

Kristian Hirvi

# Piirilevyn suunnittelu vika- analyysikäyttöön ja piirilevyn toiminnan testaa- minen sekä MSA-mittausten suorittaminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri AMK

Elektroniikan koulutusohjelma

Opinnäytetyö

25.9.2015

|  |  |
|--|--|
| Tekijä<br>Otsikko<br><br>Sivumäärä<br>Aika   | Kristian Hirvi<br>Piirilevyn suunnitteleminen vika-analyysikäyttöön ja piirilevyn toiminnan testaaminen sekä MSA-mittausten suorittaminen<br>59 sivua + 10 liitettä<br>25 syyskuu 2015 |
| Tutkinto   | Insinööri (AMK)  |
| Koulutusohjelma  | Sähkötekniikka   |
| Suuntautumisvaihtoehto   | Elektroniikka  |
| Ohjaajat   | Arto Hietanen, diplomi-insinööri<br>Matti Fischer, yliopettaja   |
| <p>Tässä insinöörityössä tehtävänä oli suunnitella piirilevy kiihtyvyyss- ja kulmanopeusanturien vika-analyysikäyttöön. PADS-ohjelmistolla suunniteltua piirilevyä käytettäisiin sekä tuotannosta saapuvien että asiakkaan palauttamien komponenttien analysointiin. Tämä insinöörityö on tehty Murata Electronics Oy:lle.</p> <p>Testattava anturikomponentti asetetaan piirilevyn testikantaan ja piirilevy laitetaan uuniin, jonka lämpötila vaihtelee -40:n ja +125 celsiusasteen välillä. Ohjelmoitu testisekvenssi testaa tuotteen toiminnan uuniajon aikana.</p> <p>MSA-mittauksissa oli paljon mittadataa, jota käsiteltiin Excel-taulukko ohjelmalla. Minitab-ohjelmisto laski kontrollirajat mitatuille parametreille sekä se arvioi mittauslaitteiston kyvykkyyssindeksin jokaiselle parametrille. Poikkeavuudet mitatuissa parametreissa huomioitiin ja korjaavat toimenpiteet tehtiin komponentin sekä kannan välisen asentovirheen korjaamiseksi.</p> <p>Piirilevystä saatiin toimiva ja lisäksi työssä selvitettiin oskilloskooppimittausten avulla, min-kälaisia ulkoisia kondensaattoreita SCC2000-sarjan komponentti vaatii toimiakseen. Aiemmalla uunipiirilevyllä oli ollut epäselvyyksiä kondensaattorien koon suhteen. Lisäksi dokumentaatio oli puutteellinen, mitä tässä työssä yritettiin korjata. Tässä työssä korjattiin myös edellisessä uunipiirilevyssä huomattuja maadoituspuutteita, sillä piirilevy on vielä käytössä esimerkiksi tuotannosta saapuvien osien analysoinnissa.</p> |  |
| Avainsanat   | Piirilevy, PADS, MEMS, MSA   |

|   |  |
|---|--|
| Author<br>Title<br>Number of Pages<br>Date  | Kristian Hirvi<br>Designing and Testing a Circuit Board for Failure Analysis Use<br>and Performing MSA-Measurements<br>59 pages + 10 appendices<br>25 September 2015 |
| Degree  | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme  | Electrical engineering   |
| Specialisation option   | Electronics  |
| Instructor(s)   | Arto Hietanen, Master of Science in Technology<br>Matti Fischer, Principal lecturer  |
| <p>This thesis concerns designing a circuit board for failure analysis use. Circuit board designed with PADS software will be used for analysis of parts from production-line and of the returned parts from customer site. This thesis is done for Murata Electronics Oy.</p> <p>The sensory component which is going to be tested is put in a socket on the circuit board and the circuit board is placed in an oven having a temperature ranging from -40 to +125 degrees celsius. The programmed test sequence tests the product during operation of the oven run.</p> <p>MSA measurements gave a lot of measurement data, which was treated with the Excel program. Minitab software calculated the control limits for the measured parameters, as well as estimated the measurement equipment capability index for each parameter. Discrepancies in the measured parameters were taken into consideration and corrective actions were carried out to fix the position error between the socket and the component.</p> <p>The circuit board was functional to analyze components. Also oscilloscope measurements were done to characterize the values of external capacitors for SCC2000-series component. The previous oven circuit board had irregularities in relation to the size of the external capacitors. The incomplete documentation was also corrected in this thesis study. The grounding defect of a previous oven circuit board was also fixed, because the circuit board is still in use for example analyzing the incoming production parts.</p> |  |
| Keywords  | Circuit board, PADS, MEMS, MSA   |

## Sisällys

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Johdanto  | 1  |
| 2     | Murata Electronics Oy   | 1  |
| 2.1   | MEMS-anturit  | 1  |
| 2.2   | Antureiden valmistus  | 2  |
| 2.3   | Antureiden käyttösovellukset  | 2  |
| 2.4   | Auton turvalaitejärjestelmät  | 4  |
| 3     | Komponentin ja anturien rakenne ja toimintaperiaate                     | 5  |
| 3.1   | SCC2000-tuoteperheen komponentti  | 5  |
| 3.2   | Kapasitiivinen kiihtyvyyssanturi  | 6  |
| 3.3   | Puolijohteiden mittaustekniikka   | 9  |
| 3.3.1 | Yleistä   | 9  |
| 3.3.2 | Puolijohdemittauslaitteiston kyvykkyys                                  | 9  |
| 3.4   | Kapasitanssimittari   | 10 |
| 3.5   | Gyroanturin rakenne ja toimintaperiaate                                 | 11 |
| 4     | Piirilevyn suunnittelu  | 13 |
| 4.1   | Yleistä   | 13 |
| 4.2   | Ohjeita piirilevyn reititykseen   | 16 |
| 4.3   | Piirilevyn materiaali ja piirilevyn pinnan viimeistely                  | 18 |
| 4.4   | Mittauslaitteisto   | 19 |
| 4.5   | Suunnittelun aloitus  | 21 |
| 4.5.1 | GATS-elektronikan maadoitusrakenne                                      | 22 |
| 4.5.2 | Suunnittelun piirilevyn maa-alueet                                      | 23 |
| 4.5.3 | Kytkeäpisteiden nimeäminen  | 24 |
| 4.6   | Aiemman piirilevyn ja uuden suunnittelun uunipiirilevyn kytkentäkaaviot | 25 |
| 4.7   | Euro 64 -liittimen johdinjärjestys                                      | 30 |
| 5     | Piirilevyjen testaus  | 32 |
| 5.1   | Piirilevyn kalustaminen   | 32 |
| 5.2   | Piirilevyjen testiajot 1-4  | 33 |
| 5.3   | Piirilevyjen testiajot 5-8  | 38 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 6     | Sähköinen analysointi ja vianetsintä           | 39 |
| 6.1   | Yleistä vianetsinnästä                         | 39 |
| 6.2   | Piirilevyn analysointi                         | 40 |
| 6.2.1 | Testattavan komponentin analysointi            | 40 |
| 6.3   | Yleismittarin sisäinen resistanssi             | 41 |
| 6.4   | Piirilevyjen K1 ja K2 oskilloskooppimittaukset | 42 |
| 6.5   | Boost-hakkuri                                  | 45 |
| 6.6   | SPI-linjan oskilloskooppimittaukset            | 47 |
| 7     | MSA-mittaukset                                 | 48 |
| 7.1   | Yleistä  | 48 |
| 7.2   | Stabiilisuusmittaus                            | 49 |
| 7.3   | BIAS-mittaus                                   | 50 |
| 7.4   | GAGE-mittaus                                   | 54 |
| 8     | Yhteenveto                                     | 56 |
|       | Lähteet  | 58 |

Liitteet:

- Liite 1. Uunisekvenssin ohjelmointikoodi
- Liite 2. Testattavien komponenttien kotelotyyppi (SOIC-24)
- Liite 3. Komponenttien nastojen sähköinen johtavuus
- Liite 4. Testattavien komponenttien testikanta
- Liite 5. Testattavien komponenttien pinnijärjestys (COMBO2)
- Liite 6. Piirilevyjen K1 ja K2 testiajot 1-8
- Liite 7. Piirilevyjen K3 ja K4 testiajot 1-3
- Liite 8. Init FA -piirilevyn maadoitus
- Liite 9. Euro 64 -liittimen pinnien nimet
- Liite 10. Valokuva valmiista COMBO2-uunilevystä

## Lyhenteet

|        |   |
|--------|---|
| a      | Kiihtyvyyden fysikaalinen suure, jonka yksikkö SI-järjestelmässä on $m/s^2$ .           |
| ABS    | <i>Anti-lock Braking System</i> . Lukkiutumaton jarrujärjestelmä.                       |
| ACC    | <i>Acceleration</i> . Käytetään ilmaisemaan kiihtyvyyttä ( $a = v / t$ ).               |
| ADP    | Muratan valmistama kiihtyvyyssanturi.   |
| ARC    | <i>Anti Roll Control</i> . Kallistuksen esto.   |
| ASIC   | <i>Application Specific Integrated Circuit</i> . Integroitu mikropiiri.                 |
| fc     | <i>Corner Frequency</i> . Rajataajuus (-3dB) piirin taajuusvasteesta.                   |
| CAD    | <i>Computer Aided Design</i> . Tietokoneavusteinen suunnittelu.                         |
| CAM    | <i>Computer Aided Manufacturing</i> . Tietokoneavusteinen valmistaminen.                |
| COBRA  | Muratan valmistama ensimmäisen sukupolven yhdistetty kiihtyvyyss- ja kulmanopeusanturi. |
| COMBO2 | Muratan valmistama toisen sukupolven yhdistetty kiihtyvyyss- ja kulmanopeusanturi.      |
| Cpk    | <i>Process Capability</i> . Suorituskykyindeksi, toleranssialueen keskiarvon poikkeama. |
| CS     | <i>Chip Select</i> . Piirin valinta.  |
| C-V    | <i>Capacitance-Voltage</i> . Kapasitanssi muunnetaan jännitteeksi.                      |
| DUT    | <i>Device Under Test</i> . Testauksessa oleva komponentti.                              |
| ECS    | <i>Electrically Controlled Suspension</i> . Sähköisesti ohjattu jousitus.               |
| EMI    | <i>Electromagnetic Interference</i> . Sähkömagneettinen häiriö.                         |

|         |  |
|---------|--|
| ENIG    | <i>Electroless Nickel Immersion Gold.</i> Piirilevyn pinnoitemenetelmä.        |
| EPB     | <i>Electronic Parking Brake.</i> Elektroninen seisontajarru.                   |
| ESC     | <i>Electronic Stability Control.</i> Elektroninen ajonvakautusjärjestelmä.     |
| ESR     | <i>Equivalent Series Resistance.</i> Vastaava sarjaresistanssi.                |
| FET     | <i>Field Effect Transistor.</i> Kanavatransistori.                             |
| F / FY  | <i>Fiscal / Financial Year.</i> Tilivuosi/Tilikausi.                           |
| FR      | <i>Flame Retardant.</i> Piirilevy materiaalin palonsuoja/kestävyys.            |
| g       | Putoamiskiihtyvyyden tunnus, jonka arvo on noin 9,81 m/s <sup>2</sup> .        |
| GATS    | <i>General Active Test System.</i> Muratan suunnittelema mittauselektroniikka. |
| HASL    | <i>Hot Air Solder Levelling.</i> Piirilevyn pinnoitemenetelmä.                 |
| HSA     | <i>Hill Start Assist.</i> Mäkilähtöavustin.                                    |
| Init FA | <i>Initial Failure Analysis.</i> Alustava vika-analyysi.                       |
| I/O     | <i>Input / Output.</i> Sisääntulo / ulostulo.                                  |
| LCL     | <i>Lower Control Limit.</i> Alaraja, esimerkiksi Minitab-ohjelmassa.           |
| LPF     | <i>Low Pass Filter.</i> Alipäästösuodatin.                                     |
| LSB     | <i>Least Significant Bit.</i> Vähiten merkitsevä bitti.                        |
| LSL     | <i>Lower Specification Limit.</i> Spesifikaation alaraja.                      |
| MEMS    | <i>Micro Electro Mechanical System.</i> Mikroelektromekaaninen järjestelmä.    |
| MISO    | <i>Master Input Slave Output.</i> Datalinja orjalaitteelta isännälle.          |

|          |   |
|----------|---|
| MLCC     | <i>Multi-Layer Ceramic Capacitor.</i> Monikerroksinen keraaminen kondenssaattori.   |
| MOSI     | <i>Master Output Slave Input.</i> Datalinja isäntälaitteelta orjalle.   |
| MSA      | <i>Measurement System Analysis.</i> Mittausjärjestelmän analysointi.  |
| NC       | <i>Not Connected.</i> Kytkeänpiste, jota ei ole sähköisesti kytketty.   |
| NMOS     | <i>N-type Metal-Oxide-Semiconductor.</i> N-tyypin kanavatransistori MOSFET.   |
| PADS     | Piirilevyn suunnitteluohjelma.  |
| PCB      | <i>Printed Circuit Board.</i> Piirilevy.  |
| PMOS     | <i>P-type Metal-Oxide-Semiconductor.</i> P-tyypin kanavatransistori MOSFET.   |
| ppm      | <i>Parts Per Million.</i> Miljoonasosa.   |
| Q        | <i>Quality factor.</i> Hyvyysluku.  |
| RF       | <i>Radio Frequency.</i> Radiotaajuus.   |
| RS-232   | <i>Recommended Standard.</i> Sarjaportti, joka on esimerkiksi kahden tietokone-laitteen välille tarkoitettu tietoliikenneportti.          |
| SMD      | <i>Surface Mount Devices.</i> Pintaliitoskomponentit, kuten esimerkiksi vastukset, kondenssaattorit, mikropiirit ja sähkömekaaniset osat. |
| SMB      | <i>SubMiniature version B.</i> Liitintyyppi.  |
| ROV      | <i>Roll Over (sensor).</i> Pyörimisen tunnistin anturi.   |
| $\sigma$ | <i>Sigma = standard deviation.</i> Keskihajonta.  |
| SCLK     | <i>Serial Clock.</i> Kellosignaali.   |



|         |  |
|---------|--|
| SOIC-24 | <i>Small Outline Integrated Circuit -24pin.</i> Komponentin kotelotyyppi (24 pinniä).  |
| SPI     | <i>Serial Peripheral Interface.</i> Sarjamuotoinen oheislaitteväylä. Synkronoitu kaksisuuntainen sarjaväylä, SPI-väylän signaalit ovat SCLK, MOSI, MISO ja CS. |
| TI_A    | <i>Test Input Acceleration sensor.</i> Kiihtyvyyssanturin testisisääntulo.   |
| TIN     | <i>Test Input Negative.</i> Negatiivinen testisisääntulo.  |
| TIP     | <i>Test Input Positive.</i> Positiivinen testisisääntulo.  |
| TON     | <i>Test Output Negative.</i> Negatiivinen testiulostulo.   |
| TOP     | <i>Test Output Positive.</i> Positiivinen testiulostulo.   |
| TOP_G   | <i>Test Output Positive Gyroscope.</i> Gyroanturin positiivinen testiulostulo.   |
| UCL     | <i>Upper Control Limit.</i> Yläraja, esimerkiksi Minitab-ohjelmassa.   |
| USB     | <i>Universal Serial Bus.</i> Sarjaväyläarkkitehtuuri oheislaitteiden liittämiseksi tietokoneeseen.   |
| USL     | <i>Upper Specification Limit.</i> Spesifikaation yläraja.  |
| VDR     | <i>Voltage Dependent Resistor.</i> Vastus, jonka resistanssi muuttuu jännitteen funktiona. Varistori.  |
| YAW     | <i>YAW-rate.</i> Kuvaa kulmanopeuden suuruutta.  |

## 1 Johdanto

Tämän insinööriyön tavoitteena oli suunnitella piirilevy, jolla analysoidaan sähköisesti kiihtyvyy- ja kulmanopeusantureiden toimivuutta. Työ tehtiin Murata Electronics Oy:lle. Tehtaan tuotantolinjalta tai asiakkaalta saapuvat anturikomponentit toimitetaan vika-analyyysiin analysoitavaksi. Suunniteltava piirilevy on tuoteperheen SCC2000-komponenteille, jotka mittaavat kiihtyvyyttä ja kulmanopeutta. Piirilevyä aiotaan käyttää uunissa, jossa lämpötila vaihtelee -40 ... +125 celsiusasteen välillä.

Kolmen eri tuoteperheen piirilevyt olivat toimineet siihen asti, kunnes mittauksissa alkoi esiintyä erilaisia mittausvirheitä. Mittausvirheet johtuivat vanhan mekaanisen piirilevykehikon asentovirheestä, johtojen ja liittimien kontaktihäiriöistä sekä piirilevyllä olevien komponenttien sähköisistä ominaisuuksista ja niiden arvoista. Kahdelle vanhemmalle tuotteelle (ADP ja COBRA) oli suunniteltu uudet piirilevyt, joten niitä pääsi kokoamaan ja sähköisesti mittaamaan, kun ne saapuivat piirilevyn valmistajalta. COBRA-tuotteen piirilevyssä olivat sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet muuttuneet siten, että se ei suoraan toiminut ensimmäisessä testissä, vaikka muutoksia edelliseen olivat vain erilainen liitin ja hieman erilainen reititys. Piirilevyn tutkiminen ja vian etsiminen vei aikaa, joten kolmannen tuotteen (COMBO2) piirilevyn suunnittelu pysäytettiin, kunnes löydettiin vika COBRA-tuotteen piirilevystä. Insinööriyön aihe selvisi sillä hetkellä: tuli suunnitella uusi piirilevy COMBO2-tuotteelle, jonka testauksessa oli esiintynyt satunnaisia virheitä ja muita ongelmia.

## 2 Murata Electronics Oy

### 2.1 MEMS-anturit

Murata kehittää ja valmistaa korkean suorituskyvyn kiihtyvyyssantureita, gyroantureita ja kaltevuuden mittalaitteita vaativiin käyttöolosuhteisiin, kuten autoteollisuuden ja lääketieteen sovelluksiin. Murata Electronics Oy (entinen VTI Technologies Oy) markkinoi niitä maailmanlaajuisesti ja johtaa kiihtyvyyssanturien maailman markkinoita autoteollisuuden myynnissä. Liikevaihto vuodelle 2013 FY (Fiscal Year) oli 115,7 M€[16].

## 2.2 Antureiden valmistus

Muratan käyttämä 3D MEMS -tekniikka (Micro Electro Mechanical System) tarjoaa korkean luotettavuuden antureita kohtuullisin kustannuksin. MEMS-teknologia perustuu piikiekkokerien käsittelyyn, jossa yksittäisellä piikiekolla voidaan valmistaa jopa tuhansia komponentteja kerrallaan käyttäen valokuvalitografiaprosessia. Valokuvalitografiaprosessissa ultravioletivaloa ohjataan piikiekkoon kuvioidun maskin läpi. Ultravioletivalolle altistuneet kohdat piikiekossa syövytetään pois ionietsauksella. [1, s. 5.]

## 2.3 Antureiden käyttösovellukset

Muratan MEMS-antureiden käyttö on helposti laajennettavissa, kun käyttötarkoituksia keksitään koko ajan lisää joko asiakkaiden tai Muratan toimesta. Turvallisuusominaisuudet, kuten elektroninen ajonvakautusjärjestelmä ESC (Electronic Stability Control) ja lukkiutumaton jarrujärjestelmä ABS (Anti-lock Braking System) ovat kehittyneissä maissa lakisääteisiä uusissa ajoneuvoissa [2].

Uudet ominaisuudet, kuten elektroninen seisontajarru EPB (Electronic Parking Brake) ja mäkilähtöavustin HSA (Hill Start Assist), tuovat lisäturvallisuutta ajamiseen ja ehkäisevät onnettomuuksia. Autoteollisuuden sovellusesimerkkejä ovat edellä olevien lisäksi elektroninen jousitusjärjestelmä ECS (Electrically Controlled Suspension), värinävaimennussovellukset (anti-vibration applications), kaatumissuoja ROV (Roll Over) ja kallistuksen esto ARC (Anti Roll Control). [2.]

Teollisen sovelluksen esimerkkejä ovat maatalousajoneuvon tarkka navigoiminen ja automaattiohjaus, työkoneen automaattinen vaaitus, kauden paikan mittaus, kallistusmittaus raskaiden ajoneuvojen vaihteistoissa ja erilaisten ajoneuvojen liikeanturointi sekä dynaaminen vaaitus. [2.]

Lääketieteellisten sovellusten esimerkkejä ovat sydämentahdistimet, invasiivinen paineenmittaussovellus, esimerkiksi verenpaineen, aivopaineen tai vatsaontelon paineen mittaus. Diagnostiikka- ja hoitolaitteiston asemointisovellukset (erittäin tarkka leikkauspöytien, proteesien tai lääketieteellisten kuvantamislaitteistojen kaltaisten sovellusten asemointi). [2.]

Ilmailuteollisuuden sovellusesimerkkejä ovat automaattinen lennonhallinta, keinohorisontti sekä automaattiohjausjärjestelmä AHRS (Attitude Heading Reference System). Instrumenttisovelluksien esimerkkejä ovat kallistusmittaus elektronisissa vesivaaioissa, pyörivissä lasereissa, distometreissä, hypsometreissä, vaakojen kaltevuuskompensoinnissa ja kallistusmittaus pyörien suuntausjärjestelmissä, maaperän porauksissa sekä säiliöiden pinnankorkeuden ja prosessien paineenseurantajärjestelmissä. [2.]

Muita sovellusesimerkkejä ovat kamerassa värinävaimennus kuvan ottamisen aikana, robotin tasapainon hallinta, radio-ohjattavat lennokit sekä pallon lähtönopeuden ja kierteen tarkastelu golfpelissä. [3.]

Vanhanaikaisissa mekaanisissa kiintolevyissä kiihtyvyyssanturielementit on sijoitettu viistosti, jolloin esimerkiksi kiintolevyn pudotessa maahan pystytään anturien mittauserolla ohjaamaan ja korjaamaan kovalevyn luku- ja kirjoituspäätä väännön ja värähtelyn vaikutuksen aikana. (Tuotenimi: PKGS-00GXP1-R-). [4.]

Murata Electronics Oy aikoo jatkossakin kehittää uusia innovatiivisia tuotteita vastaamaan autoteollisuuden, logistiikan ja terveydenhuollon sekä muiden asiakkaiden tarpeisiin.

## 2.4 Auton turvalaitejärjestelmät

Auton tavanomaisin passiivinen turvalaite on turvavyö, joka törmäyksen voiman suuruudesta riippuen säätelee kehon liikettä. Auton korin eri törmäysvyöhykkeet sitovat liike-energiaa ja antavat lisäaikaa turvatyynyjen täyttymiselle estäen henkilön ennenaikaisen törmäyksen turvatyynyyn. [6.]

Elektroninen ajonvakautusjärjestelmä (luistonesto) on aktiivinen turvalaitejärjestelmä, joka tunnetaan monella nimellä eri autovalmistajien välillä [5]:

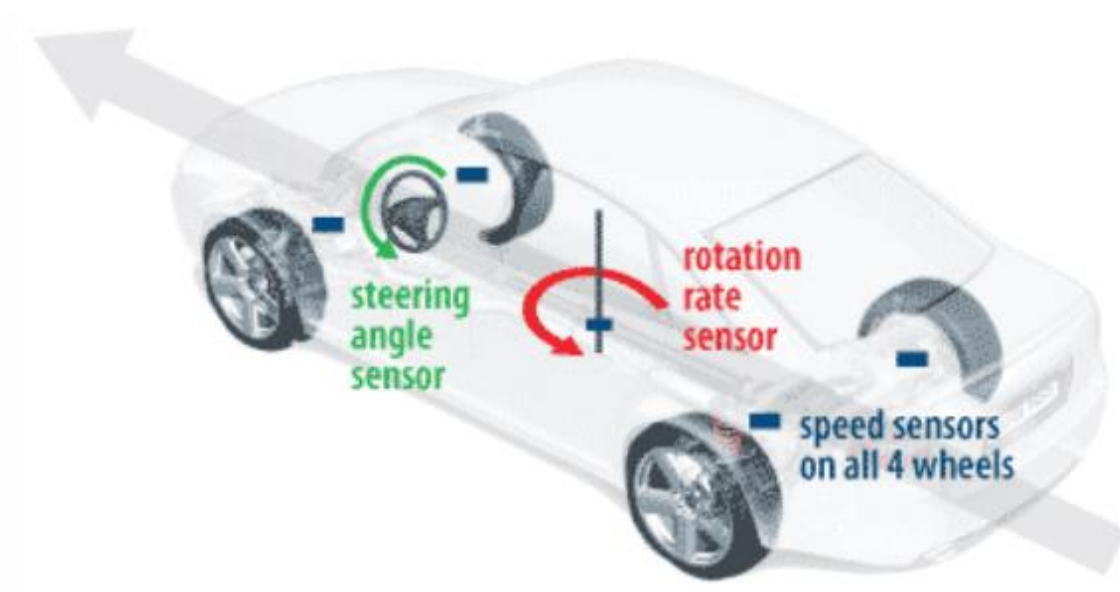
- Chrysler: Electronic Stability Program (ESP)
- Subaru: Vehicle Dynamics Control (VDC)
- Volvo: Dynamic Stability Control (DSC)
- Toyota: Vehicle Stability Control (VSC)
- Honda: Vehicle Stability Assist (VSA)
- General Motors: StabiliTrak
- Ford: AdvanceTrac. [5.]

Elektroninen ajonvakautusjärjestelmä (ESC, Electronic Stability Control) seuraa auton vakautta ja renkaiden pyörimisnopeutta havaitakseen pidon katoamisen tien ja renkaiden välillä. ESC ohjaa jokaisen renkaan itsenäistä ABS-jarrujärjestelmää, joka auttaa pitämään ajoneuvon suunnan ratin osoittamaan kulkusuuntaanpäin. ESC pystyy tarvittaessa myös vähentämään auton moottorin tehoa. [5.]

Auton ajaessa mutkaan liian suurella nopeudella pidon kadotessa ESC havaitsee, että auto ei ole kuljettajan hallinnassa, ja yrittää korjata tilanteen jarruttamalla sisämutkan puoleisia renkaita, mikä kääntää autoa tien suuntaan estäen ulosajon tieltä. Mutta fyysikan lakeja ei voi estää, toisin sanoen liian suuri tilannenopeus ei anna kuljettajan tehdä

90 asteen käännöksiä ajettaessa, esimerkiksi 90 km/h nopeudella. ESC on kuitenkin varsin hyödyllinen hätätilanteessa, sillä se vähentää tieltä ulosajoja ja törmäyksiä 50 %:lla. [5.]

Kuvassa 1 näkyy muutama auton turvalaitteistoon liittyvä anturi, esimerkiksi renkaiden pyörimisnopeuden anturit, ratin asennon osoittaman suunnan anturi ja auton poikittaisen pyörimisnopeuden gyroanturi.



Kuva 1. Auton turvalaitteiston antureita ovat esimerkiksi renkaiden pyörimisnopeuden anturit, ratin asennon osoittaman suunnan anturi ja auton poikittaisen pyörimisnopeuden gyroanturi [5.]

