

MEMS-komponentteja metrologiaan

Pienempiä ja tarkempia antureita

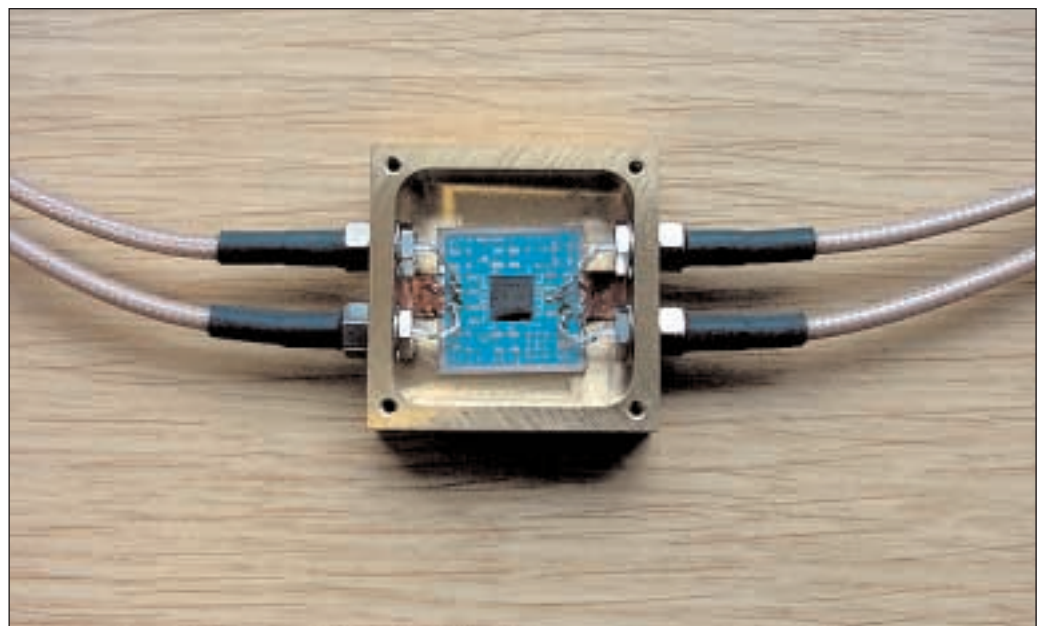


Improved MEMS sensors

The excellent mechanical properties of silicon micro-machined MEMS sensors have been demonstrated in many commercial applications. We have shown in recent studies that the performance of capacitive MEMS sensors is limited by the electrostatic instability in sensor surfaces. There is however a high potential for significant improvement.

Extremely stable MEMS components and their fabrication processes are developed in an European collaboration project called EMMA. The new and improved fabrication processes have general applicability in all MEMS sensor manufacturing. The increase in the sensor stability does not only realize in improved sensor performance but also in reduced fabrication costs. Up to 80% of the sensor's total price is due to testing and calibration, which can be significantly reduced with the new sensors.

VTI Technologies develops the next generation accelerometer in the project. Due to the improved level of performance, the components can be applied also in new areas for example in test and measurement instrumentation. VTT has invented and experimentally demonstrated the operation of a DC voltage reference and an AC RMS converter. A promising new field is to apply MEMS sensors in high frequency measurements. The contact person is Heikki Seppä (heikki.seppa@vtt.fi)



Kuva: VTI

Uuden sukupolven pienemmät ja tarkemmat MEMS-anturit tulevat korvaamaan nykyiset anturit halvempien tuotantokustannusten ansiosta. MEMS-komponenttien hinnasta jopa 80 prosenttia voi koostua testaus- ja kalibrointikustannuksista. Uudet tarkkuusanturit voidaan ottaa käyttöön huomattavasti kevenneillä testausmenettelyillä. Lisäksi parantuneen suorituskyvyn ansiosta stabiileille MEMS-komponenteille avautuu uusia sovellusmahdollisuuksia esimerkiksi tarkkuusinstrumentoinnin alalta.

