NORGE

(12) **PATENT**

(19) NO (11) **309300** (13) B1

(51) Int Cl[7] H 04 R 19/00, G 01 L 11/00

Patentstyret

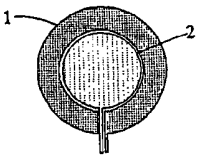
(21) Søknadsnr	19943069	(86) Int. inng. dag og søknadsnummer	
(22) Inng. dag	1994.08.19		
(24) Løpedag	1994.08.19	(85) Videreføringsdag	
(41) Alm. tilgj.	1995.02.21	(30) Prioritet	1993.08.20, FI, 933670
(45) Meddelt dato	2001.01.08		

(71) Patenthaver Vaisala OY, Pl 26, SF-00421 Helsingfors, FI
(72) Oppfinner Tapani Ryhänen, Helsingfors, FI
(74) Fullmektig Tandbergs Patentkontor AS, 0306 Oslo

(54) Benevnelse **Kapasitiv transduser med tilbakekopling ved elektrostatisk kraftpåvirkning, og fremgangsmåte for styring av profilen av dens aktive transduserelement**

(56) Anførte publikasjoner Ingen

(57) Sammendrag



Kapasitiv transduktor med tilbakekobling ved elektrostatisk påvirkning, og fremgangsmåte for styring/regulering av transduktoren. Transduktoren omfatter en hoveddel som danner et hus (8) og holder et dynamisk bevegelig transduktorelement som er følsomt overfor den parameter som skal måles og kan utgjøre en membran (9) eller en referansemasse (36) holdt oppe av en utkraget stav (37).

I alle fall på overflaten av transduktorelementet er det elektrisk ledende slik at det dannes en første elektrode (9, 36) i transduktoren, og denne omfatter videre minst to andre, plane elektroder (5, 6) anordnet på samme side av transduktorelementet (9, 37). De andre elektroder har i det minste hovedsakelig samme effektive areal for å tillate måling av profilen av transduktorelementet (9, 37) og regulering av denne slik at den får en presist fastlagt geometrisk tilstand.

Denne oppfinnelse gjelder som tittelen tilsier en kapasitiv transduser, nærmere bestemt en slik transduser som det fremgår av den innledende del av det etterfølgende patentkrav 1, og transduseren benytter tilbakekopling ved elektrostatisk kraftpåvirkning.

Oppfinnelsen gjelder også en fremgangsmåte for styring av profilen av det aktive transduserelement i en transduser som er tilbakekoplet via elektrostatisk kraftpåvirkning.

Følgende publikasjoner er representative for teknikkens stilling:

Patenter i USA:

[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)

[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)

[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.*)

Vitenskapelige artikler:

[a1] K. Warren, Navigation **38**, 91 (1991).

[a2] K.D. Wise, i 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.

De anførte publikasjoner [ref. p1 - p10] beskriver konstruksjoner av kapasitive trykktransdusere hvor den silisiumskive eller -membran som brukes som aktiv transduser-elektrode er bøyelig i forhold til en stiv metallelektrode. De anførte patentskrifter [ref. p1, p10] angir særlig en transduseroppbygging som er egnet for å måle trykkforskjellen over transdusermembranen som følge av de forskjellige trykk som foreligger på de to sider av membranen. En slik transduser angis som en differensialtrykktransduser.

Kjente differensialtrykktransdusere kan inndeles i asymmetriske og symmetriske typer. I en asymmetrisk transduserkonstruksjon [ref. p1, p8] måles endringen i kapasitans (kapasitiv reaktans [1/ωC]) eller elektrisk kapasitet [C] bare mellom den trykkfølsomme membran og en enkelt metallelektrode, mens kapasitansmålingen i en symmetrisk differensialtrykktransduser [ref. p1, p4, p10] skjer på basis av mellomrommet mellom den trykkfølsomme membran og metallelektroder anordnet på begge sider av denne, idet en slik anordning gjør differensialkapasitansmåling mulig.

I konstruksjoner som er bygget på utbøyning av den trykkfølsomme membran som følge av trykk vil temperaturavhengigheten tilnærmet være en lineær funksjon av membranens utsving eller defleksjon. En hoveddel av temperaturavhengigheten i en symmetrisk differensialtrykktransduser utgjøres av forskjellen i termisk utvidelseskonstant for silisiummembranen og substratet. Den målekrets hvor differensialtrykktransduseren danner hovedelementet bygger på konvensjonell kapasitansmåling. Det er kjent en rekke måleteknikker i så måte. I en målekrets som bruker en symmetrisk differensialtrykktransduser oppnås en egnet overføringsfunksjon som er proporsjonal med den differensielle kapasitans. En fordel med dette er at man får en betydelig forbedret linearitet omkring nullpunktet, i forhold til hva man oppnår med en asymmetrisk transduser.

Litteraturen beskriver målesystemer for mikromekaniske konstruksjoner med silisium [ref. p14, p15, a1] basert på kraftlikevektsprinsippet. Den mekaniske kraft som virker på transduseren kompenseres for av en elektrostatisk og styrbar kraftpåvirkning. Den gjensidige tiltrekningskraft som frembringes av et elektrisk felt mellom to elektroder kan finnes av formelen:

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

hvor U angir den elektriske potensialforskjell mellom elektrodene, d er avstanden mellom elektrodene, dA er et infinitesimalt arealelement av elektrodeoverflaten, mens $\varepsilon_0\varepsilon_r$ er dielektrisitetskonstanten for isolasjonsmediet. Det er karakteristisk at overføringsfunksjonen spenning/kraft er ulineær i relasjon til tilbakekoplingsspenningen. I en symmetrisk oppbygging er imidlertid overføringsfunksjonen i prinsippet lineariserbar ved hjelp av to forskjellige teknikker. Når metallelektrodene 74 (fig. 7b i de tegninger som hører til denne beskrivelse) påtrykkes spenninger 72 (V_{bias}) og 73 ($-V_{bias}$) og en tilbakekoplingsspen-

ning 71 (V) er påtrykt midtelektroden 75 får man følgende resulterende elektrostatiske nettokraft:

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

Spenningen som påtrykkes midtelektroden 75 føres til en forforsterker for prosessering. Høypassfiltrering av målesignalet tilveiebringes av en RC–krets 78. I en alternativ mulighet som er illustrert på fig. 7a er å kople forspenningene 72 og 73 (V_{bias} hhv. $-V_{bias}$) til metallelektrodene 74 og deretter addere tilbakekoplingsspenningen 71 (V) for elektrostatisk kraftpåvirkning til elektrodene og legge midtelektroden 75 til jordpotensial via en motstand 77. Resultatet blir nøyaktig det samme som i den første anordning: Den elektrostatisk påtrykte kraft vil være en lineær funksjon av spenningen som påtrykkes mellom elektrodene. Utgangsspenningen fra forforsterkeren 76 går til en tilbakekoplingskrets (ikke vist) som er konstruert for å kunne regulere utgangsspenningen til null.