### 3 Komponentin ja anturien rakenne ja toimintaperiaate

#### 3.1 SCC2000-tuoteperheen komponentti

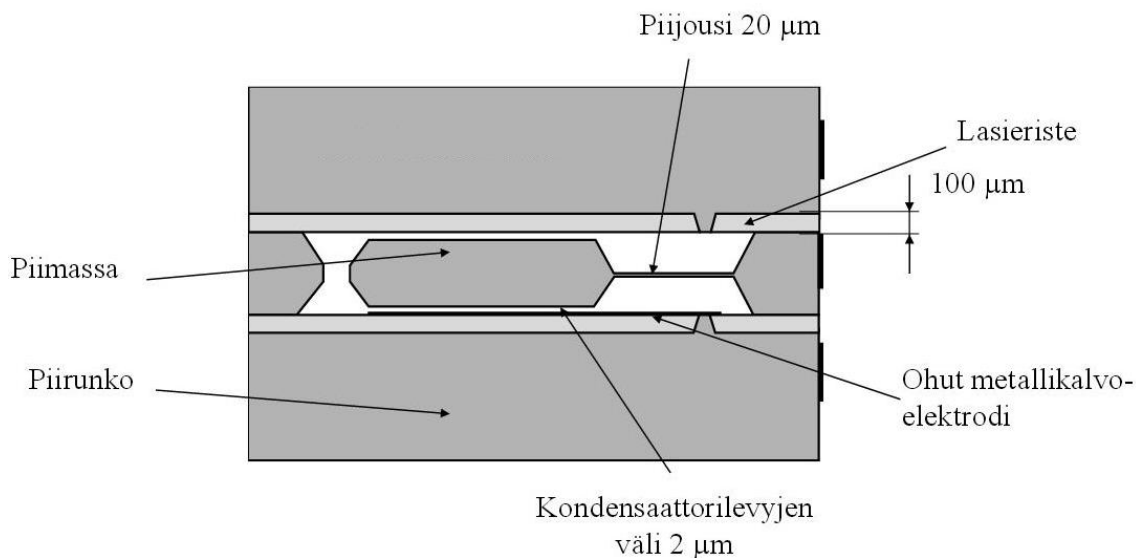
Tässä työssä käytetyt komponentit ovat kiihtyvyyttä ja kulmanopeutta mittaavia antureita (tuoteperheen SCC2000-komponentteja), jotka pitävät sisällään kaksi anturielementtiä ja ASIC-signaalikäsittelypiirin (kuva 2). Kotelotyyppi tälle tuoteperheelle on malliltaan SOIC-24. Liitteessä 2 näkyy komponentin kotelon ulkoinen rakenne.



Kuva 2. SCC2000-tuoteperheen komponentti, jonka sisällä on kiihtyvyyssanturielementti kuvassa vasemmalla. ASIC-piiri on kuvassa keskellä ja gyroanturielementti on kuvassa oikealla.

### 3.2 Kapasitiivinen kiihtyvyyssanturi

MEMS-anturin perusrakenne näkyy kuvassa 3. Anturi koostuu kansi- ja pohjakiekosta (elektrodit) ja niiden välissä on kiihtyvyydelle herkkä massa, joka muodostaa kondensaattori-ilmiön ohuita metallikalvoelektrodeja vasten. Kansi- ja pohjaelektrodit on eristetty rakennekiekosta (massasta) lasieristeellä. Jousen (beam) paksuus määrittää anturin kiihtyvyyssäätöalueen, joten ohuempi puijousi on herkempi mittaamaan kiihtyvyyden muutosta.



Kuva 3. MEMS-anturin perusrakenne [14].

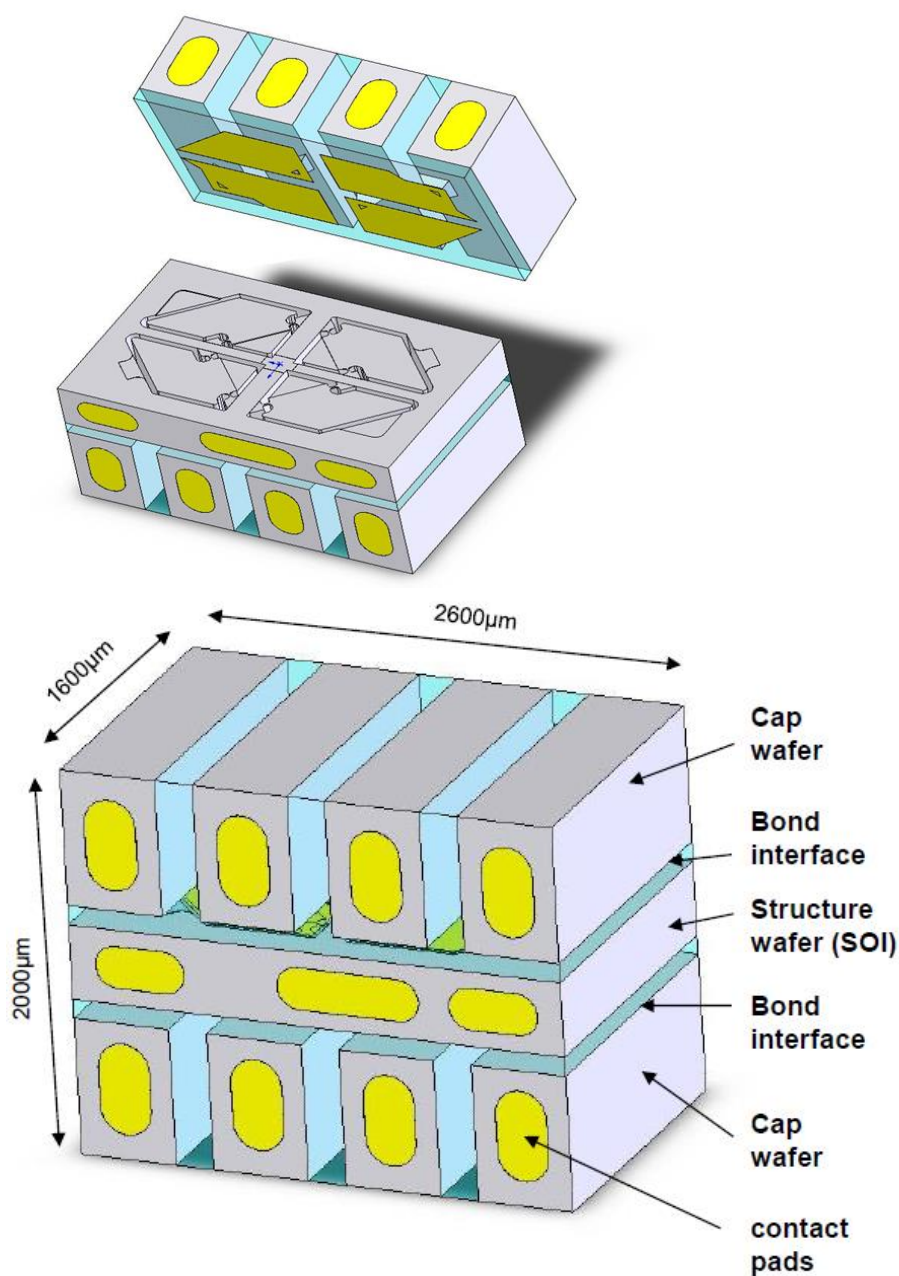
Massa (m) on suljettu tiiviisti kansi- ja pohjakiekkon väliin. Kiihtyvyyks, kuten maan painovoiman aiheuttama putoamiskiihtyvyyks taivuttaa piijousta ja massan liike muodostaa kaksi erisuuruista kapasitanssia (esimerkiksi 1 - 5 pF) kansi- ja pohjakiekkojen elektrodeja vasten massan molemmille puolille.

Massan hyvyysluku Q (Quality factor) on tarkoituksella mahdollisimman pieni (0,1), jotta massa ei jää värähtelemään epävakaiseen ja vaihtuvaan tilaan. Resonanssitaajuus vaihtelee riippuen elementistä, mutta esimerkiksi 1 kHz:n tai 10 kHz:n taajuus on tyypillinen resonanssitaajuus massalle. Massa (m) on painoltaan vain noin 1 milligramman verran ja on tuettu jousella (yhdeällä tai useammalla), jonka jousivakio (spring constant) on esimerkiksi 50 N/m riippuen MEMS-elementistä. [1, s. 44, s. 92.]

Kolmiakselinen kapasitiivinen kiihtyvyyksanturielementti (Triax, kuva 4) koostuu neljästä kiihtyvyydelle herkstä massasta ja kahdeksasta elektrodista. Komponentin kokema kiihtyvyyks aiheuttaa MEMS-elementissä kapasitanssin muutoksia, joita ASIC-piirin etuaste muuttaa jännitteeksi (C/V-muunnin). ASIC-piirin etuasteen jälkeinen signaalinkäsittely vahvistaa ja muuntaa pienen jännitesignaalin digitaaliseen muotoon, jota mikrokontrolleri voi lukea digitaalisen SPI-väylän kautta.



Massan ( $m$ ) siirtymä havaitaan mittaamalla kapasitanssiero massan kansi- ja pohjaelektrodin välillä. Matriisilaskentaa käytetään massojen liikkeen tulkintaan. Elementin epäideaalisuudet, kuten esimerkiksi herkkyyden virhe, nollapisteen poikkeama (offset) ja lämpötilariippuvuus kompensoidaan tuotantotestauksen aikana ja korjauskertoimet ohjelmoidaan ASIC-piirin EEPROM-muistiin.



Kuva 4. Kolmiakselinen kiihtyvyyssanturielementti (Triax) [14].

### 3.3 Puolijohdeiden mittaustekniikka

#### 3.3.1 Yleistä

Puolijohdekondensaattorien mittaamiseen käytetään korkeataajuisia signaalia. RF C-V (Radio Frequency, Capacitance-Voltage) mittausteikka soveltuu mittaamaan (ultra-thin-gate) puolijohdeita sekä rakenteen eristeitä. Haittana järjestelmässä on se, että se vaatii erittäin kalliit laitteet, testirakenteet ja RF-mittapäät. Luotettava toiminta riippuu myös huolellisesti suunnitellusta kaapeloinnista, laitteiden ylläpidosta ja järjestelmän sovittamisesta (matching). Esimerkiksi 50 Ω tai 100 Ω ominaisimpedanssin omaavia siirtojohtimia ja C-V -laitemittareita on käytössä ympäri maailmaa vastaavissa mittausteikkeissä. [9.]

#### 3.3.2 Puolijohdemittausteikkeen kyvykkyys

Mittausteikkaa käytetään esimerkiksi puolijohdekondensaattorien mittaamiseen, ja mittausteikka on 10 fF - 1 μF. Vastusarvoja pystyy myös mittaamaan 0,1 Ω - 100 MΩ asti. Pienet kelat ainakin arvoltaan 1 nH - 10 mH ovat mitattavissa. [9.]

Esimerkkinä mitattaessa puolijohdekondensaattoria, joka on arvoltaan 5 pF vastaa 10 MHz:n mittausteikällä noin 3 kΩ kuormaa yhtälön 1 avulla laskemalla.

$$Z = \frac{1}{2\pi fC} = 3k\Omega \quad (1)$$

RF C-V -mittausteikkeen asennus, kalibrointi ja ylläpito on monimutkainen kokonaisuus, joten joissakin sovelluksissa ja mittauksissa pärjätään perinteisellä AC-impedanssimittalaitteella LCR.

### 3.4 Kapasitanssimittari

Nykyiset yleismittarit voivat sisältää ominaisuuden kapasitanssin mittaukseen, mutta ne eivät sovellu puolijohdekondensaattorien mittaamiseen, sillä yleismittarin mittausalue on useimmiten suurempien kondensaattorien mittaamiseen tarkoitettu, esimerkiksi 1 nF - 10 000  $\mu$ F.

Yleismittari syöttää kapasitanssimittauksen aikana 3 Hz:n taajuudella positiivisia jännitepulsseja mitattavalle kondensaattorille ja laskee kondensaattorin kapasitanssiarvon (varauskyky) esimerkiksi purkamalla 850 mV:n jännitettä vakiovirralla alas 50 mV:iin ja laskemalla jännitteen muutos ajan funktiona  $\Delta t$  (kuva 5). Testattu komponentti oli elektrolyyttikondensaattori kapasitanssiarvoltaan 33  $\mu$ F ja kapasitanssimittarina oli käytössä Fluke 179 -yleismittari.

Kondensaattorin aikavakion ( $\tau$ ) voi laskea kaavalla 2, joka pätee kondensaattorille, jota aletaan ladataan 0 V:sta noin 63 %:iin asti käyttöjännitteen (V) suuruudesta:

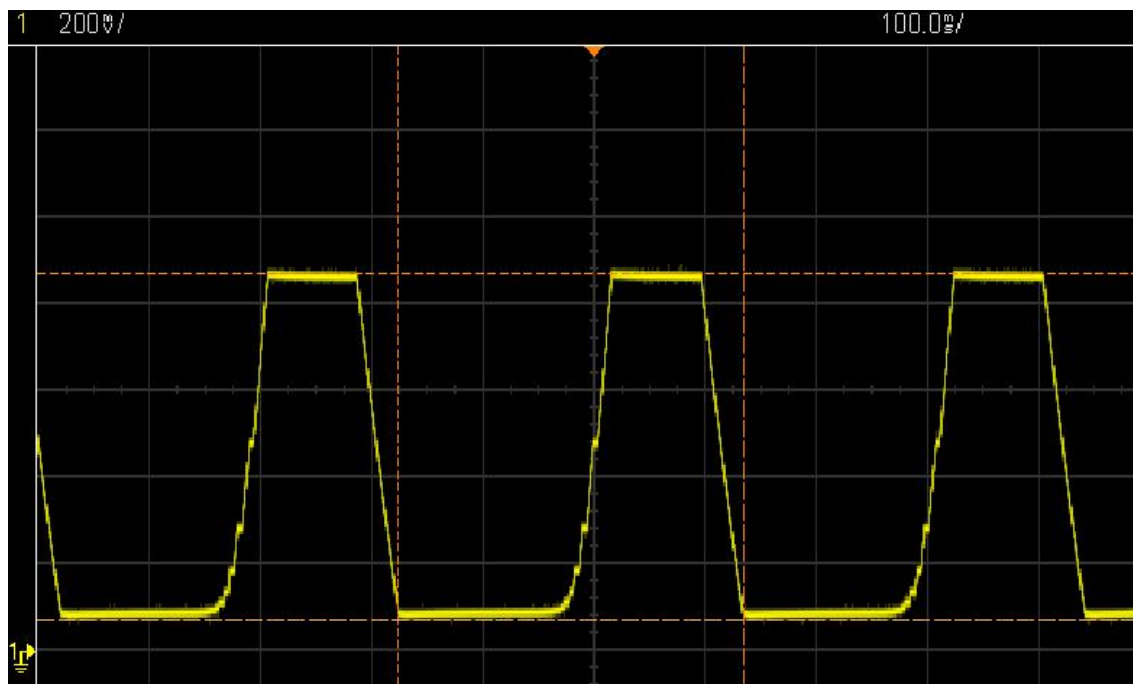
$$\text{aikavakio (Tau)} = (\tau) = R * C \quad (2)$$

esimerkiksi vastus, jonka arvo on 22 k $\Omega$ , ja kondensaattori, joka on arvoltaan 100  $\mu$ F:

- $\tau = 22 \text{ k}\Omega * 100 \mu\text{F} = 2,2 \text{ s}$

Kaavalla 3 voi laskea kondensaattorin jännitteen tietyllä ajanhetkellä, jossa ( $V_c$ ) on kondensaattorin jännite, (VDD) jännitelähde ja (e) on matemaattinen vakio sekä (t) on kulunut aika.

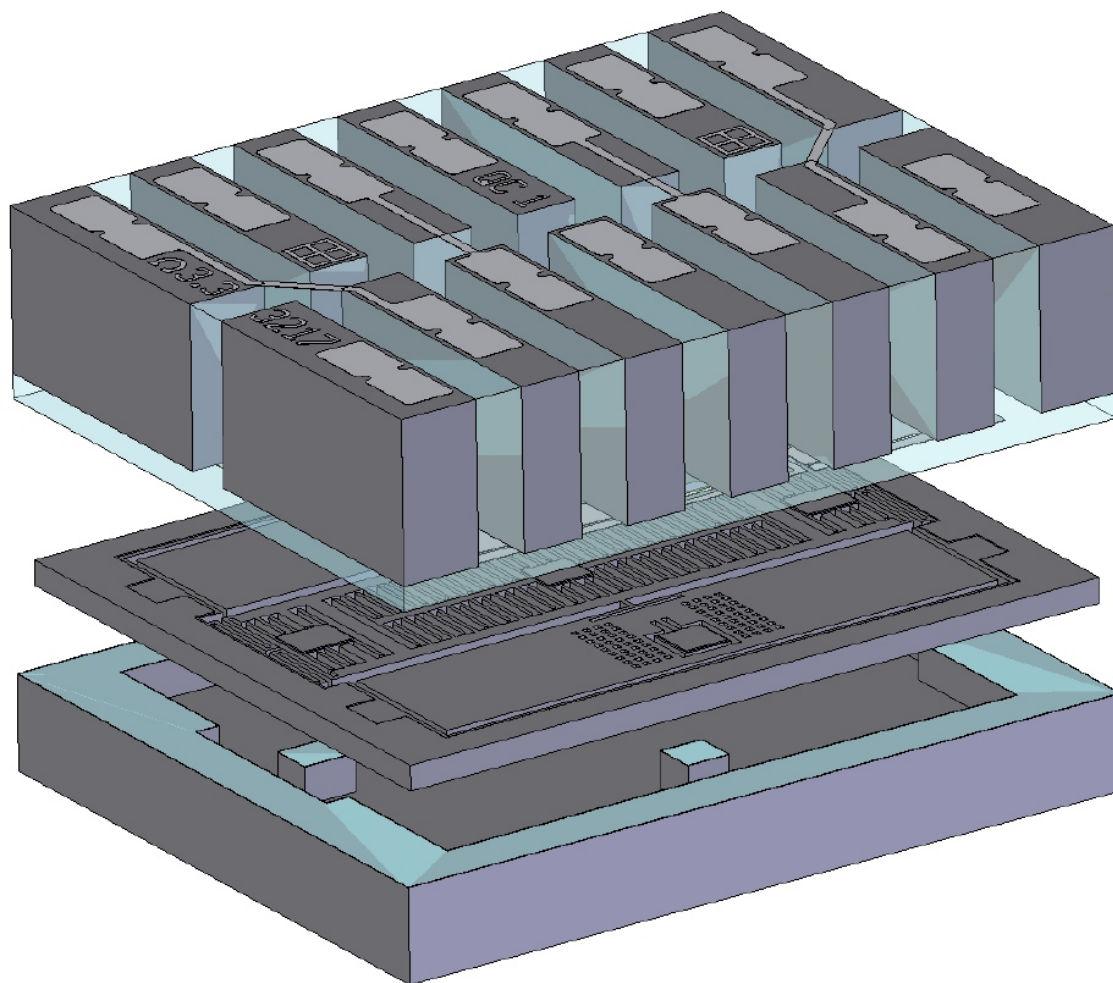
- $V_c = VDD (1 - e^{-t/R*C})$  (3)



Kuva 5. Kapasitanssimittarin pulssinmuoto (200 mV/ruutu) ja (100 ms/ruutu).

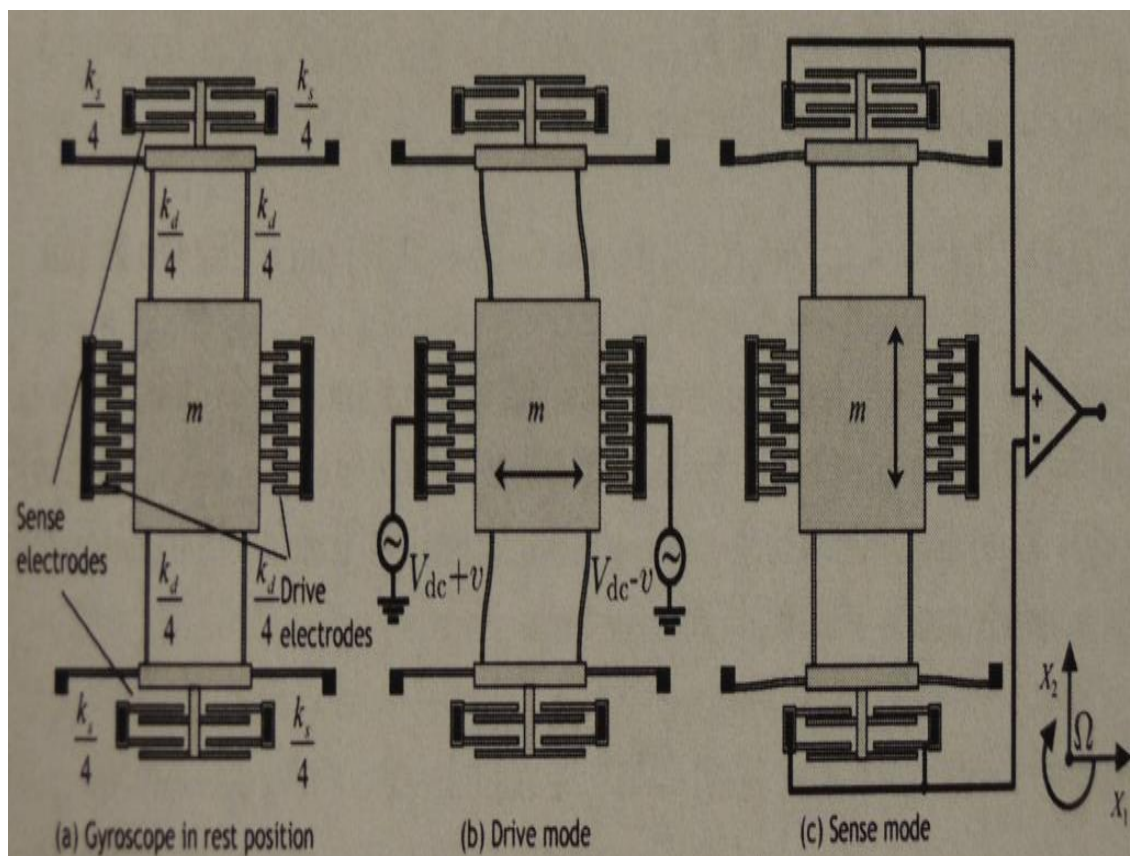
### 3.5 Gyroanturin rakenne ja toimintaperiaate

MEMS-tekniikkaan perustuva kulmanopeuden anturielementti nimeltään Omega koostuu kansi-, rakenne- ja pohjakiekosta sekä lasieristeestä kansikiekon ja rakennekiekon välillä. Rakennekiekko on elementin aktiivinen osa, joka koostuu liikkuvasta kamparakenteesta sekä staattisista heräte- ja kuuntelukammoista (kuva 6).



Kuva 6. Gyroanturi: Omega-niminen elementti koostuu kansikiekosta, rakennekiekosta ja pohjakiekosta sekä lasieristeestä kansi- ja rakennekiekon välillä [14].

Gyroanturilla on kolme toimintatilaa. Ensimmäinen toimintatila on sellainen, jossa massaan ei kohdistu minkäänlaisia sähköisiä tai fysikaalisia voimia. Toisessa toimintatilassa elementin kamparakennetta liikutetaan sähköisellä voimalla toiminta/resonanssitaajuudella edestakaisin (noin 8 kHz). Kolmannessa tilassa edellä olevan lisäksi anturiin kohdistuu ulkoista kulmanopeuden muutosta, joka liikuttaa massaa (m). Tämä näkyy kapasitanssin muutoksena ASIC-piirin differentiaalivahvistuksen jälkeen, mikä muuntaa kapasitanssin muutoksen jännitteeksi  $C/V$  (kuva 7).



Kuva 7. Gyroanturin toimintaperiaate: ensimmäinen toimintatila on kuvan vasemmassa reunassa, toinen toimintatila on kuvassa keskellä ja kolmas toimintatila näkyy oikeassa reunassa [1, s. 353].

## 4 Piirilevyn suunnittelu

### 4.1 Yleistä

Tietokoneavusteisella piirilevyn suunnittelulla (CAD, Computer Aided Design) pystyy luomaan jopa 3D-piirroksen suunnitellusta piirilevystä tietokoneen näytölle kaikkine yksityiskohtineen: piirilevyn eri kerrosten johteet, komponenttien tarkka sijainti toisiinsa nähden sekä korkeuserot. Tässä työssä käytettiin Mentor Graphics:in PADS-nimistä ohjelmistoa, joka on melko monipuolinen piirilevyn suunnitteluohjelmisto.



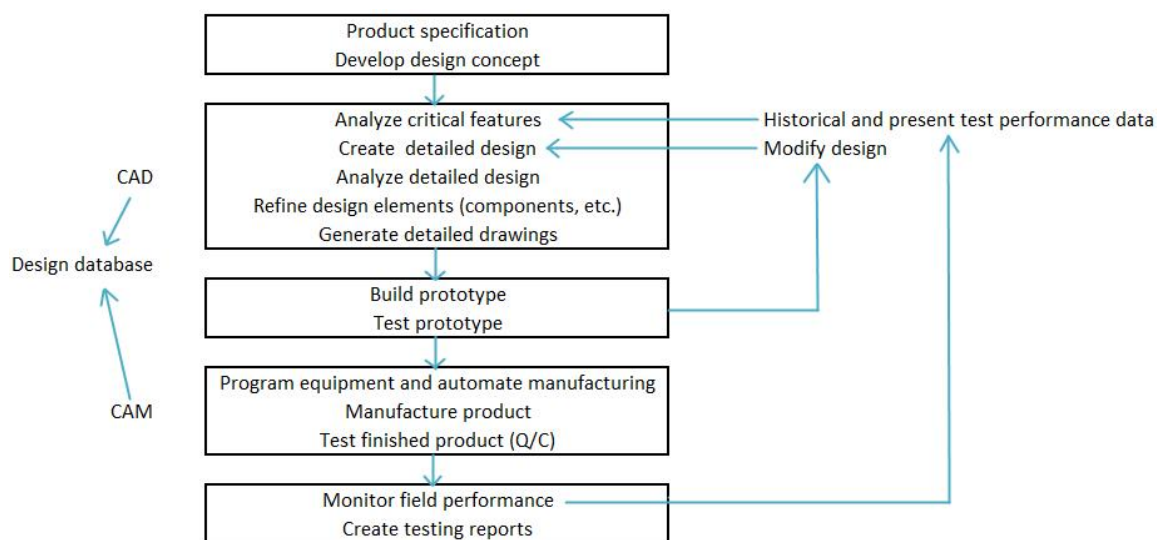
Tietokoneavusteisessa valmistamisessa (CAM, Computer Aided Manufacturing) pystytään valmistamaan piirilevyjä erittäin suurella kapasiteetilla. Piirilevynvalmistaja tarvitsee seuraavat Gerber-tiedostot piirilevyjen valmistamiseen [8]:

- levyn painopinta (ylä- ja alapinnat)
- kaikki metallikerrokset
- juotosmaskit
- komponenttikartta (X,Y) -koordinaatit
- kokoonpanopiirustukset (ylä- ja alapuoli)
- poraustiedosto
- valmistusohjeet, mitat ja erikoisominaisuudet
- verkkolistatiedosto. [8.]

Työssä analysoitiin entisen piirilevyn heikkouksia ja siten suunniteltiin tulevasta piirilevystä parempi. Esimerkiksi poistettiin  $0 \Omega$  vastuksia kytkentäkaavasta samalla, kun ylimääräisiä liittimiä poistettiin (EXT. DVDD, EXT. AVDD ja +5 V option). Oikosulkupalavastuksessa syntyy ylimääräistä vastusta ja reaktanssia reititykseen, joten siitä syystä vastuksia poistettiin kytkentäkaaviosta.

Entisessä uunipiirilevyssä huomattiin vika, joka tuli korjata sillä piirilevy on vielä käytössä komponenttien analysoinnissa. Init FA -piirilevyssä huomattiin, että SMB-liittimien (TIN, TIP, TON ja TOP) maapinnejä ei ollut kytketty maapotentiaaliin, joten asia korjattiin juottamalla metallijohdeet maatasen ja liittimien maanastojen välille. Toiseksi huomattiin myös, että TIP - TON -maapinnejä yhdisti kaksiosainen läpivienti analogisella maa-alueella, joten yhdistettiin metallijohde TIP - TON -maapinnien välille piirilevyn etupuolelle (liite 8).

