssien korkeudella, leveydellä ja tiheydellä. Käytettäessä vakiokorkuisia pulsseja ja joko pulssinleveys- tai pulssintiheysmodulaatiota saadaan lineaarinen riippuvuus pulssien leveyden tai tiheyden ja keskimääräisen voiman välille [a3, p15]. Keksinnön mukaisen anturin takaisinkytkentä voidaan toteuttaa sekä jatkuvalla jännitteellä että pulssitetulla jännitteellä. Pulssitettu takaisinkytkentä soveltuu erityisesti epäsymmetrisiin rakenteisiin mahdol-

25

listaen lineaarisen siirtofunktion.

Takaisinkytkentää on sovellettu mikromekaanisten kiihtyvyyssantureiden mittaamiseen. Samaa periaatetta voidaan soveltaa luonnollisesti paine-eroanturin mittaamiseen. Symmetrisellä anturilla voimatasapainossa ulostuleva jännite on

$$V_{out} \approx \frac{g^2}{2\epsilon_r \epsilon_0 V_{bias}} \Delta p ,$$

missä Δp on kalvon yli vaikuttava paine-ero ja g on anturin elektrodien välinen etäisyys. Jos käytettävissä on ± 10 V:n jännitealue ja halutaan mitata ± 500 Pa paine-eroaluetta, tulee elektrodien välimatkan olla alle $2 \mu\text{m}$. Käytännössä tarvittavat pienet dimensiot ja pieni paine-eroalue ovat rajoittaneet takaisinkytketyn paine-eroanturin soveltamista. Voimatasapainoperiaatteella toimivan paine-eroanturin etuna on sen lineaarisuus ja pieni lämpötilariippuvuus, koska kalvo on mahdollista pitää suorassa.

Yllä oleva kaava pätee toisaalta vain ideaaliselle anturirakenteelle: anturin paineherkän kalvon 75 ja molempien elektrodien 74 välisten etäisyyksien tulee olla yhtä suuret. Jos elektrodien väliset etäisyyden poikkeavat toisistaan, on seurauksena, että kapasitanssien erotuksen $\Delta C = C_1 - C_2$ nollakohta ei toteudu kalvon ollessa suorassa. Epäideaalisuus kasvattaa anturin lämpötilariippuvuutta ja epälinearisuutta.

Takaisinkytketylle mikromekaaniselle anturille on käytetty kahta eri metallielektrodia siten, että toista elektrodia on käytetty takaisinkytkentään ja toista kapasitanssimittaukseen [p15, a2]. Tällä on pyritty yksinkertaistamaan mittauselektroniikkaa: takaisinkytkentäjännite ja mittaussignaali on erotettu toisistaan.

Tämän keksinnön tarkoituksena on aikaansaada aivan uudentyyppinen sähköstaattisen voiman avulla takaisinkytketty kapasitiivinen anturi ja menetelmä sen aktiivisen elementin muodon ohjaamiseksi.

Keksintö perustuu siihen, että anturin toiset elektrodit ovat efektiivisiltä pinta-

aloiltaan ainakin likimain yhtäsuuria mitattavalle suurelle herkän elimen muodon määrittämiseksi ja tämän pitämiseksi tarkasti määrättyssä geometrisessa tilassa.

5 Keksinnön mukainen menetelmä puolestaan perustuu siihen, että mitattavalle suurelle herkkä elin pidetään tarkasti määrättyssä geometrisessa tilassa.

Täsmällisemmin sanottuna keksinnön mukaiselle anturille on tunnusomaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 1 tunnusmerkkiosassa.

10 Keksinnön mukaiselle menetelmälle puolestaan on tunnusomaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 12 tunnusmerkkiosassa.

Keksinnön avulla saavutetaan huomattavia etuja.

15 Saatettaessa signaalille herkkä mittauselementti taipumattomaan tilaan, voidaan anturin ei-toivottu herkkyys lämpötilan muutoksille minimoida. Anturin mittauselementin muodon mielivaltaisella ohjauksella voidaan aina tarpeen mukaan minimoida dominoivinta virhelähdettä. Keksinnön mukaisella menettelyllä mittausjärjestelmän epälineaarisuus on tarkasti toista kertalukua. Keksinnön mukainen
20 aktiivisen elementin muodon ohjauksen mahdollistava järjestelmä estää myös dielektristen muutosten vaikutuksen takaisinkytketyn järjestelmän geometriseen tilaan.

25 Keksintöä ryhdytään seuraavassa lähemmin tarkastelemaan oheisten kuvioiden mukaisten suorituseseimerkkien avulla.

Kuvio 1 esittää yläkuvantona yhtä keksinnön mukaista elektrodijärjestelyä.

30 Kuvio 2 esittää yläkuvantona toista keksinnön mukaista elektrodijärjestelyä.

Kuvio 3 esittää kaavamaisena sivukuvantona yhtä keksinnön mukaista symmetristä paineanturirakennetta.

Kuvio 4 esittää yläkuvantona kolmatta keksinnön mukaista elektrodijärjestelyä.

Kuvio 5a esittää kaavamaisena sivukuvantona yhtä keksinnön mukaista symmetristä kiihtyvyyssanturirakennetta.

5

Kuvio 5b esittää kaavamaisena yläkuvantona kuvion 5a mukaista symmetristä kiihtyvyyssanturirakennetta leikattuna yläelektrodien tasolta.

10

Kuviot 6a-6b esittävät graafisesti keksinnön mukaisten anturien kapasitanssin riippuvuutta anturiin kohdistuvasta paineesta.

Kuviot 7a-7b esittävät lohkokaavioina kahta vaihtoehtoista ratkaisua keksinnön mukaisen symmetrisen anturin takaisinkytkentäelektroniiikan toteuttamiseksi.

15

Kuviot 8a-8b esittävät lohkokaavioina kahta vaihtoehtoista ratkaisua keksinnön mukaisen epäsymmetrisen anturin mittauselektroniiikan toteuttamiseksi.

Kuviot 9a-9b esittävät sivukuvantoina kahta vaihtoehtoista ratkaisua keksinnön mukaisen matriisiektrodirakenteen toteuttamiseksi.

20

Keksinnön mukaisesti jaetaan anturirakenteen rungossa olevat kiinteät metallielektrodit kahteen tai useampaan osaan siten, että takaisinkytkentä ohjataan kaikille elektrodin osille yhteisesti ja mittaussignaali eri osille mielivaltaisella keskinäisellä vaihesiirrolla ja amplitudilla. Mittaussignaalin vaiheistuksella ja amplitudilla voidaan toteuttaa siirtofunktio, joka painottaa kalvon eri osien välistä merkitystä. Erikoistapauksena on kalvon jakaminen kahteen samankeskiseen ja pinta-alaltaan yhtäsuureen alueeseen. Kuvioissa 1, 2 ja 3 esitetään tällaiset metallielektrodit ympyrän- ja neliönmuotoisille geometrioille.