Den elektrostatiske tilbakekoplingskraft kan også frembringes ved hjelp av pulserende spenning. Hvis pulstakten av en påtrykt spenning ligger vesentlig høyere enn transduserens dynamiske responsgrensefrekvens (dvs. transduserens laveste naturlige frekvens) vil transduserelektroden påtrykkes av en gjennomsnittlig elektrostatisk kraft som kan uttrykkes ved:

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

hvor U_{pulse} er pulshøyden eller –amplituden, T_{pulse} er pulsbredden, mens f_{pulse} er frekvensen (repetisjonsfrekvensen) av den pulserende styrespenning. Den elektrostatiske tilbakekoplings–kraft kan deretter styres/reguleres ved å modulere pulshøyden, pulsbredden og/eller repetisjonsfrekvensen. Når man bruker pulser med konstant amplitude og med pulsbredde– eller pulsfrekvensmodulasjon kan man oppnå lineært forhold mellom pulsbredden eller repetisjonsfrekvensen og den gjennomsnittlige elektrostatiske kraft [ref. a3, p15]. Tilbakekop–lingsanordningen for oppfinnelsens transduser kan implementeres ved enten å bruke en likespenning eller en regulerende likespenning eller en tilsvarende pulsformet spenning. Tilbakekopling ved hjelp av pulserende reguleringsspenning vil særlig være anvendelig for asymmetriske konstruksjoner, idet en lineær overføringsfunksjon da lettere kan oppnås.

Elektrostatisk krafttilbakekopling er brukt for målekretser som er bygget omkring mikromekaniske akselerasjonstransdusere, og samme prinsipp kan åpenbart anvendes for målekretser som er bygget opp rundt differensialtrykktransdusere. En symmetrisk transduser som er i kraftlikevekt har en utgangsspenning bestemt av:

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

hvor Δp er differensialtrykket over membranen, mens g er elektrodeavstanden (tykkelsen av "gapet"). Hvis man har tilgjengelig et spenningsområde på ± 10 V og man ønsker et differensialtrykkmåleområde på ± 500 Pa må elektrodeavstanden være 2 μm eller mindre. Så små dimensjoner og det snevre differensialtrykkområde som er tilgjengelig har i praksis ført til anvendelse av differensialtrykktransdusere med elektrostatisk krafttilbakekopling, men transdusere av denne type og basert på regulert kraftlikevekt vil være overlegne på grunn av linearitet og liten temperaturavhengighet, siden membranprofilen (i et snitt normalt på dens hovedplan) kan holdes tilnærmet plan som følge av den påtrykte tilbakekoplingskraft.

Formelen ovenfor gjelder imidlertid en ideell transduser, idet avstanden mellom transduserens trykkfølsomme membran 75 og elektrodene 74 på hver side må være like stor. Hvis nemlig avstanden til elektrodene er forskjellig fører det til at forskjellen i kapasitet $\Delta C = C_1 - C_2$ i nullstillingen ikke sammenfaller med membranens plane tilstand. Ethvert avvik fra den ideelle konfigurasjon vil gi større temperaturavhengighet og transduseruline-aritet.

I en tilbakekoplet mikromekanisk transduser brukes fortrinnsvis to separate metallelektroder, nemlig en første elektrode for tilbakekoplingen og en andre elektrode for selve kapasitansmålingen [ref. p15, a2]. Denne anordning tar sikte på en mer liketil målekrets takket være det faktum at man kan skille tilbakekoplingsspenningen og målesignal-spenningen fra hverandre.

Det er et mål med denne oppfinnelse å frembringe en fullstendig ny type kapasitiv transduser med tilbakekopling ved elektrostatisk kraftpåvirkning, og en fremgangs-måte for styring av utsvinget eller profilen av transduserens aktive element. Oppfinnelsen bygger på fremstilling av i det minste tilnærmet identiske effektive arealer for andreordens faste underelektroder i bruk for å måle profilen av transduserelementet og styre dette slik at det får en nøyaktig fastlagt geometrisk snittprofil.

Analogt med dette er oppfinnelsens fremgangsmåte basert på regulering av transduserelementet på slik måte at det får en nøyaktig definert geometrisk snittprofil. Nærmere bestemt er transduseren i henhold til oppfinnelsen kjennetegnet ved de trekk som fremgår av karakteristikken i det etterfølgende patentkrav 1, og fremgangsmåten er nærmere angitt i det tilsvarende krav 8. Oppfinnelsen har vist seg å gi betydelige fordeler sett i relasjon til den kjente teknikk:

Ved å innføre en regulering som bevirker at transduserelementet (membranen)

til enhver tid holder seg plan kan man redusere den uønskede temperaturfølsomhet av en kapasitiv transduser. Ved hjelp av en slik regulering/styring uten restriksjoner for transduserelementprofilen kan virkningen av enhver dominerende feilkilde reduseres til et minimum etter ønske. Den løsning som oppfinnelsen angir reduserer feilen til andre ordens størrelse, og et tilbakekoplingssystem ifølge oppfinnelsen og for regulering av transduserelementets profil hindrer videre endringer i de dielektriske egenskaper av transdusermaterialet fra å påvirke den geometriske status av den tilbakekoplede måleoppstilling.

Nå skal oppfinnelsen gjennomgås i nærmere detalj ved at typiske utførelsesformer blir beskrevet, og det vises samtidig til de tilhørende tegninger.

Fig. 1 viser en elektrodesammenstilling i en transduser ifølge oppfinnelsen, fig. 2 viser samme elektrodesammenstilling i en transduser i en annen versjon, fig. 3 viser skjematisk et oppriss av en symmetrisk transduserkonstruksjon ifølge oppfinnelsen, fig. 4 viser en tredje utførelse av en elektrodesammenstilling ifølge oppfinnelsen, fig. 5a–5b viser diagrammer over den innvendige kapasitet i transdusere ifølge oppfinnelsen, som en funksjon av påtrykt differensialtrykk, fig. 6a–6b viser blokkskjematisk to alternative utførelser av tilbakekoplingselektronikken i en symmetrisk transduser ifølge oppfinnelsen, fig. 7a–7b viser blokkskjematisk to alternative utførelser av måleoppstillinger hvor en asymmetrisk transduser ifølge oppfinnelsen inngår, og fig. 8a–8b viser to alternative former for implementering av en matriseelektrodesammenstilling ifølge oppfinnelsen.

