FI0000935808

(B) (11) KUULUTUSJULKAISU
UTLAGGNINGSSKRIFT 93580

C (45) Patentti myönnetty
Patent meddelat 25 04 1995

(51) Kv.lk.6 - Int.cl.6

G 01L 9/12

SUOMI-FINLAND

(FI)

(21) Patenttihakemus - Patentansökning 934434

(22) Hakemispäivä - Ansökningsdag 08.10.93

(24) Alkupäivä - Löpdag 08.10.93

Patentti- ja rekisterihallitus
Patent- och registerstyrelsen

(41) Tullut julkiseksi - Blivit offentlig 13.01.95

(44) Nähtäväksipanon 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

Menetelmä ja laitteisto epäsymmetrisen paine-eroanturin takaisinkytkemiseksi
Förfarande och anordning för återkoppling av en osymmetrisk tryckskillnadsgivare

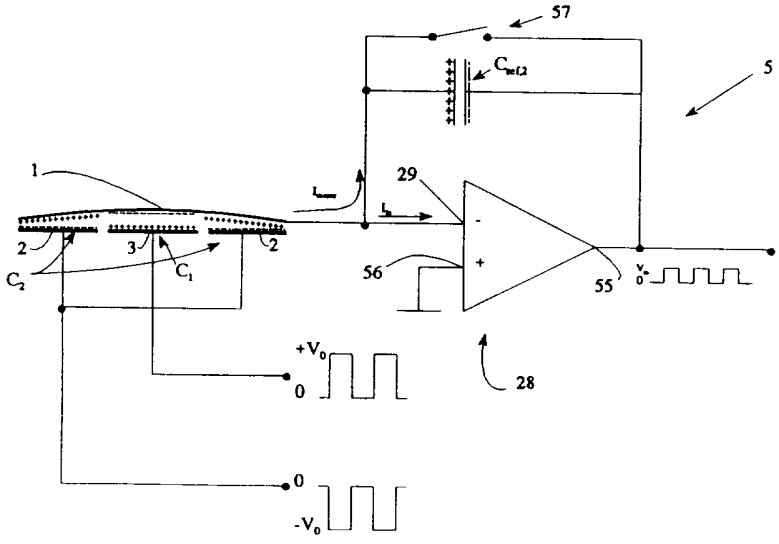
(56) Viitejulkaisut - Anförda publikationer

---

(57) Tiivistelmä - Sammandrag

Keksintö koskee epäsymmetrisen paine-eroanturin takaisinkytkentämenetelmää ja laitteistoa. Menetelmän mukaan paineelle herkkä kalvo (1), joka muodostaa anturin ensimmäisen elektrodin, pidetään voimatasapainossa vastaelektrodiin (2, 3) nähden pulssimuotoisella signaalilla. Keksinnön mukaan kalvo (1) pidetään paikallaan geometrisesti muuttumattomassa tilassa ja kalvoon (1) kytketään haluttu sähköinen potentiaali, pulssimuotoinen signaali syötetään ainakin kahteen vastaelektrodiin (2, 3) tai elektrodiryhmään siten, että eri elektrodeille (2, 3) tai elektrodiryhmille syötetyt signaalit ovat polariteetiltaan invertoidut paineherkän kalvon (1) sähköiseen potentiaalin suhteen ainakin osan mittausajasta, ja eri elektrodeille (2, 3) tai elektrodiryhmille syötetyt signaalit ovat ovat ainakin elektrodipareittain (2, 3) amplitudiltaan yhtäsuuret, samaa pulssimuotoista signaalia käytetään samanaikaisesti sekä voimatasapainon aikaansaamiseen että kapasitanssin mittaukseen. Keksinnön edullisen suoritusmuodon mukaisesti dielektrisyysvakion muutosta kompensoidaan muuttamalla pulssien amplitudia, leveyttä tai tiheyttä aina käytetyn modulointimenetelmän mukaan.

Uppfinningen avser ett förfarande och en anordning för återkoppling av en osymmetrisk tryckskillnadsgivare. Enligt förfarandet hålls ett för tryck känsligt membran (1), som bildar givarens första elektrod, medelst en pulsad signal i kraftbalans i förhållande till en motelektrod (2, 3). Enligt uppfinningen hålls membranet (1) stationärt i ett geometriskt oförändrat tillstånd och en önskad elektrisk potential kopplas till membranet (1), den pulsade signalen matas till minst två motelektroder (2, 3) eller elektrodgrupper på så sätt, att de till de olika elektroderna (2, 3) eller elektrodgrupperna matade signalerna åtminstone under en del av mättiden uppvisar inverterad polaritet i förhållande till det tryckänsliga membranets (1) elektriska potential, och de till de olika elektroderna (2, 3) eller elektrodgrupperna matade signalerna åtminstone elektrodparvis (2, 3) uppvisar lika stora amplituder, samma pulsade signal används samtidigt både för åstadkommande av kraftbalansen och för utförande av kapacitansmätningen. Enligt en fördelaktig utföringsform av uppfinningen kompenseras förändringar i dielektricitetskonstanten genom att ändra pulsamplituden, -bredden eller -frekvensen alltefter moduleringsmetoden.



Menetelmä ja laitteisto epäsymmetrisen paine-eroanturin takaisinkytkemiseksi

Keksinnön kohteena on patenttivaatimuksen 1 johdannon mukainen epäsymmetrisen paine-eroanturin takaisinkytkentämenetelmä.

Keksinnön kohteena on myös laitteisto epäsymmetrisen paine-eroanturin takaisinkytkemiseksi.

Seuraaviin julkaisuihin viitataan tekniikan tason kuvaamiseksi:

US-patentit:

[p1] U.S. Pat. No. 5,095,750 (Suzuki et. al.)

[p2] U.S. Pat. No. 4,831,492 (Kuisma)

Tieteelliset artikkelit:

[a1] S. Suzuki, S. Tuchitani, K. Sato, S. Ueno, Y. Yokota, M. Sato, M. Esashi, *Semiconductor Capacitance-Type Accelerometer with PWM Electrostatic Servo Technique*, Sensors and Actuators A21-A23, pp. 316-319, 1990.

[a2] Y. de Coulon, T. Smith, J. Hermann, M. Chevroulet, F. Rudolf, *Design and Test of a Precision Servoaccelerometer with Digital Output*, The Proceedings of the 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Yokohama, Japan, 1993, pp. 832-835.

Mikromekaanista elintä, joka pidetään tunnetussa sähköisessä potentiaalissa, voidaan ohjata sähköisellä voimalla, joka saadaan aikaan elintä ympäröivien elektrodien ja itse elimen välisten sähköisten potentiaalierojen kautta. Tunnettua on, että kahden elektrodin välinen sähköinen voima on muotoa:

$$F_{electric}=\int_A \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r U^2 dA}{2d^2} \quad (1)$$

missä U on elektrodien välinen potentiaaliero, ε_r väliaineen dielektrisyysvakio, dA pinta-alaelementti ja d levyjen välinen etäisyys. Integrointi käy yli elektrodin pinta-alan. Kaavan (1) perusteella elektrodien välinen sähköinen voima voidaan tulkita sähköisenä paineena elektrodin pinnalla:

$$p_{electric}=\frac{dF_{electric}}{dA}=\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r U^2}{2d^2} \quad (2)$$

Tarkastellaan paine-eroanturirakennetta, joka koostuu tukirakenteesta ja siinä olevasta kiinteästä elektrodista sekä kalvosta, joka on kiinnitetty tukirakenteeseen ja taipuu sen yli muodostuvan paine-eron vaikutuksesta. Mikäli kalvon taipuma on erittäin pieni, kaavan (2) sähköisen paineen ja ulkoisen paineen voimavaikutus kalvoon on identtinen, $p_{ext}=p_{electric}$ kalvon jokaisessa pisteessä. Toisin sanoen paine-eroanturia voidaan operoida sähköisesti takaisinkytketyssä moodissa. Kalvon ollessa taipumattomassa tilassa pätee:

$$p_{ext}=\frac{Q^2}{2\varepsilon_0 \varepsilon_r A^2} \quad (3)$$

missä Q on elektrodien varaus.

Takaisinkytkentään liittyy kuitenkin kolme periaatteellista ongelmaa:

1) Sähköisen paineen ja ulostulojännitteen välinen riippuvuus on epälineaarinen kaavan (2) perusteella.

2) Kaava $p_{ext}=\varepsilon_0 \varepsilon_r U^2/2d^2$ pätee voimatasapainossa ainoastaan, kun kalvon taipuma on nolla. Kalvon asema on tunnettava.

3) Sähköisen paineen ja takaisinkytkentäjännitteen välinen kerroin riippuu väliaineen dielektrisyysvakiosta .

Ongelmalle on esitetty ratkaisu patentissa [p1] ja artikkeleissa [a1,a2]. Jos takaisinkytkentä toteutetaan pulssinleveys- tai pulssintiheysmoduloidulla signaalilla, s.e. pulssin korkeus (jännitetaso) on vakio, saadaan sähköisen paineen ja pulssijonon pulssisuhteen välille lineaarinen riippuvuus:

$$p_{electric} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r U_{pulse}^2}{2d^2} \cdot D \qquad (4)$$

missä $D=T_{ON}/T_{total}$, toisin sanoen pulssien vaikutusajan ja kokonaisajan suhde. Kaava (4) voidaan edelleen kirjoittaa muotoon:

$$p_{electric}=\frac{\varepsilon_0 \varepsilon_r}{2d^2} \cdot U_{pulse}^2 \cdot T_{pulse} \cdot f_{pulse} \qquad (5)$$

missä U_{pulse} on pulssien amplitudi, T_{pulse} pulssien leveys ja $f_{pulse} = n/T_{total}$ pulssien tiheys (lukumäärä/aikaperiodi). Pulssinleveysmodulaation yhteydessä saadaan lineaarinen ulostulo kytkemällä pulssitettu signaali integraattorille. Pulssintiheysmoduloitu signaali voidaan käsitellä suoraan digitaalisena bittijonona. Ongelmana pulssitetussa takaisinkytkennässä on, että takaisinkytkevä pulssijono vaikuttaa ac-signaalina kapasitanssimittaukseen ja voi saturoida kapasitanssimittauksessa käytettävät mittauspiirit.