Samalla huomattiin, että entisen uunipiirilevyn maadoitusalueet olivat liian pitkiä ja ohuita reitityksiä ja ne muodostivat maavirtasilmukoita piirilevylle. Maa-alue ei ollut hyvin maadoitettu, joten se saattaa olla herkkä säteileville häiriöille. Nämä otettiin huomioon uutta piirilevyä suunniteltaessa. Kuvasta 8 voi nähdä piirilevyn suunnitteluun liittyviä prosesseja.



Kuva 8. Piirilevyn suunnitteluprosessi, johon kuuluu tarvittavan tuotteen ominaisuudet, rakenne, kriittisten ominaisuuksien analysointi historian ja nykyisen osoittaman tiedon avulla. Prototyypin rakentaminen, testaaminen ja tuotannon automatisointi tuotteiden valmistamiseen sekä tuotteiden eliniän seuraaminen ja testiraporttien luominen. [6, s. 247 lähde mukailen].

Piirilevyn suunnittelussa PADS-ohjelmassa PCB-Logic -puolella suunnitellaan kytkentäkaavio halutun komponentin ympärille ja luodaan kirjastoon erilaisia komponenttityyppejä (vastus, kondensaattori, kela, mikropiiri ja liittimet) sopimaan käytännön sovellukseen.

PCB-Layout -puolella PADS-ohjelmassa suunnitellaan piirilevy ja tehdään sähköinen johteiden reitittäminen. Komponenttien sähköiset ominaisuudet ja johteiden reitityksien muoto ja etäisyys toisiinsa nähdessä tulee ottaa huomioon, sillä vääränlainen suunnittelu voi aiheuttaa häiriötä, kohinaa ja ylikuulumista käytännön sovellukseen lopulta siten, että tuote ei toimi toivotulla tavalla.



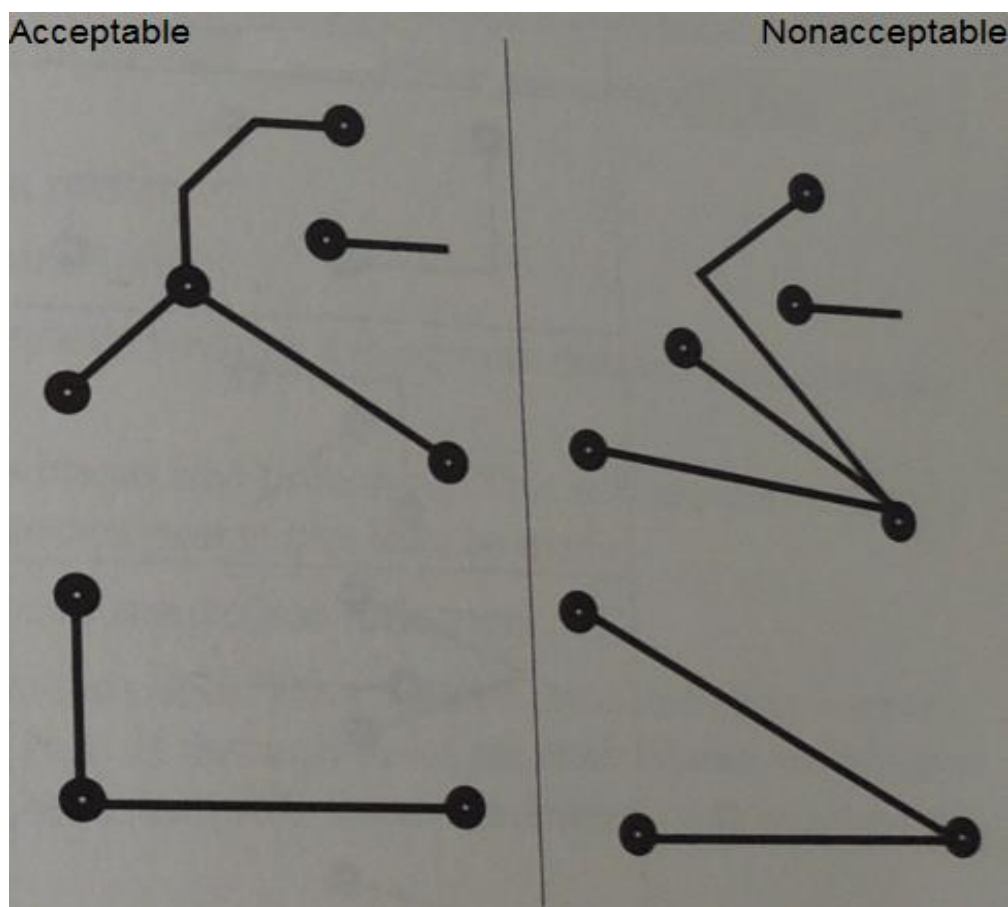
## 4.2 Ohjeita piirilevyn reititykseen

Seuraavia ohjeita on hyvä noudattaa, kun halutaan suunnitella hyvä piirilevy tai testiasema (GATS-elektroniikka), jotta ei syntyisi ongelmia signaalinvääristymisen ja häiriöiden kytkeytymisen takia [7, s. 203.]

- Käytä reitityksenä mahdollisimman leveää vetoa pienentääksesi johteen dc-vastusta.
- Vältä vaihtamasta reitityksen puolta edestakaisin, sillä se saattaa aiheuttaa heijastuksia ja muuttaa linjaimpedanssia.
- Vältä turhan pitkiä johdinvetoja ja huomioi aallonpituus, jotta antennijohtimia ei pääsisi syntymään.
- Eristä signaalijohteet toisistaan asettamalla maataso tai käyttöjännitelinja johteiden väliin.
- Maataso signaalijohteen ympärillä vähentää häiriötä sekä vähentää johtimen häviöllistä impedanssia.
- Reititä signaalijohtimet mahdollisimman kaukaa toisistaan.
- Differentiaaliparin johteiden täytyy olla yhtä pitkät toisiinsa nähden, sillä muuten differentiaalijohtimissa voi olla eri jännite.
- Käytä kaartuvaa reititystä tai kahta 45° käännöstä mutkissa välttääksesi heijastuksia ja impedanssin muutoksia.
- Huomioi sähkövirran suuruus johteessa. Johteen lämpötila saa nousta käytössä suositusten mukaan suurimmillaan 20 celsius asteella.

- Luo useita maa- ja käyttöjännitelinjareitityksiä hallitaksesi virran kulkua johtimisessa sekä luodaksesi mahdollisimman pieni induktanssisen maatason (esimerkkinä GATS-elektroniikan ja testattavan piirilevyn välinen johdin, jossa on useita maa- sekä jännitelinjoja).
- Maajohteen reitityksen leveys tulisi aina olla suurempi kuin käyttöjännitelinjan johteen leveys, mikä tarkoittaa sitä, että maaliittimiä tulisi piirilevyllä olla enemmän kuin käyttöjänniteliittimiä. [7, s. 203.]

Kuvassa 9 on vasemmalla puolella reititysesimerkki suositellummasta reitityksestä piirilevyllä. Kuvan oikean puoleisia reitityksiä tulee välttää, koska signaali vääristyy alle 90 asteen terävissä kulmissa.



Kuva 9. Vasemmalla puolella kuvassa näkyy suositellumpi reititysvaihtoehto ja oikealla puolella näkyy reititysvaihtoehto, jota ei suositella [7, s. 201].

### 4.3 Piirilevyn materiaali ja piirilevyn pinnan viimeistely

Lasikuituvahvistettuja epoksiipiirilevyjä FR-4 käytetään yleisesti elektroniikkateollisuudessa, sillä ne soveltuvat monipuolisiin käyttötarkoituksiin. Tässä työssä piirilevyn materiaaliksi valittiin FR-4, koska sen tekninen suorituskyky oli sovellukseen riittävä ja se oli myös ulkomailta tilatuksi piirilevyksi edullinen.

Edellinen uunipiirilevy eli Init FA -piirilevy on kooltaan (75 mm x 64 mm x 1,6 mm) ja uudet suunnitellut piirilevyt ovat kooltaan (160 mm x 100 mm x 1,6 mm). Init FA -piirilevyssä testattavan tuotteen testikantoja on vain yksi, mutta uudessa piirilevyssä on kaksi testikantapaikkaa.

Uudet piirilevyt ovat noin puolet pidempiä kuin Init FA -piirilevyt, joten uudet levyt ovat herkempiä piirilevyn taipumiselle ja komponenttien sekä johdinkuparoinnin vaurioitumiselle, joten piirilevyjä tulee käsitellä huolella komponenttien juotosvaiheessa sekä käytössä ollessaan pudottamatta ja taivuttelematta niitä.

Piirilevyn pintaviimeistely tekniikoita (surface finish) on useita erilaisia ja ne suojaavat piirilevyn metallikontakteja ja parantavat piirilevyn sähköisiä sekä mekaanisia ominaisuuksia.

Piirilevyn kontaktialueiden pinnan suojakerroksena käytetään yleisesti HASL-menetelmää (Hot Air Solder Levelling), jossa piirilevyn kontaktialueet kastetaan sulaan juotteeseen, minkä jälkeen ylimääräinen tina poistetaan kuumalla ilmaterällä piirilevyn kontaktialueiden pinnalta [15]. Esitinatut kontaktialueet on nyt suojattu korroosiolta ohuella kerroksella tinaa ja komponenttien juottaminen on helppoa sekä piirilevyjä voi säilyttää typpikaapissa pidemmänkin aikaa.

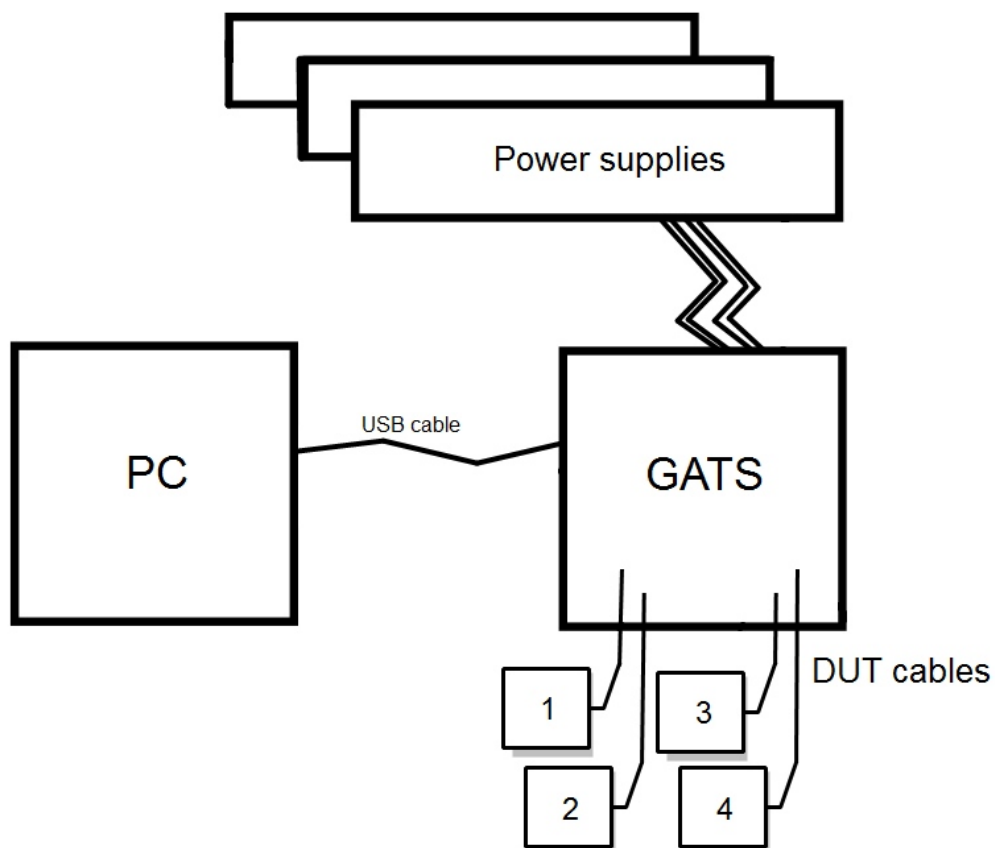
Toinen ympäristöystävällisempi vaihtoehto on ENIG-menetelmä (Electroless Nickel Immersion Gold), jossa kontaktityynyjen päällä on ohut kerros kultapinnoitetta suojaamassa johdetta korroosiolta [15]. Täten piirilevyä voi koskea paljain käsin aiheuttamatta ongelmia. Komponenttien juotosaika on pidempi ja juotetta on käytettävä enemmän käytettäessä ENIG menetelmää. Tämä johtuu siitä, että kontaktitynyllä ei ole valmiiksi juotetta, joka johtaisi lämmön nopeasti piirilevyn kontaktityynyyn sekä juotettavaan komponenttiin.

Kun pitää juottaa asentotarkka komponentti, esimerkiksi kiihtyvyyssanturi tai kulmanopeusanturi erittäin tarkasti vaakasuoraan, niin kannattaa käyttää ENIG-menetelmää, sillä piirilevyn kontaktityynyt ovat erittäin tasaiset.

#### 4.4 Mittauslaitteisto

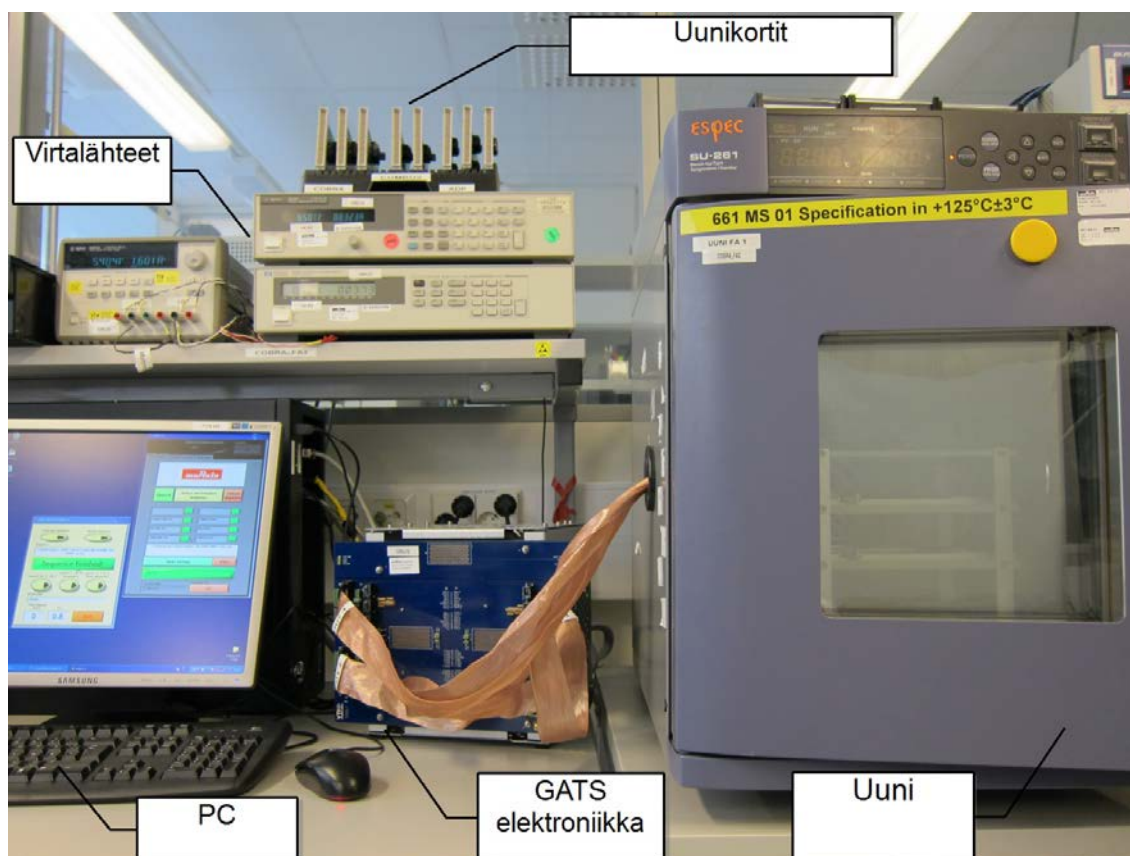
GATS-elektroniikkapakkoja käytetään tuotannossa testaamaan valmistetut komponentit SCA600, SCA800 (ADP), SCC1000 (COBRA) ja SCC2000 (COMBO2). Komponenttien samanaikainen testaaminen yhdellä GATS-pakalla on suurimmillaan 48 tuotetta.

Vika-analyysin GATS-pakalla pystyy samanaikaisesti mittaamaan neljää eri tuotetta varsin monipuolisesti. Kuvassa 10 näkyy mittauslaitteisto ja niiden kytkentä toisiin laitteisiin. Tietokoneella ohjataan ohjelmiston avulla uunin lämpötilaa RS232-portin kautta. Samalla tietokoneella ohjataan myös testeriä (GATS) USB-väylän kautta. GATS-elektroniikan metallinen runko on maadoitettu 1 M $\Omega$  kautta suojamaahan, jotta metallirunkoon ei indusoidu kelluvia häiriöjännitteitä.



Kuva 10. Testilaitteiston kytkentäkaavio, johon kuuluu tietokone, GATS-elektroniikka, virtalähteet ja testattavat tuotteet DUT 1 - 4.

Testerin nimeltään COBRA\_FA 2 koostuu tietokoneesta (PC), virtalähteistä (3 kpl), GATS-elektroniikkapakasta (6 piirilevyä) ja uunista sekä uunikorteista tuotteiden (ADP, COBRA ja COMBO2) sähköiseen analysointiin (kuva 11).



Kuva 11. Valokuva testilaitteistosta.

#### 4.5 Suunnittelun aloitus

Tässä työssä suunniteltava piirilevy oli tarkoitettu COMBO2-tuotteille (SCC2000), jotka mittaavat kiihtyvyyttä ja kulmanopeutta. Lähtökohdiana oli parantaa mittaustuloksia kolmelle eri tuotteelle, joiden toimivuutta mitattiin elektronisesti uunijon aikana. Näiden kolmen eri tuotteen mekaaninen kehikko ja piirilevyt olivat muutaman vuoden vanhoja ja kuluneita siten, että liittimien sähköiset kontaktit olivat tummuneet, mikä huononsi sähkönjohtokykyä ja aiheutti kontaktihäiriöitä mittausten aikana. Yhteensä kolmelle eri tuoteperhetyypille suunniteltiin aivan uudenlaiset piirilevyt ja mekaaninen kehikko, joka piti piirilevyjä tukevasti paikallaan uunissa.

Edellisissä piirilevyissä käytettiin 34-pinnistä lattakaapelia, joka kesti uunin korkeaa 125 celsiusasteen lämpötilaa, mutta ei ollut kovinkaan taipuisaa johtoa. 34-nastainen liitäntäpiste oli GATS-mittauselektronikalla, josta lattakaapeli (1,2 m) vietiin uuniin entiselle uunipiirilevylle, joka oli löysästi kiinni vanhassa piirilevykehikossa. Heikkoutena oli

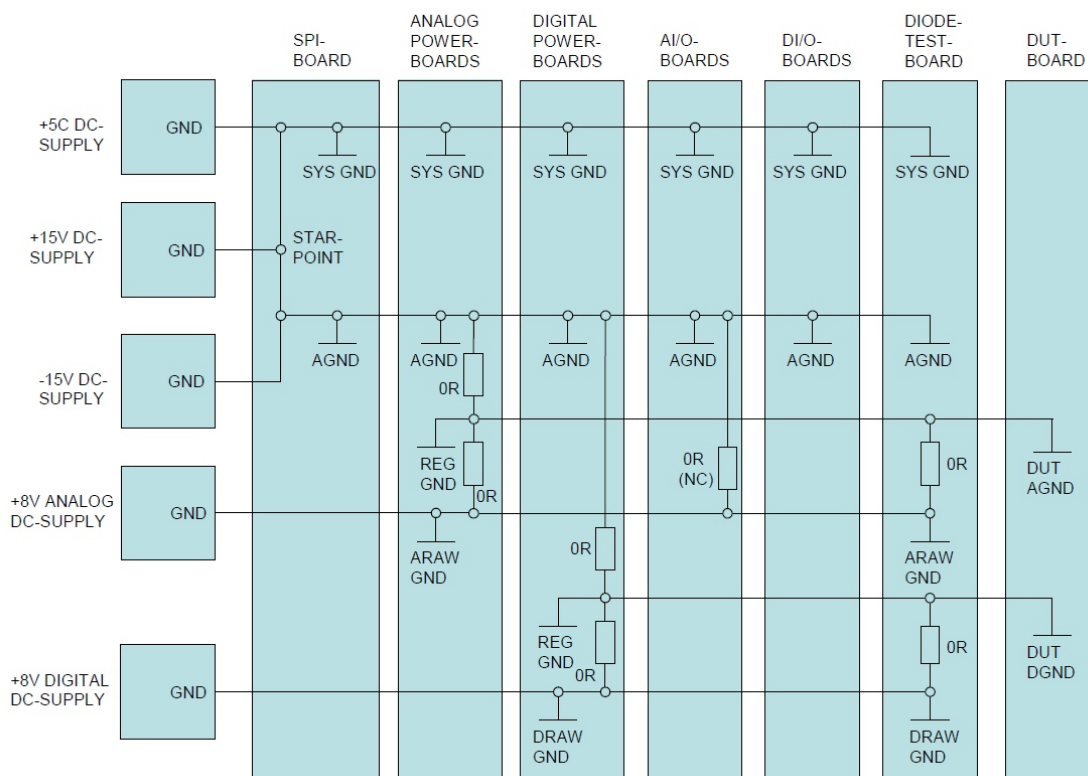
myös 34-nastainen liitin ja näiden liittimien määrä tässä vanhassa piirilevysysteemissä, koska kontaktiongelmat johtuvat, esimerkiksi löysistä liittimistä.

Komponenttien yhtäaikaista mitattavaa määrää piirilevyä kohden muutetaan uudessa systeemissä yhdestä kahteen sekä liittintyyppi muutettaisiin 34-nastaisesta yleisesti käytettympään Euro 64 -liittimeen.

#### 4.5.1 GATS-elektroniikan maadoitusrakenne

Sähkölaitteiden maadoitukseen suositellaan tähtimaadoitusta (yksipistemaadoitus), koska kyseisellä tekniikalla ei tule luotua maasilmukoita kytkentään. GATS-elektroniikka pakkan piirilevyjen maa-alueiden kytkentäkaavio näkyy kuvassa 12. GATS-elektroniikkapakan piirilevyjä yhdistää viisi kappaletta suuria moninapaisia liittimiä, joissa signaalit, käyttöjännitteet ja maatasot kulkevat piirilevyltä toiselle.

Grounding architecture of GATS-system:



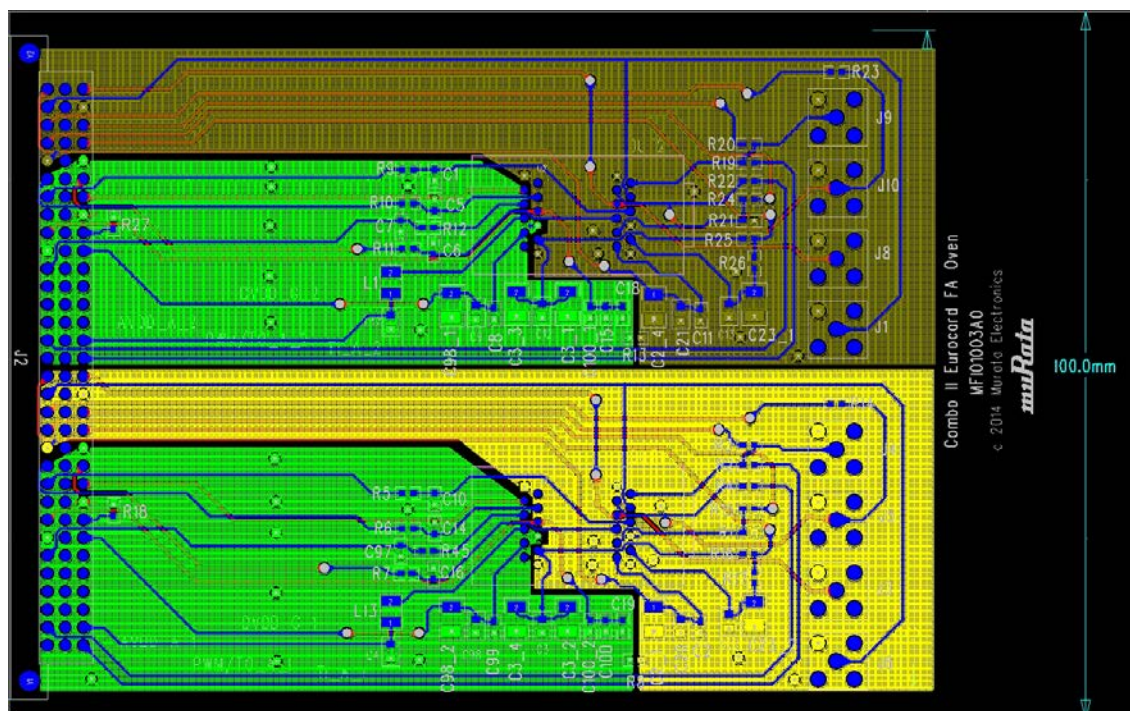
Kuva 12. Maadoitusrakenne GATS-elektroniikan piirilevypakassa.

#### 4.5.2 Suunnitellun piirilevyn maa-alueet

Suunniteltu piirilevy on kaksikerroksinen ja piirilevyssä on molemmilla puolilla suuret maa-alueet AVSS ja DVSS (kuva 13). Maasilmukoita ei tulisi luoda, esimerkiksi GATS-elektroniiikan ja piirilevyn välille. Uudessa piirilevyssä maita ei ole yhdistetty palavastuksella ( $0 \Omega$ ), mutta vastus voidaan kytkeä paikalleen. Vastuksen ( $R8$  tai  $R13$ ) kytkeminen piirilevylle yhdistää analogisen (AVSS) ja digitaalisen (DVSS) maatason yhteen. Komponentin toimintaan ja häiriösignaaleihin maa-alueiden yhdistäminen tai erottaminen voi vaikuttaa suuresti, jos käytettäisiin erillisiä ulkoisia virtalähteitä (muuta kuin GATS-elektroniiikkaa) tuotteen käynnistämiseen. GATS-elektroniiikka on suunniteltu komponenttien testaamiseen, joten vastus on kytkettävissä paikalleen, jos haluaa yhdistää maa-alueet AVSS ja DVSS yhteen potentiaaliin. Toisaalta yksi palavastus, joka yhdistää piirilevyllä olevat AVSS ja DVSS maa-alueet ei ole paras vaihtoehto, koska palavastus luo suuren maavirtasilmukan piirilevyn ja GATS-elektroniiikan johtimien väliin. Piirilevyn testipaikkojen 1 ja 2 maa-alueet AVSS\_1 ja AVSS\_2 eivät ole kytkettävissä piirilevyllä toisiinsa, esimerkiksi palavastuksen avulla. Piirilevyn testipaikat AVSS\_1 ja AVSS\_2 ovat kytketty toisiinsa GATS-elektroniiikan ensimmäisessä kytkentäkortissa (Diode Test Board) sekä virtalähteessä (GND).

Komponentit on sijoitettu piirilevyn etupuolelle, koska piirilevy saatetaan laittaa pöydän päälle Euro 64 -liittimen ja komponentin kannan pinnit alaspäin, mikä saattaisi vaurioittaa pintaliitoskomponentteja niiden ollessa piirilevyn pohjapuolella.