Oppfinnelsens idé er at de stasjonære (andre) metallelektroder som utgjør en integrert del av transduseromslutningen eller –huset er oppdelt i minst to sett underelektroder. Tilbakekoplingssignalet føres i fellesskap til samtlige sett underelektroder, mens målesignalet påtrykkes forskjellige underelektroder under anvendelse av ønsket gjensidig differensiell faseforskyvning og amplitude.

Den differensielle fase– og amplituderegulering av det registrerende målesignal gjør det mulig å oppnå en overføringsfunksjon som gir egnet vekttillegging av de enkelte deler av transdusermembranen. Et spesielt tilfelle har membranoverflaten oppdelt i to konsentriske områder, hvert med samme areal. På fig. 1, 2 og 3 er slike metallelektrodekonfigurasjoner vist for henholdsvis sirkulær og kvadratisk elektrodegeometri.

Den utførelse som er vist på fig. 1 har en sirkulær midtelektrode 2 omkranset av en likeledes sirkulær ringelektrode 1 med samme areal som midtelektroden. Imidlertid kan arealene avvike noe fra hverandre som følge av fremstillingstoleranser.

Den utførelse som er vist på fig. 2 har tilsvarende kvadratisk midtelektrode 4, omsluttet av en rammeformet ringelektrode 3 med kvadratisk form.

En tredje utførelse av en elektrodesammenstilling ifølge oppfinnelsen er vist på fig. 4 hvor midtelektroden 22 er sirkulær som på fig. 1, mens den omsluttende

ringelektrode 21 er innvendig sirkulært avgrenset og utvendig kvadratisk. En slik geometri gir størst mulig følsomhet for midtelektroden 22 for den varierende målestørrelse, innenfor en oppbygging med kvadratisk (ikke vist) transdusermembran vis–à–vis midtelektroden.

Fig. 3 viser en måleoppstilling skjematisk, hvor tre forskjellige overføringsfunksjoner kan realiseres ved forskjellig tilførsel av et målesignal e_s til elektrodene, enten i fase eller ute av fase. De forskjellige overføringsfunksjoner er således:

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

hvor e_s er signalamplituden av målespenningen, C_6 er den elektriske kapasitet mellom den faste elektrode 6 og utgangsledningen 10 (forbundet med membranen 9), C_8 er kapasiteten mellom den faste elektrode 8 og utgangsledningen 10, C_5 er kapasiteten mellom den faste elektrode 5 og utgangsledningen 10, og C_7 er kapasiteten mellom den faste elektrode 7 og utgangsledningen 10. Målesignalet er i den første variant (1) påtrykt med samme fase på de faste elektroder 6 og 5 og i motfase på elektrodene 8 og 7, i den andre versjon (2) er målesignalet ført til elektrodene 6 og 7 i fase og i motfase til elektrodene 5 og 8, mens i den tredje versjon (3) er målesignalet ført i fase til elektrodene 6 og 8 og i motfase til elektrodene 5 og 7.

Alternativt kan det elektrostatiske krafttilbakekoplingssignal til en metallelektrodesammenstilling slik som beskrevet ovenfor påtrykkes ved forskjellige reguleringsspenningsnivåer til de enkelte områder av elektrodesammenstillingen. En slik anordning letter en videre kontroll av transduserens aktive elektrodes eller membranens snittprofil.

Ved å bruke en slik elektrodesammenstilling kan den trykkfølsomme silisiummembran 9 holdes plan selv om avstanden ut til de stasjonære elektroder på begge sider er forskjellig. Elektrodeoppbyggingen letter også reguleringen av membranen i en asymmetrisk transduser, og følgelig kan temperaturavhengigheten reduseres ved å holde membranen i ikke utsvingt tilstand. I henhold til en foretrukket utførelsesform av oppfinnelsen er metallelektrodene oppdelt i to konsentriske områder med samme innbyrdes areal, så som vist på fig. 1, 2 og 4. Enkle målinger av elektrodesammenstillingens enkelte kapasiteter C_6 og C_5 eller C_8 og C_7 tilsier at når kapasiteten på samme side av membranen er den samme vil membranen være plan og strekke seg parallelt med overflaten av den stasjonære metallelektrode. Skulle membranen bøyes ut ved et påtrykt trykk vil følsomheten i midtområdet bli vesentlig større enn i det ytre område, og en kapasitetsforskjell vil kunne registreres.

Fig. 5a viser hvordan kapasitetene C_6, C_5, C_8 og C_7 såvel som kapasitetsforskjellsdifferansen $(C_6–C_5)–(C_8–C_7)$ og –summen $(C_6–C_5)+(C_8–C_7)$ arter seg som funksjon

av differensialtrykket over membranen, for ideelle og identiske elektrodeavstander på begge sider av denne. Fig. 5b viser det samme for det asymmetriske tilfellet, idet asymmetrien er 100 nm. Det fremgår at kapasitetsforskjellsdifferansen $(C_6-C_5)-(C_8-C_7)$ blir null for null utbøyning av membranen, og den minste verdi av kapasitetsforskjellssummen $(C_6-C_5)+(C_8-C_7)$ og nullkryssingspunktet for den førstederiverte vil også sammenfalle med tilfellet for null utbøyning av membranen. Verdiene for overføringsfunksjonene i versjon (2) og (3) i det ovenfor beskrevne system vil være null når membranen ligger parallelt med metallelektrodene, forøvrig vil overføringsfunksjonen i versjon (2) være monoton og følgelig egnet som indikator for membranutbøyningen.

Den transduser som diagrammene viser kapasitetsvariasjonen av har kvadratisk konfigurasjon og med metallelektroder slik som på fig. 2. Membrandiameteren er 2,4 mm, dens tykkelse 10 μm, og elektrodeavstanden på begge sider av membranen er 2 μm. Den ytre metallelektrodes bredde og høyde er 2,2 mm, og den indre elektrodes tilsvarende bredde og høyde er omkring 1,5 mm.

