

Analogisen tunnisteanalyysin käyttö korjauspalveluissa mikropiirien ylijännitteestä aiheutuneiden vaurioiden paikantamiseen

Analog signature analysis in repair services to locate faults in integrated circuits caused by over voltages

Risto-Veikka Hujanen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan teknillinen yliopisto

Teknillinen tiedekunta

LUT Energia, Sähkötekniikka

Risto-Veikka Hujanen

Analogisen tunnisteanalyysin käyttö korjauspalveluissa mikropiirien ylijännitteestä aiheutuneiden vaurioiden paikantamiseen

2016

Diplomityö.

74 sivua, 55 kuvaa, 5 taulukkoa, 2 liitettä.

Työn ohjaaja DI Manu Niukkanen, Etex Oy

1. Tarkastaja Prof. Pertti Silventoinen
2. Tarkastaja TkT. Mikko Kuisma

Hakusanat: Analoginen tunnisteanalyysi, ASA, korjauspalvelu, ESD, ylijännite, mikropiiri

Korjauspalveluissa aikaa vieviä tapauksia ovat mikropiirien vaikeasti paikannettavat viat. Tällaista vianetsintää varten yrityksemme oli ostanut Polar Fault Locator 780 – mittalaitteen, jolla voidaan mitata mikropiirien toimintaa käyttämällä analogista tunnisteanalyysiä.

Diplomityön tavoitteena oli selvittää, miten mittaustapaa voidaan käyttää korjauspalveluissa. Tutkintaa lähestyttiin joidenkin tyypillisten komponenttien näkökulmasta, mutta pääpaino oli mikropiireissä. Joitain mikropiirejä vaurioitettiin tahallisesti, jolloin mittaustulokset uusittiin ja tutkittiin miten vaurioituminen näkyy mittaustuloksissa. Tutkimusmenetelmänä oli kirjallisuus ja empiirinen kokeellisuus.

Diplomityön tuloksena oli, että tätä mittaustapaa käyttämällä mikropiirien kuntoa voidaan tutkia. Ongelmiksi osoittautuivat alkuperäinen oletus mittalaitteen tuloksien tulkinnasta ja taustamateriaalin heikko saatavuus. Täten mittalaite parhaiten soveltuu tilanteisiin, joissa sen antamia tuloksia verrataan suoraan toisen toimivaksi tunnetun yksikön mittaustuloksiin. Vaurioitettaessa komponenteissa oli kuitenkin havaittavissa selvä poikkeavuus.

ABSTRACT

Lappeenranta University of Technology
LUT School of Technology
LUT Institute of Technology, Electrical Engineering

Risto-Veikka Hujanen

Analog signature analysis in repair services to locate faults in integrated circuits caused by over voltages

2016

Master's Thesis.

74 pages, 55 figures, 5 tables, 2 appendixes.

Thesis counselor M.S. Manu Niukkanen, Etex Oy

1. Examiner Prof. Pertti Silventoinen
2. Examiner Dr.Sc. Mikko Kuisma

Keywords: Analog Signature Analysis, ASA, repair services, ESD, over voltage, integrated circuits

It takes time to repair cases if there is failure in integrated circuits. For cases like this our company has acquired Polar Fault Locator 780 measurement unit. With this unit you can use Analog Signature Analysis to locate faults in integrated circuits.

The goal of this Master's Thesis is to find out if it's possible to use this kind of measurement in repairing services. Some of the integrated circuits were damaged on purpose. The results were compared and assumptions were made if you can locate the fault. The Methods used were literature and empirical research.

The results were that this measurement can be used to evaluate integrated circuits. Tough the results were hard to understand and the lack of background material was problematic. The measurement unit is as its best when used in cases with multiple units where the results can be compared. It was found out that there was significant difference in measurements results, when components were damaged.

ALKUSANAT

Työn tilaajana on Etex Oy, joten suurin kiitos diplomityön valmistumisesta kuuluu työnantajalleni Mika Pukille, joka palkkasi minut ja antoi minun käyttää osan työajastani diplomityön tekemiseen. Hän myös antoi tilat, resurssit ja aiheen työn suorittamiselle. Työnantaja tarjosi myöskin työn ohjaajaksi lähimmän esimieheni Manu Niukkasen, joka pystyi tuoreen kokemuksensa pohjalta ohjaamaan diplomityöni.

En voi myöskään olla kiittämättä vanhempiani ja perhettäni, jotka alun perin kannustivat ja innostivat minua suuresti aloittamaan opinnot yliopistossa alla, josta on myöhemmin tullut minulle erittäin mieluisa ja mielenkiintoinen työ. He ovat myöskin kannustaneet ja tukeneet opintojeni suorittamisessa koko koulun ajan.

Espoo, 21.2.2016.