Kuva 13. Maadoitusalueet, joista AVSS on keltainen ja DVSS on vihreä alue.

#### 4.5.3 Kytchentäpisteiden nimeäminen

Piirilevyn, liittimien, johteiden ja muiden sähköisten kontaktien nimeämisen tulisi pysyä samana, vaikka mitattavia tuotteita olisi useampi. Ei siis kannata luoda uudentyyppisiä nimiä johteille, jos signaalin muoto, taajuus tai jännite ei muutu johteessa. Tässä työssä päätettiin, että nimetään GATS-elektronikan liittimien mukaan tämän työn liitinpisteiden nimet vain lisäämällä nimen loppuosaan "\_1" tai "\_2", mikä tarkoittaa testipaikkaa. Piirilevyllä on kaksi erillistä paikkaa (1) ja (2), ja molempien komponenttien kytkentäkaava on samanlainen.

Kuvasta 14 voi nähdä käyttöjännitelinjojen nimet GATS-elektronikan ja COMBO2-tuotteen välillä. GATS-pystyrivillä on kuvassa teksti "NC" (Not Connected), joka tarkoittaa sitä, että sitä ei ole kytketty GATS-elektronikalta COMBO2-tuotteelle.

| GATS     | COMBO2                   | Kuvaus                                 |
|----------|--------------------------|--|
| AVDD     | AVDD (3,3V)              | käyttöjännite (analoginen)             |
| AVSS     | AVSS (GND)               | maa (analoginen)                       |
| DVDD     | DVDD (3,3V)              | käyttöjännite (digitaalinen)           |
| DVSS     | DVSS (GND)               | maa (digitaalinen)                     |
| NC       | C_AVDD (1,8V)            | vakavoitu käyttöjännite (analoginen)   |
| VREFP_G  | C_VDDD (1,8V)            | vakavoitu käyttöjännite (digitaalinen) |
| AVDD_A_1 | VINBOOST (3,3V) / LBOOST | käyttöjännite (digitaalinen)           |
| AHVDD    | VBOOST (20V / 30V)       | herätejännite: gyroskooppi             |

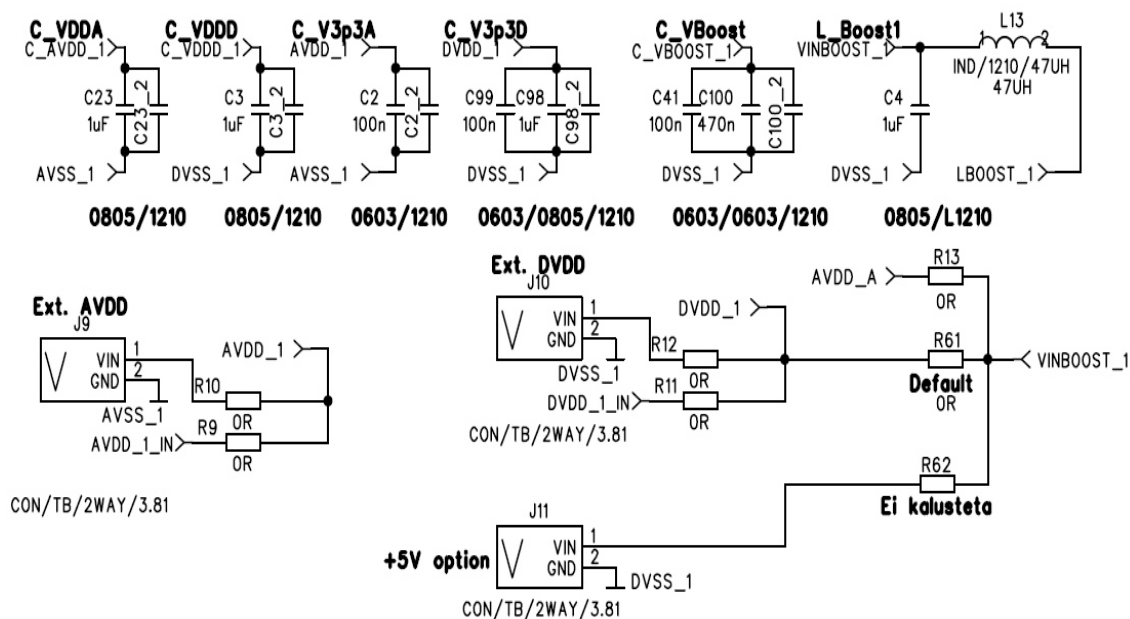
Kuva 14. Käyttöjännitelinjojen kytkentäpisteiden nimeäminen GATS-elektronikan ja COMBO2-piirilevyn välillä.

GATS-elektronikalta tulevien linjojen nimet AVDD, DVDD ja AVDD\_A ovat 3,3 V käyttöjännitelinjoja. ASIC-piirin toimintaa varten tuotteen vakavoidut käyttöjännitelinjojen nimet ovat C\_AVDD (analoginen) ja C\_VDDD (digitaalinen), jotka luodaan AVDD- ja DVDD -linjojen käyttöjännitteistä.

#### 4.6 Aiemman piirilevyn ja uuden suunnitellun uunipiirilevyn kytkentäkaaviot

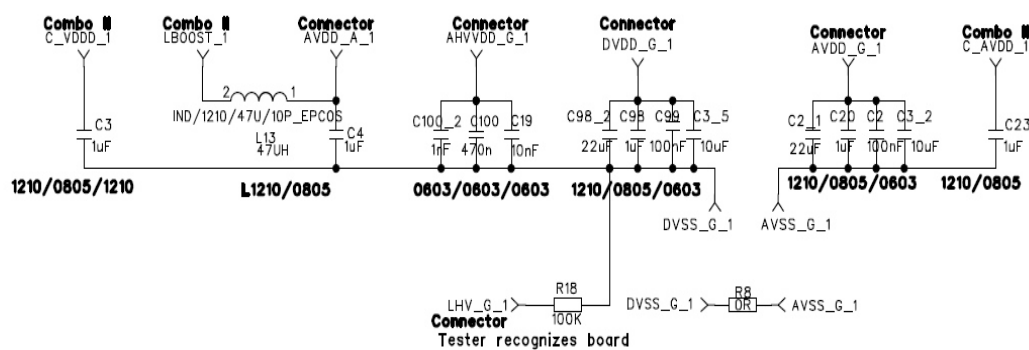
Kondensaattoreille (C23\_2), (C3\_2), (C2\_2), (C98\_2) ja (C100\_2) ei ollut merkitty kapasitanssin arvoa komponenttien vierelle, mutta se tiedettiin, että kaikki komponentit olivat kokoluokkaa (1210) SMD (Surface Mount Devices), joka oli suurin juotettava pintaliitoskomponentti tällä piirilevyllä (kuva 15).

## Supply filtering



Kuva 15. Aiempi PADS ohjelmiston kytkentäkaavio (virtalähteen suodatuskondensaattorit).

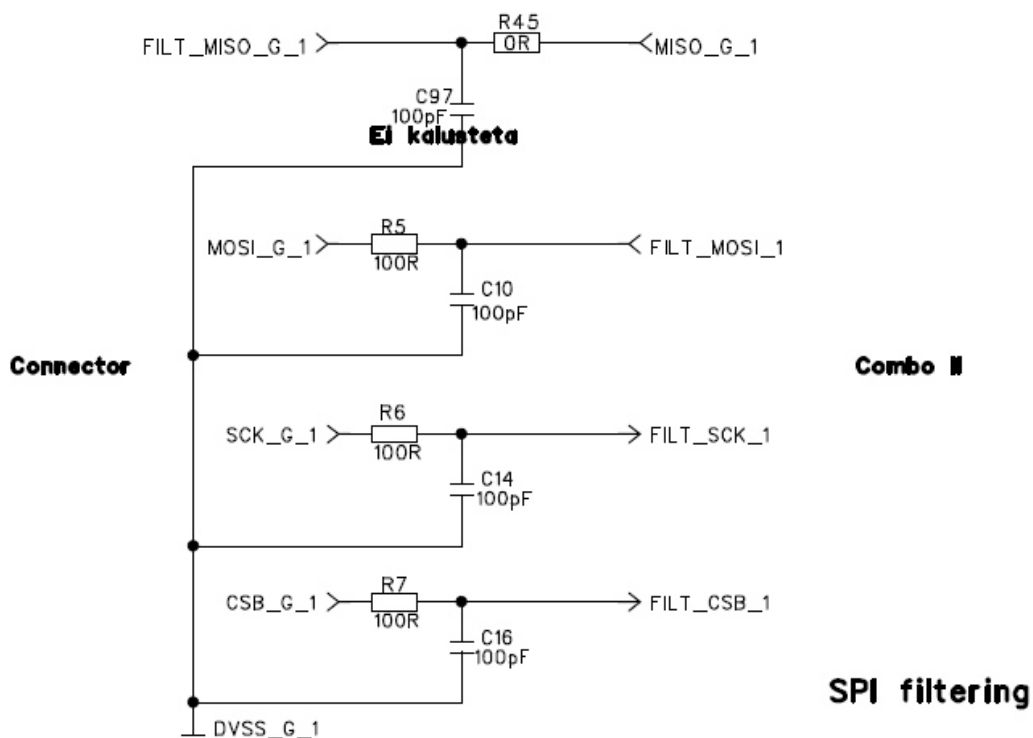
Aiemman Init FA -piirilevyn kytkentäkaavio oli sekava, joten uudesta suunnittelusta kytkentäkaaviosta tehtiin helposti tulkittava. Maat komponenttien välillä yhdistettiin, jotta AVSS- ja DVSS-alueiden komponenttien kytkentä toisiinsa erottuisi paremmin (kuva 16). Lisäksi kytkentäkaaviosta poistettiin ylimääräiset tekstit ja jätettiin vain netin nimi, esimerkiksi C\_AVDD, sekä tieto, mihin se kytketään, esimerkiksi tuotteelle (COMBO2) tai Euro 64 -liittimelle (Connector).



### Supply filtering

Kuva 16. Uusi kytkentäkaavio (virtalähteen suodatuskondensaattorit).

MISO-signaalin suodatus poikkeaa muista SPI-linjan signaaleista signaalin kulkevasta takia, koska se on komponentin ulostulo (kuva 17).



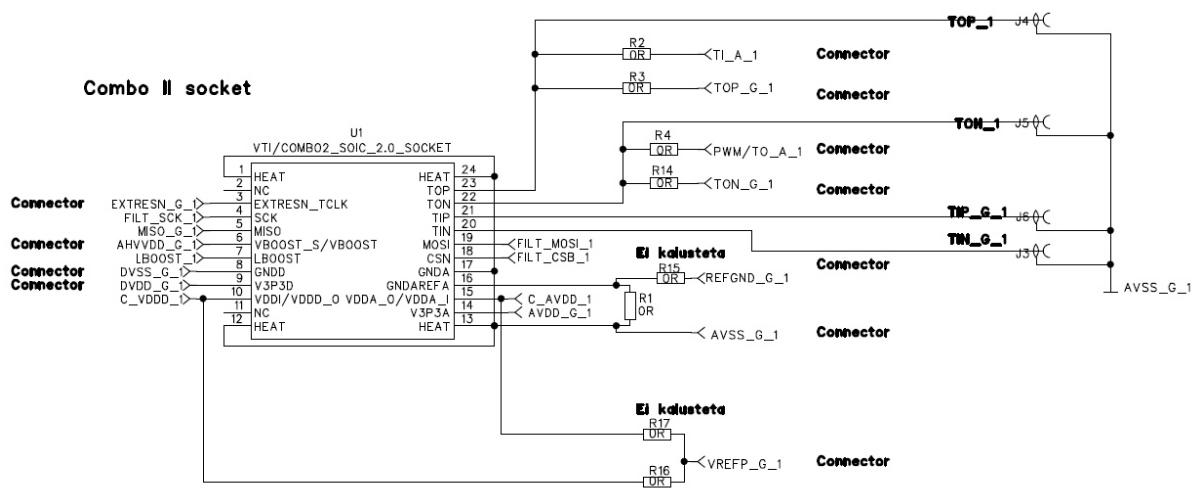
Kuva 17. Uusi kytkentäkaavio (SPI).

Alipäästösuodattimen LPF (Low Pass Filter) rajataajuus  $f_c$  (Corner Frequency) laske-  
taan kaavalla 4, jossa signaalin taso on vaimentunut -3 dB alkuperäisestä signaalista ja  
vaimenee taajuuden kasvaessa -20 dB / dekadit (Hz).

- Rajataajuus ( $f_c$ ) SPI-linjan suodattimille saadaan sijoittamalla kondensaattorin  
(100 pF) ja vastuksen (100  $\Omega$ ) arvot kaavaan 4

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} = 15,9 \text{ MHz} \quad (4)$$

COMBO2-tuotteen kytkentäkaavio näkyy kuvassa 18. Nastojen nimet vaihtuvat 0  $\Omega$   
vastuksien molemmilla puolilla, esimerkiksi komponentin TOP-nastan nimi vaihdetaan  
TI\_A ja TOP\_G nastaksi GATS-elektronikan mukaisiksi. SMB-liittimet ovat kuvassa  
oikealla ja niihin voidaan tarvittaessa kytkeä oskilloskoopin mittapäät komponentin toi-  
minnan testausta varten.



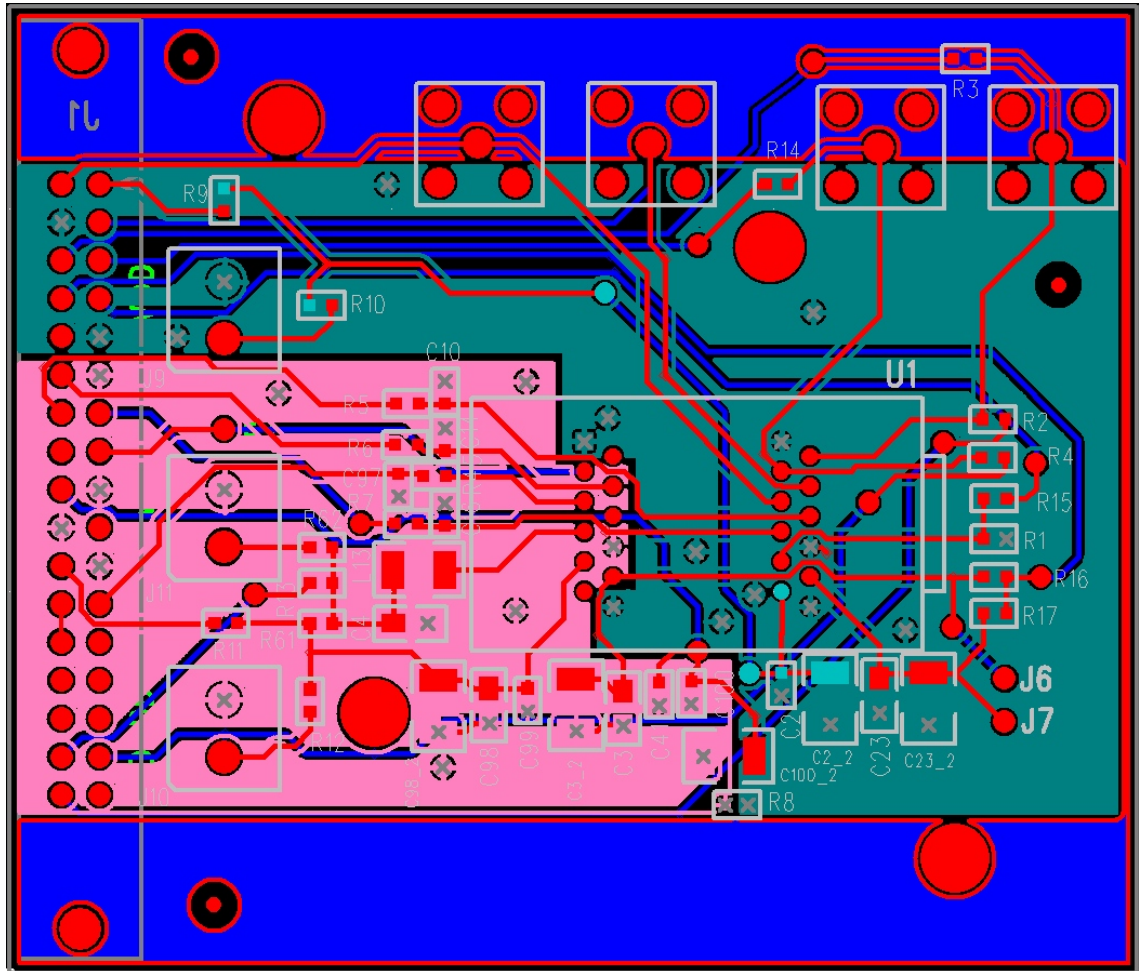
Kuva 18. Uusi COMBO2-tuotteen kytkentäkaavio.

Entinen uunipiirilevy eli Init FA-piirilevy on vielä käytössä komponenttien analysoinnissa huoneen lämmössä, ja se näyttää PADS-ohjelmassa kuvan 19 mukaiselta. Suuria erillisiä metallialueita on neljä kappaletta piirilevyllä, joista kaksi on käytössä ja ne ovat maadoitettuja alueita (AVSS) ja (DVSS). Piirilevyn ylä- ja alaosat (siniset alueet) eivät ole kytkettyä mihinkään, joten ne toimivat antennina häiriösignaaleille ja voivat häiritä komponentin toimintaa. Tämä otettiin huomioon uutta piirilevyä ja maa-alueita suunniteltaessa.

SMB-liittimien TIP ja TOP maanavat Init FA -piirilevyllä on yhdistetty toisiinsa vain ohuella via-läpiviennillä, joten ne yhdistettiin vielä 1 mm paksulla metallijohtimella piirilevyn etupuolelta. Pohjapuolella olevat läpiviennit kytkettiin analogiseen (AVSS) maahan metallijohtimella (liite 8), koska nastat olivat reitittämättä maa-alueeseen PADS-ohjelman Logic-osiossa.

Komponentin kotelossa on maadoitus metallisessa kannessa, joka on kytketty komponentin sisällä olevaan metallialustaan. Komponentin pinnit 1, 12, 13 ja 24 ovat myös samassa potentiaalissa, johon kytketään piirilevyn analoginen maa (AVSS). Täten komponentti on suojattu osin sähkömagneettisilta häiriöiltä, kun signaalinkäsittelypiiri (ASIC) on kansi- ja pohjametallin välissä, jotka ovat maadoitettuja (Faraday-häkki). Ainoastaan komponentin sivuilta sähkömagneettiset häiriöt (EMI, Electromagnetic Interference) pystyvät mahdollisesti häiritsemään ASIC-piirin toimintaa.





Kuva 19. Aiemman uunipiirilevyn maadoitusalueet, jossa ylimpänä ja alimpana näkyy sinisen-väriset alueet, joita ei ole kytketty mihinkään. Tummanvihreä alue on AVSS-maa ja punaisenvärisen alue on DVSS-maa.

#### 4.7 Euro 64 -liittimen johdinjärjestys

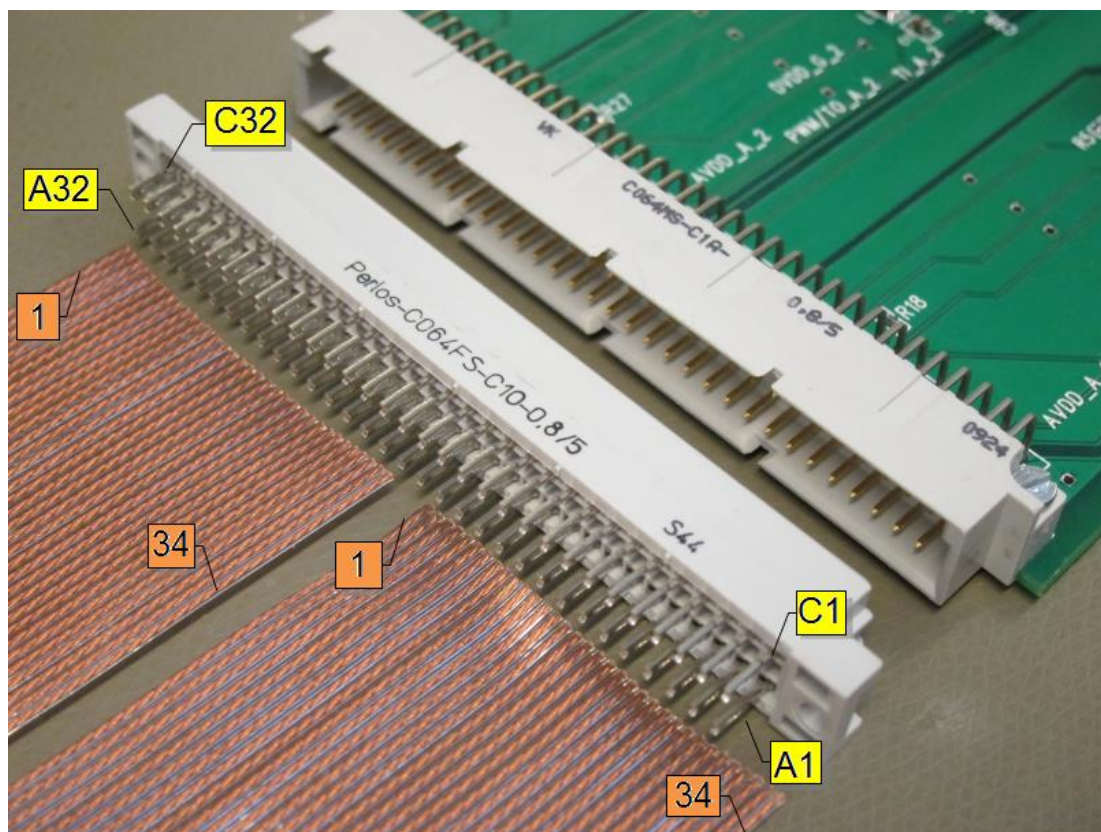
GATS-elektronikan ja Euro 64 -liittimen johdinten järjestys näkyy kuvassa 20, jossa laatikoidut pinnit on COMBO2-tuotteelle, ja muut nastat ovat kytköksissä vanhemmalle COBRA-tuotetyypille. (Liitteessä 9 on Euro 64 -liittimen pinnien järjestys piirilevyllä ja pinnien nimet).

|              | Description   | GATS 34 pin | Euro 64 pin | GATS 34 pin | Euro 64 pin | Description |
|--------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>DUT 2</b> | AVDD_G_2      | Pin 1       | A32         | Pin 2       | C32         | TIN_G_2     |
|              | TIP_G_2       | Pin 3       | A31         | Pin 4       | C31         | AVSS_G_2    |
|              | TON_G_2       | Pin 5       | A30         | Pin 6       | C30         | TOP_G_2     |
|              | REFGND_G_2    | Pin 7       | A29         | Pin 8       | C29         | VREFP_G_2   |
|              | AVSS_G_2      | Pin 9       | A28         | Pin 11      | C28         | DVSS_G_2    |
|              | SCK_G_2       | Pin 12      | A27         | Pin 13      | C27         | CSB_G_2     |
|              | MOSL_G_2      | Pin 14      | A26         | Pin 15      | C26         | EXTRESN_G_2 |
|              | TCLK_G_2      | Pin 16      | A25         | Pin 17      | C25         | DVSS_G_2    |
|              | AHVVDG_G_2    | Pin 18      | A24         | Pin 19      | C24         | LHV_G_2     |
|              | DVSS_G_2      | Pin 20, 21  | A23         | Pin 22      | C23         | DVDD_G_2    |
|              | FILT_MISO_G_2 | Pin 23      | A22         | Pin 24      | C22         | DVSS_A_2    |
|              | SCK_A_2       | Pin 25      | A21         | Pin 26      | C21         | DVSS_A_2    |
|              | MOSL_A_2      | Pin 27      | A20         | Pin 28      | C20         | DVDD_A_2    |
|              | FILT_MISO_A_2 | Pin 29      | A19         | Pin 30      | C19         | CSB_A_2     |
|              | PWMTO_A_2     | Pin 31      | A18         | Pin 32      | C18         | AVDD_A_2    |
|              | AVSS_A_2      | Pin 33      | A17         | Pin 34      | C17         | TLA_2       |
| <b>DUT 1</b> | AVDD_G_1      | Pin 1       | A16         | Pin 2       | C16         | TIN_G_1     |
|              | TIP_G_1       | Pin 3       | A15         | Pin 4       | C15         | AVSS_G_1    |
|              | TON_G_1       | Pin 5       | A14         | Pin 6       | C14         | TOP_G_1     |
|              | REFGND_G_1    | Pin 7       | A13         | Pin 8       | C13         | VREFP_G_1   |
|              | AVSS_G_1      | Pin 9       | A12         | Pin 11      | C12         | DVSS_G_1    |
|              | SCK_G_1       | Pin 12      | A11         | Pin 13      | C11         | CSB_G_1     |
|              | MOSL_G_1      | Pin 14      | A10         | Pin 15      | C10         | EXTRESN_G_1 |
|              | TCLK_G_1      | Pin 16      | A9          | Pin 17      | C9          | DVSS_G_1    |
|              | AHVVDG_G_1    | Pin 18      | A8          | Pin 19      | C8          | LHV_G_1     |
|              | DVSS_G_1      | Pin 20, 21  | A7          | Pin 22      | C7          | DVDD_G_1    |
|              | FILT_MISO_G_1 | Pin 23      | A6          | Pin 24      | C6          | DVSS_A_1    |
|              | SCK_A_1       | Pin 25      | A5          | Pin 26      | C5          | DVSS_A_1    |
|              | MOSL_A_1      | Pin 27      | A4          | Pin 28      | C4          | DVDD_A_1    |
|              | FILT_MISO_A_1 | Pin 29      | A3          | Pin 30      | C3          | CSB_A_1     |
|              | PWMTO_A_1     | Pin 31      | A2          | Pin 32      | C2          | AVDD_A_1    |
|              | AVSS_A_1      | Pin 33      | A1          | Pin 34      | C1          | TLA_1       |

Kuva 20. Euro 64 ja GATS 34 -liittimien nimeäminen ja kytkentäjärjestys.

Kuvasta 21 voi hahmottaa, kuinka GATS-elektroniikan kaapelit kytketään Euro 64-liittimeen. Kuvassa näkyvät myös lattakaapelit, joista vasemmalla alempana on testipaikan 1 (DUT1) lattakaapeli ja ylempänä on testipaikan 2 (DUT2) lattakaapeli.





Kuva 21. Piirilevy ja Euro 64 -liitin sekä lattakaapelit.

## 5 Piirilevyjen testaus

### 5.1 Piirilevyn kalustaminen

Komponenttien kuuluu olla ominaisuuksiltaan sopivia kytkentään niin sähköisesti kuin fyysisestikin. Sähköisessä yhteensopivuudessa, esimerkiksi kondensaattorin valinnassa tulee huomioida jännitekestoisuus, sarjaresistanssi ESR (Equivalent Series Resistance) ja taajuus.