Den mest kritiske dimensjon i transduseren når det gjelder tilbakekoplingen er elektrodeavstanden som bestemmer kapasiteten mellom de stasjonære elektroder og membranen. Det antas innledningsvis at man har tilgjengelig et reguleringsspenningsområde på ±15 V. En slik transduser hvor elektrodeavstanden er 2 μm kan derved brukes for trykkmålinger over området ±1000 Pa, idet trykkområdet er direkte proporsjonalt med annen potens av reguleringsspenningen, men omvendt proporsjonal med annen potens av elektrodeavstanden. Avstanden må være mindre enn 4 μm for å holde tilbakekoplingsspenningen begrenset til en fornuftig verdi og samtidig ha et tilstrekkelig stort dynamisk måleområde. Tverrmålet over membranen kan typisk varieres innenfor 1 – 4 mm, og membrantykkelsen kan typisk være 40 μm.

Fig. 6a og 6b viser grunnprinsippene for tilbakekoplingskretsene for en regulert differensialtrykktransduser med silisiummembran. Elektrodeoppbyggingen med bare en fast elektrode 74 på begge sider av membranen 75 er imidlertid forenklet og i henhold til det som er gjennomgått ovenfor ikke spesielt egnet for en praktisk utførelse i tråd med oppfinnelsen. Membranene skal derfor bare betraktes illustrativt. En spenning som er proporsjonal med kapasitetsforskjellen på begge sider av membranen kan tas ut fra transduseren og blir ført til en reguleringskrets hvis utgangsspenning føres tilbake for regulering av transduseren. Ved kraftlikevekt vil den kraftpåvirkning som skyldes det elektriske felt oppveie den mekaniske kraft som påtrykkes som følge av differensialtrykket over membranen. Dette prinsipp ble allerede gjennomgått i den første del av beskrivelsen.

Det vises nå til fig. 7a hvor det fremgår at en vekselspenning tas ut fra en drivsignalkilde 88 til de faste elektroder 85 og 84 i en asymmetrisk transduser 80. Polariteten av signalet til elektrodene 84 inverteres i en inverterende forsterker 86. Transdusermembranen 83 er galvanisk koplet til jord over en motstand 87. Kapasitetsforskjellen mellom de to kondensatorer som dannes på begge sider av membranen 83 og mot hver av de faste

elektroder 85 og 84 registreres ved hjelp av en faseføIsom detektor hvis utgangssignal på utgangen 91 går til en tilbakekoplingskrets (ikke vist) egnet for å regulere transdusermembranen 83 til ønsket geometrisk tilstand.

Fig. 7b viser en elektrisk pulsgenerator 90 for å påtrykke elektrodene 84 og 85 en pulsspenning hvis polaritet på elektroden 84 inverteres via den inverterende forsterker 86. Kapasitetsforskjellen mellom membranen 83 og elektroden 85 og mellom membranen og elektroden 84 blir registrert ved hjelp av en ladningsforsterker 89 hvis utgang 91 gir en spenning som er proporsjonal med kondensatorenes ladningsforskjell, og denne utgangsspenning brukes til tilbakekopling i transduseren 80 via elektrostatisk kraftpåvirkning på transduserelementet, membranen 83.

Et eksempel på anvendelse av oppfinnelsens teknikk på mer komplisert regulering av en transdusermembran og dennes snittprofil er illustrert på fig. 8a og 8b, hvor membranen i en transduser er vist bølgeformet, for en membran som i utgangssituasjonen er plan. En slik konfigurasjon kan fremkomme på i alle fall to forskjellige måter:

1) Fig. 8a viser et system hvor kondensatorene som dannes mellom membranen og de faste elektroder er forskjøvet regelmessig frem og tilbake over membranens utstrekning, og den kapasitet som kan måles mellom ledningene 93 og 94 (eller alternativt mellom ledningene 95 og 96) blir lik når membranen 97 er regulert til en periodisk bølgestruktur. I membranens reguleringsstyring er de differensialspenninger som påtrykkes ledningene 93 og 94 såvel som 95 og 96 tilbakekoplet. Fig. 8a viser en situasjon som kan oppnås ved å påtrykke en høyere spenning på ledningene 94 og 95 og en lavere spenning på ledningene 93 og 96. Forholdet mellom effektivt elektrodeareal blir derved bestemt av forholdet mellom de forskjøvne distanser og de tilsvarende endringer i elektrodeavstanden. Membranen som inngår i et slikt kondensatorsystem kan tilbakekoples til den får en ønsket snittprofil, ved hjelp av måling av kapasitetsforskjellene.

2) Fig. 8b viser et system hvor samme resultat kan oppnås ved å regulere det effektive areal av elektrodene via overføringsfunksjonen for målekretsen. Den differensielle spenningsregulering brukes i tilbakekoplingskretsen på tilsvarende måte som gjennomgått ovenfor og illustrert på fig. 8a. Bølgeformen av membranen 97 kan brukes for regulering av dens strekktilstand, f.eks. kan man i utgangspunktet gå ut fra at membranen er under trykk. Deretter vil bølgeformen bevirke strekk enkelte steder og som opphever trykket, og det trykk som totalt påtrykkes membranen kan kompenseres og faktisk overkompenseres slik at membranen bare vil bli utsatt for strekk.

I henhold til de reguleringsmekanismer som er gjennomgått ovenfor kan det allerede brukte uttrykk "effektive areal" defineres for de faste elektroder i transduserkonfigurasjonen. Den elektronikkrets som utfører målingen av kapasitetsforskjellen mellom to kondensatorer med sin respektive kapasitet C_1 og C_2 kan antas å ha en overføringsfunksjon med form $\alpha C_1 - \beta C_2$, hvor koeffisientene α og β bestemmes ved konfigurasjonen av

målekretsen og de enkelte elektrodeavstander som representerer kapasiteten. Hvis kapasitetene C_1 og C_2 er direkte proporsjonale med kondensatorenes areal A_1 hhv. A_2 vil det effektive kondensatorareal kunne defineres som αA_1 og βA_2, og den toområders kondensatoroppbygging som er illustrert på fig. 1, 2 og 4 vil kunne benytte uttrykket for effektivt areal når følgende betingelse er oppfylt:

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

Patentkrav

1. Kapasitiv transduser med tilbakekopling ved elektrostatisk kraftpåvirkning og omfattende:

et hus (18),

et dynamisk, bevegelig transduserelement som er følsomt for den variable størrelse som skal måles og er festet til huset (18), idet dette transduserelement videre er elektrisk ledende, i det minste på overflaten slik at det dannes en første elektrode (9, 75, 83, 97) i transduseren, hvor transduserelementet videre omfatter en i alt vesentlig plan membran og minst to andre elektroder (5, 6, 7, 8) i huset (18) og anordnet hovedsakelig i flukt med hverandre, konsentrisk i forhold til hverandre og parallelt med transduserelementet (9, 75, 83, 97), på samme side i forhold til dette,

k a r a k t e r i s e r t v e d at de andre elektroder (5, 6, 7, 8) i det minste hovedsakelig har samme effektive areal for å tillate måling av transduserelementets - i form av membranens (9, 75, 83, 97) - snittprofil og under regulering bevirke at denne inntar en presist fastlagt geometrisk tilstand, idet det er anordnet tilbakekoplingsmidler for denne regulering for holde membranen plan.