Lähtökohtana kiihtyvyysanturin pulssitettuun takaisinkytkentään on mahdollisuus toimia huomattavasti anturin resonanssitaajuuden yläpuolella [p1, a1, a2], jolloin anturin massa ei hitautensa vuoksi reagoi yksittäisiin pulsseihin ja voimavaikutus keskiarvoistuu. Sen sijaan paine-eroanturin tapauksessa kalvon resonanssitaajuus on huomattavasti korkeammalla (tyypillisesti luokkaa 30 - 200 kHz aina kalvon paksuuden ja halkaisijan mukaan). Kalvo on kuitenkin ilmanpaineessa erittäin voimakkaasti viskoosisesti vaimennettu, eikä kalvo reagoi korkeataajuisiin yksittäisiin pulsseihin ja voimavaikutus keskiarvoistuu.

Kapasitiivisessa mittaustekniikassa, erityisesti voimatasapainoperiaatetta sovellettaessa, ongelmana on dielektrisyysvakion lämpötila-, kosteus-, ja muu väliaineriippuvuus. Dielektrisyysvakio on mitattava ja sen muutos kompensoitava. Tällainen menetelmä on esitetty patentissa [p2], jossa varsinaista paineanturin mittauselektrodia ympäröi toinen elektrodi, jonka herkkyys paineen muutokselle on pieni ja jota käytetään dielektrisyysvakion muutoksen detektointiin.

Tämän keksinnön tarkoituksena on poistaa edelläkuvatun tekniikan puutteellisuudet ja aikaansaada uusi voimatasapainoperiaatetta käyttävä epäsymmetrisen paine-eroanturin mittausmenetelmä sekä -laitteisto.

Keksintö perustuu siihen, että pitämällä epäsymmetrisen paineanturin anturikalvo hallitusti vakioasennossa pulssitetulla takaisinkytkennällä ja ohjaamalla takaisinkytkentää kahteen osaan jaetun vasta-elektrodin kautta vastakkaisvaiheisesti, voidaan muodostaa mittauskapasitansseille sekä ero- että summa-arvot, joista voidaan puolestaan laskea korjaustermi dielektrisyysvakion muutokselle.

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

Keksinnön mukaiselle laitteistolle puolestaan on tunnusomaista se, mikä on esitetty patenttivaatimuksen 9 tunnusmerkkiosassa.

Keksinnön avulla saavutetaan huomattavia etuja.

Sähköisesti takaisinkytketyn mikromekaanisen anturin suurin ongelma on kondensaattoriaukon väliaineen dielektrosyysvakion riippuvuus lämpötilasta ja kosteudesta. Erityisesti öljytäytteisillä antureilla lämpötilan muutos aiheuttaa dielektrisyysvakion muuttumisen ja näin virheen paineen mittaukseen. Keksinnön mukaisella ratkaisulla päästään eroon tästä virheestä. Toinen merkittävä etu on se, että mittaussignaalin voimavaikutus käytetään hyväksi takaisinkytkennässä ja pulssimuotoinen takaisinkytkentäsignaali ei saturoi kapasitanssinmittauspiirejä. Keksinnön mukaisella rakenteella voidaan toteuttaa mittauslaitteisto, joka mittaa

paine-eron lisäksi nimenomaan dielektrisyysvakiosta riippuvaista suuretta, esimerkiksi kosteutta tai lämpötilaa.

Keksinnön mukaisen ratkaisun etuja ovat lisäksi seuraavat seikat: paine-eroon nähden lineaarinen ulostulo joko pulssintiheytenä tai analogiajännitteenä ja pieni lämpötilariippuvuus.

Keksintöä ryhdytään seuraavassa lähemmin tarkastelemaan oheisten kuvioiden mukaisten suoritusesimerkkien avulla.

Kuvio 1a esittää yksinkertaistettuna lohkokaaviona yhtä keksinnön mukaista mittauslaitteistoa.

Kuvio 1b esittää yksityiskohtaisemmin yhtä mahdollista toteutusta kuvion 1a mittauslohkosta.

Kuvio 2a esittää yksinkertaistettuna lohkokaaviona toista keksinnön mukaista mittauslaitteistoa, jolla voidaan samanaikaisesti takaisinkytkeä paine-eroanturin kalvo pulssimuotoisella signaalilla ja samanaikaisesti mitata kapasitanssien summaa ja erotusta.

Kuvio 2b esittää yksinkertaistettuna lohkokaaviona kuvion 2a mukaisen mittauslaitteiston toista toimintamuotoa.

Kuvio 3 esittää lohkokaaviona keksinnön yhteydessä käytettävissä olevan ensimmäisen kertaluvun sigma/deltamuuntimen rakennetta.

Kuvio 4 esittää sijaiskytkentänä kuvion 3 mukaista ensimmäisen kertaluvun sigma/deltamuunninta.

Kuvio 5 esittää sijaiskytkentänä toisen kertaluvun sigma/deltamuunninta, joka on käytettävissä keksinnön yhteydessä.

Kuvio 6 esittää yksityiskohtaisemmin ja laajemmin kuvion 2 mukaista mittauslaitteistoa.

Kuvio 7 esittää graafisesti dielektrisyysvakion muutoksen aiheuttamaa virhelukemaa keksinnön mukaista kompensointia käyttäen ja ilman sitä.

Kuvio 8 esittää graafisesti tarvittavaa kompensointijännitettä dielektrisyysvakion funktiona keksinnön mukaisessa menetelmässä.

Paineherkän kalvon optimaalinen ohjaus voidaan toteuttaa elektrodien geometrian sopivalla valinnalla. Tällainen mittausmenetelmä perustuu siihen, että paineherkkä kalvo pidetään taipumattomassa tilassa. Tämä toteutetaan kapasitanssimittauksella ja sähköisellä takaisinkytkennällä siten, että säätäjälle kytkettävä mittaussignaali on verrannollinen pinta-aloiltaan yhtäsuurten sisemmän ja ulomman elektrodin ja kalvon välisten kapasitanssien erotukseen ja nolla, kun kapasitanssit ovat yhtäsuuret. Menetelmän etuna on anturin lämpötilariippuvuuden minimointi ja hallittu epälineaarisuusvirhe. Ongelmana on, että ac-mittaussignaali, jota käytetään kapasitanssin detektointiin, aiheuttaa voiman kalvon ja vastaelektrodin välille.

Käytettäessä kuvion 1a mukaisesti pulssinleveys- tai pulssintaajuusmoduloitua takaisinkytkentää yksisuuntaiselle epäsymmetriselle paine-eroanturille voidaan itse takaisinkytkevää pulssijonoa käyttää myös kalvon aseman detektointiin. Systeemi perustuu paineherkkään kalvoon 1 ja tukirakenteeseen, johon on kiinnitetty kaksi samankeskistä vastaelektrodia 2 ja 3. Takaisinkytkentäsignaali kytketään pulssimuotoisena vastaelektrodeille 2 ja 3 siten, että keskimmäisen 3 ja ulommaisen 2 elektrodin pulssien jännitteiden polariteetit on kalvolle 1 kytketyn jännitetason suhteen vastakkaiset. Tällöin takaisinkytkentäsignaalin aiheuttama jännitteen muutos kalvolla 1 on nolla, jos sisemmän 3 ja ulomman 2 elektrodin ja kalvon 1 väliset kapasitanssit ovat yhtäsuuret. Sen sijaan kalvon 1 ja elektrodien 2 ja 3 väliset voimat ovat saman suuntaiset neliöllisen riippuvuuden $F \propto U^2$ vuoksi. Paineherkkää kalvoa 1, joka on kuviossa esitetty korostetun taivutetusti ohjataan vastaelektrodeilla 2 ja 3. Elektrodit 2 ja 3 ovat samankeskeisiä ja pinta-

aloiltaan oleellisesti yhtäsuuria. Paineherkkä kalvo 1 ja elektrodi 3 muodostavat kondensaattorin C_1 ja vastaavasti kalvo 1 ja elektrodi 2 kondensaattorin C_2. Varausvahvistimen 5 jälkeen signaalin kulkureitillä on sigma/delta-muunnin 9, jota ohjataan kellolla 4. Kellotaajuus on sopivimmin välillä 50 - 300 kHz. Sigma/deltamuuntimen 9 ulostulosta saadaan suoraan pulssintiheysulostulo 25, joka on samalla paine-erosignaali. Suodattamalla pulssintiheysulostulo alipäästösuodattimella 10 saadaan käyttöön analogiasignaali analogiaulostulosta 26. Takaisinkytketyn pulssintiheyssignaalin amplitudia säädetään pulssinkorkeussäätäjällä 8, jonka ulostulosta signaali johdetaan elektrodeille 3 ja 2 siten, että elektrodille 2 menevä signaali invertoidaan invertterillä 7. Varausvahvistimen 5 sijasta voidaan käyttää myös muita kapasitanssin mittauslaitteita. Myös sigma/deltamuunnin voidaan korvata millä tahansa piirillä, joka muuttaa DC-jännitteen pulssimuotoiseksi signaaliksi. Invertterin 7 sijasta voidaan käyttää mitä tahansa elintä, joka muodostaa kaksi kalvon 1 sähköisen potentiaalin suhteen polariteetiltaan invertoitua pulssijonoa.

Esitetyn ratkaisun etuna on se, että mittaussignaalin voimavaikutus käytetään hyväksi takaisinkytkennässä ja että pulssimuotoinen takaisinkytkentäsignaali ei saturoi kapasitanssinmittauspiirejä.