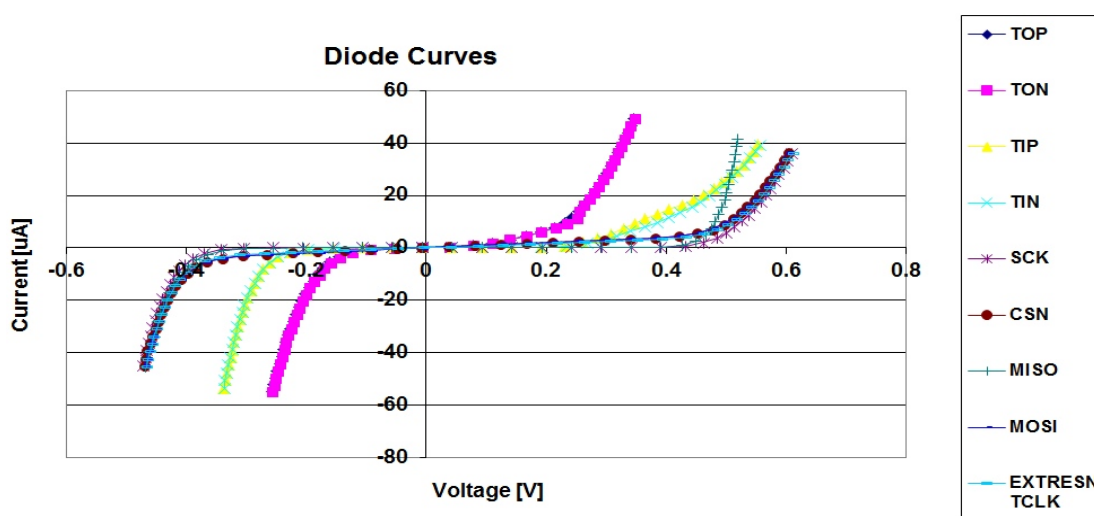
Elektrolyyttikondensaattorin käyttötaajuus yltää, esimerkiksi 80 kHz:iin asti ja korkealle taajuudelle suunnitellun monikerroskondensaattorin (MLCC, Multilayer Ceramic Capacitor) käyttötaajuus yltää, esimerkiksi 50 MHz:iin asti. Kondensaattorityypin suositellun käyttötaajuuden ylittyessä ja kasvaessa merkittävästi suuremmaksi kondensaattorit

alkavat toimia vastuksien tavoin ja alkavat lämmentä sekä kuluttaa energiaa. Tämä johtuu siitä, että kondensaattorin sisäiset rakenteet ja parasiittiset komponentit alkavat muuttua taajuuden kasvaessa sähköisesti häviöllisiksi komponenteiksi.

## 5.2 Piirilevyjen testiajot 1-4

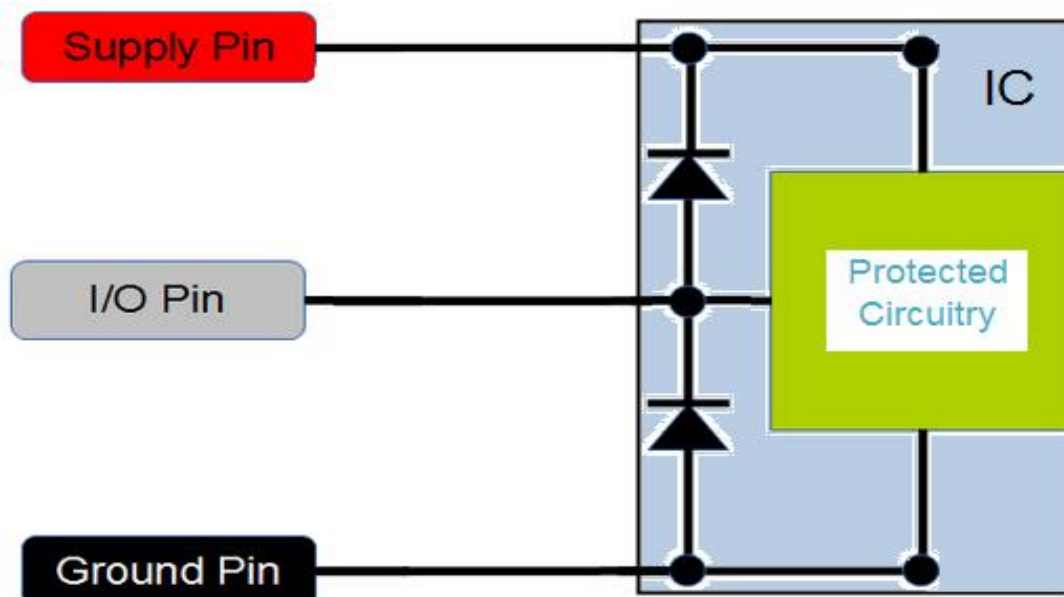
Piirilevyille K1 (kortti 1) asetetaan testattavat komponentit 1 ja 2 (DUT 1 ja 2) ja piirilevyille K2 (kortti 2) asetetaan komponentit 3 ja 4 (DUT 3 ja 4). Testisekvenssi on nimeltään "COMBO2 Oven 5h", joka tarkoittaa sitä, että uuni ajaa lämpötilasyklin, joka kestää 5 tuntia. Yksi kokonainen mittaus kestää 30 sekuntia, ja mittauksia tehdään 600 kertaa, joiden aikana tuotteen toimivuus testataan melko tarkasti ohjelmoidulla testisekvenssillä (liite 1).

Käytännössä sekvenssi mittaa ensimmäisenä komponentin sisäisiä suojadiodeja testattavan osan sisältä (kuva 22) varmistaakseen, että komponentti on sähköisesti kunnolla kontaktissa testikantaan, minkä jälkeen käyttöjännitteet kytketään komponentille. Diodikäyristä voi nähdä, että MISO-linja on poikkeava verrattuna CSN-, SCK- ja MOSI-linjoihin diodikäyriin. Virta nousee äkillisesti lähes pystysuoraan positiivisen jännitteen lähestyessä +0,5 V jännitettä. Sähkövirran suureneminen johtuu siitä, että MISO on digitaalinen ulostulo (ASIC-piirin päätetransistorit syöttävät signaalin ulos), joten sen suojarakenteet poikkeavat muiden SPI-linjan nastojen suojarakenteesta.



Kuva 22. Diodien virta-/jännite -käyrät, joissa pystyakselilla on virta ja poikittaisakselilla on jännite.

ASIC-piirin I/O-nastat on suojattu ESD-rakenteilla, jotka on rakennettu yleensä diodi-kytketyistä NMOS- ja PMOS-transistoreista, jotka suojaavat I/O-nastoja positiiviselta sekä negatiiviselta ylijännitteeltä. Yksinkertaistuksen vuoksi ne voidaan piirtää diodina (kuva 23).

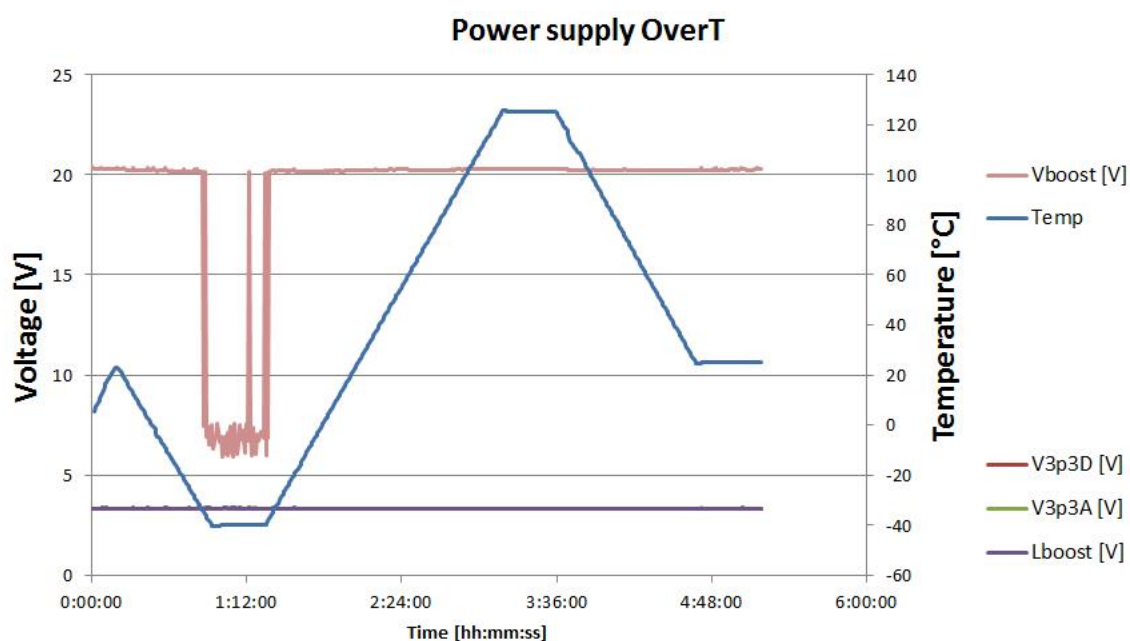


Kuva 23. I/O-pinnin ESD-suojaus.

ASIC-piirillä ei välttämättä ole käyttöjännitelinjassa ylijännitteeltä suojaavaa zenerdiodia, mutta loppusovellukseen voidaan kytkeä ulkoisesti ylijännitteeltä suojaavia komponentteja esimerkiksi zenerdiodi tai varistori VDR (Voltage Dependent Resistor) komponentin jännitenastoihin AVDD, DVDD, VINBOOST, VBOOST sekä LBOOST.

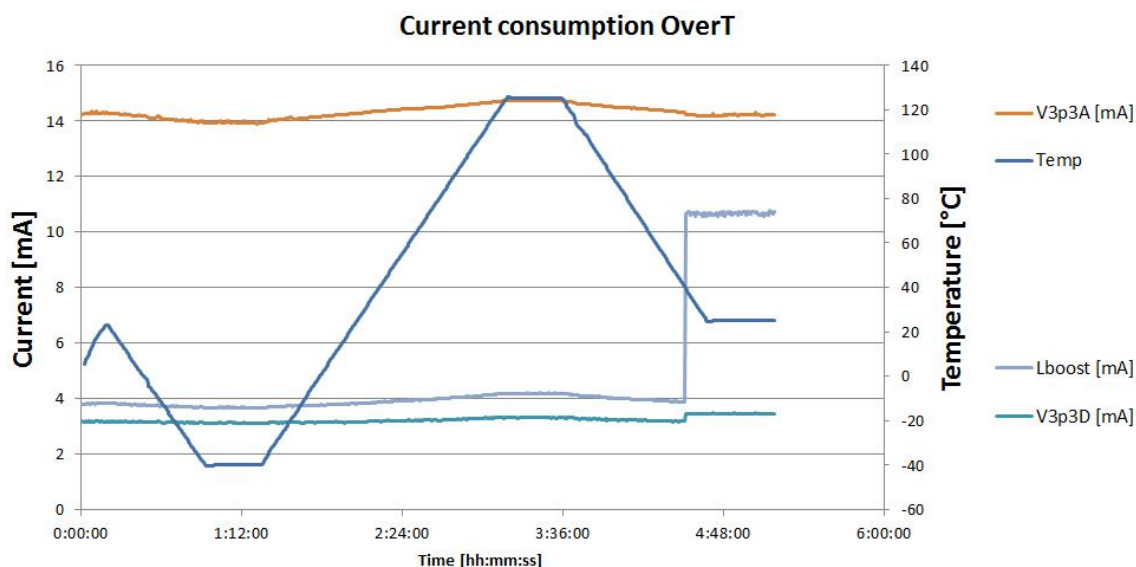
Komponentin I/O-pinniin kohdistuva ylijännitepulssi voi olla varaukseltaan negatiivinen tai positiivinen. Suurienerginen ja pienjännitteinen (EOS) tai pienienerginen ja suuren jännitteen omaava (ESD) jännitepulssi voi tuhota ASIC-piirin. Ylijännite voi myös tuhota ASIC-piirin käyttöjännitelinjan (Supply Pin), maapinnin (Ground Pin) tai I/O-pinnin, jos käyttöjännitteen ja maapinnien välillä ei ole ulkoista ylijännitteeltä suojaavaa komponenttia. ASIC-piirillä ohuet alumiinijohteet voivat katketa ja kerrokset voivat mennä oikosulkuun ESD- tai EOS-tilanteessa.

Ensimmäisen testiajon jälkeen huomattiin, että kortilla K2 olevat komponentit DUT 3 ja 4 eivät toimineet oletetulla tavalla (kuva 24). Käyttöjännitelinjan VBOOST-jännite putoaa alle 10 volttiin ääriämpötilassa noin -35 °C asteessa, vaikka VBOOST-jännitteen tulisi olla melko vakaa 20 V. Tästä syystä seuraavaan uunijäähdytykseen vaihdettiin testerin uunipaikat 1 ja 2 kanssa, jotka olivat läpäisseet testin, tätä kutsutaan ristiin tarkistukseksi (cross-check). Tällä varmistetaan, etteivät GATS-testerin paikkojen 3 & 4 johtimet ole poikki.



Kuva 24. Kortti 2, DUT 3 -uunijäähdytys, jännitteet lämpötilan funktiona. Käyttöjännitteet ovat 3,3V (V3p3D, V3p3A ja LBOOST). VBOOST kuuluisi olla noin 20 V.

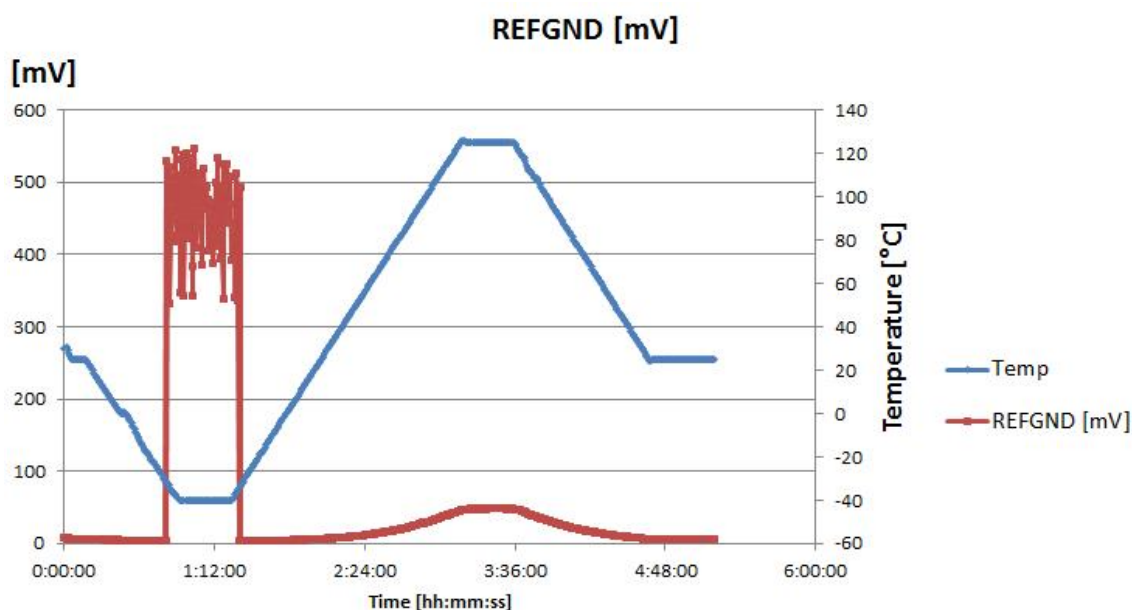
Testatun komponentin (DUT 4) virrankulutus nousee uuniajon LBOOST-linjassa neljästä milliampeerista yhteentoista milliampeeriin noin +40 celsiusasteen lämpötilassa. DVDD-linjan (V3P3D) virrankulutus nousee myös vähän (kuva 25).



Kuva 25. Kortti 2, DUT 4 -virrankulutus lämpötilan funktiona.

Toisen testiajon jälkeen huomattiin, että kortilla K2 on edelleen vikaa, vaikka testerin johdot oli vaihdettu ristiin. Virrankulutuksen suuri pudotus näkyy kaikissa käyttöjännite-linjoissa (V3P3A, LBOOST ja V3P3D) joka kerta, kun uunin lämpötila on -40 °C astetta. Lisäksi linjan LBOOST virrankulutus nousee noin 11 mA:n asti kolmeen kertaan +35 °C asteen lämpötilassa, kun normaalisti virrankulutus pysyy noin neljässä milliampeerissa.

Komponentin REFGND-nastan jännite vaihtelee lämpötilan funktiona normaalisti välillä 10 - 50 mV (kuva 26). Yli 50 mV:n suuriset jännitteet REFGND-nastalla aiheuttavat komponentin toimivuudessa epävakaisuutta esimerkiksi komponentin digitaalisessa ulostulossa (SPI). Loppusovelluksessa REFGND-nasta tulisi olla kytkettynä AVSS-maa-alueeseen juottamalla, jotta kiinteä referenssimaa saadaan pinnille.



Kuva 26. Komponentin REFGND-nastan jännite lämpötilan funktiona.

Kolmanteen ajoon vaihdettiin komponenttien 1 ja 2 tilalle komponentit 3 ja 4, mutta vian huomattiin toistuvan K2-kortilla testattavasta komponentista ja testerin paikasta riippumatta. Sama vikatila näkyy neljännessä testiajossa, joten päätettiin muuttaa piirilevyjen K1 ja K2 kondensaattorien kalustusta (liitteessä 6 näkyy piirilevyjen K1 ja K2 testiajot 1-4).

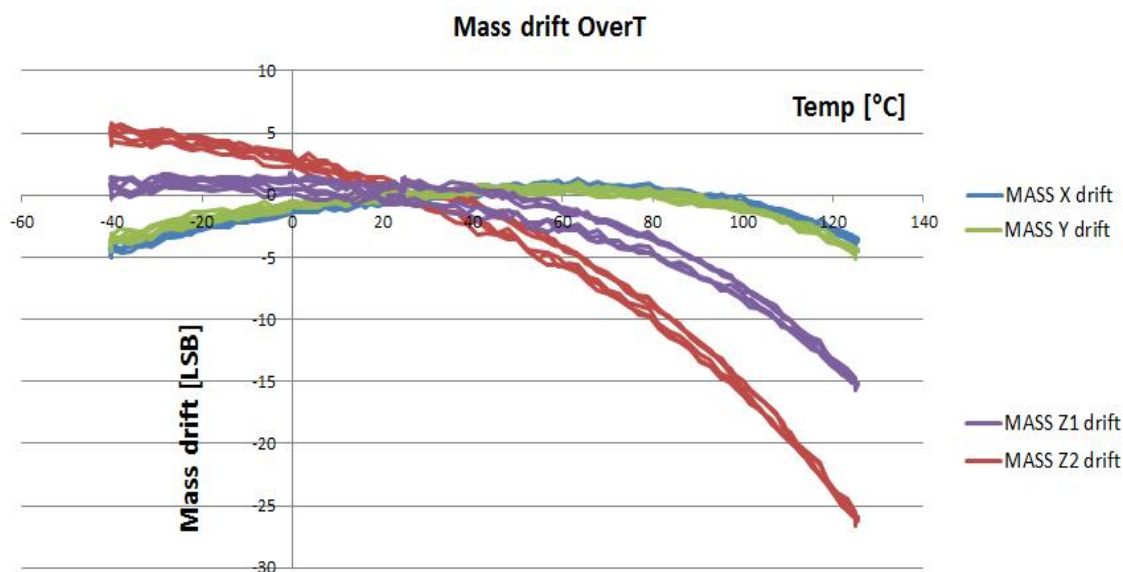
### 5.3 Piirilevyjen testiajot 5-8

Seuraavissa neljässä eri testiajossa (5-8) mitattavat komponentit olivat samat kuin testiajoissa (1-4). Seuraavien testien aikana oli kontaktihäiriöitä, mutta silti niissä oli riittävä kontakti todetaksemme komponenttien toimivan testin aikana. Komponenttien kontaktihäiriöt johtuivat komponentin pinnien hiomisesta hienolla hiekkapaperilla, joka aiheutti komponentin pinneissä epäpuhtauksia, epäjohtavuutta ja pinnien tummumista.

Kontaktihäiriö komponentin REFGND-nastan ja kannan välillä aiheuttaa jännitteen nousun REFGND-nastalla noin 26 mV:iin, kun normaalisti pinnan jännite on suunnilleen 14 mV -40 celsiusasteen lämpötilassa (liitteessä 4 näkyy komponentin kannan nastojen epäpuhtauksia ja korkeuseroja eri pinnien välillä, mitkä aiheuttavat kontaktihäiriöitä). Jännitteen nousu REFGND-nastalla näkyy kiihtyvyyssanturin jokaisen kanavan (X, Y, Z) digitaalisessa ulostulossa, jotka kaikki kohoavat noin 3-10 LSB:n verran ylöspäin. Komponenttien viidennessä testiajossa kontaktihäiriöt aiheuttivat yhden komponentin tilarekisteriin (status register) vikatilailmoituksia (sum of fail). Liitteessä 6 näkyy piirilevyjen K1 ja K2 testiajot 5-8.

Digitaalinen massadata ASIC:in etuasteen vahvistuksen jälkeen näkyy kuvassa 27. Tämä on normaalia vaihtelua käyttölämpötilan ylitse ja se korjataan siten että ulostulo olisi mahdollisimman riippumaton komponenttia ympäröivästä lämpötilasta.





Kuva 27. Komponentin digitaalinen massadata lämpötilan funktiona.

Jokaisen uunitestijon jälkeen testattavien komponenttien metalliset kontaktinastat tummenivat, joten ennen uutta ajoa oli puhdistettava kontaktit hiomapaperilla sekä isopropanoli-alkoholilla. (Liitteessä 3 on kuvia komponentin kontaktijaloista ennen uunijoa ja uunijon jälkeen).

## 6 Sähköinen analysointi ja vianetsintä

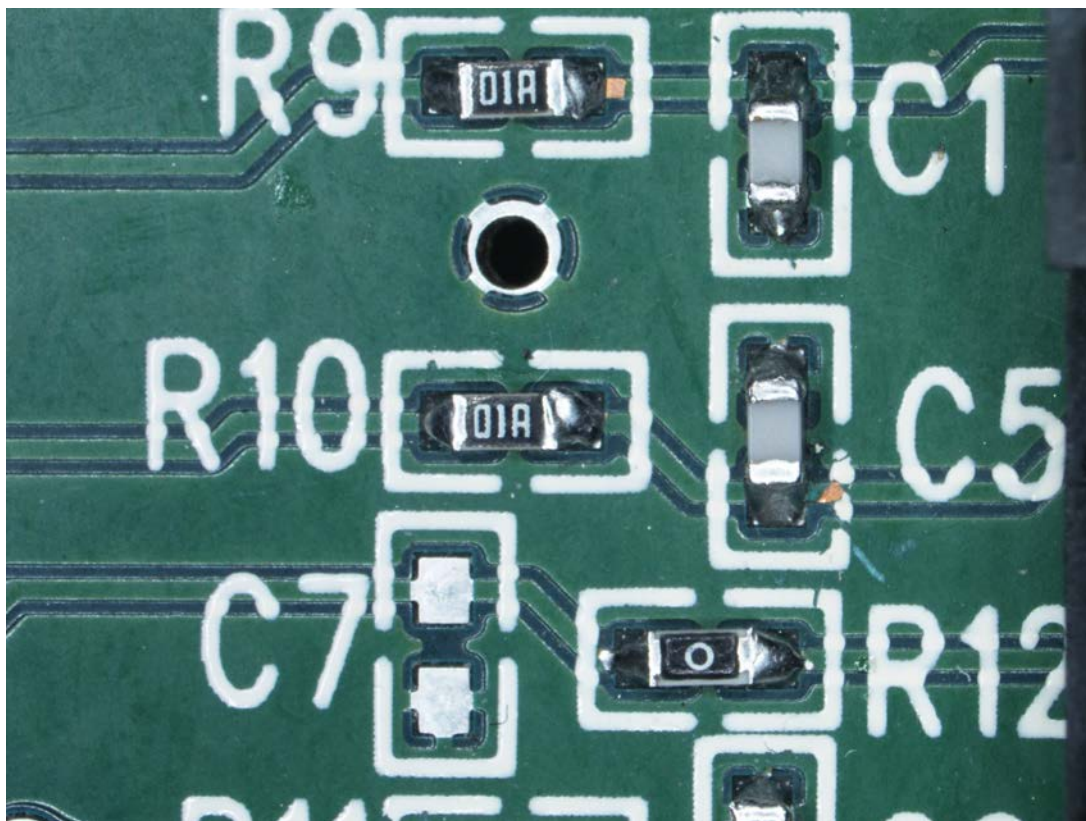
### 6.1 Yleistä vianetsinnästä

Vianetsinnässä tulee edetä systemaattisesti ja täytyy pohtia, mikä voisi aiheuttaa laitteessa ilmenneen vian. Yksittäisen vian voi paikallistaa suuremmasta laitekokonaisuudesta johonkin tiettyyn lohkoon, jos laite oireilee tietyllä tavalla. Esimerkiksi jos laitteeseen ei tule virtaa tulisi tarkastaa virtalähde, tai jos ohjelma ei vastaa komentoihin, voitaisiin tarkastaa kommunikointilinja käskyn lähettäjän ja vastaanottajan välillä (digitaalinen signaali). [10, s 329.]



## 6.2 Piirilevyn analysointi

Mahdollisia sähköisiä katkoksia voisivat aiheuttaa kuvassa 28 näkyvät naarmut R9:n ja C5:n juotosalueilla, jotka tulivat kolvin terävästä juotoskärjestä. Kondensaattoria C7 / C97 ei kalustettu piirilevyille, koska oskilloskooppimittausten avulla selvisi, että kondensaattori vaimentaa komponentin MISO-linjan signaalia.



Kuva 28. Yleiskuva muutamasta pienestä passiivikomponentista. Kondensaattorin C5 ja vastuksen R9 reitityksessä voi nähdä pienen naarmun kontaktityynyjen vieressä.

### 6.2.1 Testattavan komponentin analysointi

Komponentin SCC2122-D05 REFGND-nastan (16) ja AVSS-nastan (17) välinen mitattu resistanssiarvo vaihteli välillä 20 k $\Omega$  - 70 k $\Omega$  riippuen FA-laboratorion referenssisista ja ASIC-piirin sähköisestä tilasta. Kontaktihäiriö komponentin ja kannan välillä näkyy

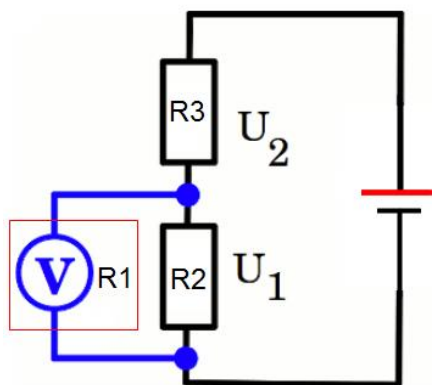
REFGND-pinnillä jännitteen nousuna, koska sitä ei ole kytketty ASIC-piirillä (AVSS)-maa-alueeseen (pinniin 17).

### 6.3 Yleismittarin sisäinen resistanssi

Tässä työssä tehdyissä MSA-mittauksissa voidaan analysoida esimerkiksi mittauslaitteiston tarkkuutta siten että tiedetään yleismittarin perusrakenne ja toimintaperiaate. Yleismittarilla mitattaessa jännitettä tulee huomioida yleismittarin sisäinen resistanssi, koska yleismittari kuormittaa mitattavaa piiriä. Analogiset mittarit kuormittavat mitattavaa jännitelähdettä erityisen paljon, mutta nykyajan digitaaliset yleismittarit ovat kehittyneet paljon ja niissä on suuri tuloimpedanssi jopa 50 M $\Omega$ .

Suurien vastusarvojen rinnalta jännitteen mittaaminen yleismittarilla väärentää tulosta, koska yleismittarin sisäinen vastus kytkeytyy mitattavaan piiriin. Kuvassa 29 on esimerkki mittaustilanteesta, jossa oikea teoreettinen jännitearvo poikkeaa mitatusta arvosta -33 %:lla. Jännitemittarin sisäistä vastusta kuvaa R1 (1 M $\Omega$ ) ja vastuksien R2 sekä R3 vastusarvot ovat myös 1 M $\Omega$ .