25

30

Kuvion 1 ratkaisu koostuu ympyränmuotoisesta keskielektrodista 2 ja tätä ympäröivästä ympyränkehäelektrodista 1. Elektrodien 1 ja 2 pinta-alat ovat yhtäsuuret. Luonnollisesti pinta-aloissa voi olla poikkeamia valmistustoleranssien puitteissa.

Kuvion 2 mukainen ratkaisu taas koostuu neliön muotoisesta keskielektrodista 4 ja tätä ympäröivästä neliökehäelektrodista 3.

5 Kuviossa 4 on esitetty kolmas keksinnön mukainen elektrodirakenne, jossa keskielektrodi 22 on kuvion 1 mukaisesti ympyrän muotoinen ja tätä symmetrisesti ympäröivän elektrodin 21 sisäkehä on ympyrän muotoinen ja ulkokehä neliön muotoinen. Tällä ratkaisulla voidaan keskielektrodin 22 herkkyys mitattavalle suurelle maksimoida rakenteessa, jossa elektrodikalvo (ei esitetty) on neliön muotoinen.

10

Kuviossa 3 esitetään mittauskytkentä, jolla saadaan aikaan kolme erilaista siirtofunktiota syöttämällä esitetyn rakenteen elektrodeille mittaussignaali e_s , joko samassa tai vastavaiheessa. Siirtofunktiot ovat seuraavat:

$$\begin{aligned} V_{out}^{(1)} &= \frac{(C_6 + C_5) - (C_8 + C_7)}{C_6 + C_5 + C_8 + C_7} e_s ; \\ V_{out}^{(2)} &= \frac{(C_6 - C_8) - (C_7 - C_5)}{C_6 + C_5 + C_8 + C_7} e_s ; \\ V_{out}^{(3)} &= \frac{(C_6 - C_5) + (C_8 - C_7)}{C_6 + C_5 + C_8 + C_7} e_s , \end{aligned}$$

15 jossa e_s on syötettävän signaalin amplitudi. C_6 on portin 6 ja ulostulon 10 välinen kapasitanssi. C_8 on portin 8 ja ulostulon 10 välinen kapasitanssi. C_5 on portin 5 ja ulostulon 10 välinen kapasitanssi. C_7 on portin 7 ja ulostulon 10 välinen kapasitanssi. Tällöin tapauksessa ⁽¹⁾ mittaussignaali kytketään portiin 6 ja 5 samassa vaiheessa sekä portteihin 8 ja 7 vastakkaisessa vaiheessa; tapauksessa ⁽²⁾ kytketään mittaussignaali portteihin 6 ja 7 samassa vaiheessa sekä portteihin 5 ja 8 vastakkaisessa vaiheessa; tapauksessa ⁽³⁾ kytketään mittaussignaali portteihin 6 ja 8 samassa vaiheessa sekä portteihin 5 ja 7 vastakkaisessa vaiheessa.

25 Vaihtoehtoisesti summataan edellä esitetyle metallielektrodirakenteelle syötettävään takaisinkytkentäsignaaliin erisuuruinen ohjausjännite eri elektrodin osille. Tämä mahdollistaa kalvon muodon mielivaltaisen ohjauksen.

Paineherkkä piikalvo 9 voidaan pitää taipumattomassa tilassa, vaikka kalvon eri

puolilla olevien kondensaattoriaukkojen syvyys on erilainen. Samoin rakenne mahdollistaa epäsymmetrisen anturin kalvon ohjauksen. Kalvon ollessa taipumattomassa tilassa anturin lämpötilariippuvuus minimoituu. Keksinnön edullisen suoritusmuodon mukaisesti siis metallielektrodit jaetaan kahteen samankeskeiseen pinta-

5 alaltaan yhtäsuureen osaan, kuten kuvioissa 1, 2 ja 4 on esitetty. Mittaamalla elektrodirakenteen kapasitanssit C_6 ja C_5 tai C_8 ja C_7 tiedetään, että kalvo on metallielektrodien tason suuntainen vain, jos kalvon samalta puolelta mitatut kapasitanssit ovat yhtäsuuret. Koska kalvo taipuu paineen vaikutuksesta, keskimmäisen kapasitanssin herkkyys paineen vaikutukselle on huomattavasti suurempi kuin

10 ulomman elektrodin ja kapasitanssien erotus on ilmaistavissa.

Kuviossa 6a esitetään kapasitanssit C_6 , C_5 , C_8 ja C_7 sekä erotukset $(C_6 - C_5) - (C_8 - C_7)$ ja $(C_6 - C_5) + (C_8 - C_7)$ paine-eron funktiona, kun anturin kondensaattoriaukot ovat ideaalisesti yhtäsuuret. Kuviossa 6b esitetään sama epäsymmetriselle

15 tapaukselle. Epäsymmetria on 100 nm. Nähdään, että erotus $(C_6 - C_5) - (C_8 - C_7)$ nollautuu, kun kalvon taipuma on nolla. Erotuksen $(C_6 - C_5) + (C_8 - C_7)$ minimiarvo ja derivaatan nollakohta osuu myös tilanteeseen, jolloin kalvon taipuma on nolla. Edellä esitetyn systeemin siirtofunktiot ⁽²⁾ ja ⁽³⁾ nollautuvat, jos kalvo on metallielektrodien suuntainen. Siirtofunktio ⁽²⁾ on lisäksi yksikäsitteinen ja soveltuu

20 kalvon taipuman indikaattoriksi.

Kuvion mukainen anturi on geometrialtaan neliskulmainen ja metallielektrodit ovat muodoltaan kuvion 2 mukaisia. Anturin kalvon halkaisija on 2,4 mm, kalvon paksuus 10 μm ja kondensaattoriaukot 2 μm . Ulomman metallon halkaisija on

25 2,2 mm ja sisemmän noin 1,5 mm.

Anturin takaisinkytkennän kannalta kriittisin dimensio on kondensaattoriaukon syvyys. Oletetaan, että käytettävissä on ± 15 V:n jännitealue. Tällöin sellaisella anturirakenteella, jonka kondensaattoriaukkojen syvyys on 2 μm , voidaan mitata

30 painealue ± 1000 Pa. Painealue on suoraan verrannollinen jännitealueen toiseen potenssiin ja kääntäen verrannollinen kondensaattoriaukon syvyyden toiseen potenssiin. Kondensaattoriaukon syvyyden tulee olla alle 4 μm , että takaisinkytkentäjännite

voidaan pitää kohtuullisena ja dynaaminen alue riittävänä. Kalvon halkaisija voi vaihdella tyypillisesti alueella 1 mm - 4 mm, ja kalvon paksuus on tyypillisesti alle 40 μm .