Kuviossa 1b esitetään esimerkkinä keksinnön mukainen kapasitanssisillan erotuksen detektointitapa kuvion 1a yleisemmän esityksen erikoistapauksena. Ratkaisu perustuu varausvahvistimeen 5, jolla mittausperiaatteen vaatima siirtofunktio voidaan toteuttaa. Kondensaattorille C_1 tuodaan maapotentiaaliin nähden polariteetiltaan positiivinen pulssijono $+V_0$ ja vastaavasti kondensaattorille C_2 polariteetiltaan negatiivinen pulssijono $-V_0$. Eri elektrodeille 2 ja 3 tuodut signaalit ovat siis maatasoon nähden invertoidut. Anturin kalvon 1 muodostava elektrodi kytketään operaatiovahvistimen 28 invertoivaan sisäänmenoon 29. Operaatiovahvistimen ulostulo 55 takaisinkytketään operaatiovahvistimen 28 invertoivaan sisäänmenoon 29 kondensaattorin $C_{ref,2}$ kautta. Tällöin anturin kalvon 1 potentiaali määräytyy operaatiovahvistimen 28 ei-invertoivan sisäänmenon 56 potentiaalista, joka tässä tapauksessa on maapotentiaali. Ehto, jonka mukaan kalvon 1 on oltava vakiopotentiaalissa toteutuu. Jos anturin kapasitanssit

C_1 ja C_2 ovat yhtäsuuria, anturin vastaelektrodien 2 ja 3 potentiaalien muutos aiheuttaa ainoastaan varausjakautuman muutoksen anturin kalvolla 1 ilman mitään ulkopuolelta havaittavaa muutosta. Jos sen sijaan kapasitanssit C_1 ja C_2 poikkeavat toisistaan, varausta siirtyy takaisinkytkentäkondensaattorilta $C_{ref,2}$ anturin kalvolle 1 tai päinvastoin. Tällöin operaatiovahvistimen ulostulossa nähdään jännite:

$$V_m = -\frac{C_1 - C_2}{C_{ref,2}} \cdot V_0$$

missä V_0 on pulssien korkeus. Siirtofunktio toteutuu ideaalisesti ainoastaan ideaalisen operaatiovahvistimen tapauksessa. Käytännössä operaatiovahvistimen 28 sisäänmenovirta I_{in} kuormittaa anturia. MOSFET-etuasteella voidaan sisäänmenovirta I_{in} saadaan suhteellisen pieneksi. Takaisinkytkentäkondensaattorin $C_{ref,2}$ rinnalle kytketyllä kytkimellä 57 voidaan kondensaattorin $C_{ref,2}$ varaus purkaa (nollata). Jos kondensaattori $C_{ref,2}$ puretaan jokaisella syklillä anturin elektrodien 1, 2 ja 3 ollessa nollapotentiaalissa, saadaan siirtofunktio toteutumaan taajuuksilla yli 10 kHz suhteellisen ideaalisesti. Tilannetta voidaan parantaa käyttämällä lisäksi varausvahvistimen 5 jälkeen joko pitopiiriä tai integraattoria, johon signaali tallentuu.

Kuvion 2a ratkaisussa on kytkimellä 13 luotu mahdollisuus kytkeä molemmille elektroideille 2 ja 3 samassa vaiheessa oleva takaisinkytkentäsignaali navan 15 kautta. Kytkimellä 13 voidaan elektrodit 2 ja 3 kytkeä rinnan, jolloin varausvahvistimella 5 saadaan mitatuksi summakapasitanssin $C_1 + C_2$ ja referenssikapasitanssin C_{ref} erotus, joka saadaan varausvahvistimen 5 ulostulosta 14. Kuvion ratkaisussa elektrodit 2 ja 3 on kuitenkin kytketty kalvoon 1 nähden vastakkaisiin potentiaaleihin ja kytkin 12 on auki. Tästä syystä pätee: $I_{amp}=I_{sensor}$. Lisäksi pätee myös ehto elektrodivirroille: $I_1 - I_2 + I_{sensor} = 0$ kuvion 2a määrittelyillä. Kun $C_1 = C_2$ pätee $I_1 = I_2$ ja $I_{sensor} = 0$.

Kuvion 2b toimintamuodossa kytkin 13 on kytketty siten, että elektrodien 2 ja 3 signaalit ovat samat. Lisäksi kytkin 12 on kiinni. Tästä syystä pätee: $I_{amp} - I_{ref} + I_{sensor} = 0$. Lisäksi jos $C_1 + C_2 = C_{ref}$ pätee: $I_{ref} = I_{sensor}$ ja $I_{amp}=0$. Kuvion

tapauksessa siis anturin 1 elektrodeille 2, 3 kytketään pulssimuotoinen signaali samassa potentiaalissa ja vertailukondensaattorille 11 vastakkaisessa potentiaalissa anturin kalvon 1 sähköisen potentiaalin suhteen.

Kuviossa 3 on kuvattu sigma/delta muunninta, jonka tehtävänä on muuttaa DC-signaali pulssimuotoiseksi signaaliksi. Piirin kvantisoijaan 33 syötetään signaali integraattorin 30 kautta ja kvantisoitu ulostulo takaisinkytketään summaimeen 34, jossa se vähennetään sisäänmenevästä signaalista. Tämä takaisinkytkentä 32 pakoittaa kvantisoidun signaalin keskimääräisen arvon seuraamaan sisäänmenon keskimääräistä arvoa. Näiden signaalien ero akkumuloituu integraattoriin ja näin korjaa itsensä. Piirin peruspiirre on sen yksinkertaisuus: Σ/Δ-muunnin koostuu integraattorista 30, 1-bittisestä A/D-muuntimesta 31 ja takaisinkytkennästä 1-bittisen D/A-muuntimen 32 kautta. A/D-muunnin 31 voidaan toteuttaa esimerkiksi limitterin (ei-esitetty) ja D-flip-flop-piirin (ei esitetty) avulla siten, että D-flip-flop-piiriä ohjataan ulkoisella kellotaajuudella 33. D/A muunnin 32 voidaan toteuttaa esim. analogiakytkimellä, jota ohjataan D-flip-flop-piirillä. Ulkoinen kellotaajuus 33 määrää pulssien leveyden. Kellotaajuus 33 valitaan siten, että signaalitaajuus on huomattavasti matalampi kuin kellotaajuus 33, jolloin ylinäytteitys toteutuu. Ylinäytteistyssuhteen tulee olla luokkaa yli 100, jos käytetään 2. kertaluvun Σ/Δ-muunninta. Tällöin kvantisointikohina on häviävän pientä.

Kuvion 4 mukaisesti integraattori 30 koostuu summauspisteestä 42 ja viivepiiristä 41, jonka ulostulo on takaisinkytketty summauspisteeseen 42. Viivepiiriä seuraa A/D-muunninta 31 vastaava kvantisointilohko 43. Sisääntuleva signaali kytketään kvantisoivaan piiriin 43 integraattorin 30 kautta. Kvantisoitu ulostulo kytketään takaisin ja vähennetään sisäänmenevästä signaalista. Takaisinkytkentä pakottaa kvantisoidun signaalin seuraamaan keskimääräistä sisääntulevaa signaalia. Poikkeama keskimääräisen sisääntulon ja digitoidun ulostulon välillä latautuu integraattoriin 30 ja lopulta korjaa itsensä. Jos kvantisoiva systeemi on kaksitilainen, kvantisoitu signaali värähtelee kellotaajuudella kahden tilan välillä siten, että sen lokaalinen keskiarvo vastaa keskimääräistä sisääntuloa.

Kuvion 5 toisen kertaluvun Σ/Δ-muunnin käsittää kuvion 4 ratkaisun lisäksi summauspisteestä 51 ja viivepiiristä 50 koostuvan silmukan, joka summaimen 34 kanssa yhdessä esittävät itse paineherkkää anturia 52. Paine-eroanturin 52 hitaus saa aikaan sen, että se toimii integraattorina. Takaisinkytkentä 54 kuvaa sähköistä painetta ja sisääntulo 53 ulkoista paine-erosignaalia.

Kun käytetään aiemmin kuvattua menetelmää, jossa kalvon geometrinen asema tunnetaan (esim. taipumaton tila) ja se pidetään muuttumattomana, kapasitanssin arvon muutos aiheutuu dielektrisyysvakion arvon muutoksesta. Mittaamalla kapasitanssin arvo saadaan selville dielektrisyysvakion arvo. Anturirakenteessa, jossa metallielektrodi on jaettu kahtia, voidaan geometrisesti muuttumaton tila säilyttää riippumatta dielektrisyysvakion muutoksesta. Toisin sanoen kapasitanssien erotuksen ollessa nolla voi kapasitanssien summa muuttua dielektrisyysvakion muutoksen kautta. Kapasitanssien summan mittaus kertoo dielektrisyysvakion arvon, ja mittaustulosta voidaan käyttää dielektrisyysvakion muutoksesta aiheutuvan paine-erovirheen kompensointiin.

Pulssinleveys- ja pulssintiheysmoduloidussa takaisinkytkennässä dielektrisyysvakion muutosta voidaan kompensoida muuttamalla takaisinkytkentäpulssien korkeutta. Kaavojen (1), (2) ja (4) mukaisesti takaisinkytkentäpulssien korkeuden tulee olla

$$U_{pulse} = \frac{U^{(0)}_{pulse}}{\sqrt{1 + \frac{\Delta \varepsilon_r}{\varepsilon_r^{(0)}}}}$$

missä $U^{(0)}_{pulse}$ on takaisinkytkentäjännite, kun $\varepsilon_r = \varepsilon_r^{(0)}$.

Pulssintiheysmodulaatiossa voidaan dielektristä muutosta kompensoida myös pulssien leveyden avulla. Kaavan (5) perusteella

$$T_{pulse} = \frac{T_{pulse}^{(0)}}{1 + \frac{\Delta \varepsilon_r}{\varepsilon_r^{(0)}}}$$

missä $T^{(0)}_{pulse}$ on takaisinkytkevän pulssijonon pulssien leveys, kun $\varepsilon_r = \varepsilon_r^{(0)}$. Etuna pulssien korkeuden muutoksen avulla tapahtuvaan kompensointiin nähden on tässä menetelmässä lineaarisuus. Pulssinleveysmodulaatiossa vastaavasti voidaan säätää pulssien tiheyttä

$$f_{pulse} = \frac{f_{pulse}^{(0)}}{1 + \frac{\Delta \varepsilon_r}{\varepsilon_r^{(0)}}}$$

missä $f^{(0)}_{pulse}$ on takaisinkytkevän pulssijonon pulssien taajuus, kun $\varepsilon_r = \varepsilon_r^{(0)}$.

Kuviossa 6 esitetään kokonaislohkokaavio systeemistä, jossa takaisinkytkentä toteutetaan pulssitetulla takaisinkytkennällä, jossa tarkalla kapasitanssin mittauksella detektoidaan dielektrisyysvakion muutosta ja jossa dielektrisyysvakion muutoksen aiheuttamaa virhettä paine-eromittaukseen voidaan kompensoida muuttamalla pulssien korkeutta. Seuraavassa selvityksessä kuvataan vain kuvioista 1 ja 2 puuttuvia elementtejä.