Jännitemittari (R1) ja vastuksen (R2) kokonaisresistanssi:  $\frac{1}{\left(\frac{1}{R_1}\right) + \left(\frac{1}{R_2}\right)} = 500 \text{ k}\Omega$  (3)



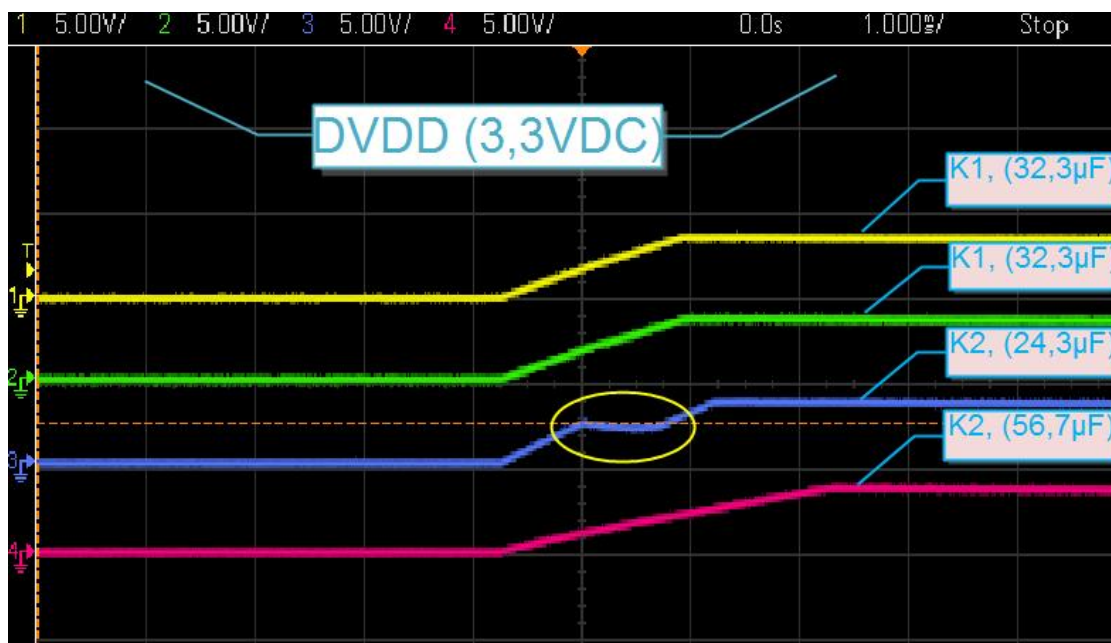
Kuva 29. Esimerkkikytkentä jännitteenjaosta.

#### 6.4 Piirilevyjen K1 ja K2 oskilloskooppimittaukset

Tässä työssä uunijojen aikana huomattavat virheet selittyvät seuraavissa mittauksissa. Komponenttien arvoja on muutettu mittauksia varten suuren ja liian pienen välillä K1- ja K2-korttien paikoilla (DUT 1-4) niin saadaan lopuksi optimiarvo kapasitanssia mitattuun linjaan.

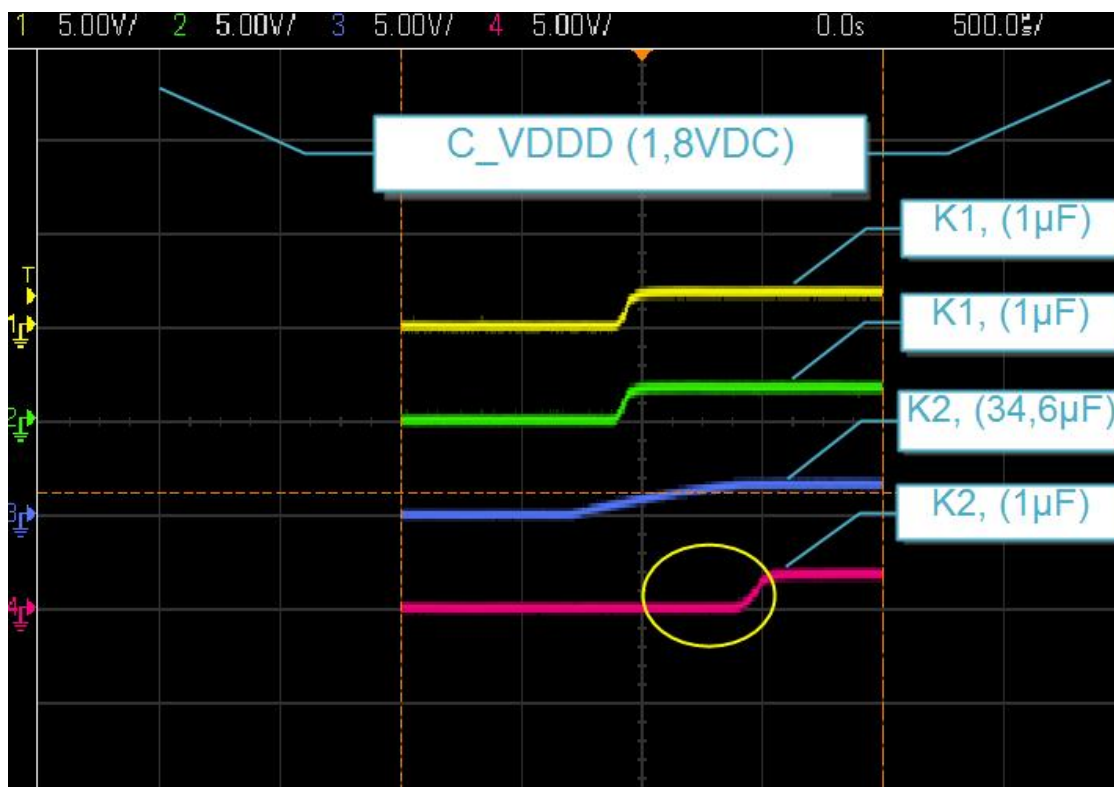
Komponentin kiihtyvyyssanturin käynnistysaika on normaalisti virtojen päälle kytkemisen jälkeen noin 320 ms (60 Hz suodatinasetuksella) ja 450 ms (10 Hz suodatinasetuksella). Komponentin kulmanopeusanturin käynnistysaika on noin 750 ms riippuen suodatinasetuksesta. Suodatinasetus voidaan valita muuttamalla komponentin rekisterin bittejä SPI-väylän kautta. Komponentti jää helposti vikatilaan, jos komponentin ulkoisten kondensaattorien arvot ovat liiansuuret tai liian pienet. Komponentin datalehden osoittamat kondensaattorien arvot eivät sovellu kaikkiin sovelluksiin, koska johteiden reititys ja virtalähteen etäisyys vaikuttaa komponentin toimintaan.

Eri testipaikkojen DVDD-linjojen kondensaattorit eivät kaikki lataudu samalla tavalla verrattuna muihin testipaikkoihin. Tämä johtuu kapasitanssiarvosta (24,3  $\mu\text{F}$ ) kortilla K2 (kuva 30). Aluksi jännite kasvaa nopeasti 1,8 V:iin asti, mutta jännitteen nouseminen lakkaa 1 ms:n ajaksi, koska DVDD-linjan jännite syöttää virtaa ASIC-piirille. ASIC-piiri syöttää jännitettä regulaattorin tavoin edelleen vakavoituun C\_VDDD-linjaan, jossa suuri kondensaattori (34,6  $\mu\text{F}$ ) latautuu hitaasti verrattuna muihin testipaikkojen (1-4) linjoihin (kuva 31).



Kuva 30. DVDD-linjan kondensaattorien kapasitanssin vaikutus jännitteen suuruuteen ajan suhteessa. Kuvassa kaksi alemmaa oskilloskoopin kuvaajaa eivät ole toivottuja, koska jännite saavuttaa tavoite jännitteen liian myöhään verrattuna kahteen ylempänä olevaan oskilloskoopin kuvaajaan.

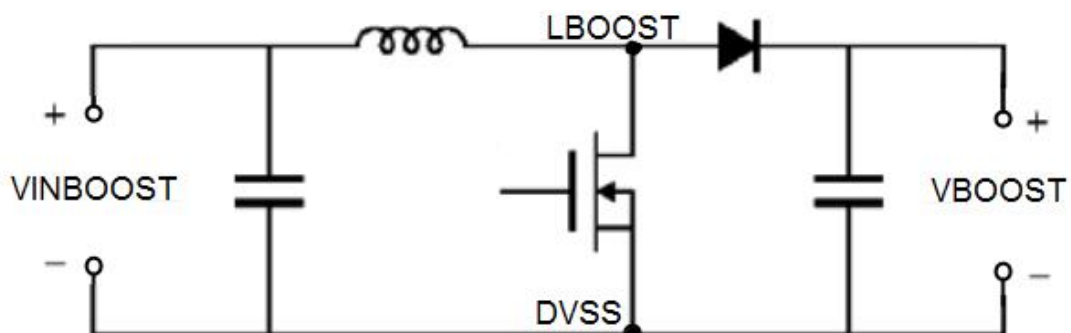
C\_VDDD-linjan kondensaattorit piirilevyllä K1 latautuvat nopeasti oikeaan arvoon 1,8 V:iin asti, mutta piirilevyn K2 kondensaattorit latautuvat epänormaalisti (kuva 31). Piirilevyn K2 C\_VDDD-linjan kondensaattori (1  $\mu\text{F}$ ) latautuu liian hitaasti johtuen kuvassa 30 olevasta kondensaattorista (56,7  $\mu\text{F}$ ) K2 levyllä.



Kuva 31. C\_VDDD linjan kondensaattorien kapasitanssin vaikutus jännitteen suuruuteen ajan suhteessa. Kuvassa kaksi alemmaa oskilloskoopin kuvaajaa eivät ole toivottuja, koska jännite saavuttaa tavoite jännitteen liian myöhään verrattuna kahteen ylempänä oleviin oskilloskoopin kuvaajiin.

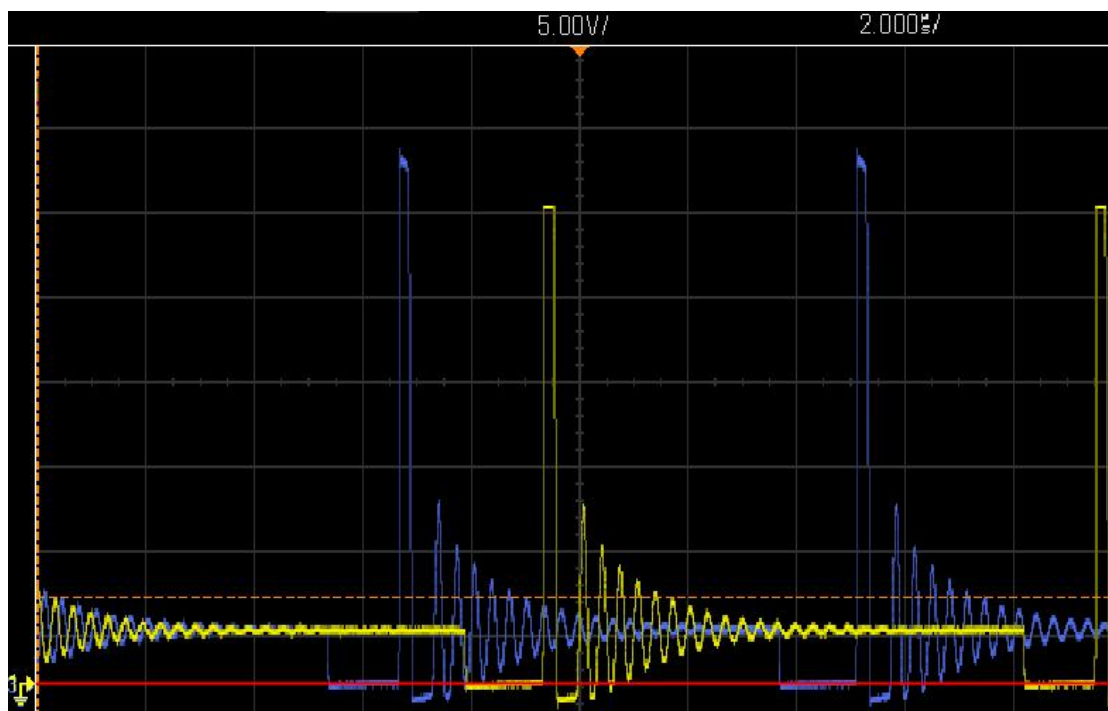
## 6.5 Boost-hakkuri

AHVVD-jännite (30 V) luodaan boost-hakkurikytkennällä, jonka peruskomponentit ovat kela, kytkin (FET, Field Effect Transistor) ja diodi (kuva 32).



Kuva 32. Boost-hakkurin yksinkertaistettu kytkentäkaavio.

Boost-hakkurin jännite on mitattu kytkentäkaavion kohdasta LBOOST (kuva 32). Jännite LBOOST-pinnillä vaihtelee hakkurin kytkimen tilasta riippuen +31 V ... (-1 V). Kytkimen (FET) ollessa auki on jännite LBOOST-pinnillä käyttöjännitteen verran 3,3 V (VINBOOST). Kytkimen sulkeutuessa jännite putoaa noltaan volttiin, ja sen jälkeen kytkin nopeasti avautuu, jolloin kelasta syntyy suuri jännite, joka kulkee schottky-diodin kautta VBOOST-pinnille. Kahden samanaikaisesti mitattujen komponenttien LBOOST-nastan jännitteen muoto näkyy kuvassa 33.



Kuva 33. LBOOST-nastan jännitteet, piirilevyn K2 paikoilla 1 ja 2.

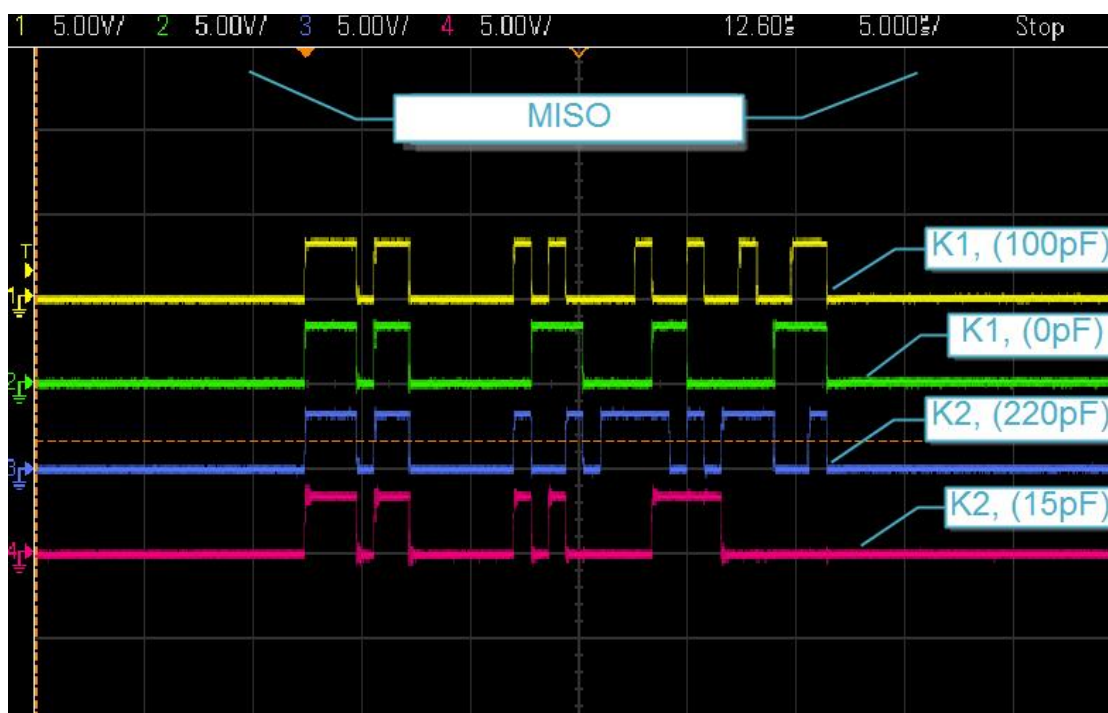
AHVVDL-linjan kondensaattoreiden kapasitanssiarvo ( $10,3 \mu\text{F}$ ) piirilevyllä K2 latautui hitaasti, koska sen arvo ylittää 18-kertaisesti datalehden suosituksen mukaisen arvon, joka on suurimmillaan  $564 \text{ nF}$  [11, s. 36].

Korkeajännitelinjan ( $30\text{V}$ , AHVVDL) jännite putoaa hitaasti sähköjen katkaisemisen jälkeen. Kestää jopa 4 sekuntia, että piirilevyn K2 kondensaattorien ( $10,3 \mu\text{F}$ ) jännite putoaa alas  $0$  volttiin. Tämä kondensaattori ( $10 \mu\text{F}$ ) poistettiin Init FA -piirilevyistä, koska huomattiin että pienempi kapasitanssiarvo ( $481 \text{ nF}$ ) riittää AHVVDL-linjaan. Irrotettaessa komponenttia kannasta jännite voisi vaurioittaa mitattavaa komponenttia tai GATS-elektroniikkaa komponentin nastojen osuessa kannan metallikontakteihin irrotuksen aikana.



## 6.6 SPI-linjan oskilloskooppimittaukset

MISO-linjassa piirilevyllä K1 näkyy nopea nousu jännitteessä 3,3 V:iin asti molemmilla testilinjalla 0 pF ja 100 pF, mutta piirilevyllä K2 linjalla 15 pF näkyy värähtelevää jännitettä pulssin nousevassa reunassa sekä pulssin laskevassa reunassa. Tämä voi johtua esimerkiksi johteessa olevasta viasta, minkä vuoksi se toimii kelan tavoin, ja jännite jää värähtelemään (kuva 34).



Kuva 34. MISO-linjan digitaalisten signaalien jännitteet piirilevyillä K1 ja K2 testipaikat 1-4. Kuvassa alimpana oskilloskoopin kuvaajassa näkyy värähtelevää jännitettä pulssin nousevassa- ja laskevassa reunassa, joka voi johtua esimerkiksi johteessa olevasta viasta.

MOSI-linjassa näkyi jännite-ero (noin 100 mV) K2-kortilla paikkojen 1 ja 2 välillä. Tämä voi johtua monesta syystä, esimerkiksi johteessa olevasta viasta tai kondensaattorien laadusta ja täten impedanssin vaihtelusta kahden eri testipaikan (DUT 1 ja DUT 2) välillä piirilevyllä K2. Pintaliitoskondensaattorien mitattu kapasitanssi ennen piirilevyille juottamista ja juottamisen jälkeen vaihteli, koska kondensaattorin kapasitanssi on lämpötilariippuvainen. Myös lämpöshokki muuttaa kondensaattorin kapasitanssiarvoa,

esimerkiksi kolmen sekunnin lämmitys 360 °C lämpötilassa muuttaa kondensaattorin kapasitanssiominaisuuksia.

Piirilevyjä K1 ja K2 ei otettu viralliseen uunikäyttöön vaan ne olivat testikäytössä, kunnes oikeat kondensaattorien arvot olivat löytyneet mittausten avulla tälle käytettävälle piirilevyllä ja piirilevyllä mitattaville komponenteille.

## 7 MSA-mittaukset

### 7.1 Yleistä

Mittaussysteemin analysointi MSA (Measurement System Analysis) on standardoitu analysointimenetelmä testauslaitteiston mittausprosessin virheen määrittämiseksi. Jotta mittausvirheen vaikutus päätöksentekoon ymmärrettäisiin, tulee MSA-mittausten avulla selvittää systemaattisen ja satunnaisen virheen suuruudet. Variaatiovirheen suuruus käsittelee mittausprosessin satunnaista vaihtelua ja on suurempi ongelma parannaessa prosessia. Deviaatiovirhe käsittelee keskiarvon poikkeamaa referenssi osista, joka korjataan laitteiston kalibroinnilla. [12.]

Mittausvirheet selvitetään mitatun kohteen ja mittausprosessin käyttöolosuhteissa. Mittausprosessin virheet ovat variaatiovirhe, deviaatiovirhe ja näytteenottovirhe. Mittausprosessin arvot jaetaan hallittuihin ja ei hallittuihin tuloksiin [13]. Tämän työn MSA-mittaukset tehtiin käytettävän uunin sisältä ja aloitettiin, koska uusi mekaaninen piirilevykehikko ja uudet piirilevyt otettiin käyttöön. MSA-mittauksissa käytettiin uuni-*piirilevyjä* K3 ja K4, jotka aiottiin ottaa uunikäyttöön. Tuloksilla selvitettiin: uunin pohjan mekaanista stabiiliutta piirilevykehikon ollessa ohuen silikonimaton päällä uunissa, komponenttikantojen aiheuttamaa vaihtelevuutta komponenttien ulostulossa ja mittausjärjestelmän kyvykkyyttä. Heikot MSA-tulokset voivat estää laitteiston käyttöönoton esimerkiksi tuotantoon tai aiheuttaa laitteiston poistamisen käytöstä. Tämän työn MSA-mittaukset on tehty komponenteilla SCC2122-D05.

## 7.2 Stabiilisuusmittaus

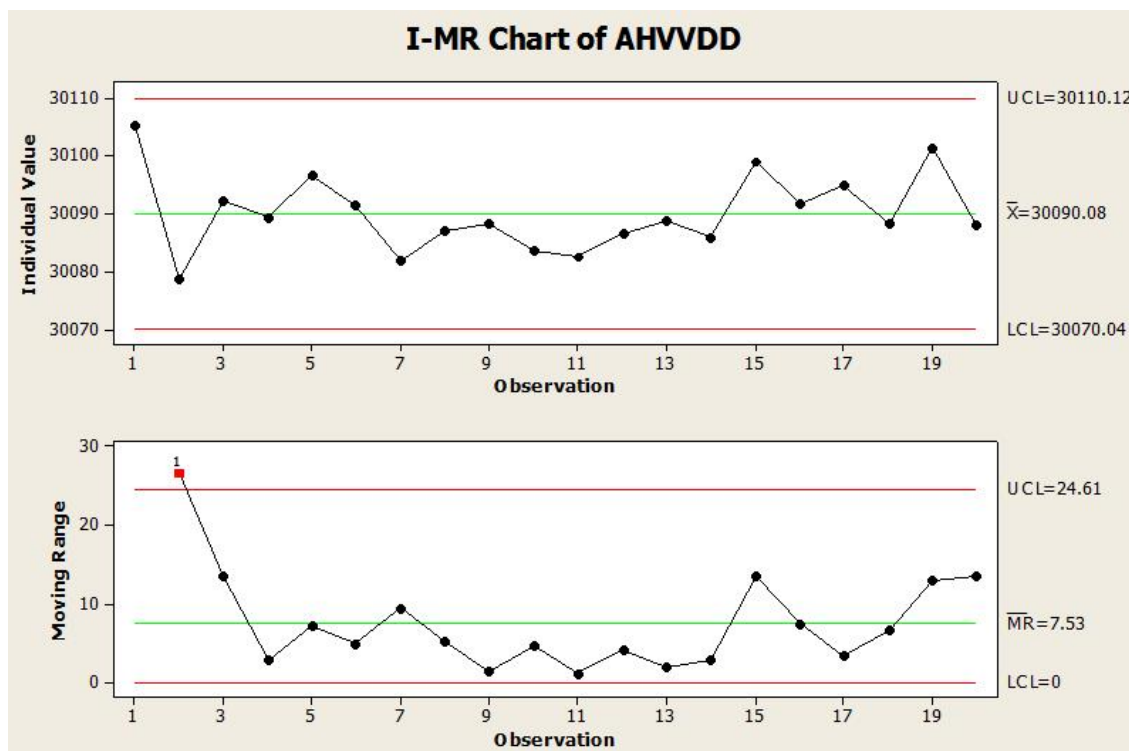
MSA-testaus aloitetaan stabiilisuusmittauksella, jolla varmistetaan että mittauslaitteisto on stabiili ennen kuin jatketaan seuraaviin vaiheisiin (BIAS ja GAGE). Tulokset eivät saisi ajelehtia stabiilisuuden seurannan aikana liian suurella tasovaihtelulla suuntaan tai toiseen. Stabiilisuuden hallinnassa seurataan mittauksissa kertyvää virhettä, jota esiintyy pidemmällä aikavälillä. Testiin valittuja komponentteja mitataan viikoittain tai kuukausittain, jotta pystytään tuloksista huomaamaan ajan vaikutus mittauslaitteiston BIAS-virheeseen.

Stabiilisuusmittaukset aloitettiin testaamalla referenssiosia, jotka haettiin tuotantolinjalta. Neljä kappaletta referenssiosia varmistettiin olevan ehjiä GATS-elektronikan testisekvenssillä "COMBO2 Init FA". Komponenttien toimivuus varmistettiin siitä syystä, että komponenttien tulee olla ehjiä, jotta tulokset olisivat luotettavia ja että mittausjärjestelmän kyvykkyyttä voitaisiin arvioida.

Stabiilisuuden mittauksen seurantajaksoaika oli neljä viikkoa, mittaukset tehtiin arkipäivinä kello 12.00 - 16.00 välillä, kun testeri oli vapaa. Komponentit (DUT 1 - 4) asetettiin piirilevyjen K3- ja K4-kantoihin ja uunin ovi suljettiin mittausten ajaksi.

Stabiilisuusmittauksissa kiinnitettiin huomiota komponentin käyttämään analogisen ja digitaalisen osion virrankulutukseen, joka tunnetusti vaihtelee komponentista riippuen. Komponentin korkeajännitettä AHVVDD-linjassa ja komponentin sisäistä referenssijännitettä VBG1 seurattiin mittausten aikana. Myös komponentin kellotaajuuden CLK64 vaihtelua seurattiin mittausten aikana.

Minitab-ohjelmiston laskemat ala- ja yläkontrolli arvot LCL ja UCL ovat prosessin raja-arvoja (kuva 35). Komponenttien ala- ja yläraja -arvot ovat LSL ja USL, mitkä vastaavat komponentin datalehden osoittamia vaihteluarvoja. Mittaustulosten esimerkkinä mainittakoon että jännitelinjan (30 V, AHVVDD) stabiilisuusmittaustuloksissa on yksi poikkeama mittausten ensimmäisen ja toisen päivän välillä, jolloin yläraja-arvo ylittyy, mutta pidemmällä seuranta ajalla ei ole havaittavissa tulosten ajalehtimistä liian alas tai ylös, joten tulokset ovat ala- ja yläkontrolli rajojen sisäpuolella (kuva 35).



Kuva 35. Jännitelinjan (30 V, AHVVDD) stabiilisuusmittaustulokset. Kuvassa ylempänä on jännitteen vaihtelu yhdellä ja samalla osalla 20 päivän ajalta. Kuvassa alempana on jännitteen muutos mittauspäivien välillä.

### 7.3 BIAS-mittaus

Gage Linearity- ja Bias-tutkimuksia käytetään mittausprosessin systemaattisen vaihtelun, eli deviaatiovirheen selvittämiseksi. Kysymys on kalibrointivirheestä, jonka suuruus selvitetään muilla mittalaitteilla saaduilla referenssiarvoilla esimerkiksi oskilloskoopilla tai mieluummin pöytämallisella erittäin tarkalla yleismittarilla.

BIAS-mittauksissa seurattiin mitattavien komponenttien analogisen- ja digitaalisen osion virrankulutusta ja jännitteitä AHVVDD ja VBG1. Myös kellotaajuuden CLK64 vaihtelua ja komponentin kulmanopeutta YAW sekä asentotarkkuutta seurattiin BIAS-mittausten aikana.