Risto-Veikka Hujanen

SISÄLLYSLUETTELO

Alkusanat	4
Käytetyt merkinnät ja lyhenteet.....	6
1. Johdanto.....	7
1.1 Tutkimuksen tausta.....	7
1.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset	8
1.3 Tutkimusmetodologia ja tutkimuksen rakenne.....	8
2. Tutkimusmenetelmät	10
2.1 Passiiviset komponentit	10
2.2 Diodi	13
2.3 7400-sarjan logiikkapiirit	16
2.4 V-Drive VDE-40007 taajuusmuuttaja	27
2.5 Omron HMI-paneeli	31
3. Tulokset	34
3.1 Passiiviset komponentit	34
3.2 Diodi	38
3.3 7400-sarjan logiikkapiirit	41
3.4 V-Drive VDE-40007 -taajuusmuuttaja.....	49
3.5 Omron HMI-paneeli	54
4. Johtopäätökset	58
5. Mahdollisia aiheita jatkotutkimukselle.....	60
6. Yhteenveto.....	61
LÄHTEET	63
Liite I	68
Liite II.....	70

KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET

ASA	Analog Signature Analysis	Analoginen tunnisteanalyysi
BJT	Bipolar Junction Transistor	Bipolaaritransistori
CMOS	Complementary Metal-Oxide Silicon	Komplementti metallioksidi silikoni
ESD	Electrostatic Discharge	Sähköstaattinen purkaus
ESR	Equivalent Series Resistance	Ekvivalentti sarjaresistanssi
HBM	Human Body Model	Ihmiskehomalli
HMI	Human Machine Interface	Käyttöliittymäpaneeli
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor	Hilaeristetty bipolaari transistori
PFL780	Polar Fault Locator 780	Polar vian paikannin 780

<i>C</i>	kapasitanssi
<i>D</i>	diodi
<i>E</i>	energia
<i>f</i>	taajuus
<i>I</i>	virta
<i>Q</i>	transistori
SW	kytkin
<i>R</i>	resistanssi
<i>U</i>	jännite

Alaindeksit

n	sarjan n:s alkio
HBM	Human Body Model
TEST	Testikytkennän komponentit

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Kokemuksemme mukaan korjauspalveluiden korjausprosessissa yksi merkittäviä kulun aiheuttajia on aika eli työvoimakustannus, joka kuluu varsinaisen vian löytämiseen. Helpoin tilanne on, kun vika on visuaalisesti havaittavissa tuhoutuneessa komponentissa tai asiakas toimittaa vian kuvauksen ja osaa kertoa tilanteesta. Aikaa vievää ovat tilanteet, joissa vaurio ei ole helposti havaittavissa tai varsinaista vikakuvausta ei ole saatavilla. Tällaista saattaa usein tapahtua esimerkiksi mikropiirien kanssa, jolloin varsinaiset komponentit sijaitsevat kotelon sisällä eivätkä ole nähtävissä paljaalla silmällä. Tämän kaltaisten tilanteiden ratkaisemiseen, joissa vikaa epäillään mikropiirien sisällä, yrityksemme oli ostanut Polar Fault Locator 780 -mittalaitteen (jatkossa käytetään lyhennettä PFL780).

Mikropiirejä voi tutkia laitteen avulla tekniikalla, jota kutsutaan analogiseksi tunnisteanalyysiksi (englanniksi analog signature analysis, jatkossa käytetään lyhennettä ASA). ASA:ssa mitattavaan kohteeseen syötetään siniaalto-muotoinen testisignaali, josta mitataan jännitettä ja virtaa. Tämä jännite ja virta esitetään käyttäjälle kuvaajana, jossa jännite on esitetty kuvaajan vaaka-akselilla ja virta esitetty kuvaajan pystyakselilla. Tästä kuvaajasta pitäisi pystyä päättämään piirin solmupisteeseen kytkettyjen komponenttien sähköisiä ominaisuuksia.[1], [2], [3] & [4]

Ideaalitapauksessa ASA:n käyttäjällä olisi varmasti ehjäksi tiedetty piirilevy, joka toimii referenssinä. Täten korjattavaa ja referenssipiirilevyä voidaan verrata toisiinsa ja etsiä poikkeavuuksia mittaustuloksissa. Valitettavasti useimmiten korjauspalveluissa vallitsee tilanne, jossa korjattavaksi toimitetaan vain rikkinäinen yksikkö, jolloin varsinaista vertailua ei voida suorittaa. Tässä tapauksessa korjaaja voi tehdä taustatyötä solmupisteeseen kytketyistä komponenteista sekä mikropiirien sisäisistä kytkennöistä ja etsiä vikaa mittaustuloksien perusteella. Vian löytäminen näin saattaa kuitenkin olla hankalaa, koska mittaustuloksien tarkasteleminen on tapauskohtaista ja kaikista komponenteista ei välttämättä ole saatavilla tarvittavia tietoja.