Dielektrisyysvakion muutos kompensoidaan piirissä käyttämällä lineaarista approksimaatiota:

$$\sqrt{1 + \frac{\Delta \varepsilon_r}{\varepsilon_r^{(0)}}} \approx 1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta \varepsilon_r}{\varepsilon_r^{(0)}}$$

Vahvistimella 16 säädetään pulssien korkeutta siten, että referenssikondensaattorin 11 kapasitanssi C_{ref} on efektiivisesti yhtäsuuri kuin anturin kapasitanssien summa $C_1 + C_2$. Tämä tarkoittaa sitä, että vahvistus säädetään arvoon $(C_1 + C_2)/C_{ref}$. Tällöin vertailukondensaattorin C_{ref} kautta kulkeva pulssimuotoinen signaalivirta on yhtä suuri kuin ainturin rinnakkainkytkettyjen kondensaattoreiden $C_1 + C_2$ kautta kulkeva signaalivirta. Kyseinen säätöarvo ei ole keksinnön kannalta välttämätön, mutta käytännöllisin. Kytkimen 12 avulla voidaan referenssikondensaattori 11 kytkeä mittauskondensaattorin rinnalle tai siitä pois.

Kytkin 18 toimii synkronisesti kytkinten 12 ja 13 sekä piirin 21 kanssa. Kytkimellä 18 valitaan mittausmoodi.

Vahvistimella 20 säädetään takaisinkytkentäsilmukan vahvistus A siten, että dielektrisyysvakion kompensointi toteutuu.

Summaavalla vahvistimella 24 suljetaan pulssien korkeuden säätösilmukka. Säätösilmukan matematiikka on seuraava:

-oletetaan, että kapasitanssin mittausyksikön 5 ulostulo on

$$U_m = \frac{C_1 + C_2 - C_{ref}}{C_{ref,2}} \cdot U'_0 = \frac{C - C_{ref}}{C_{ref,2}} \cdot U'_0$$

missä $C = C^{(0)} + \Delta\varepsilon_r C^{(0)}$ ja $C^{(0)}$ on kapasitanssi kalibrointihetkellä (esim. kun $\varepsilon_r = \varepsilon_r^{(0)}$).

Summaava vahvistin 24 toteuttaa yhtälön:

$$U'_0 = A \cdot U_m + U_0 = \frac{U_0}{1 - A \cdot \frac{C - C_{ref}}{C_{ref,2}}}$$

Pulssin korkeuden muutos kompensoi dielektrisyysvakion muutoksen, jos

toteutuu ehto:

$$U'_0 = \frac{U_0}{\sqrt{1+\frac{\Delta\varepsilon_r}{\varepsilon_r^{(0)}}}} = \frac{U_0}{1+\frac{1}{2}\frac{\Delta\varepsilon_r}{\varepsilon_r^{(0)}}} \quad ; \; kun \;\; \Delta\varepsilon_r < \varepsilon_r^{(0)}$$

Jos valitaan $C_{ref} = C^{(0)}$ tai viritetään vahvistimen 16 vahvistus siten, että tämä toteutuu efektiivsesti, toisin sanoen pulssien korkeuden suhde on $C_{ref}/C^{(0)}$, ja vahvistimen 20 vahvistus siten, että $A = -C_{ref,2}/2C^{(0)}$, saadaan dielektrisyysvakion muutoksen $\Delta\varepsilon_r$ kompensoiva pulssien korkeuden ehto toteutumaan.

Piiriin tallennetaan 21 pulssin korkeutta säätävä jännite anturin kapasitanssien erotuksen mittauksen ajaksi. Pitopiirin 21 ulostulosta 25 saadaan dielektrisyysvakion arvoon verrannollinen jännite.

Offset-piirillä 19 voidaan offset-jännitteen avulla säätää kalvon 1 asemaa. Toisin sanoen kalvoa 1 voidaan tarvittaessa poikkeuttaa ehdosta $C_1 = C_2$. Offset-jännitteellä voidaan siis valita se ulkoisen paine-eron arvo, jolla ulostulevan pulssimuotoisen signaalin tiheys on nolla. Piirillä 19 voidaan näin toteuttaa nollapisteen säätö.

Pulssinkorkeuden perusviritys puolestaan toteutetaan piirillä 23. Tällä määrätään ulostulevan pulssintiheyden ja ulkoisen paine-eron suhde. Tämä voidaan määritellä myös herkkyyden viritykseksi. Piirin 23 ulostulojännite summataan korjausjännitteeseen summaimessa 24.

Kuviosta 7 voidaan nähdä, että ilman kompensaatiota dielektrisyysvakion muutos arvosta 3, johon mittausjärjestelmä on viritetty, arvoon 2,5 aiheuttaa 20 Pascalin virheen näyttämässä. Dielektrisyysvakion arvon muutos vastaavasti arvoon 3,5 aiheuttaa n. 15 Pascalin virheen näyttämässä. Ulkoinen paine kuvion tapauksessa on ollut 100 Pa ja kondensaattoriaukon syvyys d = 1µm.

Kuviosta 8 voidaan nähdä, että kuvion 7 mukaisessa tapauksessa on dielektrisyysvakion arvoa kuvaava jännite dielektrisyysvakion arvolla 2,5 n. 900 mV ja vastaavasti dielektrisyysvakion arvolla 3,5 n. -700 mV. Kuviossa esitetty jännite saadaan kuvion 6 ulostulosta 25.

Keksinnön mukaisen toteutuksen ominaisuuksia ovat yhteenvetona seuraavat:

Systeemi on paitsi yksinkertainen myös yksinkertainen virittää. Viritys tapahtuu pulssinkorkeutta muuttamalla ja summaamalla offset-jännite sigma/delta-muuntimen integraattorin sisäänmenoon, ensimmäinen säätää kulmakerrointa ja toinen nollapistettä. Säädöt ovat toisistaan riippumattomia.

Yksisuuntaisen paine-eroanturin kalvon takaisinkytkentään käytetään pulssintiheysmoduloitua signaalia siten, että samalla pulssijonolla luodaan takaisinkytkevä voima ja mitataan kapasitanssien C_1 ja C_2 erotusta ja summaa.

Pulssien korkeus on tarkasti säädettävissä esimerkiksi vahvistimella 21.

Pulssien peruskorkeuden (vahvistin 20) ja integraattorin offsetin säädöllä (offset-piiri 19) systeemi voidaan virittää haluttuun tilaansa aina painealueen mukaan.

Piirin toiminta perustuu kahteen mittausjaksoon (kytkin 13), ensimmäisessä mitataan kapasitanssien C_1 ja C_2 erotus ja toisessa kapasitanssien C_1 ja C_2 summa varausvahvistimen 5 avulla;

Kummankin mittausjakson aikana takaisinkytkevän pulssijonon taajuus vastaa voimaa, joka pitää kalvon tietyssä tilassa (esimerkiksi taipumattomana);

Mitattaessa kapasitanssien C_1 ja C_2 erotusta pulssijono kytketään ulom-

malle ja sisemmälle elektrodille vastakkaisilla polariteetteilla (invertteri 7).

Mitattaessa kapasitanssien C_1 ja C_2 summaa pulssijono kytketään ulommalle ja sisemmälle elektrodille samalla polariteetilla;

Kapasitanssimittauksen ulostulo säädetään siten, että pulssin korkeus on muotoa ;

$$U_0/(1+\frac{1}{2}\Delta\varepsilon_r/\varepsilon_r^{(0)})$$

Painealuetta ja resoluutiota voidaan säätää pulssinkorkeudella (piiri 23).

Painealueen keskipiste voidaan säätää Σ/Δ-muuntimen 9 integraattorin offsetin avulla.

Kytkimen 17 avulla muodostetaan pulssimuotoinen signaali piirin 9 ohjaamana.

Keksinnön mukaista menetelmää voidaan soveltaa myös dielektrisyysvakion mittaamiseen. Jos kondensaattorilevyjen väliin lisätään dielektrinen esimerkiksi kosteudelle herkkä kalvo, voidaan kapasitanssimuutoksen avulla rekisteröidä myös kyseisen suureen muutosta.

Tavoitteena keksinnössä on anturin kalvon pitäminen hallitussa geometrisessa muodossa riippumatta paine-eron tai dielektrisyysvakion muutoksesta. Kalvon 1 potentiaaliin nähden invertoitujen signaalien syöttäminen kahteen vastaelektrodiin 2 ja 3 ei ole keksinnön kannalta ainoa ratkaisu. Varaustasapaino tai hallittu epätasapaino ja voimatasapaino mittauskondensaattoreissa on toteutettavissa vapaavalintaisella parillisten vastaelektrodien lukumäärällä. Parillisilla elektrodimäärillä voidaan invertoidut amplitudit valita pareittain vapaasti, kunhan varaus- ja voimatasapaonoehto täyttyy.

Anturin kiinteille elektrodeille 2 ja 3 voidaan määritellä termi *efektiivinen pinta-ala*. Oletetaan, että kahden kondensaattorin C_1 ja C_2 erotusta mittaavan

elektroniikan siirtofunktio on verrannollinen suureeseen αC_1 - βC_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. Kaksiosaisten kondensaattorirakenteiden efektiivisten pinta-alojen yhtäsuuruus toteutuu, kun

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

Patenttivaatimukset:

1. Epäsymmetrisen paine-eroanturin takaisinkytkentämenetelmä, jossa menetelmässä paineelle herkkä kalvo (1), joka muodostaa anturin ensimmäisen elektrodin, pidetään voimatasapainossa vastaelektrodiin (2, 3) nähden pulssimuotoisella signaalilla t u n n e t t u siitä, että

- kalvo (1) pidetään paikallaan geometrisesti muuttumattomassa tilassa ja kalvoon (1) kytketään haluttu sähköinen potentiaali,

- pulssimuotoinen signaali syötetään ainakin kahteen vastaelektrodiin (2, 3) tai elektrodiryhmään siten, että

  - eri elektrodeille (2, 3) tai elektrodiryhmille syötetyt signaalit ovat polariteetiltaan invertoidut paineherkän kalvon (1) sähköiseen potentiaalin suhteen ainakin osan mittausajasta, ja

  - eri elektrodeille (2, 3) tai elektrodiryhmille syötetyt signaalit ovat ovat ainakin elektrodipareittain (2, 3) amplitudiltaan yhtäsuuret,

- samaa pulssimuotoista signaalia käytetään samanaikaisesti sekä voimatasapainon aikaansaamiseen että kapasitanssin mittaukseen.

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että paineelle herkän elektrodin (1) ja vastaelektrodien (2, 3) välinen kapasitanssi mitataan kahdessa toistuvasti vuorottelevassa vaiheessa, joista

- ensimmäisessä vaiheessa mitataan kahden anturikapasitanssin erotusta (C_1 - C_2) ja

- toisessa vaiheessa mitataan kahden anturikapasitanssin summaa (C_1 + C_2).