- 5 Aiemmin esitetyt periaatteet ovat sovellettavissa tietyin geometrian muutoksin myös kiihtyvyyssanturin tai minkä tahansa mikromekaanisen liikkuvaan elementtiin perustuvan anturin mittauselektronikassa. Esimerkkinä voidaan esittää kuvion 5 massaan 36 ja taipuvaan palkkiin 37 perustuvan kiihtyvyyssanturirakenteen tapaus. Toisin kuin paine-eroanturin tapauksessa elektrodi on jaettu kahteen yhtäsuureen
- 10 peräkkäiseen 31, 32 ja 33, 34 osaan. Mittaamalla elektrodien 31, 32, 33, 34 ja massan 36 välistä kapasitanssia ulostulosta 35 tiedetään, että massa 36 on taipumattomassa tilassa, kun massan samalta puolelta mitattujen kahden kapasitanssin (esim. $C_{31} - C_{32}$) erotus on nolla.
- 15 Kuvion 5b mukaisesti massan 36 samalla puolella olevien elektrodien 31 ja 32 tulee olla symmetrisiä massan pituuskeskiakselin 38 suhteen.

Kuvioissa 7a ja 7b esitetään lohkokaaavio takaisinkytketyn piipaine-eroanturin takaisinkytkentäperiaatteesta. Kuvioiden mukaisella elektrodirakenteella,

20 jossa anturikalvon 75 molemmilla puolilla on vain yksi kiinteä elektrodi 74 ei kuitenkaan kyetä toteuttamaan keksinnön mukaista ratkaisua. Niinpä kuvat ovat vain esimerkkejä takaisinkytkentäperiaatteesta. Anturilta detektoidaan jännite, joka on verrannollinen kapasitanssien erotukseen. Jännite syötetään säätäjään, jonka ulostulojännite kytketään takaisin anturille. Voimatasapainossa sähköinen voima

25 kompensoi paine-eron kalvoon aiheuttaman voiman. Periaatetta on tarkemmin kuvattu selitysosan yleisessä osassa.

Kuvion 8a mukaisesti epäsymmetrisen anturin 80 kiinteille elektrodeille 85 ja 84 syötetään vaihtosähkösignaali signaalilähteestä 88. Elektrodeille 84 syötetyn signaalin polariteetti käännetään invertoivalla vahvistimella 86. Anturikalvo 83 on kytketty vastuksen 87 kautta maapotentiaaliin. Elektrodien 85 ja 84 sekä anturikalvon 83 kapasitanssiero ilmaistaan vaiheherkällä ilmaisimella ja ulostulo 91 ohjataan säätä-

30

jään (ei esitetty) kalvon 83 geometrian pitämiseksi halutussa tilassa.

5 Kuvion 8b mukaisesti pulssigeneraattorilla 90 syötetään sähköisiä pulsseja elektrodeille 84 ja 85 siten, että elektrodille 84 syötettyjen pulssien polariteetti käännetään invertoivalla vahvistimella. Kondensaattorien $C_{83,85}$ ja $C_{83,84}$ kapasitanssien välinen ero näkyy varausrona varausvahvistimen 89 ulostulossa 91 ja tätä ulostulotietoa käytetään anturin 80 säätöön sähköisien voimien avulla.

10 Esimerkkinä keksinnön mukaisen tekniikan soveltamisesta monimutkaisemman kalvon muodon generointiin esitetään kuvissa 9a ja 9b aaltoilevan kalvon tapaus, missä tasapaksu kalvo ajetaan aaltoilevaan muotoon. Järjestelmä voidaan toteuttaa periaatteessa kahdella eri tavalla:

15 1) Anturin kondensaattoriaukot muodostavat periodisen rakenteen, jossa niiden syvyys vaihtelee kuvion 9a esittämällä tavalla. Porteista 93 ja 94 (tai 95 ja 96) mitattujen kapasitanssien yhtäsuuruus toteutuu kalvon 97 taipuessa periodisesti. Kalvon ohjauksessa säädetään elektrodiryhmille 93 ja 94 sekä 95 ja 96 kytkettävien jännitteiden erotusta. Kuvion 9a tilanne saadaan aikaan kytkemällä suurempi jännite elektrodien 94 ja 95 sekä pienempi jännite elektrodille 93 ja 96. Elektrodien
20 efektiivisten pinta-alojen suhde määräytyy tällöin kondensaattoriaukkojen syvyyksien suhteessa. Kapasitanssien erotuksen mittauksella voidaan ohjata järjestelmä haluttuun muotoon.

25 2) Kuviossa 9b on esitetty järjestelmä, jossa on saatu aikaan vastaava tulos säätämällä elektrodien efektiivistä pinta-alaa mittauselektroniikan siirtofunktion avulla. Takaisinkytkennässä käytetään jännitteiden erotusta, kuten kuvion 9a tapauksessa. Kalvon 97 aaltomaisella rakenteella voidaan kontrolloida kalvon jännitystilaa. Oletetaan, että kalvo on lähtötilanteessa puristusjännitystilassa. Kalvon 97 aaltomaisen taivutus saa aikaan vetojännityksen, joka kompensoi puristusjännitystilaa.
30 Jännitys voidaan nollata tai kalvo voidaan saattaa vetojännitystilaan.

Niinpä anturin toisille elektrodille voidaan määritellä termi *efektiivinen pinta-ala*.

Oletetaan, että kahden kondensaattorin C_1 ja C_2 erotusta mittaavan elektronikan siirtofunktio on verrannollinen suureeseen $\alpha C_1 - \beta C_2$, missä kertoimet α ja β määräytyvät mittauspiirin ominaisuuksista ja kondensaattoriaukkojen syvyydestä. Jos kapasitanssit C_1 ja C_2 ovat suoraan verrannollisia kondensaattorien pinta-aloihin A_1 ja A_2 , määritellään kondensaattorien efektiivisiksi pinta-aloiksi αA_1 ja βA_2 . Kuvioiden 1, 2 ja 4 mukaisten kaksiosaisten kondensaattorirakenteiden efektiivisten pinta-alojen yhtäsuuruus toteutuu, kun

$$\alpha C_1 - \beta C_2 = 0.$$

Patenttivaatimukset:

1. Sähköstaattisen voiman avulla takaisinkytketty kapasitiivinen anturi, joka käsittää

5 - runkorakenteen (8),

- runkorakenteeseen (8) kiinnitetyn dynaamisen, mitattavalle suurelle herkän
elimen, kuten kalvon (9) tai taipuvan palkin (37) varaan ripustetun massan
(36), joka on ainakin pinnaltaan johtavaa materiaalia anturin ensimmäisen
10 elektrodin (9, 36) muodostamiseksi, ja

- ainakin kaksi oleellisesti mitattavalle suurelle herkän elimen (9, 37)
suuntaista kiinteää toista elektrodia (5, 6), jotka on sijoitettu mitattavalle
suurelle herkän elimen (9, 37) samalle puolelle,

15

t u n n e t t u siitä, että

- toiset elektrodit (5,6) ovat efektiivisiltä pinta-aloiltaan ainakin likimain
yhtäsuuria mitattavalle suurelle herkän elimen (9, 37) muodon määrittämi-
20 seksi ja pitämiseksi tarkasti määritellyssä geometrisessa tilassa.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen anturi, jossa on oleellisen tasomainen kalvo (9),
joka on herkkä sen eri puolille vaikuttavien paineiden erotukselle, t u n n e t t u
siitä, että toiset tasomaiset elektrodit (5, 6) ovat oleellisesti samankeskisiä.