2. Transduser ifølge krav 1,

k a r a k t e r i s e r t v e d at de andre, plane elektroder 5, 6, 7, 8) i det minste hovedsakelig har samme areal.

3. Transduser ifølge krav 1 eller 2,

k a r a k t e r i s e r t v e d at de andre, plane elektroder (1, 2, 5, 6, 7, 8) utgjøres av en sirkulær midtelektrode (2) og minst én ringelektrode (1) som omslutter denne.

4. Transduser ifølge ett av kravene 1, 2 eller 3,

karakterisert ved at de andre, plane elektroder (3, 4, 5, 6, 7, 8) omfatter en kvadratisk midtelektrode (4) som er omsluttet av minst én kvadratisk, rammeformet ringelektrode (3).

5. Transduser ifølge ett av kravene 1, 2 eller 3,

karakterisert ved at de andre elektroder (5, 6, 7, 8, 21, 22) omfatter en sirkulær midtelektrode (22) som er omsluttet av minst én elektrode (21) med sirkulær indre utsparing og kvadratisk ytre omkrets.

6. Transduser ifølge ett av de foregående krav,

karakterisert ved at de andre elektroder (5, 6, 7, 8) er anordnet på begge sider av transduserelementet i form av membranen (9).

7. Transduser ifølge krav 1,

karakterisert ved at de andre elektroder er fremstilt i en flerelements matrise som er utformet med elektriske forbindelser til minst to sett underelektroder med i alt vesentlig samme innbyrdes effektive areal.

8. Fremgangsmåte for regulering av en transduser som er egnet for tilbakekopling via elektrostatisk kraftpåvirkning og som omfatter:

et hus (18),

et dynamisk, bevegelig transduserelement som er følsomt for den variable størrelse som skal måles og er festet til huset (18), idet dette transduserelement videre er elektrisk ledende, i det minste på overflaten slik at det dannes en første elektrode (9, 75, 83, 97) i transduseren, hvor transduserelementet videre omfatter en i alt vesentlig plan membran og minst to andre elektroder (5, 6, 7, 8) i huset (18) og anordnet hovedsakelig i flukt med hverandre, konsentrisk i forhold til hverandre og parallelt med transduserelementet (9, 75, 83, 97), på samme side i forhold til dette,

karakterisert ved at reguleringen, for å bringe transduserelementet (9, 75, 83, 97) til plan geometrisk form, utføres ved:

måling av dets snittprofil, bruk av måleresultatet for tilbakekopling, idet denne tilbakekopling styrer de elektrostatiske kraftpåvirkninger mellom transduserelementet (9, 75, 83, 97) og de andre elektroder (5, 6, 7, 8).

9. Fremgangsmåte ifølge krav 8,

karakterisert ved tilpasning av de andre elektroder (5, 6, 7, 8) slik at de får samme innbyrdes areal, måling av den gjensidige kapasitet (C5, C6) mellom de andre elektroder (5, 6) og transduserelementet i form av membranen (9), og innregulering av de gjensidige kapasiteter (C5, C6) til innbyrdes samme verdi ved tilbakekopling for regulering av de elektrostatiske kraftpåvirkninger mellom membranen (9) og de andre elektroder (5, 6).