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että kahden mittauskapasitanssin erotus (C_1 - C_2) pidetään takaisinkytkennällä vakiosuuruisena, jolloin anturin paineherkän kalvon (1) geometrinen tila pysyy muuttumattomana ja mittauskapasitanssien summan (C_1 + C_2) muutoksesta lasketaan dielektrisyysvakion muutos.

4. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että eri vastaelektrodeihin (2,3) syötetään maatasoon nähden invertoidut signaalit (+V_0, -V_0).

5. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, jossa takaisinkytkentänä käytetään pulssintiheysmoduloitua signaalia, t u n n e t t u siitä, dielektrisyysvakion muutosta kompensoidaan muuttamalla pulssien amplitudia tai leveyttä.

6. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, jossa takaisinkytkentänä käytetään pulssinleveysmoduloitua signaalia, t u n n e t t u siitä, dielektrisyysvakion muutosta kompensoidaan muuttamalla pulssien amplitudia tai tiheyttä.

7. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, jossa takaisinkytkentänä käytetään amplitudimoduloitua signaalia, t u n n e t t u siitä, dielektrisyysvakion muutosta kompensoidaan muuttamalla pulssien leveyttä tai tiheyttä.

8. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, t u n n e t t u siitä, että pulssimuotoinen signaali kytketään anturikalvolle (1) vertailukondensaattorin (11) kautta kytkimen (12) avulla siten, että anturin elektrodeille (2, 3) kytketään pulssimuotoinen signaali samalla polariteetilla ja vertailukondensaattorille (11) vastakkaisella polariteetilla anturin kalvon (1) sähköisen potentiaalin suhteen.

9. Laitteisto epäsymmetrisen paine-eroanturin (1, 2, 3) takaisinkytkemiseksi sähköisesti voimatasapainoperiaatteella, joka laitteisto käsittää

- paineherkän kalvon (1), joka toimii mitattavan kondensaattorin

yhtenä elektrodina,

- ainakin yhden paineherkän kalvon (1) läheisyyteen sijoitetun vastaelektrodin (2, 3), joka toimii mitattavan kondensaattorin toisena elektrodina,

- kapasitanssin mittauselimet (5) mitattavan kondensaattorin kapasitanssin selvittämiseksi, ja

- takaisinkytkentälaitteiston (9, 4, 22, 19) mitattavan kondensaattorin takaisinkytkemiseksi pulssimuotoisella sähköisellä signaalilla voimatasapainoperiaatteella,

t u n n e t t u siitä, että

- vastaelektrodi (2, 3) muodostuu ainakin kahdesta samankeskisestä elektrodista (2, 3), ja

- takaisinkytkentälaitteisto (9, 4, 22, 19) käsittää elimen (7), joka muodostaa ainakin kaksi paineherkän kalvon (1) sähköisen potentiaalin suhteen polariteetiltaan invertoitua pulssimuotoista signaalia ($+V_0$, $-V_0$), jotka ovat syötettävissä ainakin kahteen vastaelektrodeista (2, 3).

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen laitteisto, t u n n e t t u siitä, että takaisinkytkentälaitteisto (9, 4, 22, 19) käsittää kytkinelimen (13), jolla ainakin yksi vastaelektrodeista (2) on vuorotellusti kytkettävissä invertoituun ja ei-invertoituun pulssimuotoiseen signaaliin.

11. Patenttivaatimuksen 10 mukainen laitteisto, t u n n e t t u siitä, että se käsittää anturin kapasitanssin ($C_1 + C_2$) lisäksi anturin kalvolle (1) kytketyn vertailukondensaattorin (11) ja kytkimen (12), jolla vertailukondensaattori (11) on kytkettävissä mittaukseen ja siitä pois.

12. Patenttivaatimuksen 9 mukainen laitteisto, t u n n e t t u siitä, että vastaelektrodit (2, 3) ovat efektiivisiltä pinta-aloiltaan ainakin likimain yhtäsuuret.

13. Patenttivaatimuksen 9 mukainen laitteisto, t u n n e t t u siitä, että vertailukondensaattorin (11) kapasitanssi C_{ref} ja anturin kiinteiden elektrodien (2, 3) ja anturikalvon (1) välisten kapasitanssien summa (C_1 +C_2) ovat ainakin likimain yhtäsuuria.

Patentkrav:

1. Förfarande för återkoppling av en osymmetrisk tryckskillnadsgivare, varvid ett för tryck känsligt membran (1), som bildar en första elektrod i givaren, medelst en pulsad signal hålls i kraftbalans i förhållande till en motelektrod (2, 3), k ä n n e t e c k n a t av att

- membranet (1) hålls stationärt i ett geometriskt oförändrat tillstånd och en önskad elektrisk potential kopplas till membranet (1),

- den pulsade signalen matas till minst två motelektroder (2, 3) eller elektrodgrupper på så sätt, att

- de till olika elektroder (2, 3) eller elektrodgrupper matade signalerna under åtminstone en del av mättiden uppvisar inverterade polariteter i förhållande till det tryckkänsliga membranets (1) elektriska potential, och

- de till olika elektroder (2, 3) eller elektrodgrupper matade signalerna åtminstone elektrodparvis (2, 3) uppvisar lika stora amplituder, och att

- samma pulsade signal används samtidigt både för å-stadkommande av kraftbalansen och för utförande av kapacitansmätningen.

2. Förfarande enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a t av att kapacitansen mellan den tryckkänsliga elektroden (1) och motelektroderna (2, 3) mäts i två cykliskt alternerande faser, varvid

- skillnaden mellan två givarkapacitanser (C_1 - C_2) mäts vid en första fas, och

- summan av två givarkapacitanser (C_1 + C_2) mäts vid en andra fas.

3. Förfarande enligt patentkravet 2, k ä n n e t e c k n a t av att skillnaden mellan två mätkapacitanser (C_1 - C_2) hålles konstant medelst återkoppling, varvid det geometriska tillståndet hos givarens tryckkänsliga membran (1) förblir oförändrat och en förändring i dielektricitetskonstanten beräknas på basen av en förändring i summan av mätkapacitanserna (C_1 + C_2).

4. Förfarande enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a t av att signaler (+V_0, -V_0), som är inverterade i förhållande till jordpotentialen, matas till de olika motelektroderna (2, 3).

5. Förfarande enligt patentkravet 1, varvid en pulsfrekvensmodulerad signal används som återkopplingselement, k ä n n e - t e c k n a t av att förändringen i dielektricitetskonstanten kompenseras genom att ändra pulsamplituden eller -bredden.

6. Förfarande enligt patentkravet 1, varvid en pulsbreddsmodulerad signal används som återkopplingselement, k ä n n e - t e c k n a t av att förändringen i dielektricitetskonstanten kompenseras genom att ändra pulsamplituden eller -frekvensen.

7. Förfarande enligt patentkravet 1, varvid en amplitudmodulerad signal används som återkopplingselement, k ä n n e t e c k - n a t av att förändringen i dielektricitetskonstanten kompenseras genom att ändra pulsbredden eller -frekvensen.

8. Förfarande enligt patentkravet 1, k ä n n e t e c k n a t av att den pulsade signalen med hjälp av en strömställare (12) ansluts till givarmembranet (1) via en referenskondensator (11) på så sätt, att den pulsade signalen ansluts till givarelektroderna (2, 3) med samma polaritet och till referenskondensatorn (11) med motsatt polaritet i förhållande till givarmembranets (1) elektriska potential.

9. Anordning för elektrisk återkoppling av en osymmetrisk tryckskillnadsgivare (1, 2, 3) i enlighet med kraftbalansprincipen, omfattande

- ett tryckkänsligt membran (1), som utgör en första elektrod i den kondensator som skall mätas,

- minst en i närheten av det tryckkänsliga membranet (1) anordnad motelektrod (2, 3), som utgör en andra elektrod i den kondensator som skall mätas,

- kapacitansmätningsorgan (5) för bestämning av kapacitansen hos den kondensator som skall mätas, och

- en återkopplingsanordning (9, 4, 22, 19) för återkoppling medelst en pulsad elektrisk signal i enlighet med kraftbalansprincipen av den kondensator som skall mätas,

k ä n n e t e c k n a d av att

- motelektroden (2, 3) bildas av minst två koncentriska elektroder (2, 3), och

- återkopplingsanordningen (9, 4, 22, 19) omfattar ett don (7) för bildande av minst två pulsade signaler ($+V_0$, $-V_0$), som uppvisar inverterad polaritet i förhållande till det tryckkänsliga membranets (1) elektriska potential och kan matas till minst två av motelektroderna (2, 3).

10. Anordning enligt patentkravet 9, k ä n n e t e c k n a d av att återkopplingsanordningen (9, 4, 22, 19) omfattar ett kopplingsdon (13), medelst vilket minst en av motelektroderna (2) kan anslutas till en inverterad och en oinverterad pulsad signal på ett alternerande sätt.

11. Anordning enligt patentkravet 10, k ä n n e t e c k n a d av att den utöver givarkapacitansen ($C_1 + C_2$) även omfattar en till givarmembranet (1) ansluten referenskondensator (11) och en strömställare (12), med vilken referenskonden-

satorn (11) kan anslutas till och bortkopplas från mätningen.

12. Anordning enligt patentkravet 9, k ä n n e t e c k n a d av att motelektroderna (2, 3) uppvisar åtminstone approximativt lika stora effektiva ytor.

13. Anordning enligt patentkravet 9, k ä n n e t e c k n a d av att referenskondensatorns (11) kapacitans C_{ref} och summan $(C_1 + C_2)$ av kapacitanserna mellan givarens stationära elektroder (2, 3) och givarmembranet (1) är åtminstone approximativt lika stora.