25

3. Patenttivaatimuksen 1 tai 2 mukainen anturi, t u n n e t t u siitä, että toiset
tasomaiset elektrodit (5, 6) ovat pinta-aloiltaan ainakin likimain yhtäsuuria.

4. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen anturi, t u n n e t t u siitä, että
30 toiset tasomaiset elektrodit (1, 2) muodostuvat ympyränmuotoisesta keskielektrodista
(2) ja ainakin yhdestä tätä ympäröivästä ympyränkehäelektrodista (1).

5. Patenttivaatimuksen 1, 2 tai 3 mukainen anturi, t u n n e t t u siitä, että toiset tasomaiset elektrodit (3, 4) muodostuvat neliön muotoisesta keskielektrodista (4) ja ainakin yhdestä tätä ympäröivästä neliökehäelektrodista (3).
- 5 6. Patenttivaatimuksen 1, 2 tai 3 mukainen anturi, t u n n e t t u siitä, että toiset elektrodit (21, 22) muodostuvat ympyrän muotoisesta keskielektrodista (22) ja ainakin yhdestä tätä ympäröivästä elektrodista (21), jonka sisäkehä on ympyrän muotoinen ja ulkokehä neliön muotoinen.
- 10 7. Jonkin edellisen patenttivaatimuksen mukainen anturi, t u n n e t t u siitä, että toiset elektrodit (5, 6 ja 7, 8) on sijoitettu mitattavalle suurelle herkän elimen (9) molemmille puolille.
- 15 8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen anturi, jossa on taipuvan palkin (37) varaan ripustettu massa (37) ja jossa palkin (37) taipuma on herkkä ripustetun massan kokemalle kiihtyvyydelle, t u n n e t t u siitä, että toiset elektrodit (31, 32) ovat oleellisesti palkin pituuskeskiakselin (38) suhteen symmetrisiä ja peräkkäisiä.
- 20 9. Patenttivaatimuksen 1 tai 8 mukainen anturi, t u n n e t t u siitä, että toiset elektrodit (31, 32) ovat efektiivisiltä pinta-aloiltaan ainakin likimain yhtäsuuria.
- 25 10. Patenttivaatimuksen 1, 8 tai 9 mukainen anturi, t u n n e t t u siitä, että toiset elektrodit (31, 32 ja 33, 34) on sijoitettu palkin (36) ja massan (37) molemmille puolille.
- 30 11. Patenttivaatimuksen 1 mukainen anturi, t u n n e t t u siitä, että toiset elektrodit on jaettu hienojakoiseksi matriisirakenteeksi, joka puolestaan on jaettu sähköisesti vähintään kahdeksi efektiiviseltä pinta-alaltaan oleellisesti yhtäsuureksi elektrodiryhmäksi.
12. Menetelmä sellaisen sähköstaattisen voiman avulla takaisinkytketyn kapasitiivisen anturin ohjaamiseksi, joka anturi käsittää

- runkorakenteen (8),

5 - runkorakenteeseen (8) kiinnitetyn dynaamisen, mitattavalle suurelle herkän elimen kuten kalvon (9) tai taipuvan palkin (37) varaan ripustetun massan (36), joka on ainakin pinnaltaan johtavaa materiaalia anturin ensimmäisen elektrodin (9) muodostamiseksi, ja

10 - ainakin kaksi oleellisesti mitattavalle suurelle herkän elimen (9, 37) suuntaista kiinteää toista elektrodia (5, 6), jotka on sijoitettu mitattavalle suurelle herkän elimen (9) samalle puolelle,

jossa menetelmässä mitattavalle suurelle herkkä elin (9, 37) pyritään pitämään paikallaan

15 t u n n e t t u siitä, että

- mitattavalle suurelle herkän elimen (9, 37) muoto määritetään ja tämä pidetään tarkasti määritellyssä geometrisessa tilassa.

20 13. Patenttivaatimuksen 12 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että anturin aktiivinen elementti (9, 37) pidetään taipumattomassa tilassa mittaamalla tämän muoto ja säätämällä mittaustuloksen perusteella aktiivisen elementin (9, 37) ja toisten elektrodien (5, 6) välisiä sähköisiä voimia.

25 14. Patenttivaatimuksen 12 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että toiset elektrodit (5, 6) sovitetaan pinta-alaataan yhtäsuuriksi, mitataan toisten elektrodien (5, 6) ja mitattavalle suurelle herkän elimen (9, 37) väliset kapasitanssit (C_5 , C_6) ja säädetään nämä yhtäsuuriksi ohjaamalla aktiivisen elementin (9, 37) ja toisten elektrodien (5, 6) välisiä sähköisiä voimia.

Patentkrav:

1. Kapacitiv givare återkopplad med hjälp av elektro-statisk kraft och omfattande

- 5 - en stomkonstruktion (8),
- ett vid stomkonstruktionen (8) fäst dynamiskt organ, som är känsligt för den storhet som skall mätas och utgörs av t. ex. ett membran (9) eller en massa (36), som uppbärs av en flexibel balk (37) och som åtminstone på ytan
- 10 är av ledande material för bildande av en första givarelektrod (9, 36), och
- minst två stationära andra elektroder (5, 6), som är väsentligen parallella med det organ (9, 37) som är känsligt för mätstorheten och anordnade på samma sida av det för mätstorheten känsliga organet (9, 37),

15

k ä n n e t e c k n a d av att

- de andra elektroderna (5, 6) för bestämning av formen hos det för mätstorheten känsliga organet (9, 37) och för bibehållande av organet i ett exakt definierat geometriskt tillstånd uppvisar åtminstone approximativt lika stora
- 20 effektiva ytor.

2. Givare enligt patentkravet 1, med ett väsentligen plant membran (9), som är känsligt för skillnaden mellan de tryck som dess olika sidor utsätts för,
- 25 k ä n n e t e c k n a d av att de andra plana elektroderna (5, 6) väsentligen är koncentrisk.

3. Givare enligt patentkravet 1 eller 2, k ä n n e t e c k n a d av att de andra plana elektroderna (5, 6) uppvisar åtminstone approximativt lika stora ytor.

30

4. Givare enligt något av föregående patentkrav, k ä n n e t e c k n a d av att de andra plana elektroderna (1, 2) utgörs av en cirkelformig central elektrod (2) och

minst en cirkelperiferielektrod (1), som omger densamma.

5 5. Givare enligt något av patentkraven 1, 2 eller 3, k ä n n e t e c k n a d av att de andra plana elektroderna (3, 4) utgörs av en kvadratisk central elektrod (4) och minst en kvadratperiferielektrod (3), som omger densamma.