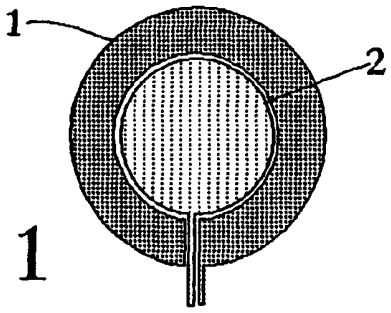


Fig. 1

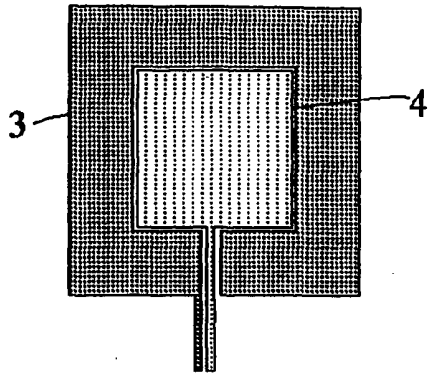


Fig. 2

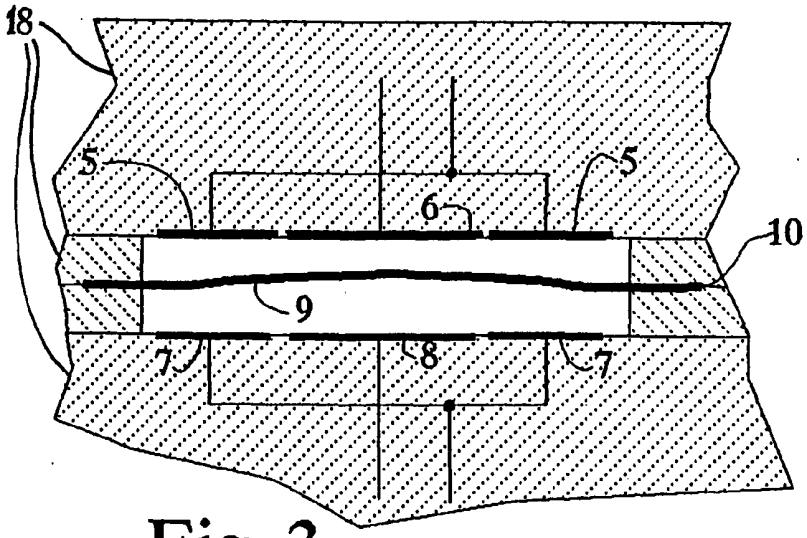


Fig. 3

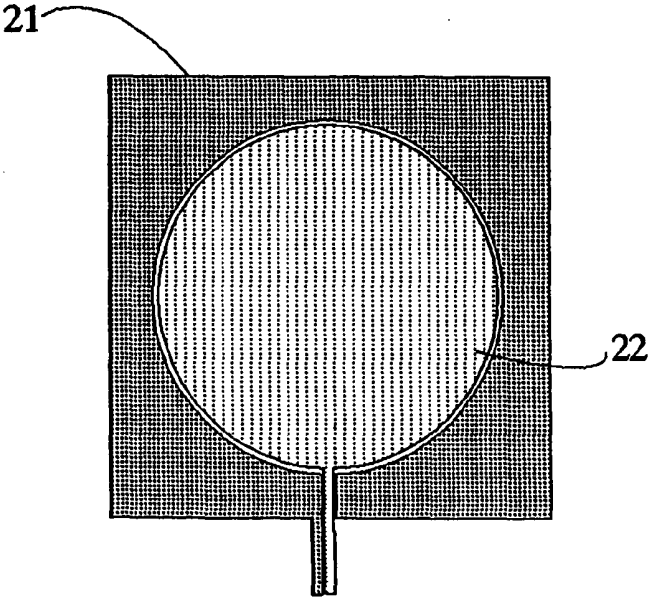


Fig. 4

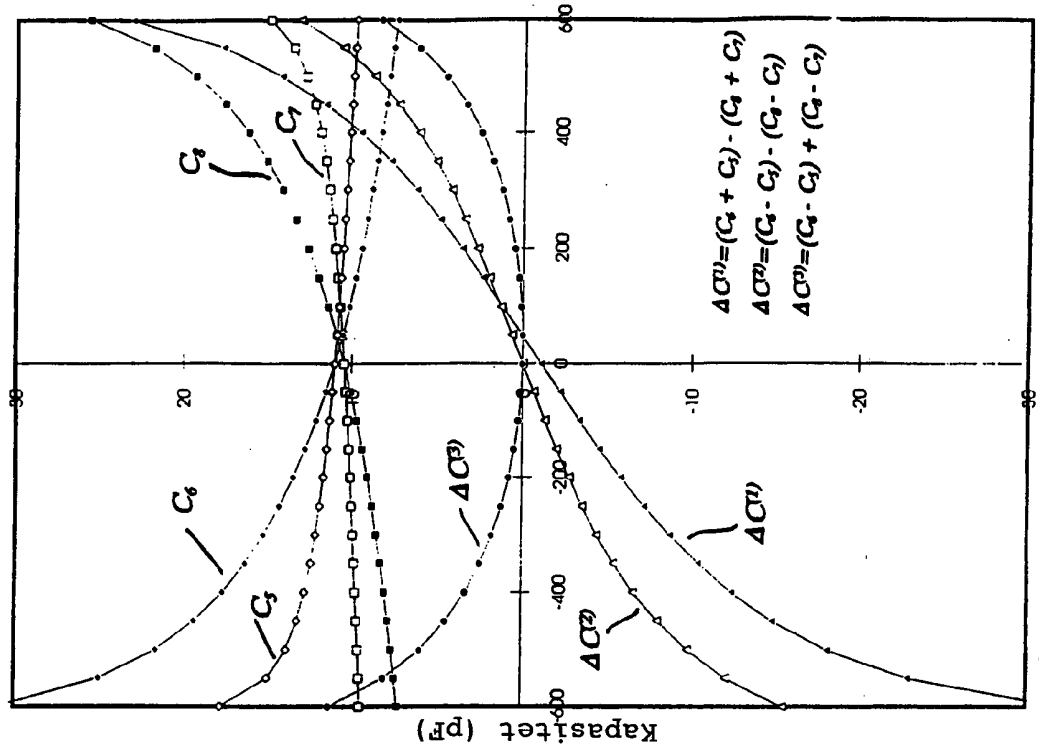

Kapasitet (pF)
Differensialtrykk (Pa)
$\Delta C^{(1)}=(C_4+C_5)-(C_6+C_7)$
$\Delta C^{(2)}=(C_4-C_5)-(C_6-C_7)$
$\Delta C^{(3)}=(C_4-C_5)+(C_6-C_7)$
C_4
C_5
C_6
C_7
$\Delta C^{(1)}$
$\Delta C^{(2)}$
$\Delta C^{(3)}$

Fig. 5b

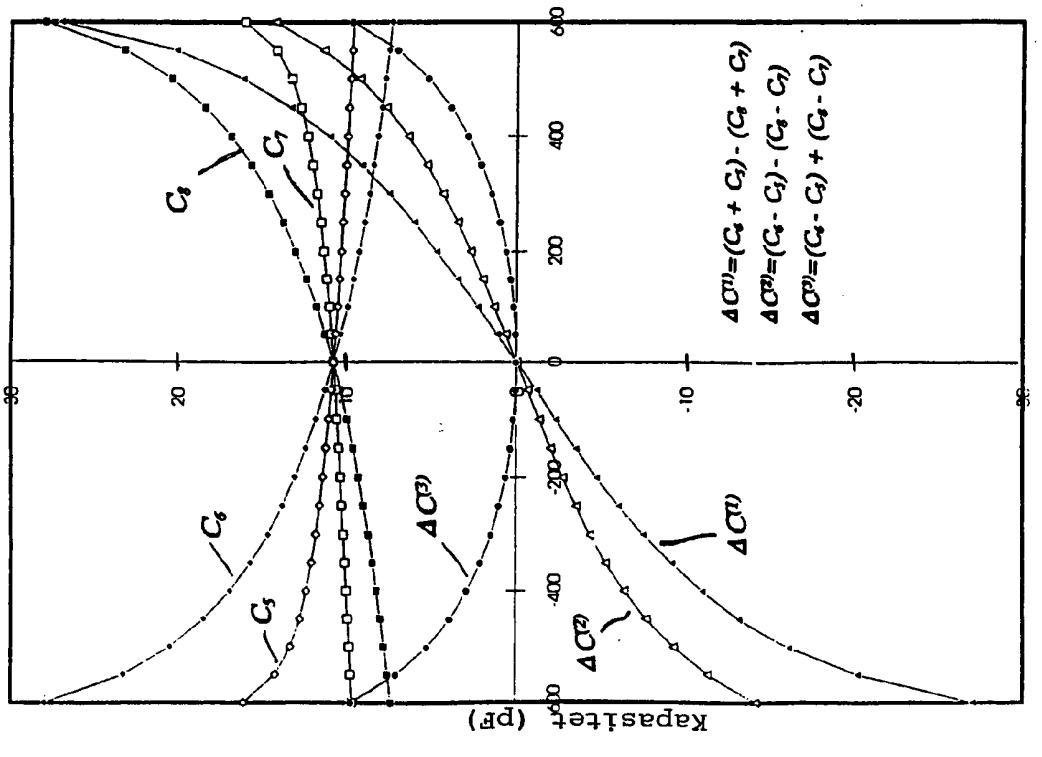

Kapasitet (pF)
Differensialtrykk (Pa)
$\Delta C^{(1)}=(C_4+C_5)-(C_6+C_7)$
$\Delta C^{(2)}=(C_4-C_5)-(C_6-C_7)$
$\Delta C^{(3)}=(C_4-C_5)+(C_6-C_7)$
C_4
C_5
C_6
C_7
$\Delta C^{(1)}$
$\Delta C^{(2)}$
$\Delta C^{(3)}$