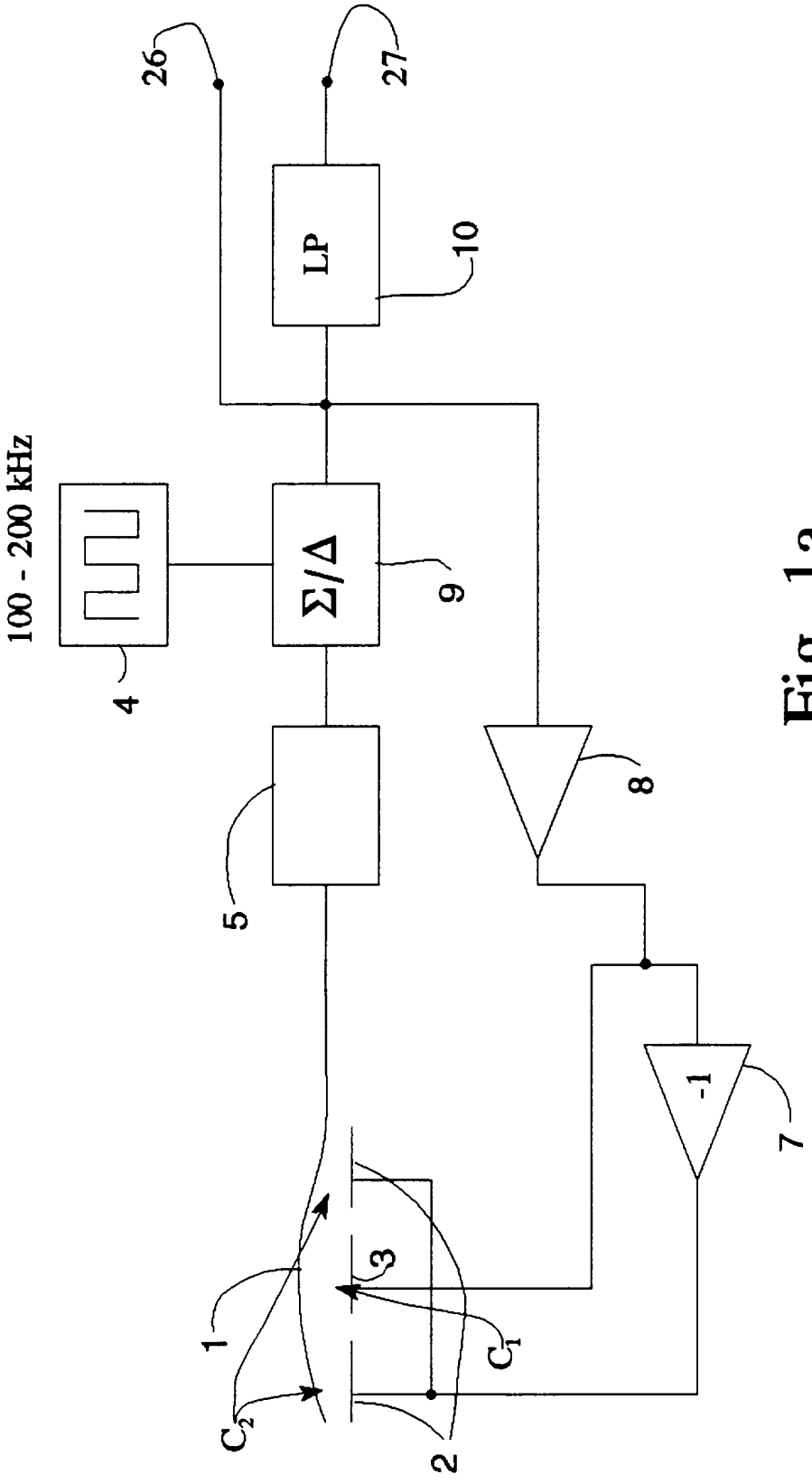


Fig. 1a

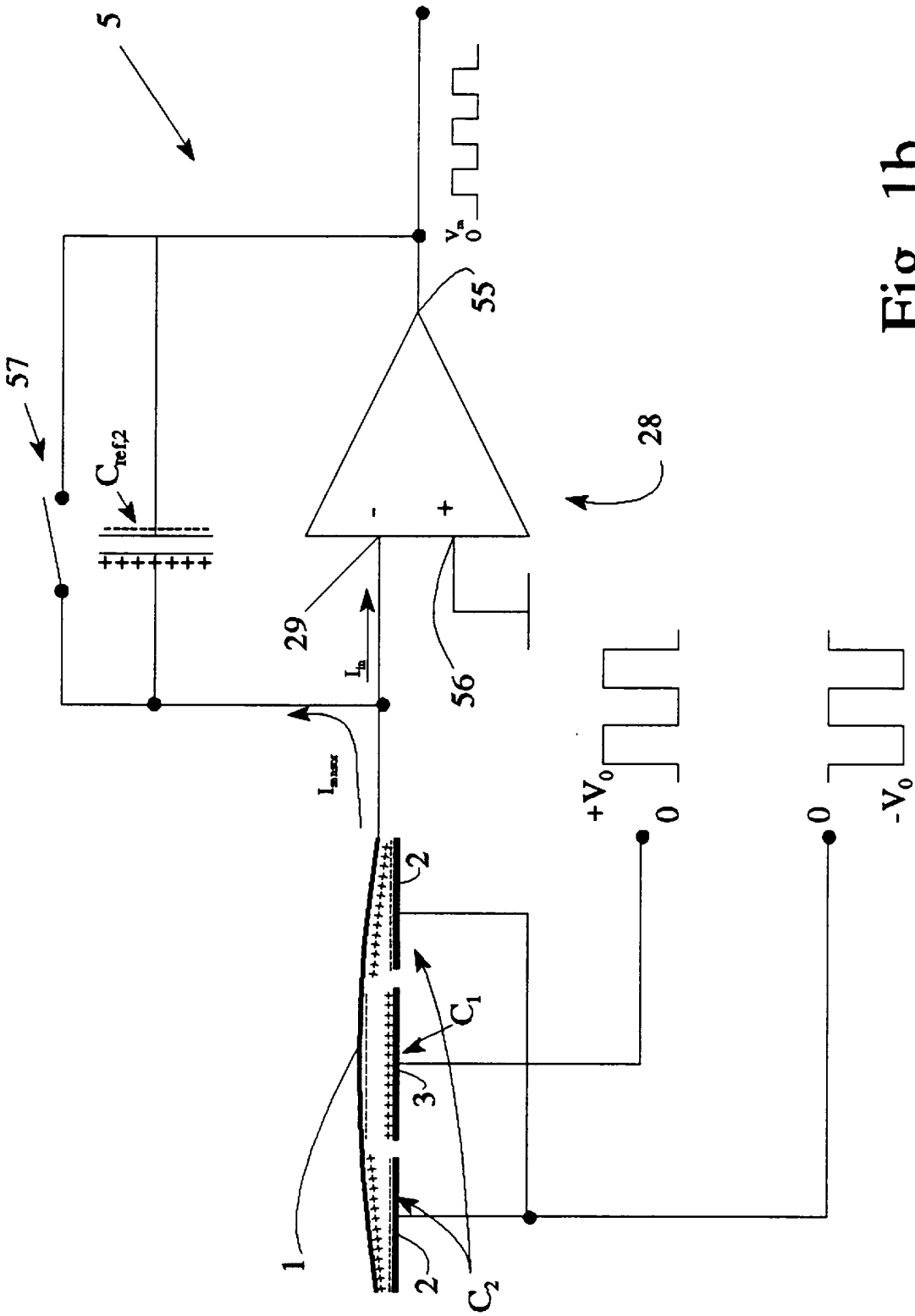


Fig. 1b

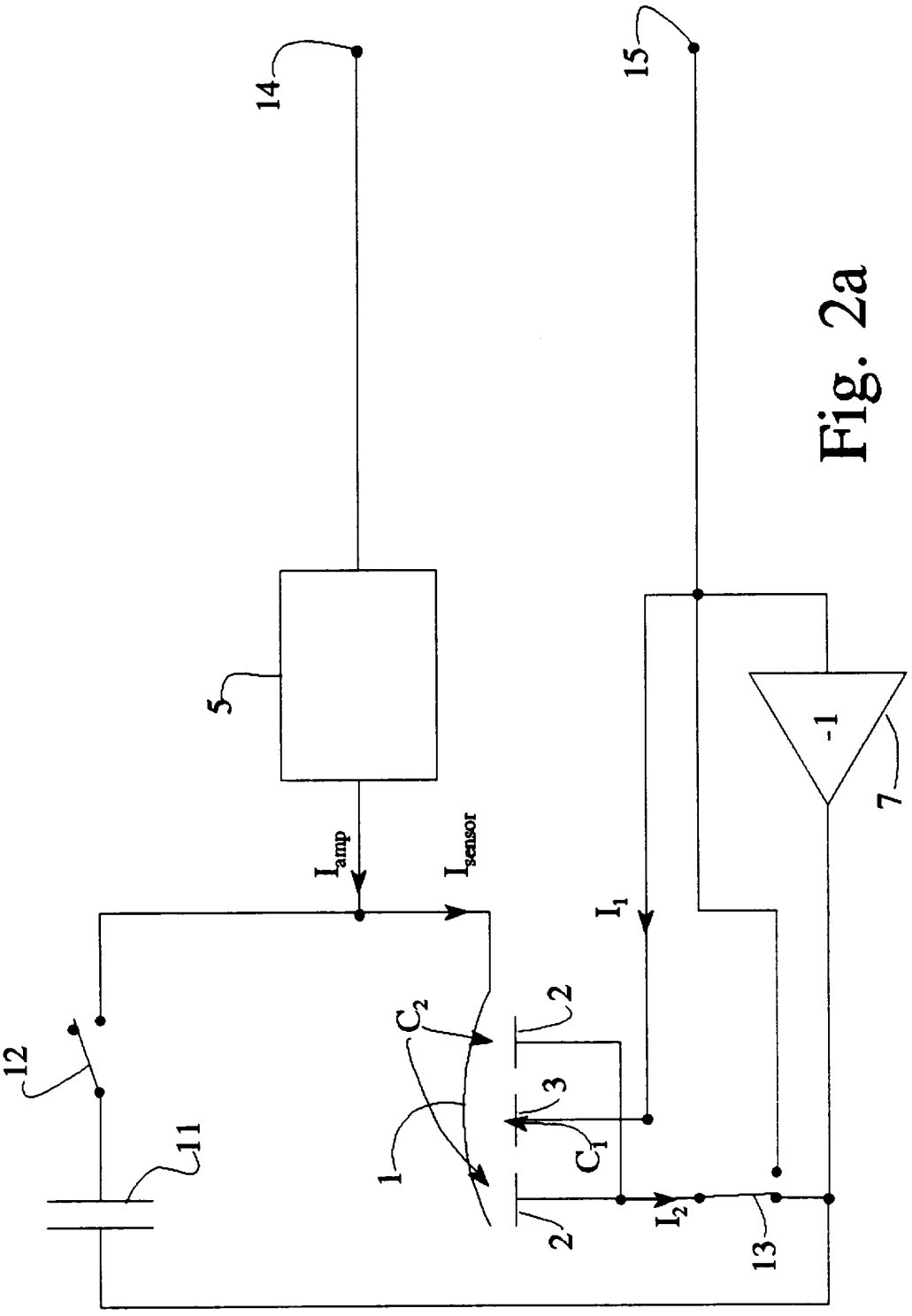


Fig. 2a

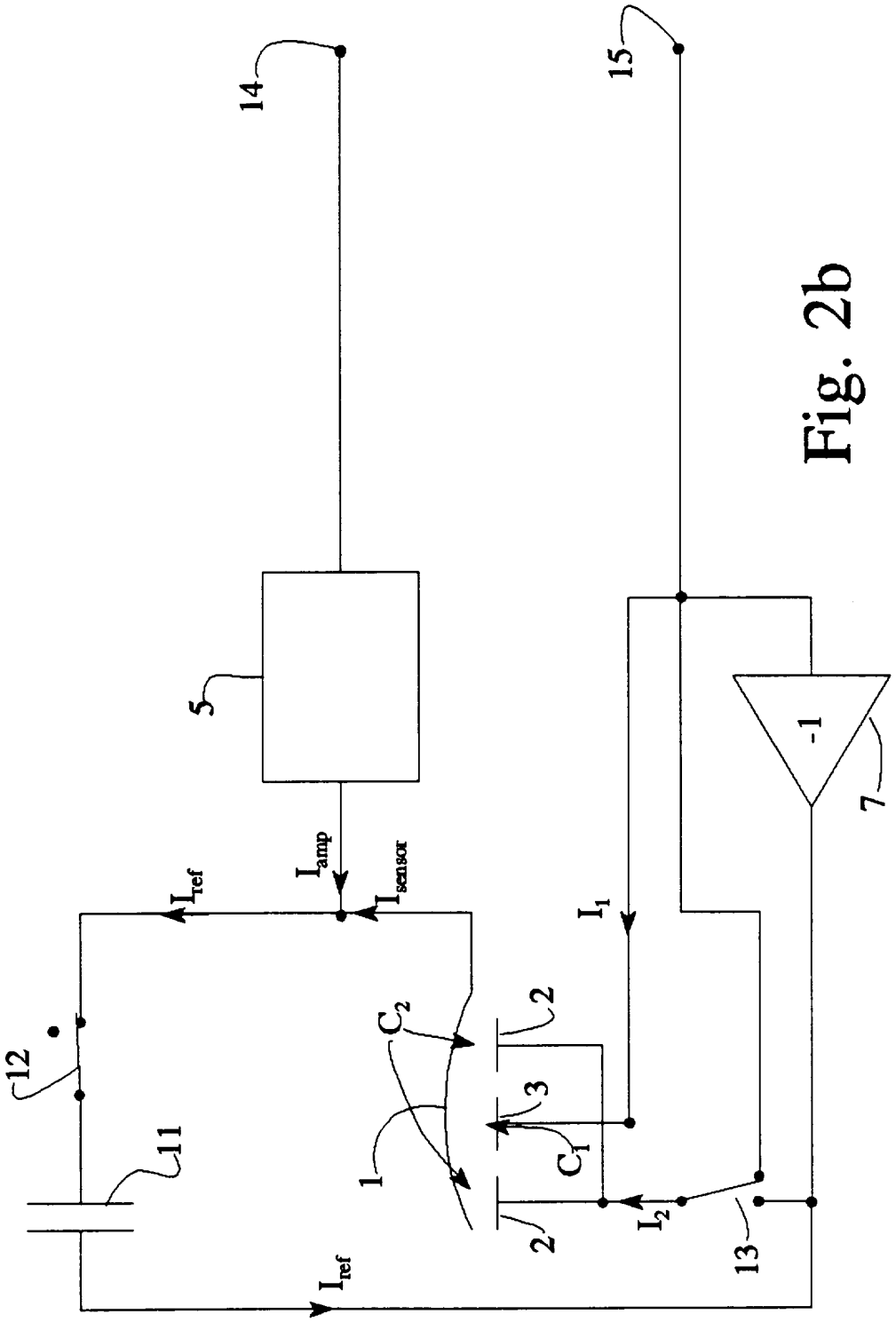