Mikromekaanisten antureiden kehittäminen alkoi Suomessa 70-luvun lopussa. Nykyisin kaupallisessa tuotannossa ovat esimerkiksi Väisälän radiosondin paineanturi ja VTI Technologiesin (ent. VTI Hamlin) autoteollisuudelle valmistama kiihtyvyyssanturi. Maailmanlaajuisesti eniten MEMS-komponentteja (Micro Electro Mechanical System) käytetään kiintolevyissä ja mustesuihkukirjoittimien tulostuspäissä.

Kapasitiivisten MEMS-antureiden maailmanlaajuinen myynti on noin 150 Meuroa vuodessa.

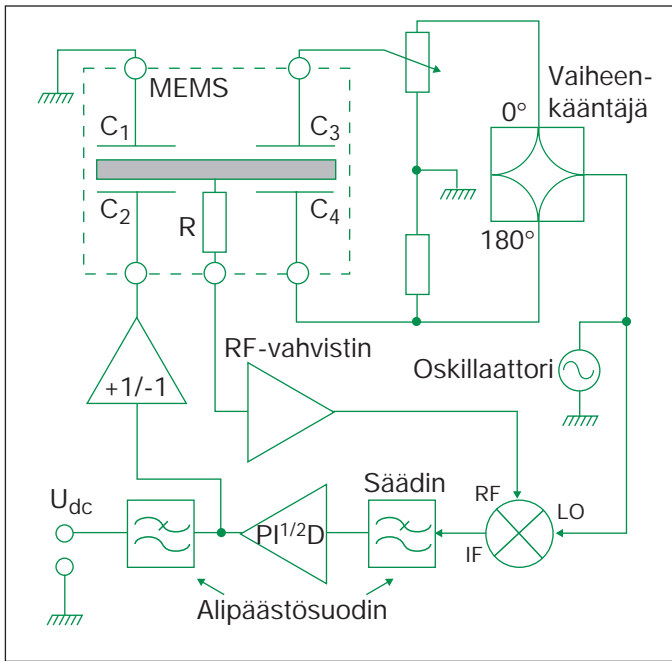
Joillakin aloilla, kuten esimerkiksi autoanturimarkkinoilla, kasvu on ollut jopa 100 prosenttia vuodessa. Uusista MEMS-sovelluksista suurimmat odotukset kohdistuvat telekommunikaatioalalla käytettäviin RF-MEMS-komponentteihin sekä teollisuusprosesseja valvoviin ja ohjauviin MEMS-antureihin.

MEMS-antureiden vahvuuksia ovat pieni tehonkulutus ja integroitavuus elektroniikkaan. Piianurit ovat mekaanisesti kestäviä eivätkä ikääny. Massatuotannon ansiosta yhden MEMS-komponentin hinta voi laskea jopa al-

le euron. Edullisen hinnan ja pienen koon, tyypillisesti muutamia millimetrejä, ansiosta antureita voidaan käyttää mitä erilaisimmissa sovelluksissa.

Uusia ja innovatiivisia sovelluksia MEMS-komponenteille löytyy myös tarkkuusmittauksista. Yksikiteinen pii on varsin tarkasti tunnettu ja mekaanisesti erittäin stabiili materiaali. Voisiko sen kimmovakioon perustuvasta komponentista kehittää haastajan elektronien vyörypurkaukseen perustuvalla Zener-diodille? Toistaiseksi ideat ovat vielä tieteellisten julkaisujen ja prototyyppien varassa, mutta kolmevuotisen EMMA-projektin jälkeen ollaan jo toivottavasti lähempänä kaupallisia tuotteita.

ElectroMechanical Micro-components for Precision Applications -projektissa (EMMA) kehitetään mikromekaanisia komponentteja tarkkuusmittaukseen. DC-referenssi, AC-rms-muunnin sekä mikroaltoa-alueen tehomittari ovat kaikki uusia, VTT:n keksintöihin perustuvia ideoita. Lisäksi projektissa on mukana VTI Technologies, joka kehittää hankkeessa



Tasajännitereferenssin lohkokaavio.