Komponentin kulmanopeuden (YAW-rate) tulisi olla mittausten aikana 0 °/s, mutta koska komponenteissa on vaihtelua ja laitteissa kalibrointi virhettä niin lopputulokseen saatiin osien keskimääräiseksi BIAS-vaihteluarvoksi -0,09 °/s verrattaessa osan tuotantoarvoon. Raja-arvot kulmanopeuden suuruudelle olivat ±3 °/s joten suorituskykyindeksi (Cpk) on 104,27 kun taas hylkäysraja olisi niin alhainen kuin Cpk alle luvun 10. Kaavalla 5 lasketaan suorituskykyindeksi Cpk, jossa  $\sigma$  on keskihajonta.

$$Cpk = \min\left[\frac{USL - \text{mean}}{3\sigma}, \frac{\text{mean} - LSL}{3\sigma}\right] \quad (5)$$

Stabiilisuusmittaus AHVVDD-linjan ala- ja ylärajalle lasketaan kaavalla 6.

$$USL \text{ (Upper Spec Limit)} = \frac{USL - LSL}{2} = \frac{31,5 V - 28,5 V}{2} = 1,5 V \quad (6)$$

$$LSL \text{ (Lower Spec Limit)} = 0 - \left(\frac{USL - LSL}{2}\right) = 0 - \frac{31,5 V - 28,5 V}{2} = (-)1,5 V$$

Kellotaajuuden CLK64 ala- ja ylärajataajuuden määrittäminen onnistuu komponentin datalehden avulla kaavalla 7.

taajuuden vaihtelevuuden alaraja (datalehti) = 46,70 MHz / 64 ≈ 729 kHz

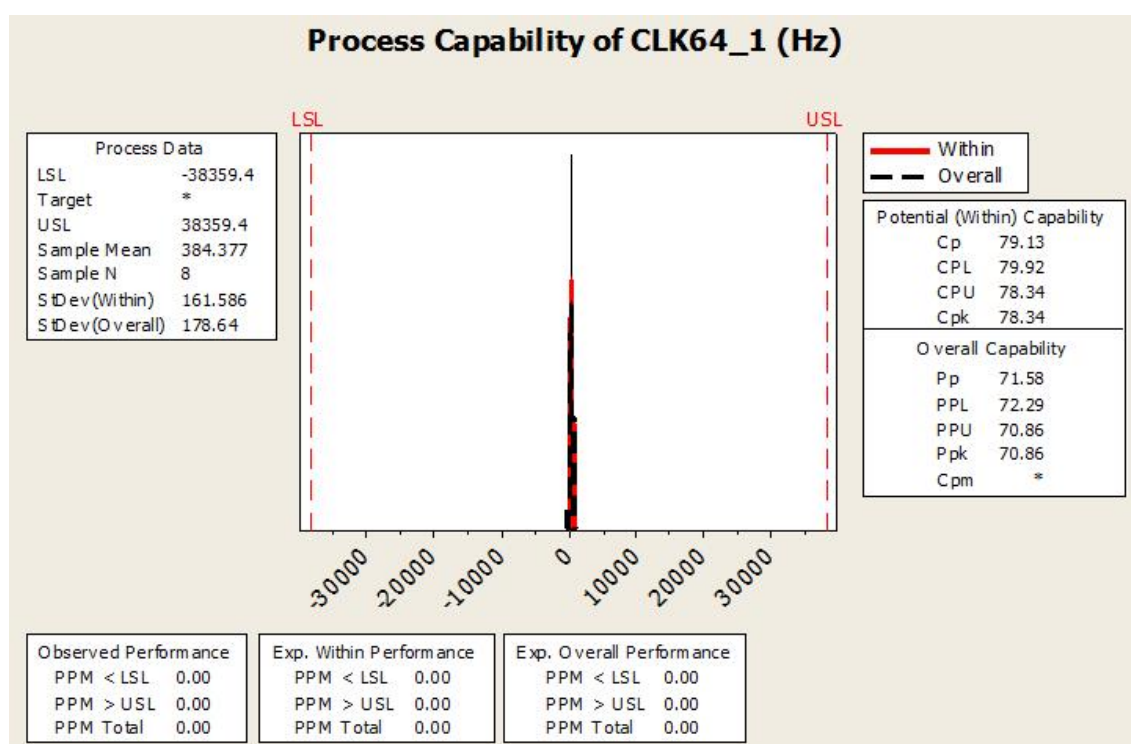
taajuuden vaihtelevuuden yläraja (datalehti) = 51,61 MHz / 64 ≈ 806 kHz

lasketaan rajataajuudet CLK64:lle:

$$USL \left(\frac{(806.40625 \text{ kHz} - 729.6875 \text{ kHz})}{2}\right) \approx 38.359 \text{ kHz} \quad (7)$$

$$LSL \ 0 - \left(\frac{(806.40625 \text{ kHz} - 729.6875 \text{ kHz})}{2}\right) \approx (-)38.359 \text{ kHz}$$

Komponenttien BIAS-mittaustulos CLK64:lle näkyy kuvassa 36, jossa taajuus poikkesi +384 Hz verrattuna oskilloskoopin tuloksiin. Tämä saattoi johtua GATS-mittalaitteen BIAS-virheestä. Mitattu taajuus oli suuruudeltaan noin 762 kHz. BIAS-mittauksissa käytetyllä oskilloskoopilla oli tarkka taajuuden mittauskky (100 ppm, joten virhe on suurimmillaan 76 Hz), joten suurin osa mittausvirheestä johtui GATS-testeristä.



Kuva 36. BIAS-mittaustulos komponentin kellotaajuudelle CLK64.

### GATS-testerin BIAS-virhe

Seuraavia mittauksia verrataan GATS-elektroniikan mittaustuloksiin. Mittaukset aloitettiin referenssikomponentin testaamisella, koska komponentin oli oltava ehjä ennen virallisten mittausten suorittamista. Komponentille suoritettiin ensin alustava analyysi (Init FA, Initial Failure Analysis).

Komponentti SCC2122-D05 (1 kpl) asetettiin piirilevyllä, joka asetettiin kehikkoon. Tämä kehikko asetettiin uuniin komponentin kansi ylöspäin.

Uunin lämpötila oli mittausten aikana 28,8 °C - 29,5 °C, joten lämpötilan vaikutus komponentin toimintaan on merkityksetön. Testisekvenssiä muokattiin siten, että GATS-testeri on taukotilassa mittaushetkellä (sähköt päällä). Taulukossa 1 on kuvaus mitattavista parametreista digitaalisen yleismittarin, oskilloskoopin ja GATS-elektroniikan välillä.

Taulukko 1, jossa näkyy mitattavat parametrit sekä käytetyt mittalaitteet BIAS-mittauksissa.

| Mitattava parametri: | Mittalaitteet:  | Mittalaite:  |
|----------------------|---|--------------|
|                      | Digitaalinen yleismittari (HP34401A) / oskilloskooppi (MSOX3024A) | GATS         |
| I_DVDD_G             | 3,1221 mA   | 3,1441 mA    |
| I_AVDD_G             | 14,367 mA   | 14,3318 mA   |
| I_AVDD_A             | 6,6297 mA   | 6,5714 mA    |
| AHVDD                | 30,512 V  | 30,506 V     |
| VBG1                 | 901,50 mV   | 901,5382 mV  |
| CLK64 (TO_A-nasta)   | 762,3 kHz   | 762,6844 kHz |



Jännitteet ja sähkövirrat mitattiin kalibroidulla pöytämallisella yleismittarilla HP34401A, jossa tarkin resoluutio virranmittaukselle oli 10 nA (0 - 10 mA alue) ja jännitteen mittaukselle 100 nV (0 - 100 mV alue).

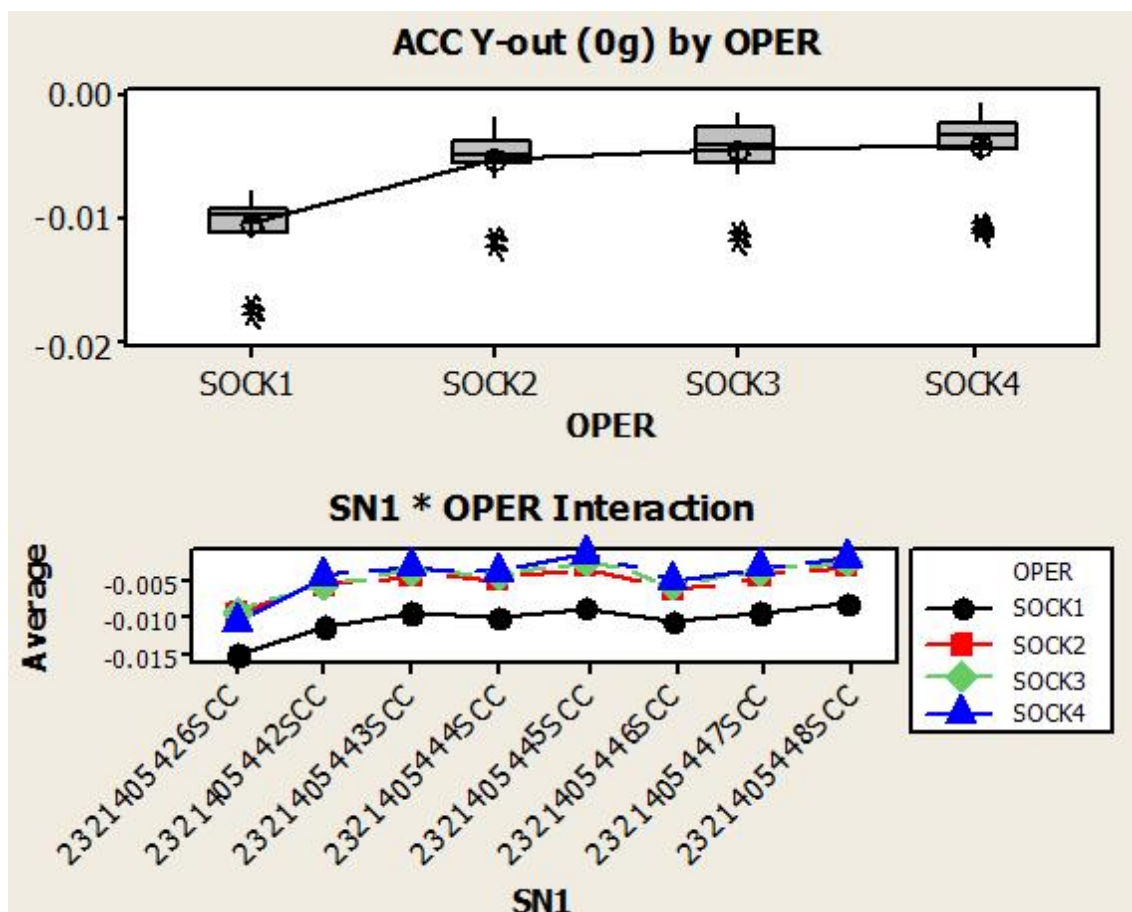
Kellotaajuus mitattiin GATS-elektronikan pinniltä TO\_A (Test Output) oskilloskoopilla koska yleismittari HP34401A ei tunnistanut signaalia kanttiaalloksi. Pyöristyneet kulmat kanttiaallossa (kellosignaali) johtuivat todennäköisimmin pitkistä, ohuista, resistiivisistä ja kapasitiivisista kaapeleista, jotka tulevat tuotteelta GATS-elektronikalle.

GATS-elektronikka mittasi AHVVDD-linjan jännitteeksi 30,506 V ja yleismittarin mitaama jännite näytti 30,512 V, joka on vain 6 mV enemmän kuin GATS-elektronikan mitaama jännite. Yleismittarilla mitattu jännite on mitattu GATS:n puolelta, koska mitattava tuote oli uunissa, ovi suljettuna ja liitinpisteitä ei ollut piirilevyllä siten, että sieltä olisi helposti suoraan voinut mitata AHVVDD-linjan jännitteen.

#### 7.4 GAGE-mittaus

GAGE R&R -menetelmä (Repeatability & Reproducibility) arvioi esimerkiksi automatisoidun mittalaitteen kyvykkyyttä toistaa sama tulos usean testin jälkeen. Tavoitteena on selvittää mittausprosessin satunnaisvirhe. Lisäksi menetelmällä tutkitaan muuttuvatko mittaustulokset, kun mittausten suorittaja on eri henkilö tai kuten tässä työssä tutkittiin neljän eri komponenttikannan vaikutusta komponenttien sähköiseen ulostuloon.

GAGE-mittaustuloksista selviää muun muassa, että piirilevyjen K3- ja K4-paikat 1-4 (SOCK 1-4) eivät ole identtiset (kuva 37). Kuvassa ylempänä komponentin kanta 1 (SOCK1) antaa eritasoista ulostuloa, kuin muut kannat. Tämä johtuu siitä että komponentin kannan pinnien korkeus vaihtelee.



Kuva 37. GAGE-mittaustulos paikkojen 1-4 välillä (SOCKET 1 - 4). Kuvassa ylempänä näkyy neljän eri testikannan vaikutus mittaustuloksiin, joista paikka 1 (SOCK1) antaa eritasoista asentotarkkuuden tuloksia. Kuvassa alempana voi nähdä yksittäisten komponenttien antamat asentotarkkuuden tulokset eri testikantojen välillä.

## 8 Yhteenveto

Insinöörityön tavoitteena oli suunnitella piirilevy Murata Electronics vika-analysitiimin käyttöön. Piirilevyllä pystyttäisiin analysoimaan vikaantuneita tuotteita varsin monipuolisesti. PADS-ohjelmistolla suunniteltiin uusi piirilevy edellisen uunipiirilevyn tilalle. Edellisellä uunipiirilevyllä oli yksi komponentin testikanta yhdelle komponentille, mutta uudessa suunnitellussa uunipiirilevyssä oli kaksi testikantaa kahdelle testattavalle tuotteelle sekä testeriin voi kytkeä samaan aikaan kaksi uunipiirilevyä. Liitintyyppi oli edellisessä piirilevyssä 34-nastainen ja uudessa uunipiirilevyssä liitin on malliltaan Euro 64 -liitin, joka on mekaanisesti kestävämpi ja sähköisesti paremmin kontaktoituva, kuin edellisen uunipiirilevyn 34-nastainen liitin.

Tuotteesta saatiin toimiva sekä lisäksi tutkittiin oskilloskoopilla, minkälaisia signaali-muotoja kussakin komponentin nastassa on, samalla kun muutetaan piirilevyllä olevien kondensaattorien arvoja. Tämä tehtiin siitä syystä, että selvitettiin, mitkä olisivat oikeat kondensaattorien kapasitanssiarvot eri nastoille tälle komponenttutuotepiheelle ja tässä työssä suunnitellulle piirilevyllä. Piirilevyn suunnitteluvaiheessa johteiden ja liittimien nimien kanssa oli hankaluuksia, koska samat johteet saattoivat vaihtaa nimeä kolmeen kertaan, kun signaalipolkua seurasi. Uuden tyyppisiä nimiä johteille ei kannata luoda, jos signaalin muoto, taajuus tai jännite ei muutu johteessa.

Virtalähteiden ja GATS-elektroniikan välisten johtimien tulisi olla paksumpaa, jotta johtimissa ei syntyisi jännitehäviöitä. Jännitelähteisiin asetetut ulostulojännitteet ovat erisuuruisia eri testerien välillä esimerkiksi 5,2 V ja toisella testerillä on asetettu ulostulojännitteeksi 5,4 V. Kuparijohteen sähköinen johtavuus huononee ajan myötä nopeammin, kun liian suuri sähkövirta kulkee johteessa. GATS-elektroniikkapakassa piirilevyjä yhdistää moninapaiset liittimet, joissa osassa liittimiä kulkee melko suuri virtamäärä. Mekaaniset liittimet aiheuttavat jännitehäviöitä ja kontaktihäiriötä, joten niitä pitäisi tarpeen mukaan välttää.

MSA-mittauksissa selvisi, että yksi neljästä komponentin kannasta antoi erilaisia tuloksia siitä syystä, että kannan kontaktipinnit olivat eri korkeuksilla. Asetettaessa komponenttikantoja piirilevyllä tulee tarkastaa, että komponentti kannan kontaktipinnit ovat kaikki samalla korkeudella ja että juotoksen jälkeen pinnit ovat edelleen samalla korkeudella.

MSA-mittaustulosten jatkon kannalta olisi hyvä mitata esimerkiksi komponentin kello-  
taajuus (CLK64) tarkalla taajuuslaskurilla suoraan mitattavalta komponentilta. Tämä  
siitä syystä, että pitkissä johtimissa DUT-kortilta GATS-elektronikalle kanttignaali  
vääristyy. Mitattavia parametreja MSA:ssa voisi olla jatkossa enemmän, niin tunnetaan  
komponentin toimintaa paremmin ja pystytään analysoimaan laajemmin.

Tässä työssä korjattiin myös edellisessä uunipiirilevyssä huomattuja maadoituspuutteita  
sillä piirilevy on vielä käytössä esimerkiksi tuotannosta saapuvien osien analysoin-  
nissa. Maadoitukseen tulee kiinnittää huomiota tulevissa projekteissa piirilevyä suunni-  
teltaessa, sillä maadoituksen tulee olla vahva esimerkiksi testauselektronikalta (GATS)  
testattavalle tuotteelle asti (DUT). GATS-elektronikan maadoitus olisi hyvä tarkastaa ja  
mahdollisesti maadoittaa rakenteita eritaajuisia häiriöitä vastaan, erityisesti taajuuksien  
kasvaessa tulisi käyttää kondensaattoreita apuna maadoituksessa.

## Lähteet

1. Ville Kaajakari, 2009. Las Vegas, Nevada. Practical MEMS Practical Mems: Design of Microsystems, Accelerometers, Gyroscopes, RF Mems, Optical Mems, and Microfluidic Systems.
2. Murata Electronics Oy. Verkkodokumentti. <http://www.murata.com/fi/sovellukset> (luettu 2.6.2015).
3. Technical info gyro sensor. Vekodokumentti. [http://www5.epsondevice.com/en/sensing\\_device/gyroportal/about.html](http://www5.epsondevice.com/en/sensing_device/gyroportal/about.html) (luettu 11.6.2015).
4. Murata consumer product: <http://www.murata.com/en-global/products/sensor/shock/consumer> (luettu 5.6.2015).
5. Safety According to the IIHS By Jeff Youngs, February 24, 2012. Verkkodokumentti. <http://autos.jdpower.com/content/consumer-interest/88KwtX1/safety-according-to-the-iihs.htm> (luettu 10.7.2015).
6. Liikennevakuutuskeskus, 2014. Verkkodokumentti. [http://www.hyksin.com/koulutus/HYKSin\\_liikennelaaketiede\\_2014\\_koisaari.pdf](http://www.hyksin.com/koulutus/HYKSin_liikennelaaketiede_2014_koisaari.pdf) (luettu 17.8.2015).
7. R.S. Khandpur, 2005. McGraw-Hill Education. Printed Circuit Boards Design, Fabrication and Assembly.
8. Tekninen artikkeli, elektroniikkalehti. Verkkodokumentti. [http://etn.fi/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1577%3Aopas-laadukkaasen-pcb-suunnitteluun&catid=26&Itemid=140](http://etn.fi/index.php?option=com_content&view=article&id=1577%3Aopas-laadukkaasen-pcb-suunnitteluun&catid=26&Itemid=140) (luettu 13.6.2015).
9. Lee Stauffer, 2011. Keithley Instruments. Vekodokumentti. <http://www.google.fi/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CB4QFjAAahU-KEwjTucqIp9vGAhVGvnlKHTmrBHs&url=http%3A%2F%2Fwww.keithley.com%2Fdata%3Fasset%3D55766&ei=IVyIVZOIMMb8ygO51pLYBw&usg=AFQjCNFQapolryfJYxCj00D5zMgseoXznw&bvm=bv.97653015,d.bGQ> (luettu 14.7.2015).
10. Vesa Volotinen, 2004 WS Bookwell Oy Porvoo. Analoginen Elektroniikka Komponentit ja Peruskytännät.
11. Murata product datasheet: SCC2130-D08. Verkkodokumentti. <http://www.murata.com/~media/webrenewal/products/sensor/gyro/scc2000/scc2130-d08%20datasheet%2082177500b0.ashx?la=en-us> (luettu 18.8.2015).

12. Laatutieto.fi, tilastolliset menetelmät. Verkkodokumentti.  
[http://www.laatutieto.fi/product\\_catalog.php?c=46](http://www.laatutieto.fi/product_catalog.php?c=46) (luettu 13.7.2015).
13. Karjalainen Oy. Verkkodokumentti (julkaistu 7.3.2007). <http://www.qk-karjalainen.fi/fi/artikkelit/kuinka-luotettavasti-mittaaan-tai-arvioin/> (luettu 9.6.2015).
14. Murata Electronics Oy:n sisäinen lähde.
15. Multicircuits, Printed Circuit Board Technology Resource. Verkkodokumentti.  
[http://www.multicircuits.com/pcb/tech/surface\\_finishes.html](http://www.multicircuits.com/pcb/tech/surface_finishes.html) (luettu 6.7.2015).
16. Murata Electronics Oy. Verkkodokumentti.  
<http://www.muratamems.fi/fi/murata/murata-electronics-oy> (luettu 15.6.2015).

Uunisekvenssin ohjelmointikoodi

```
/* Diode test overT */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\COMBO_Diodes_OverT.txt>

/* Set powers on and meas power supplies */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Combo2-Power.txt>
HW.MeasPowers.vi channels(GYRO_DVDD;GYRO_AVDD;ADP_AVDD) sam-
ples(100) range(high) name(Supply_power)
Test.Wait.vi time(1000)
HW.MeasAI.vi chan-
nels(GYRO_DVDD_ANALOG;GYRO_AVDD_ANALOG;ADP_AVDD_ANALOG)
range(low) samples(1000) save(yes) name(Supply_ai)
HW.GATS.vi address(0x04) subaddress(0x02) data(0) function(READ)
save(yes) name(power_err1)
HW.GATS.vi address(0x06) subaddress(0x02) data(0) function(READ)
save(yes) name(power_err1)

/* SPI read write check */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\SPI_read_write_check.txt>

/* Filter setting */
Test.IfThenElse.vi if(TR.FILT;==;10) then(.\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Filter_10Hz.txt) else(.\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Filter_50Hz.txt) datatype(num) masked(f) ar-
ray_and(f)

/* CLEAR status registers */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Clear_status.txt>

/* Read status registers */
```



```
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Read_status_initial.txt>

/* Enable testmode */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Combo2_Enable_Test_Mode.txt>
HW.GATS.vi address(0x04) subaddress(0x02) data(0) function(READ)
save(yes) name(power_err2)
HW.GATS.vi address(0x06) subaddress(0x02) data(0) function(READ)
save(yes) name(power_err2)

/* Read EEPROM content */
Test.SPI.vi          cmd_from_file(yes)
cmd_file_name(Combo2_FA_eeprom_read.txt) save(yes) name(EEPROM)
communication(SPI_32)

/* ACC output meas */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\ACC_output_meas_2kHz.txt>

/* Meas Gyro output */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Meas_Gyro_output_2kHz.txt>

/* Read status registers - noppauksen ja pyöriytyksen jälkeen */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Read_status.txt>

/* (SPI framien diagnostiikkabitit) */
Test.CalcMempool.vi bits(1) parseheader(SPI_32_CRC_ERR) bina-
ry(n) equation(o=i1) name(COMBO_SPI_ERROR_1) data-
format(positiveinteger)

/* (TCAP*/
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\TCAP.txt>
```

```
/* Gyro test signals */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Meas_test_signals.txt>

/* Read status registers */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Read_status2.txt>

/* CLK frequencies */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Meas_clk_frequencies.txt>

/* Gyro analog test signals before VMON block */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\VMON_analog_test.txt>

/* (Gyro analog test signals after VMON block (digital outputs,
compensated and uncompensated) */
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\VMON_digital_test.txt>

/* (SPI framien diagnostiikkabitit) */
Test.CalcMempool.vi bits(1) parseheader(SPI_32_CRC_ERR) bina-
ry(n) equation(o=i1) name(COMBO_SPI_ERROR_2) data-
format(positiveinteger)

/* Meas regulated supplies from pins */
/* Vboost 30 V */
HW.GATS.vi address(0x04) subaddress(0x02) data(0) function(READ)
save(yes) name(power_err3)
HW.GATS.vi address(0x06) subaddress(0x02) data(0) function(READ)
save(yes) name(power_err3)
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-
OVEN\CAR\include\Combo2_Meas_Vboost.txt>

/* Power off */
```

```
#include <C:\Projects\Cobra FA\GATS\seq\FA_LAB-  
OVEN\CAR\include\Combo2-Power_Off.txt>
```

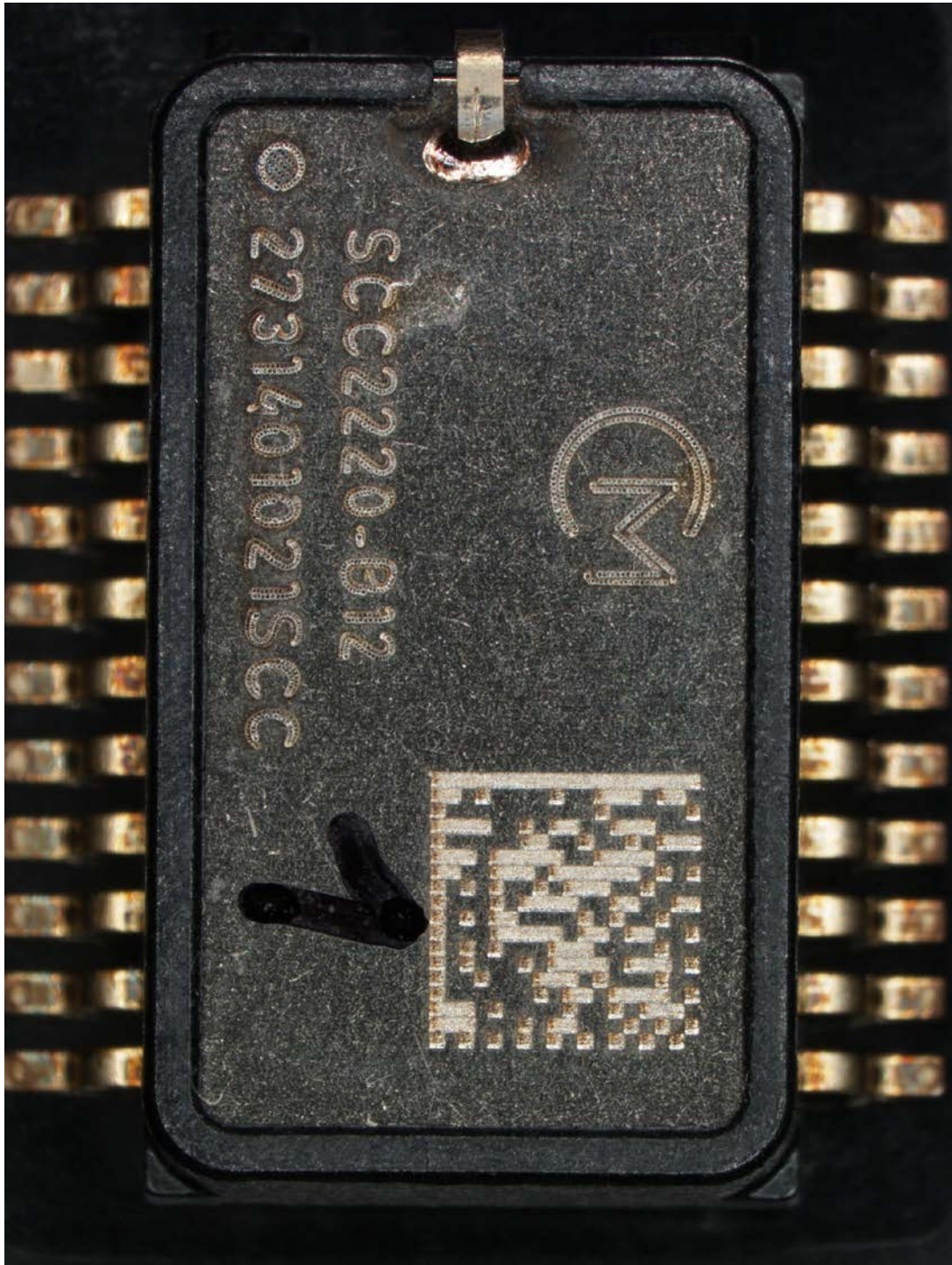
```
HW.GATS.vi address(0x04) subaddress(0x70) data(AAAA) func-  
tion(WRITE) save(no) name(AVB_RESET)
```

```
HW.GATS.vi address(0x06) subaddress(0x70) data(AAAA) func-  
tion(WRITE) save(no) name(DVB_RESET)
```

```
/* (SPI framien diagnostiikkabitit) */
```

```
Test.CalcMempool.vi bits(1) parseheader(SPI_32_CRC_ERR) bina-  
ry(n) equation(o=i1) name(COMBO_SPI_ERROR_3) data-  
format(positiveinteger)NTF
```

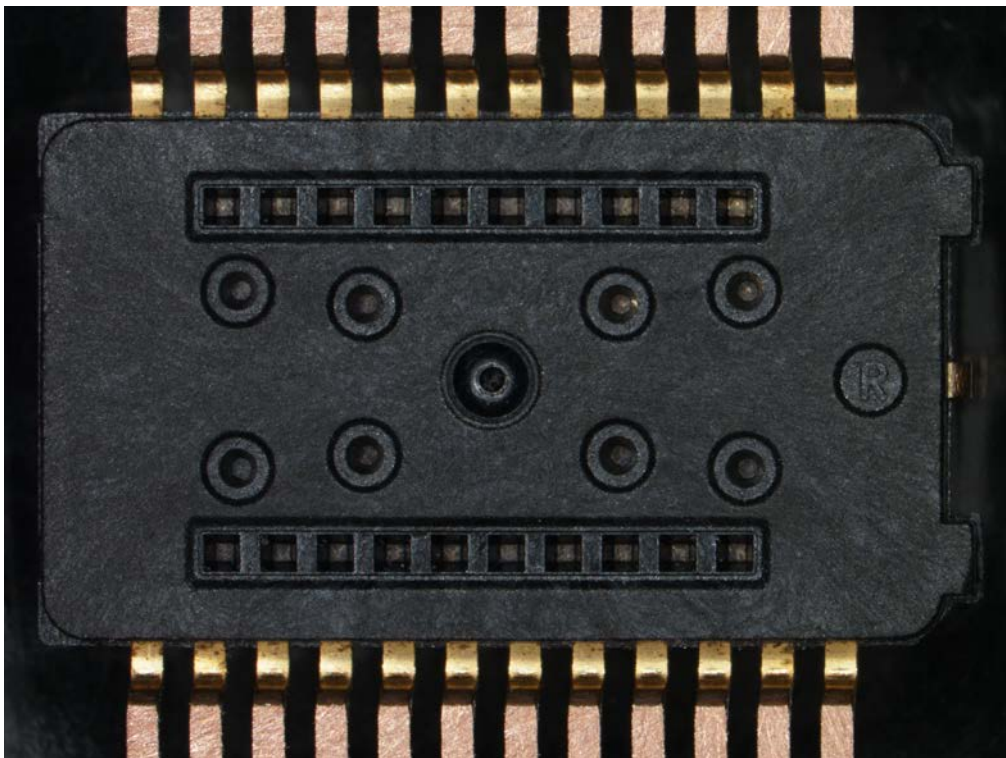
Testattavien komponenttien kotelotyyppi (SOIC-24).