Fig. 2b

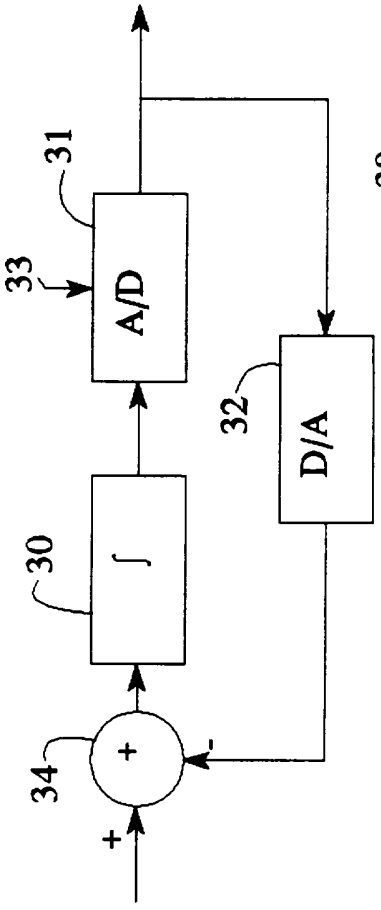


Fig. 3

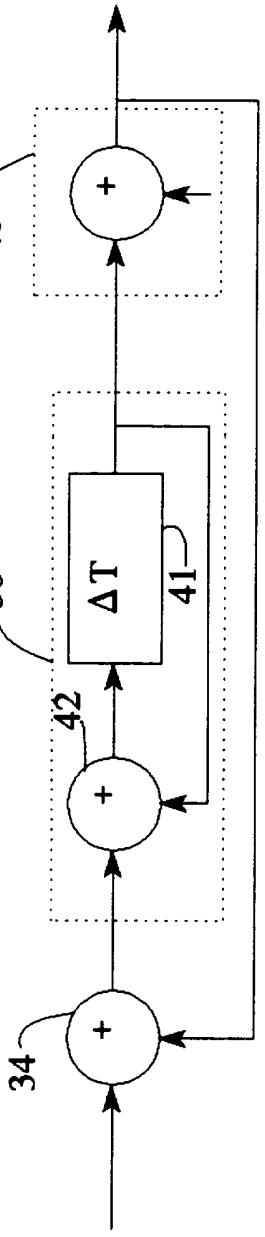


Fig. 4

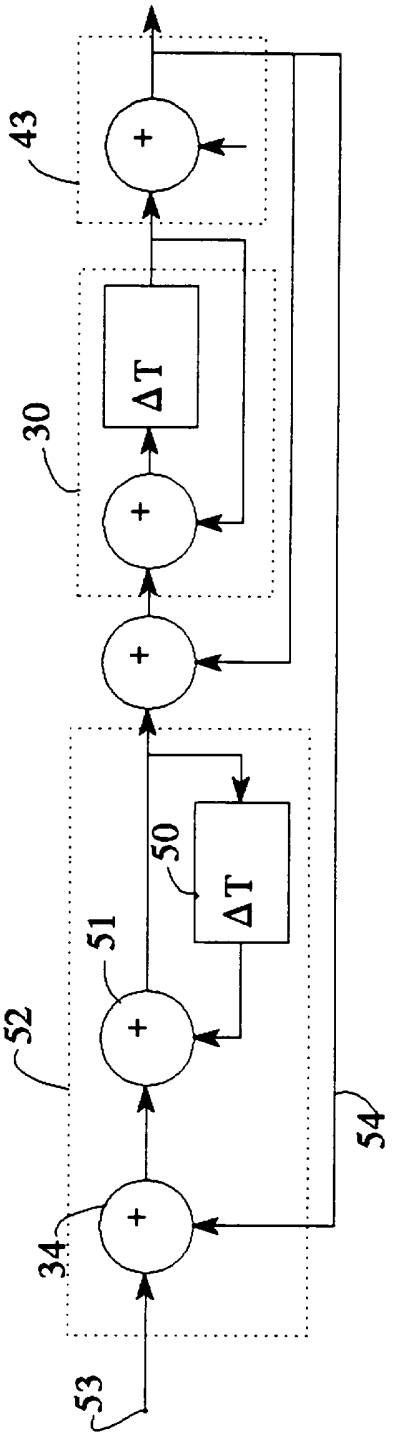
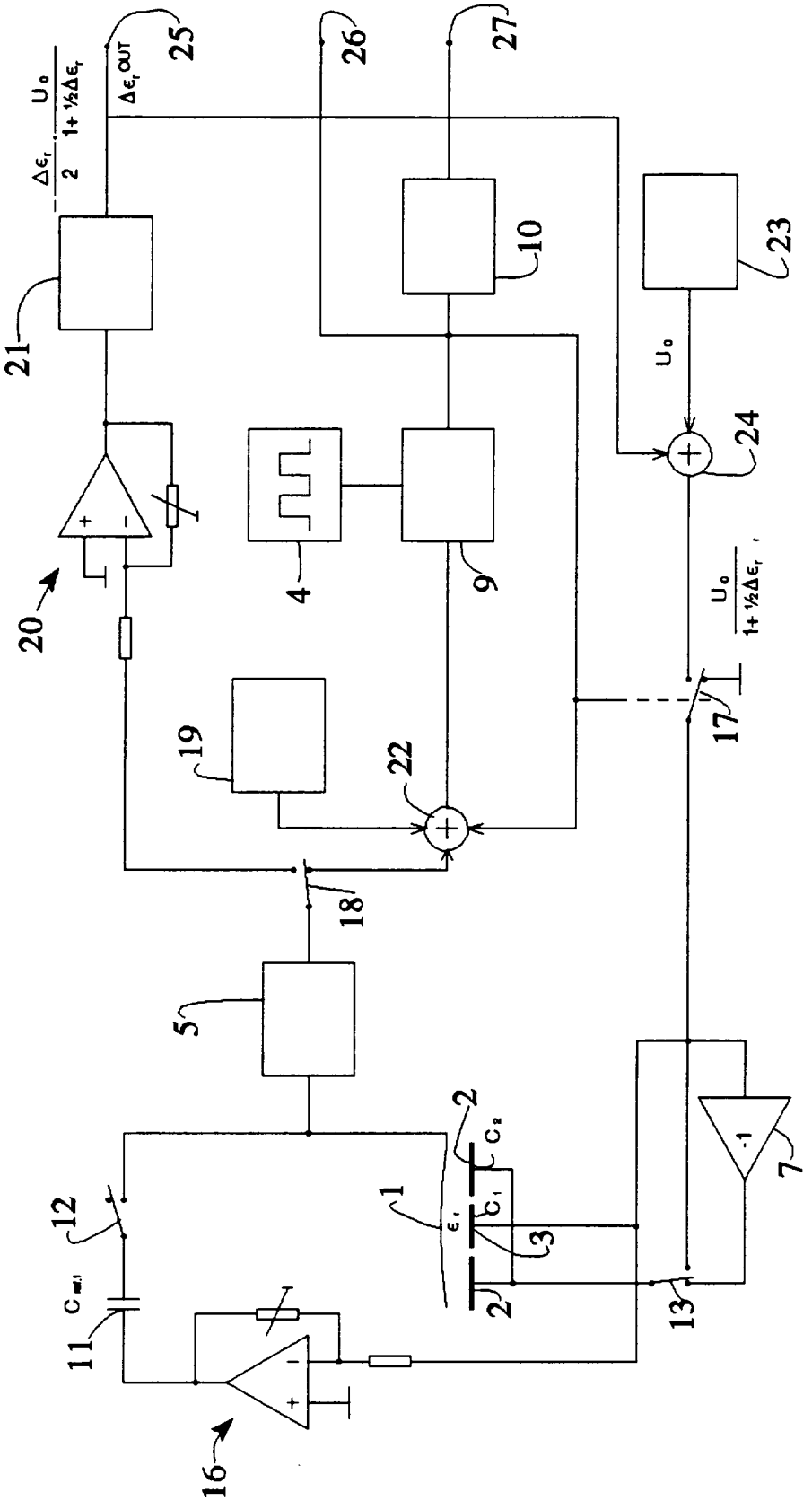