Block diagram of the DC voltage reference.

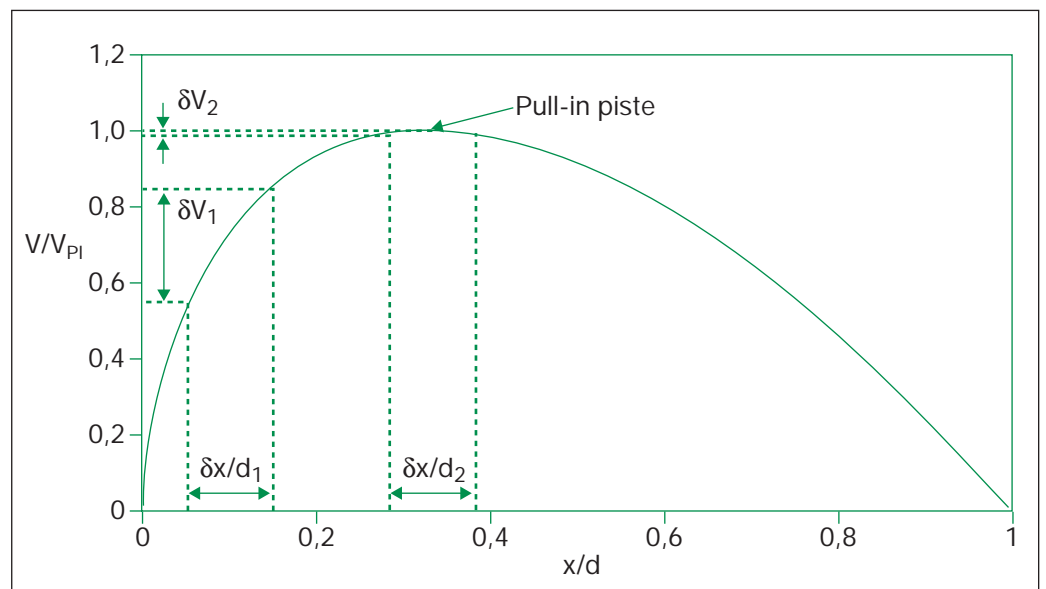
uuden sukupolven kiihtyvyyssanturia, joka on pienempi, tarkempi ja kustannustehokkaampi kuin edeltäjänsä. Yhteisenä nimittäjänä kaikille näille antureille on stabiilien mikromekaanisten valmistusmenetelmien kehittäminen sekä piissä esiintyvien epästabiilisuusiilmiöiden saaminen hallintaan. Niitä voidaan soveltaa yleisesti kaikkiin kapasitiivisiin MEMS-antureihin ja saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä valmiiden komponenttien testauksessa.

Kallistuma luetaan kiikun toiselta puolelta. Mikäli kiikku siirtyy pois pull-in-pisteestä, kondensaattorien C3 ja C4 avulla toteutettu jännitejako ei ole enää tasapainossa vaan aiheuttaa virran, joka vahvistetaan, ilmaistaan sekoittajalla ja viedään ohjausjännitteen säätäjään.

DC-referenssin stabiilisuus perustuu siis yksikiteisen piin kimmovakioon, ainakin teoriassa. Käytännössä tällä hetkellä mittaustarkkuutta rajoittavat eri-

DC-jännitereferenssi

Mikromekaanisen tasajännitereferenssin toiminta perustuu piistä valmistettuun kiikkuun. Oheisessa kuvassa on esitetty laitteen lohkokaavio. MEMS-komponentti koostuu keskeltä ripustetusta palkista, jonka molempiin päihin, molemmiin puolin, on metalloitu elektrodit. Näin kiikku muodostaa yhdessä pohja- ja kansilevyn kanssa neljä levykondensaattoria. Kun kiikun toiselle puolelle (C2) syötetään jännite, se kallistuu. Kiikkua kallistetaan ohjausjännitettä lisäämällä aina siihen pisteeseen saakka, että se on napsahtamaisillaan toiseen reunaan kiinni. Tätä pistettä kutsutaan pull-in-pisteeksi. Piirin lähtöjännite ei voi siis koskaan ylittää pull-in pisteen maksimiarvoa, joka riippuu vain kiikun jousivakiosta k , kondensaattorilevyjen välisestä etäisyydestä d , kondensaattorilevyjen pinta-alasta A sekä täytekaasun permittiivisyysvakios-
ta ϵ .