Fig. 5a

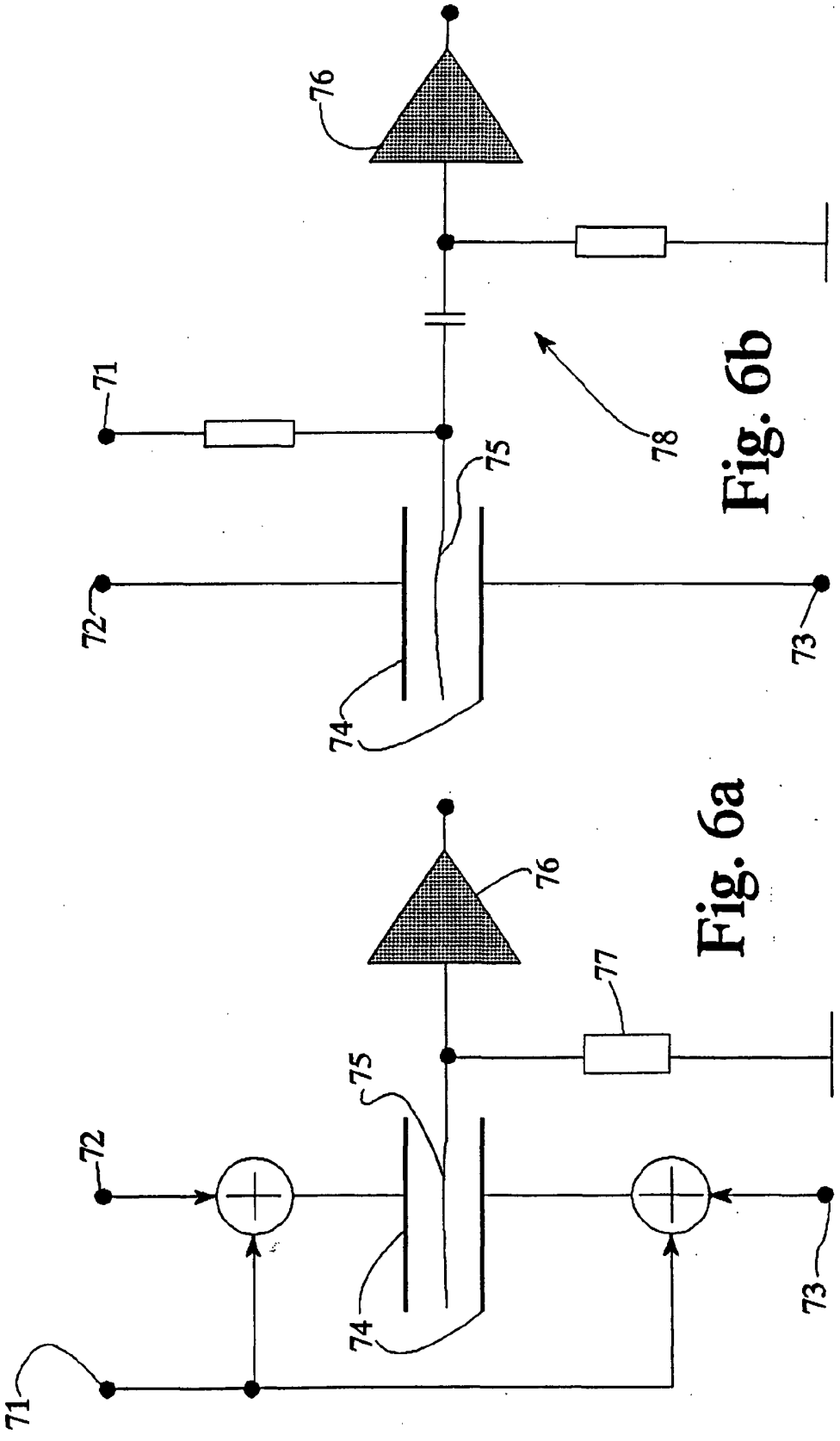


Fig. 6a

Fig. 6b

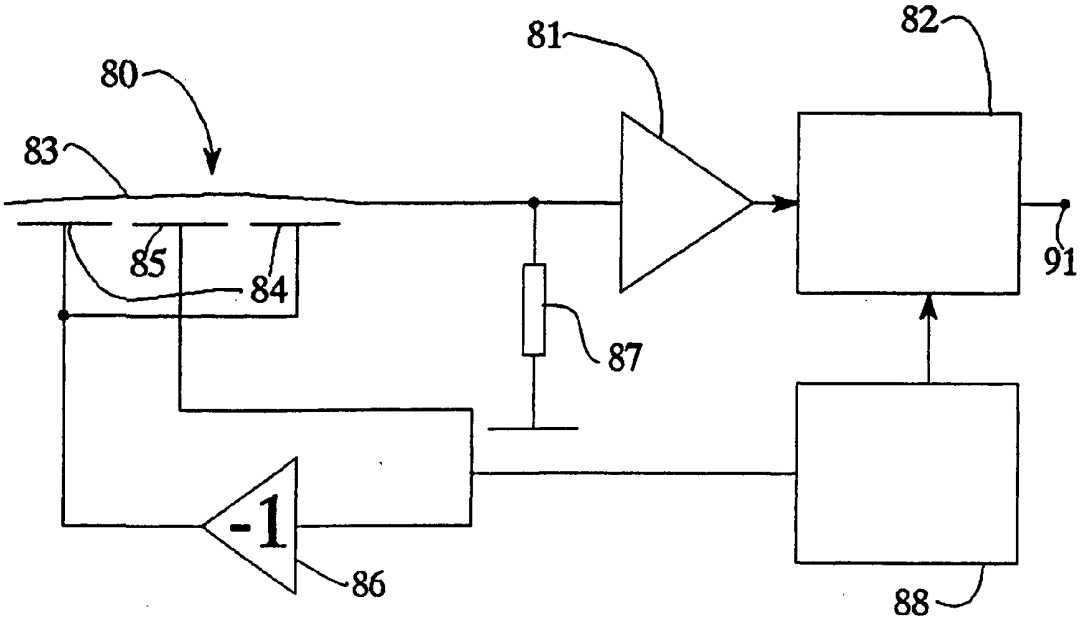


Fig. 7a