Fig. 5

93580



$-\frac{\Delta\epsilon_r}{2}\cdot\frac{U_0}{1+\frac{1}{2}\Delta\epsilon_r}$
$\Delta\epsilon_r^{OUT}$
25
26
27
21
10
23
U_0
24
20
4
9
$\frac{U_0}{1+\frac{1}{2}\Delta\epsilon_r}$
19
22
17
18
5
2
C_2
C_1
1
ϵ_1
3
2
12
$C_{ref,1}$
11
16
13
-1
7

Fig. 6

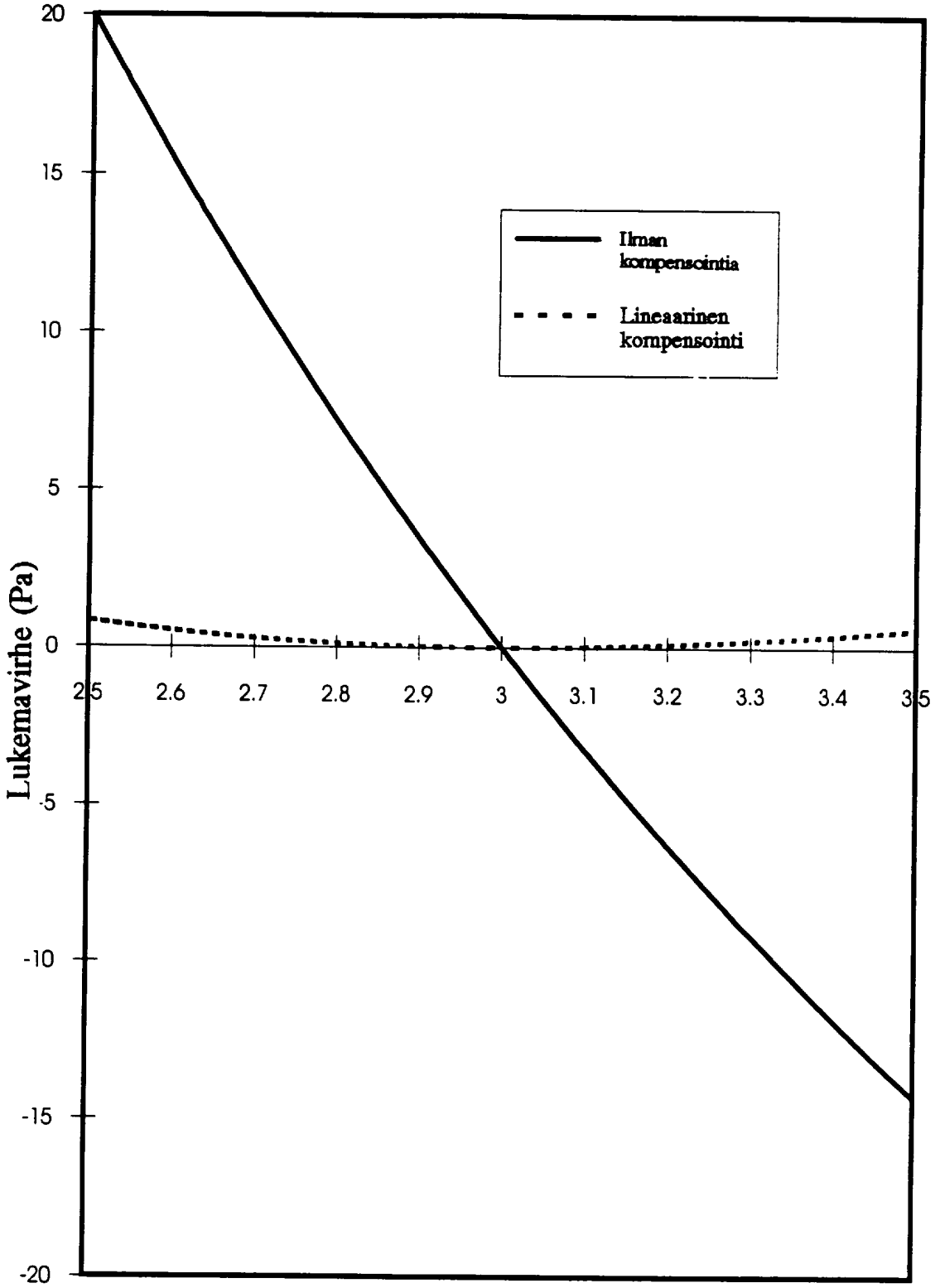

20
15
10
5
0
-5
-10
-15
-20
Lukemavirhe (Pa)
2.5
2.6
2.7
2.8
2.9
3
3.1
3.2
3.3
3.4
3.5
Ilman kompensointia
Lineaarinen kompensointi
epsilon r

Fig. 7

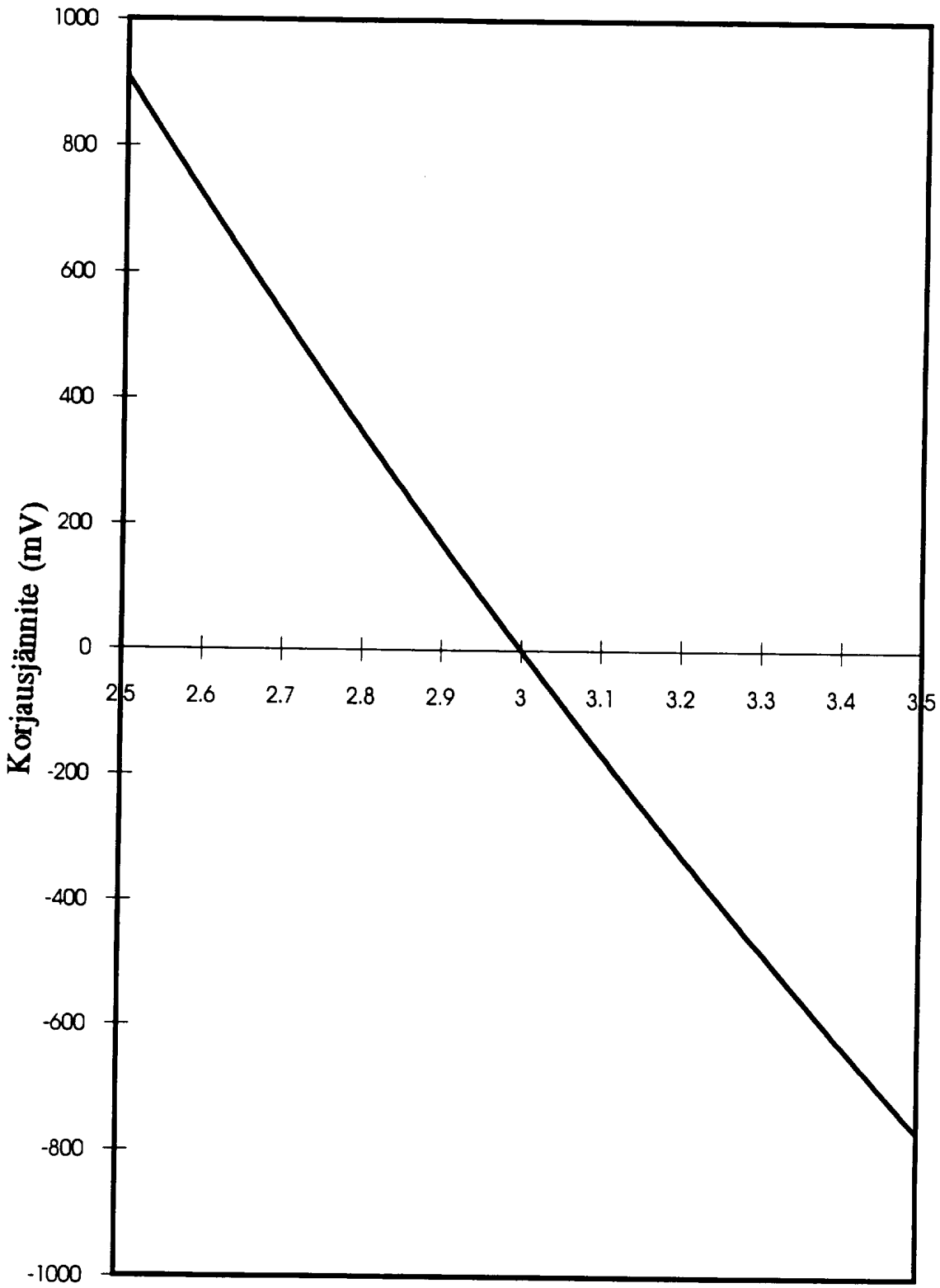

1000
800
600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
-1000
Korjausjännite (mV)
2.5
2.6
2.7
2.8
2.9
3
3.1
3.2
3.3
3.4
3.5
epsilon r

Fig. 8