10 6. Givare enligt något av patentkraven 1, 2 eller 3, k ä n n e t e c k n a d av att de andra elektroderna (21, 22) bildas av en cirkelformig central elektrod (22) och minst en elektrod (21), som omger densamma och uppvisar en inre periferi i form av en cirkel och en yttre periferi i form av en kvadrat.

15 7. Givare enligt något av föregående patentkrav, k ä n n e t e c k n a d av att de andra elektroderna (5, 6 och 7, 8) är anordnade på båda sidor om det för mätstorheten känsliga organet (9).

20 8. Givare enligt patentkravet 1, med en av en flexibel balk (37) uppburen massa (36), varvid balkens (37) utslag är känsligt för den acceleration som den uppburna massan utsätts för, k ä n n e t e c k n a d av att de andra elektroderna (31, 32) i förhållande till balkens longitudinella mittaxel (38) är väsentligen symmetriska och anordnade efter varandra.

9. Givare enligt patentkravet 1 eller 8, k ä n n e t e c k n a d av att de andra elektroderna (31, 32) uppvisar åtminstone approximativt lika stora effektiva ytor.

25 10. Givare enligt något av patentkraven 1, 8 eller 9, k ä n n e t e c k n a d av att de andra elektroderna (31, 32 och 33, 34) är anordnade på båda sidor om balken (37) och massan (36).

30 11. Givare enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a d av att de andra elektroderna är uppdelade i en finfördelad matrisstruktur, vilken å sin sida är elektriskt uppdelad i minst två elektrodgrupper, som till sina effektiva ytor är väsentligen lika stora.

12. Förfarande för styrning av en med elektrostatisk kraft återkopplad kapacitiv givare med

- en stomkonstruktion (8),

5

- ett vid stomkonstruktionen (8) fäst dynamiskt organ, som är känsligt för den storhet som skall mätas och utgörs av t. ex. ett membran (9) eller en massa (36), som uppbärs av en flexibel balk (37) och som åtminstone på ytan är av ledande material för bildande av en första givarelektrod (9, 36), och

10

- minst två med det för mätstorheten känsliga organet (9, 37) väsentligen parallella stationära andra elektroder (5, 6), som är anordnade på samma sida av det för mätstorheten känsliga organet (9),

15

varvid man strävar att hålla det för mätstorheten känsliga organet (9, 37) i oförändrat läge,

k ä n n e t e c k n a t av att

20

- formen hos det för mätstorheten känsliga organet (9, 37) bestäms och organet bibehålls i ett exakt definierat geografiskt tillstånd.

25

13. Förfarande enligt patentkravet 12, k ä n n e t e c k n a t av att givarens aktiva element (9, 37) hålles i oböjt tillstånd genom uppmätning av dess form och reglering på basen av mätresultatet av de elektriska krafterna mellan det aktiva elementet (9, 37) och de andra elektroderna (5, 6).

30

14. Förfarande enligt patentkravet 12, k ä n n e t e c k n a t av att de andra elektroderna (5, 6) anordnas att uppvisa lika stora ytor, kapacitanserna (C_5 , C_6) mellan de andra elektroderna (5, 6) och det för mätstorheten känsliga organet (9, 37) mäts och inställs till samma värde genom att styra de elektriska krafterna mellan det aktiva elementet (9, 37) och de andra elektroderna (5, 6).