Anturin toimintakäyrä. Lähtöjännite V on esitetty kiikun poikkeaman x funktiona. V_{pi} on pull-in jännite ja d kondensaattorilevyjen välinen ilmarako kun $V=0$ ($x=0$).

Eigencurve of the DC voltage reference. Output voltage V is displayed as a function of the displacement x . V_{pi} is the pull-in voltage and d is the distance between the capacitor plates when $V=0$ ($x=0$).

laiset sähköiset epästabiilisuusiilmiöt piissä. Tyypillisessä anturissa levyjen välinen etäisyys on 1 mikrometri ja jännite 10 voltia, joka johtaa huikkaan 10 MV/m sähkökentään. Eipä siis ihme, että elektronit lähtevät liikkeelle ja tutkija taistelee pintavaarusten, kontaktipotentiaalierojen sekä piiksi-
dissa olevien varausten aiheuttamien ongelmien kanssa. On kuitenkin todennäköistä, että nämä sähköiset ilmiöt saadaan hallintaan ja sen alta paljastuu komponentin mekaaninen epästabiilisuus. Komponentin resoluutio on erittäin hyvä, sillä sitä rajoittaa vain Brownin liike, mutta kuinka hyvä pitkän aikavälin stabiilisuus komponentilla saavutetaan, jää nähtäväksi. Ryöminän pitäisi olla alle 1 ppm/vuosi, jotta komponentti olisi kaupallisesti mielenkiintoinen.

AC-RMS-muunnin

Kondensaattorilevyä voidaan poikkeuttaa myös vaihtojännitteen avulla sillä voimahan on verrannollinen jännitteen neliöön. Vaihtojännitteen avulla tasajännitereferenssistä saadaan helposti muunnettua vaihtojännitteen tehollisarvomittari. Vaihtojännitteen taajuuden on vain oltava selvästi suurempi kuin komponentin mekaaninen resonanssitaajuus ettei elektrodi lähde liikkumaan jännitteen tahdissa.

Kiikku pidetään tasapainoasemassa takaisinkytkemällä toiselle puolelle vaihtojännitteen rms-arvoa vastaava tasajännite.

Muuntimen alarajataajuutta rajoittaa siis mekaaninen resonanssitaajuus, joka voidaan minimoida rakentamalla mahdollisimman suuri ja painava kiikku. Tosin tällöin laite on herkempi ulkopuolisille mekaanisille häiriöille. Komponentti voidaan vaimentaa myös sähköisesti.

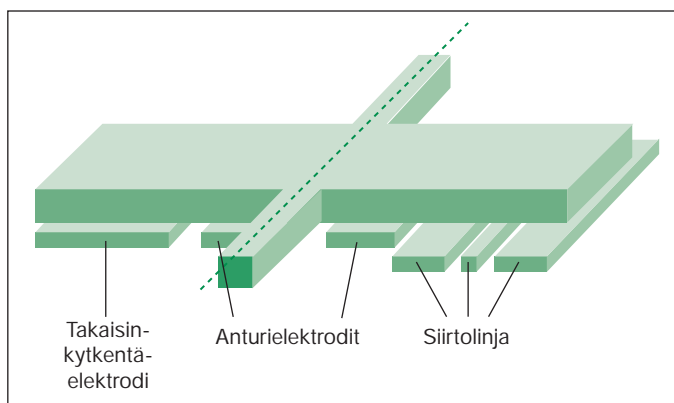
HF-anturi

Samantyyppistä mittauseriaetta voidaan edelleen soveltaa myös korkeammille taajuuksille, esimerkiksi mikroaaltoalueen tehonmittaukseen. Yksinkertaisimmillaan mikromekaaninen HF-anturi on siirtolinjan yläpuolelle ripustettu levy, jonka taipuma on verrannollinen siirtolinjassa kulkevaan tehoon. Taipuma ilmaistaan kapasitiivisesti kuten muissakin antureissa. Toisella puolella olevan vastaelektrodin avulla kiikku pidetään tasapainoasemassa. Keskellä sijaitsevilla elektrodeilla mitataan kiikun asentoa.