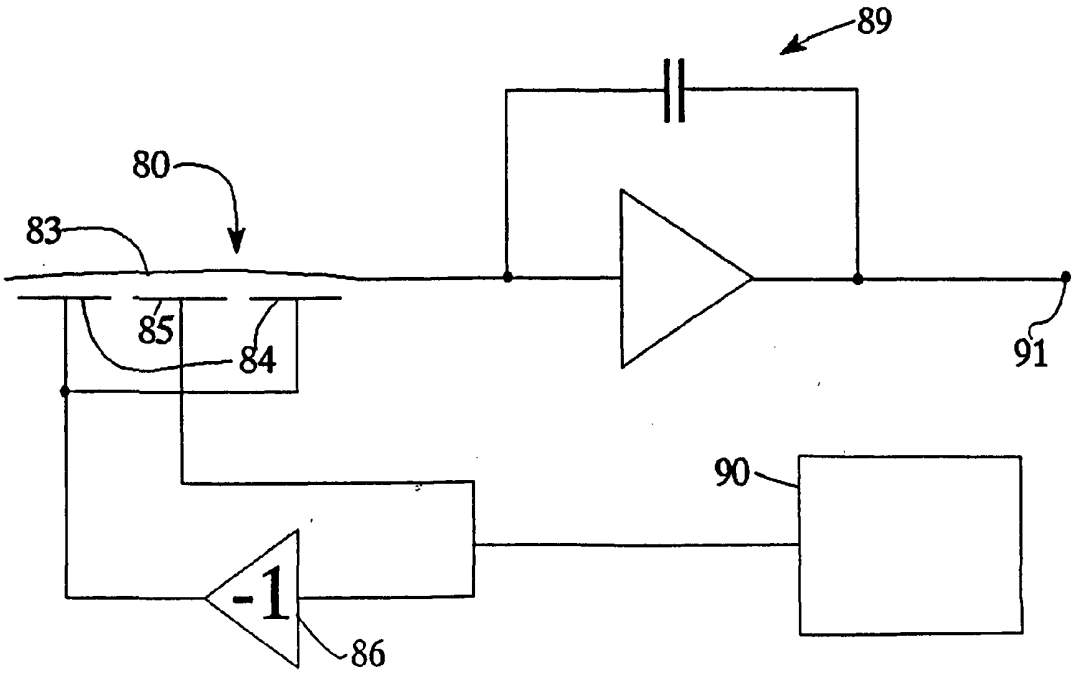


Fig. 7b

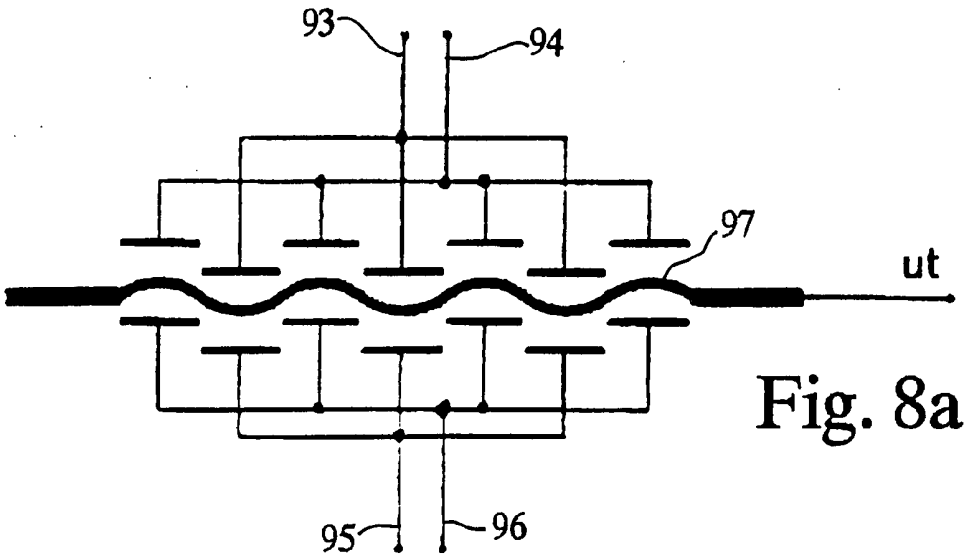


Fig. 8a

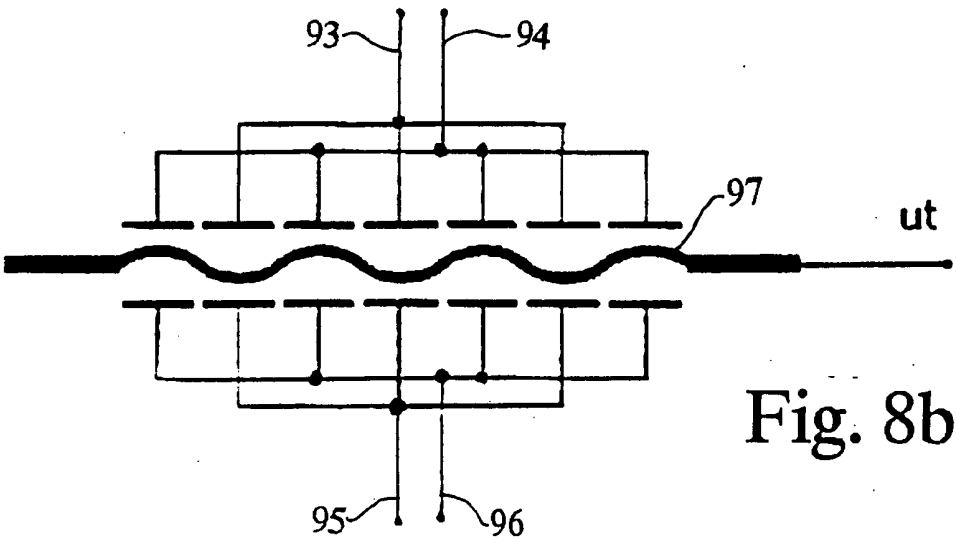


Fig. 8b