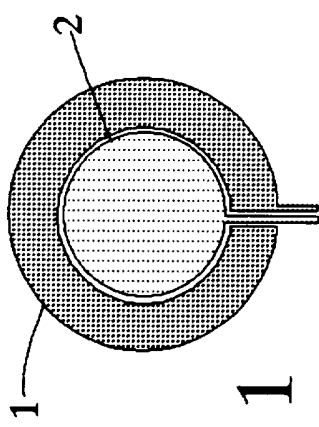


Fig. 1

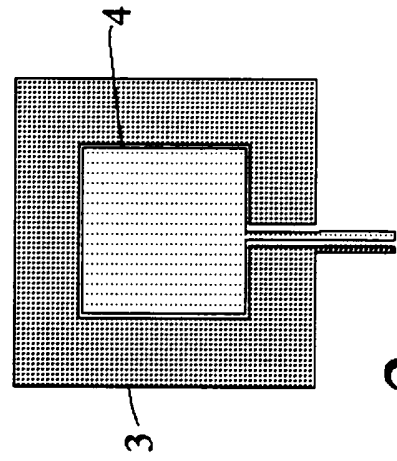


Fig. 2

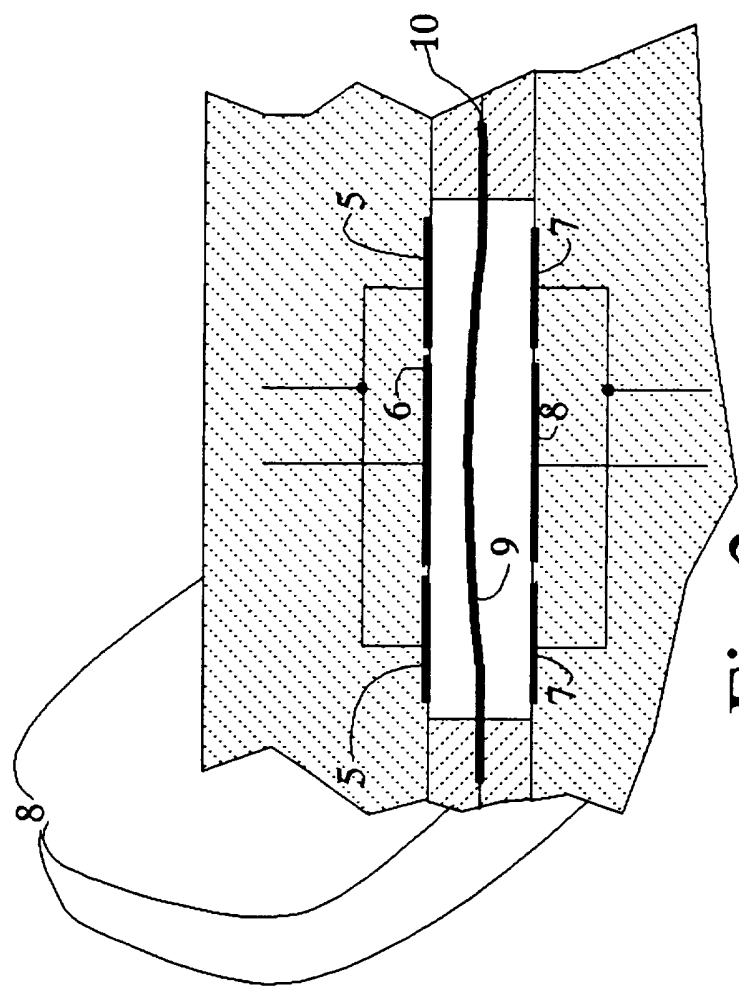


Fig. 3

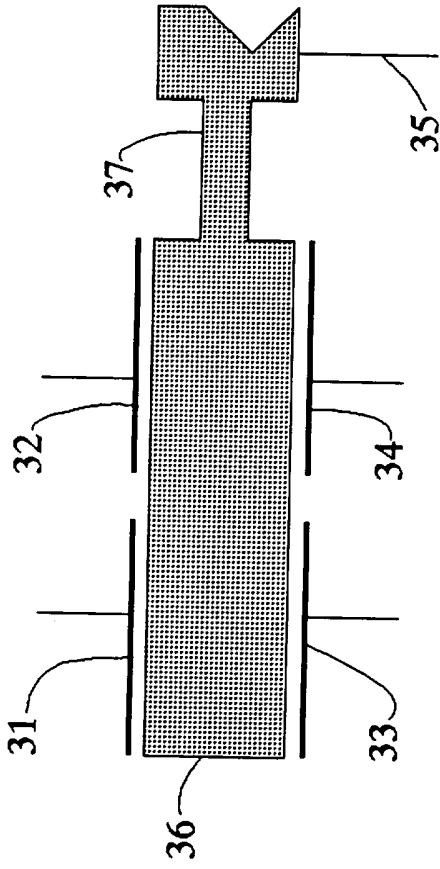


Fig. 5a