Oheisessa kuvassa on esitetty kiikkuun perustuva MEMS-HF-anturi. Tämä geometria mahdollistaa kiikun kallistamisen ja lukemisen eri elektrodeilta ja lisäksi sillä pyritään pienentämään anturin asento- ja värähtelyherkkyyttä. Anturin pienen tehonvaimennuksen ansiosta sitä voidaan käyttää läpimenevän tehon mittaukseen. Anturi on laajakajaistainen, ulottuen useisiin kymmeniin gigahertzeihin.

Kiihtyvyyssanturi

VTI Technologies kehittää uuden sukupolven kiihtyvyyssantu-



Mikroaaltoalueen tehomittarin rakenne.

Microwave power sensor.

ria EMMA-projektissa. Kustannuspaine autoanturimarkkinoilla on suuri ja siksi uusien anturien tulisi olla puolet pienempiä, 10 kertaa tarkempia ja oleellisesti halvempia kuin edeltäjänsä. MEMS-anturien koko on suoraan verrannollinen hintaan sillä kiekon prosessointikustannukset voidaan suoraan jakaa siltä saatavien anturien lukumäärällä.

Tällä hetkellä kiihtyvyyssanturin tarkkuutta rajoittavat erilaiset pintailemiöt piissä ja pioksissa, eli siis samat ongelmat kuin edellä mainituissa DC- ja AC-komponenteissa. Pintailmiöihin vaikuttavat sekä anturin rakenne, erityisesti siinä käytetyt materiaalit, että valmistusteknologia ja sen tasalaatuisuus. Mikäli nämä saadaan hallintaan, voidaan anturit ottaa käyttöön huomattavasti kevennetyllä testausmenettelyllä.

Uuden sukupolven edullisia kiihtyvyyssantureita voidaan käyttää myös uusissa sovelluksissa. Parantunut tarkkuus mahdollistaisi komponenttien käytön esimerkiksi inertiaalinavigoinnissa ja suurta tarkkuutta vaativissa kallistusmittauksissa. ●

Aiheesta enemmän

EMMA

<http://www.vtt.fi/tte/research/tte7/research/emma/>

Heikki Seppä, Jukka Kyynäräinen and Aarne Oja, Microelectromechanical Systems in Electrical Metrology, IEEE

A. Kärkkäinen, P. Helistö, A.S. Oja, and H. Seppä, Electromechanical Components for Precision Applications, URSI XXVI 2001

H. Kattelus, H. Heikkinen, A. Häärä, A batch process for depositing amorphous metallic Mo-Si-N films, MFMN 2002

T. Vähä-Heikkilä, J. Kyynäräinen, A. Oja, J. Varis, and H. Seppä, Capacitive MEMS Power Sensor, The 3rd Workshop on MEMS for Millimeterwave Communication.

Taustat

Kirjoittajat: Anu Kärkkäinen, Jukka Kyynäräinen, Aarne Oja ja Heikki Seppä, VTT Tietotekniikka.

Yhteyshenkilö: heikki.seppa@vtt.fi

Tutkimus: EMMA (ElectroMechanical Microcomponents for Precision Applications)

Yhteistyössä: VTT Tietotekniikka, VTI Technologies, Twenten Yliopisto Hollannista, Mittatekniikan keskus MIKES, Physikalisch- Technischen Bundesanstalt Saksasta, NMI -- Institute for metrology and technology Hollannista, Fluke PM Englannista.

Teknologiaohjelma: IST (EU) ja ELMO