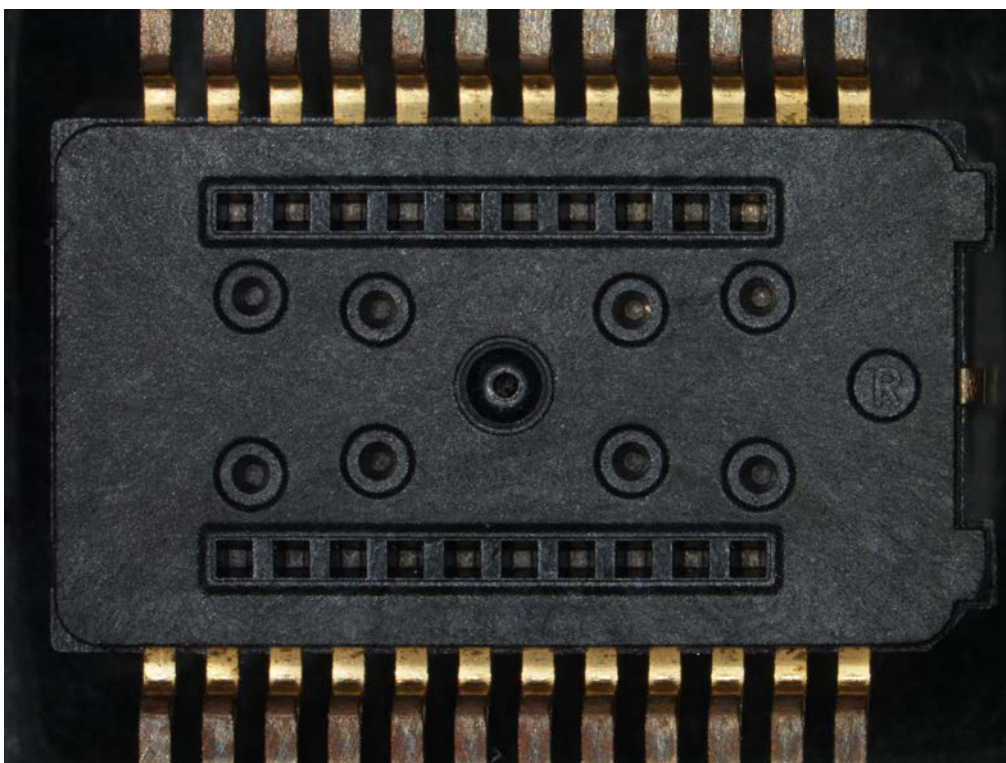


**Komponenttien nastojen sähköinen johtavuus.**

**Komponentin nastat ovat puhtaat ennen uunijoa.**



**Komponentin nastat ovat tummuneet uunijon jälkeen.**



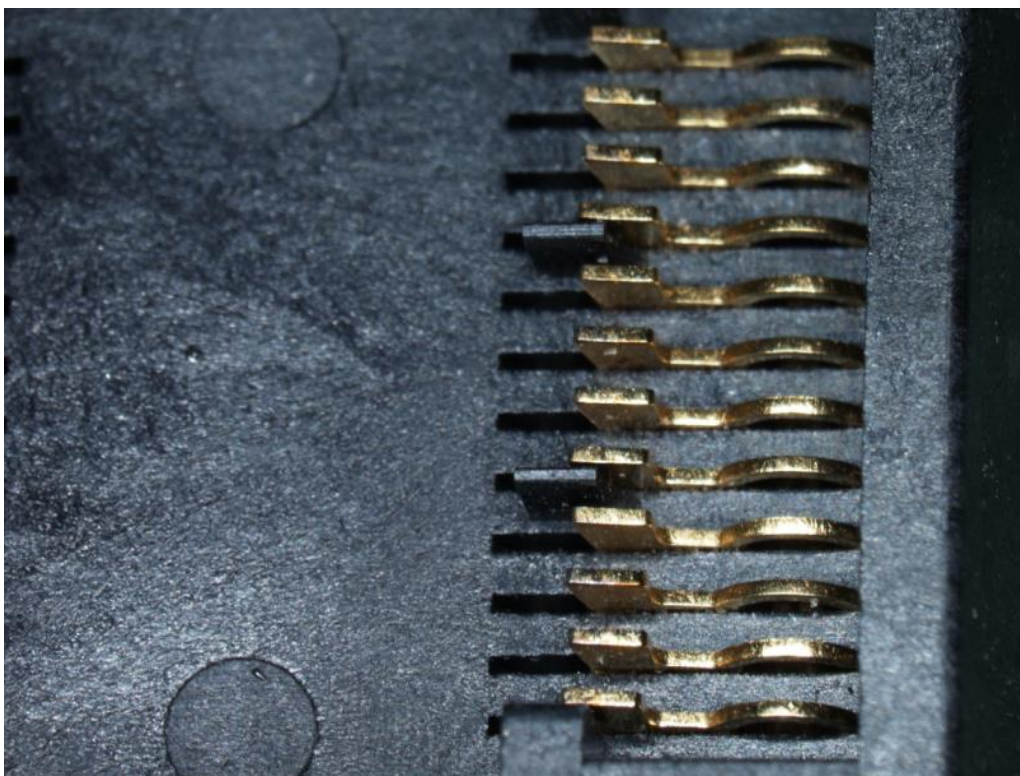
Testattavien komponenttien testikanta.

Pinneissä näkyy epäpuhtauksia ja korkeuseroja eri pinnien välillä.

K1 (Paikka1) Pinnit 1-12.

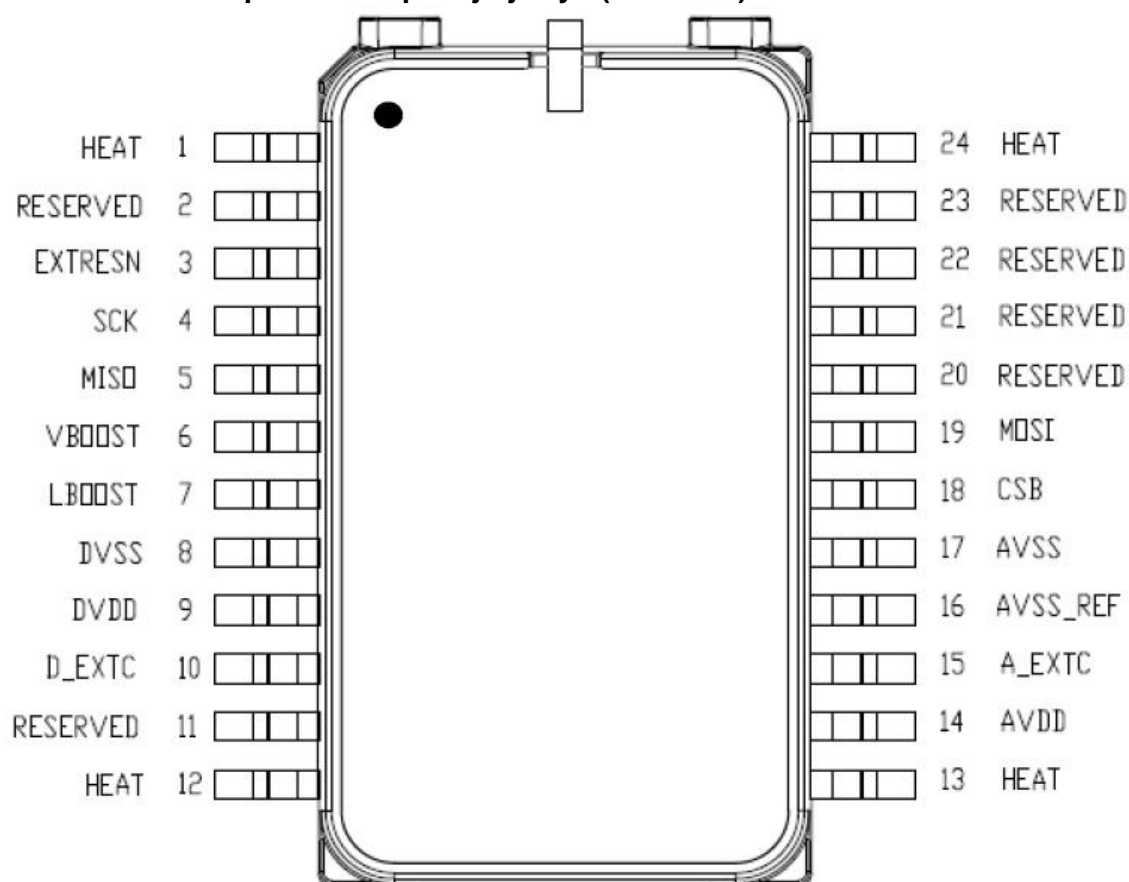


K1 (Paikka 1) Pinnit 13-24.





## Testattavien komponenttien pinnijärjestys (COMBO2).





### Piirilevyjen K1 ja K2 testiajot 1-4.

|        | GATS | kortti | paikka | DUT | tulos |  |
|--------|------|--------|--------|-----|-------|--|
| Ajo 1. | 1    | K1     | 1      | 1   | OK    |  |
|        | 2    | K1     | 2      | 2   | OK    |  |
|        | 3    | K2     | 1      | 3   | FAIL  | Osa ei käynnisty kylmässä                                      |
|        | 4    | K2     | 2      | 4   | FAIL  | VBOOST = 0 (V) LBOOST suurenee (mA)                            |
| Ajo 2. | 1    | K2     | 1      | 3   | Fail  | Osa ei käynnisty kylmässä                                      |
|        | 2    | K2     | 2      | 4   | Fail  | Osa ei käynnisty kylmässä, VBOOST = 0 (V) LBOOST suurenee (mA) |
|        | 3    | K1     | 1      | 1   | OK    |  |
|        | 4    | K1     | 2      | 2   | OK    |  |
| Ajo 3. | 1    | K1     | 1      | 3   | OK    |  |
|        | 2    | K1     | 2      | 4   | OK    |  |
|        | 3    | K2     | 1      | 1   | Fail  | Osa ei käynnisty kylmässä                                      |
|        | 4    | K2     | 2      | 2   | Fail  | Osa ei käynnisty kylmässä, VBOOST = 0 (V) LBOOST suurenee (mA) |
|        |      |        |        |     |       | kalustettiin 2. kortille lisäkonkat                            |
| Ajo 4. | 1    | K2     | 2      | 2   | FAIL  | Osa ei käynnisty +/-0c, 0 (V) LBOOST suurenee (mA)             |
|        | 2    | K2     | 1      | 3   | OK    |  |

### Piirilevyjen K1 ja K2 testiajot 5-8.

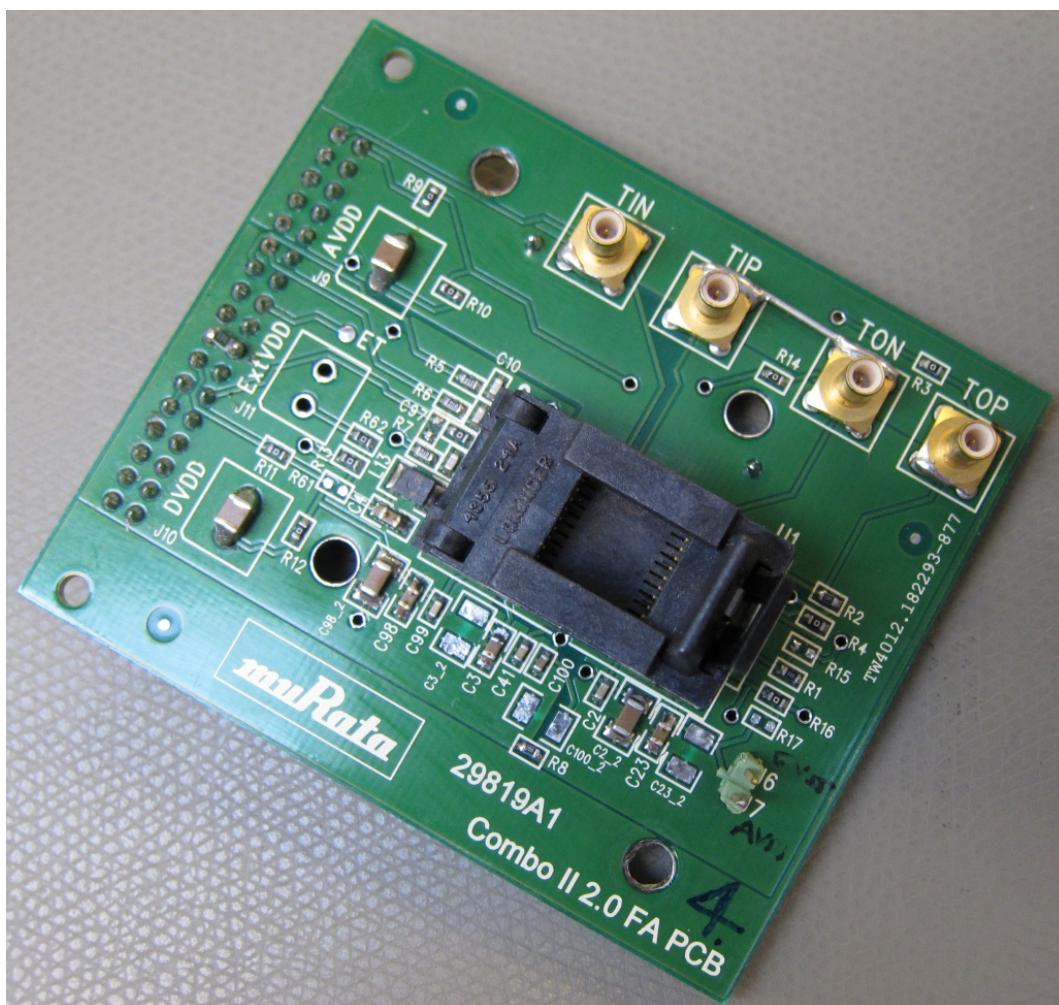
|        | GATS | kortti | paikka | DUT | tulos |  |
|--------|------|--------|--------|-----|-------|--|
| Ajo 5. | 1    | K1     | 1      | 1   | OK    |  |
|        | 2    | K1     | 2      | 2   | OK    | SCK kontakti vika  |
|        | 3    | K2     | 1      | 3   | OK    | (TIP) & (TIN) Kontakti vika                                |
|        | 4    | K2     | 2      | 4   | OK    | Status Reg. sum failures (satunnainen, ei toistunut)       |
| Ajo 6. | 1    | K2     | 2      | 2   | OK    | (SCK) & (EXTRESN TCLK) kontakti vika                       |
|        | 2    | K2     | 1      | 1   | OK    |  |
|        | 3    | K1     | 2      | 4   | OK    | (SCK), (CSN), (MISO), (MOSI), (EXTRESN TCLK) kontakti vika |
|        | 4    | K1     | 1      | 3   | OK    |  |
| Ajo 7. | 1    | K1     | 1      | 1   | OK    | (TOP) & (CSN) kontakti vika                                |
|        | 2    | K1     | 2      | 2   | OK    |  |
|        | 3    | K2     | 1      | 3   | OK    |  |
|        | 4    | K2     | 2      | 4   | OK    | (TIP) kontakti vika  |
| Ajo 8. | 3    | K1     | 1      | 1   | OK    |  |
|        | 4    | K1     | 2      | 3   | OK    |  |

**Piirilevyjen K3 ja K4 testiajot 1-3.**

|        | GATS | kortti | paikka | DUT | tulos |   |
|--------|------|--------|--------|-----|-------|---|
| Ajo 1. | 1    | K3     | 1      | 1   | OK    | (SCK) kontakti vika   |
|        | 2    | K3     | 2      | 2   | OK    |   |
|        | 3    | K4     | 1      | 3   | OK    |   |
|        | 4    | K4     | 2      | 4   | FAIL  | Osa ei käynnisty kylmässä<br>AVDD & DVDD lisätään 10 $\mu$ F = 33,1 $\mu$ F |
| Ajo 2. | 1    | K3     | 1      | 1   | OK    | C_AVDD & C_VDDD = 11 $\mu$ F  |
|        | 2    | K3     | 2      | 2   | OK    |   |
|        | 3    | K4     | 1      | 3   | OK    |   |
|        | 4    | K4     | 2      | 4   | OK    |   |
| Ajo 3. | 1    | K3     | 1      | 1   | OK    | C_AVDD & C_VDDD = 1 $\mu$ F   |
|        | 2    | K3     | 2      | 2   | OK    |   |
|        | 3    | K4     | 1      | 3   | OK    |   |
|        | 4    | K4     | 2      | 4   | OK    |   |

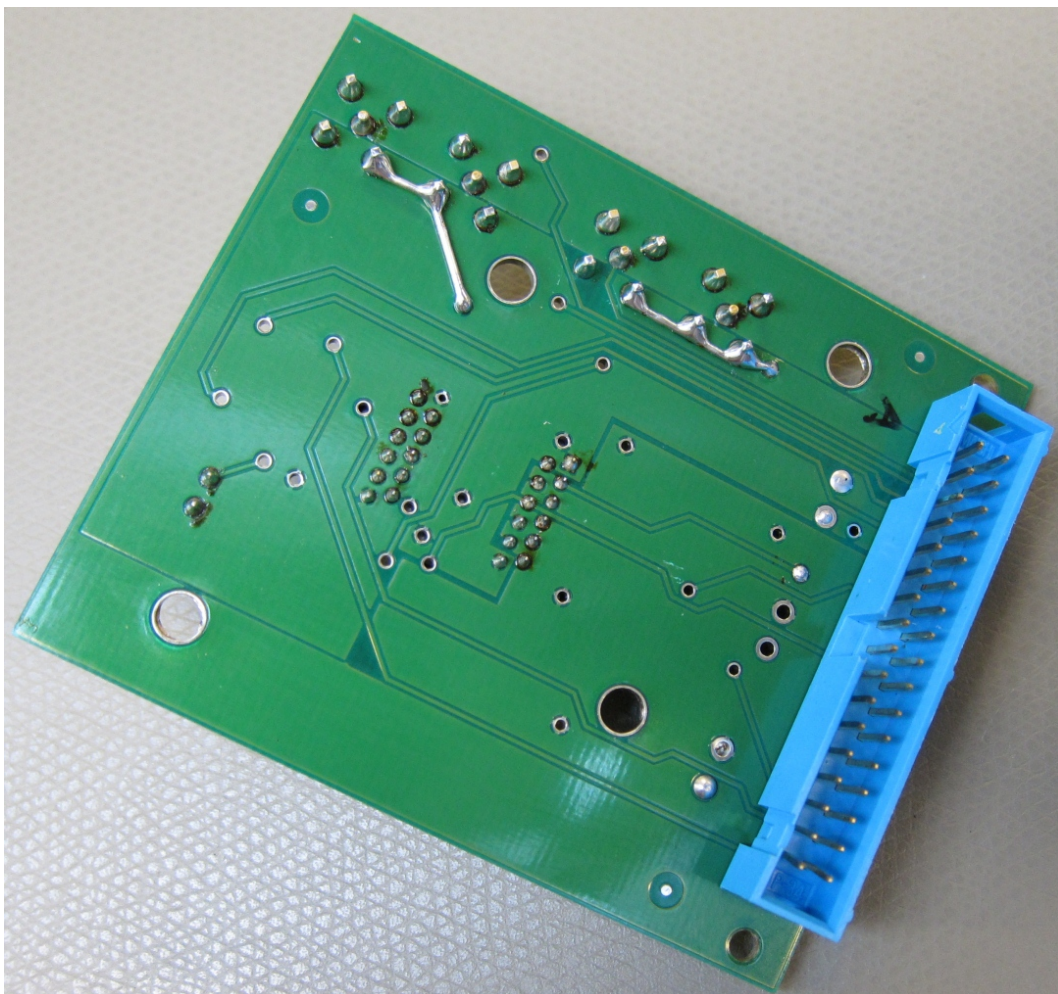
Init FA -piirilevyn maadoitus.

Piirilevyä käytetään edelleen GATS-testerin piirilevynä esimerkiksi tuotantolinjalta saapuvien osien testaamiseen. Maadoitus johto on lisätty TIP-TON -pinnien välille vahvistamaan maa-alueen (AVSS) sähköistä johtavuutta.





















































**Maadoitusjohto lisätty (TIN, TIP - AVSS) sekä (TON, TOP - AVSS) pinnien välille.**



















































## Euro 64 -liittimen pinnien nimet

## DUT2

|        |   |        |  |        |   |
|--------|---|--------|--|--------|---|
| J2-A32 |  AVDD_G_2      | J7-B32 |  NC.  | J2-C32 |  TIN_G_2     |
| J2-A31 |  TIP_G_2       | J7-B31 |  NC.  | J2-C31 |  AVSS_G_2    |
| J2-A30 |  TON_G_2       | J7-B30 |  NC.  | J2-C30 |  TOP_G_2     |
| J2-A29 |  REFGND_G_2    | J7-B29 |  NC.  | J2-C29 |  VREFP_G_2   |
| J2-A28 |  AVSS_G_2      | J7-B28 |  NC.  | J2-C28 |  DVSS_G_2    |
| J2-A27 |  SCK_G_2       | J7-B27 |  NC.  | J2-C27 |  CSB_G_2     |
| J2-A26 |  MOSI_G_2      | J7-B26 |  NC.  | J2-C26 |  EXTRESN_G_2 |
| J2-A25 |  NC.           | J7-B25 |  NC.  | J2-C25 |  DVSS_G_2    |
| J2-A24 |  AHVDD_G_2     | J7-B24 |  NC.  | J2-C24 |  LHV_G_2     |
| J2-A23 |  DVSS_G_2      | J7-B23 |  NC.  | J2-C23 |  DVDD_G_2    |
| J2-A22 |  FILT_MISO_G_2 | J7-B22 |  NC.  | J2-C22 |  NC.         |
| J2-A21 |  NC.           | J7-B21 |  NC.  | J2-C21 |  NC.         |
| J2-A20 |  NC.           | J7-B20 |  NC.  | J2-C20 |  NC.         |
| J2-A19 |  NC.           | J7-B19 |  NC.  | J2-C19 |  NC.         |
| J2-A18 |  PWM/TO_A_2    | J7-B18 |  NC.  | J2-C18 |  AVDD_A_2    |
| J2-A17 |  NC.          | J7-B17 |  NC. | J2-C17 |  TI_A_2     |

## DUT1

|        |   |        |   |        |   |
|--------|---|--------|---|--------|---|
| J2-A16 |  AVDD_G_1      | J2-B16 |  NC. | J2-C16 |  TIN_G_1     |
| J2-A15 |  TIP_G_1       | J2-B15 |  NC. | J2-C15 |  AVSS_G_1    |
| J2-A14 |  TON_G_1       | J2-B14 |  NC. | J2-C14 |  TOP_G_1     |
| J2-A13 |  REFGND_G_1    | J2-B13 |  NC. | J2-C13 |  VREFP_G_1   |
| J2-A12 |  AVSS_G_1      | J2-B12 |  NC. | J2-C12 |  DVSS_G_1    |
| J2-A11 |  SCK_G_1       | J2-B11 |  NC. | J2-C11 |  CSB_G_1     |
| J2-A10 |  MOSI_G_1      | J2-B10 |  NC. | J2-C10 |  EXTRESN_G_1 |
| J2-A9  |  NC.           | J2-B9  |  NC. | J2-C9  |  DVSS_G_1    |
| J2-A8  |  AHVDD_G_1     | J2-B8  |  NC. | J2-C8  |  LHV_G_1     |
| J2-A7  |  DVSS_G_1      | J2-B7  |  NC. | J2-C7  |  DVDD_G_1    |
| J2-A6  |  FILT_MISO_G_1 | J2-B6  |  NC. | J2-C6  |  NC.         |
| J2-A5  |  NC.           | J2-B5  |  NC. | J2-C5  |  NC.         |
| J2-A4  |  NC.           | J2-B4  |  NC. | J2-C4  |  NC.         |
| J2-A3  |  NC.           | J2-B3  |  NC. | J2-C3  |  NC.         |
| J2-A2  |  PWM/TO_A_1    | J2-B2  |  NC. | J2-C2  |  AVDD_A_1    |
| J2-A1  |  NC.           | J2-B1  |  NC. | J2-C1  |  TI_A_1      |

Valokuva valmiista COMBO2-uunilevystä.