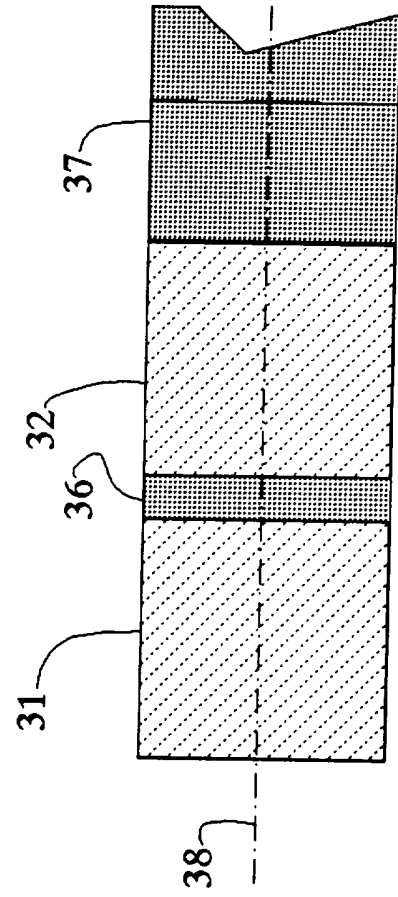


Fig. 5b

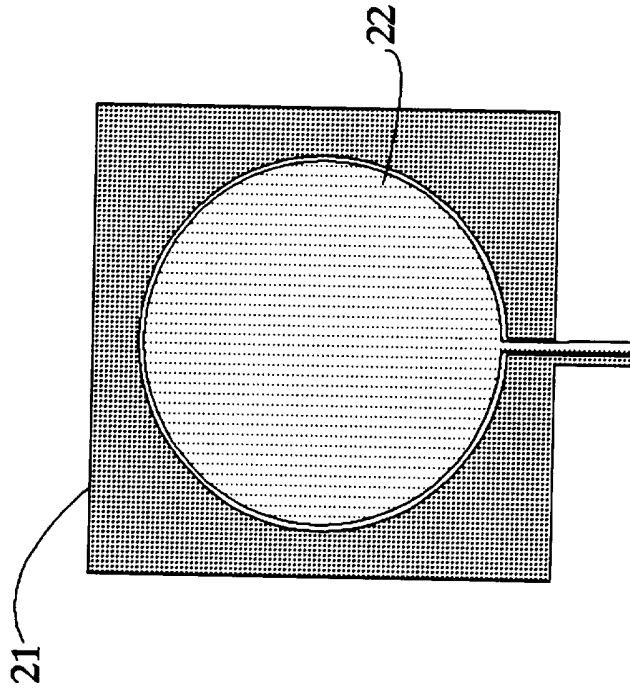


Fig. 4

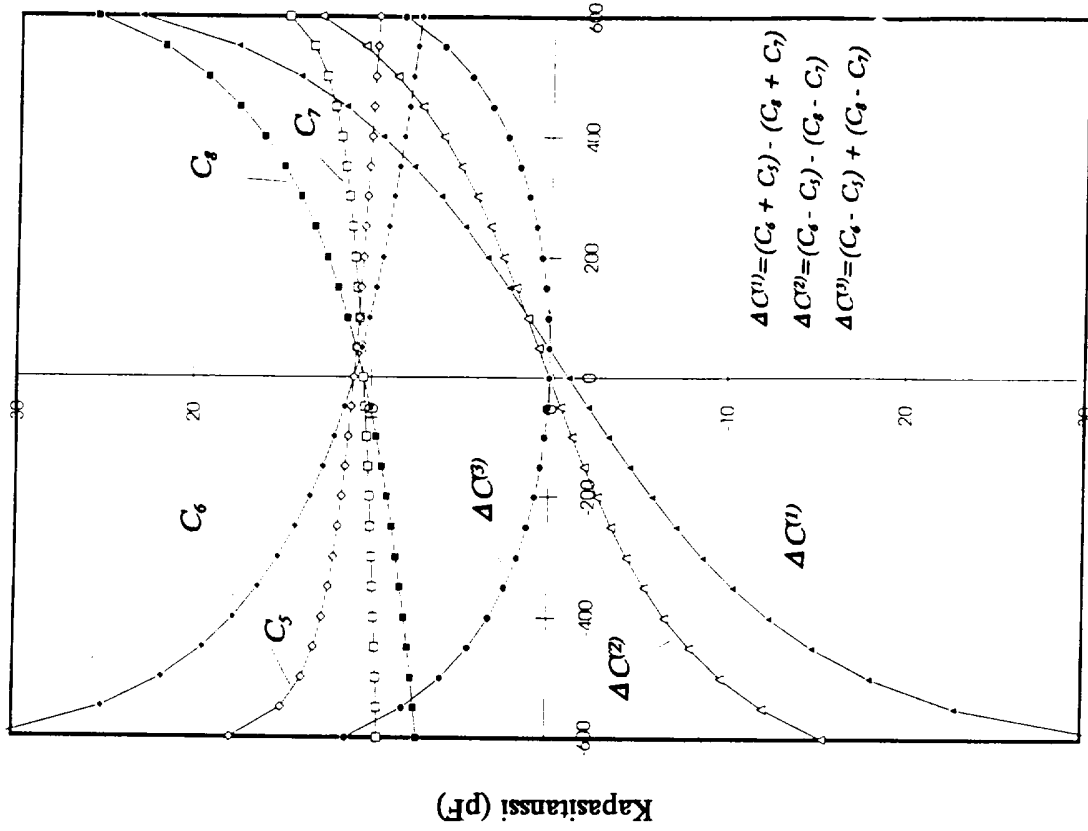


Fig. 6a

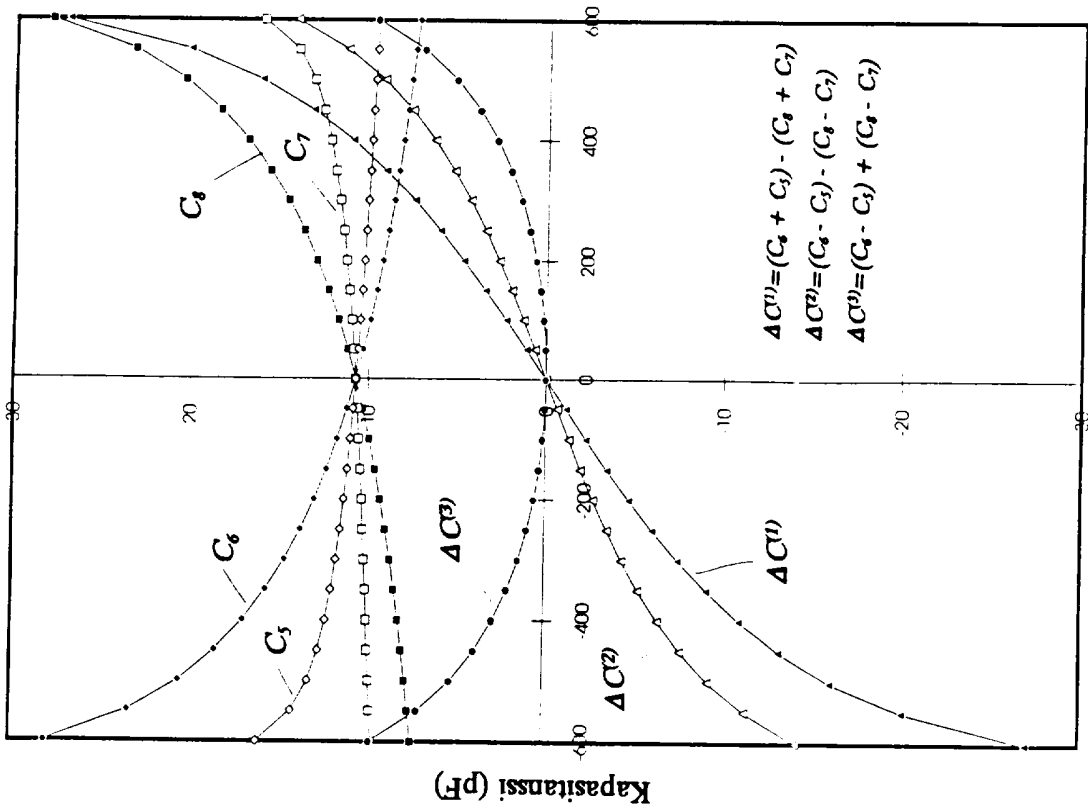


Fig. 6b

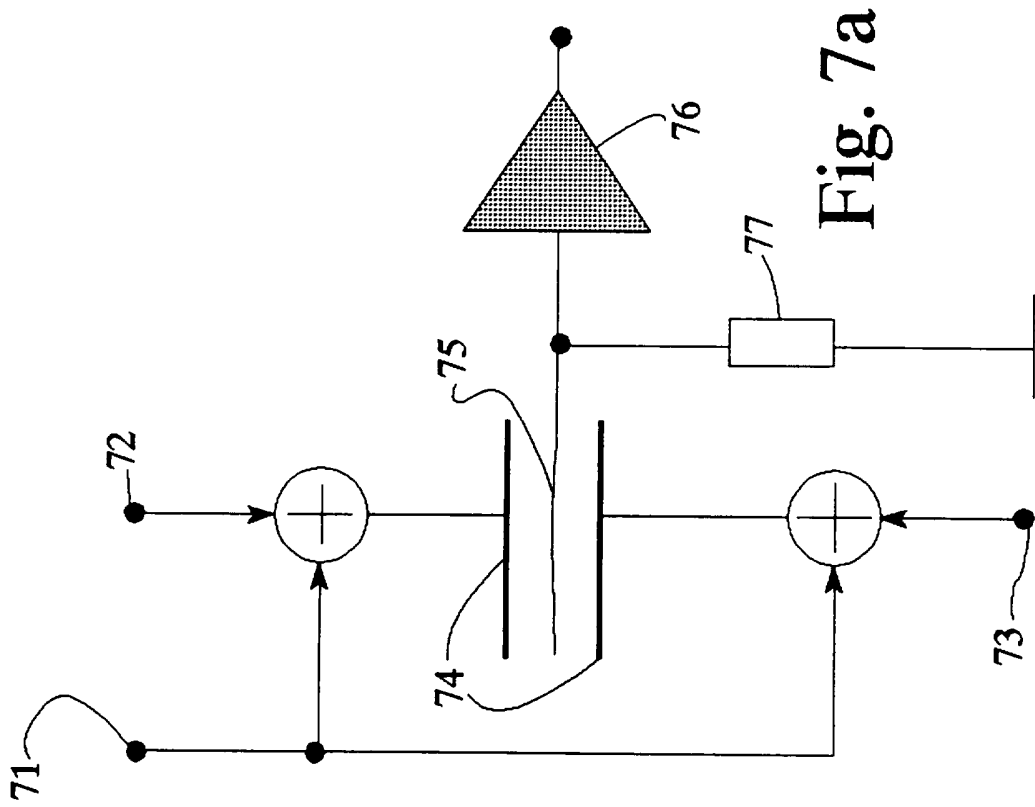


Fig. 7a

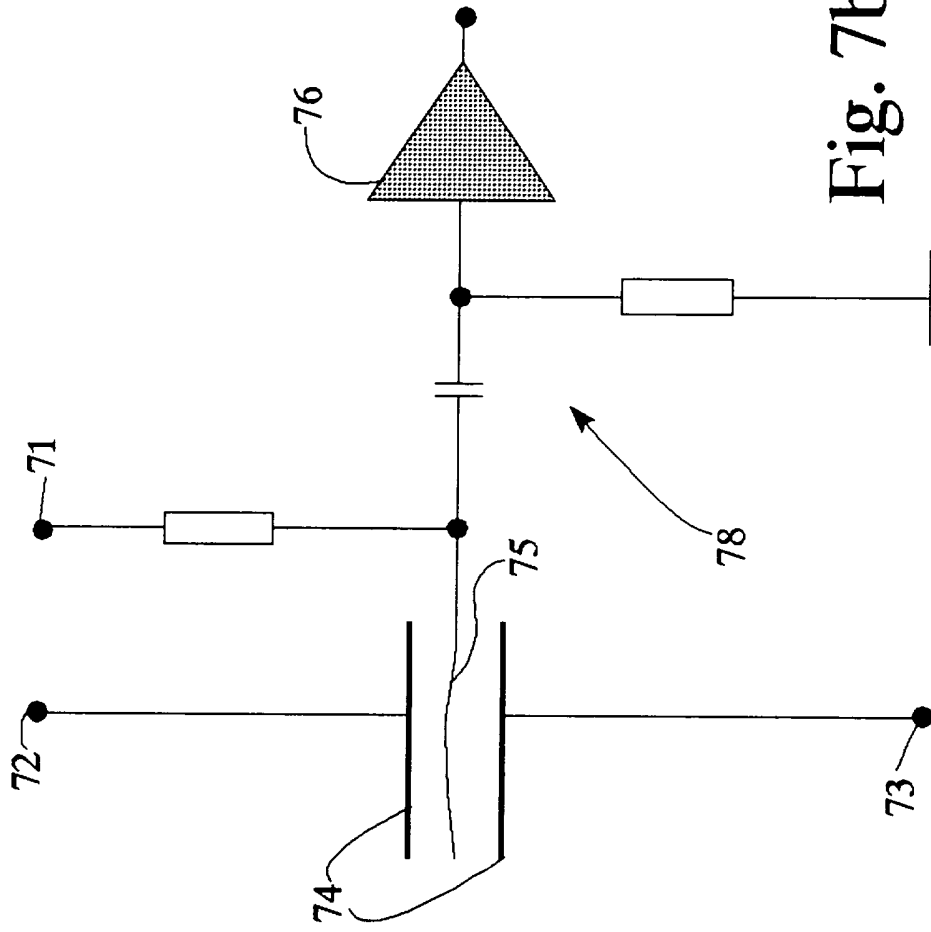


Fig. 7b

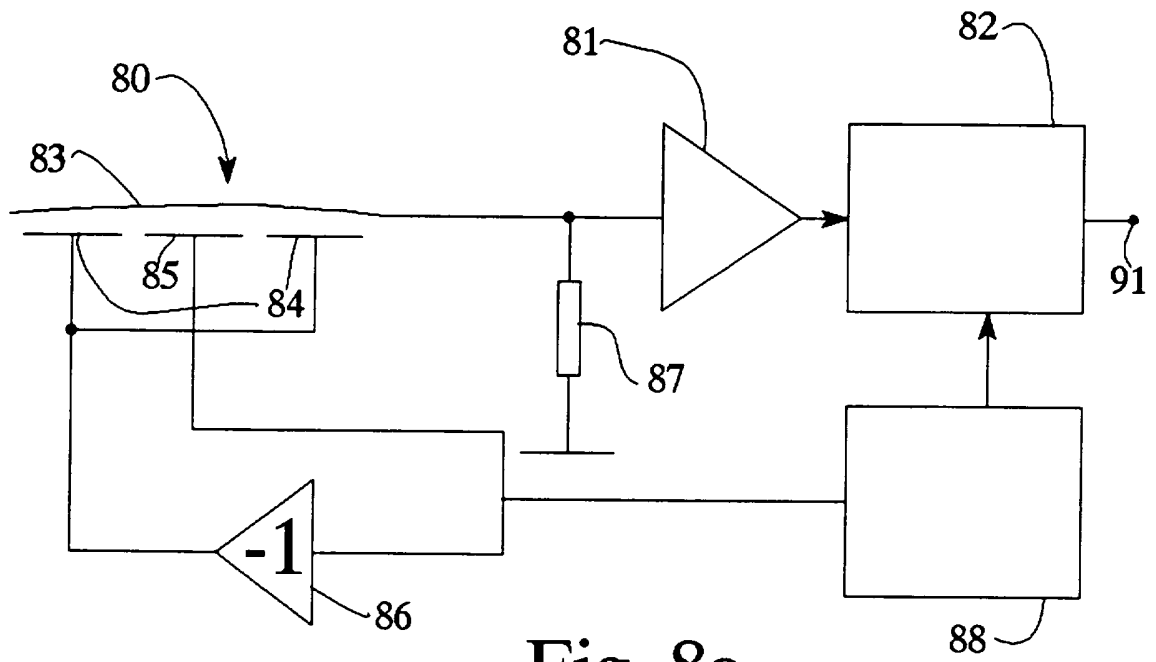


Fig. 8a

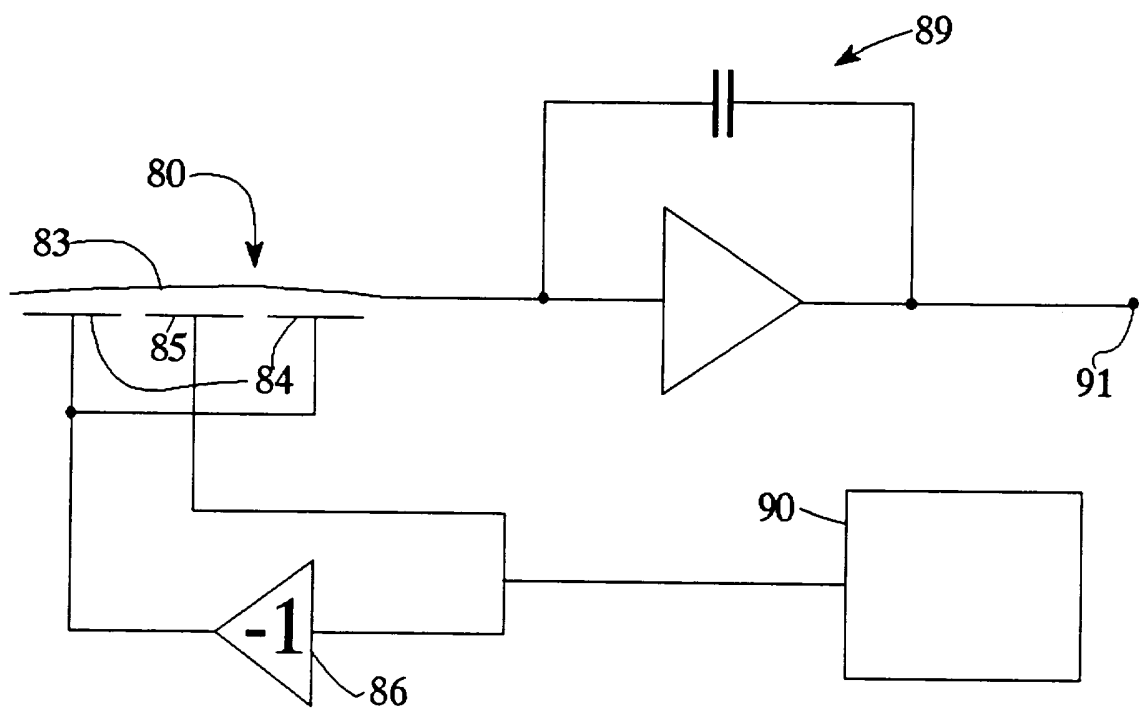


Fig. 8b