1.2 Tutkimusongelma, tavoitteet ja rajaukset

Tämän diplomityön tutkimusongelmana on kartoittaa ymmärrystä voidaanko PFL780-mittalaitella mitattuja ASA-mittaustuloksia hyödyntää korjauspalveluissa. Aikaisemman kokemuksen mukaan mittaustulokset ovat monimutkaisia ja niiden ymmärtäminen voi joissain tapauksissa olla erittäin vaikeaa. Suurin ongelma on kuitenkin, kun ei olla varmoja millainen mittaustuloksen pitäisi olla. Tällöin saatuja mittaustuloksia ei voida verrata mihinkään, jolloin mitattua kohdetta ei voida todeta rikkiinäkseksi eikä ehjäksi. Tällaisessa tapauksessa mittaustuloksella ei todellisuudessa saavutettu mitään.

Diplomityön päätavoitteeksi on asetettu tutkia joitain yleisimpiä komponentteja, joita on useimmissa korjaustapauksissa. Näitä komponentteja tutkitaan aluksi kirjallisuudesta, josta päätellään teorian perusteella, mitä mittaustuloksen pitäisi olla. Tämän jälkeen mittaus suoritetaan empiirisesti ja tuloksia verrataan taustateorian perusteella esitettyihin oletuksiin. Joitain mikropiirejä on valittu tarkasteltavaksi myös vaurioitumisen osalta. Komponentit mitataan toimivina ja mittaustulos tallennetaan. Näitä komponentteja sitten vaurioitetaan tahallisesti. Tämän jälkeen mittaus suoritetaan uudestaan, jolloin vertaillaan rikkoutuneen ja ehjän komponentin mittaustuloksia toisiinsa. Tästä arvioidaan, voidaanko mittaustulokset erottaa toisistaan.

Diplomityön aihe on rajattu ylijännitteestä aiheutuville vaurioille, jotka ovat esimerkiksi tehdas ympäristössä melko tyypillisiä. Nämä ylijännitteet voivat johtua esimerkiksi häiriöisestä ympäristöstä, suurista virtapiikeistä tai sähköstaattisista purkauksista (englanniksi electrostatic discharge, jatkossa käytetään lyhennettä ESD). Vaikka päätavoite on rajattu mikropiireihin, on tutkimukseen valittu myös tutkittavaksi tyypillisistä passiivisia komponentteja, jotta tutkimus ja sen tulokset olisivat helpommin lähestyttävissä.

1.3 Tutkimusmetodologia ja tutkimuksen rakenne

Työn tutkimusmenetelmäksi on valittu kirjallisuus ja kokeellisuus. Tutkimuksen aluksi taustateoriasta selvitetään komponenttien toimintaperiaate, jonka perusteella esitetään hypoteesi millainen ASA-mittaustulos kyseisestä komponentista pitäisi saada.

Itse mittaukset muodostavat tutkimuksen empiirisen osuuden, josta tehdään johtopäätökset tutkimuksen lopputulokselle. Mittaukset tehdään ensiksi ehjäksi tiedetyillä komponenteilla, joiden mittaustuloksia verrataan kirjallisuudesta tehtyihin oletuksiin. Näiden tuloksien perusteella on tarkoitus selvittää, kuinka mittaustulokset ovat verrattavissa taustateoriasta tehtyihin johtopäätöksiin. Tähän osuuteen on valittu tutkittavaksi vastuksia, kondensaattoreita sekä diodeja.

Tutkittaviksi mikropiireiksi on valittu 7400-sarjan logiikkapiirejä, koska ne ovat erittäin tyyppisiä komponentteja, useissa moderneissakin tuotteissa. Näistä komponenteista on valittu tutkittavaksi joitain logiikkaperheitä ja tutkittu eroavatko niiden mittaustulokset sekä taustateoria toisistaan. Näitä mikropiirejä myös vaurioitetaan tahallisesti, jonka jälkeen mittaustulokset uusitaan. Saatuja mittaustuloksia verrataan toisiinsa, jolloin voidaan päätellä muutuo komponentin ASA-mittaustulos komponentin vaurioituessa.

Koska tutkimuksen ohella myös työskenneltiin osa-aikaisesti korjauspalvelussa, valittiin muutamia tapauksia tarkasteltavaksi käytännön esimerkkeinä. Näissä tapauksissa korjaus aloitettiin vianetsinnällä, jossa käytettiin ensimmäisenä lähestymistapana ASA:a, jolloin arvioitiin myös miten helposti mahdollinen vika löytyisi käyttämällä tätä mittaustapaa. Käytännön esimerkeiksi valittiin yksi taajuusmuuttaja ja yksi käyttöliittymäpaneeli (englanniksi Human Machine Interface, jatkossa käytetään lyhennettä HMI-paneeli).

Tutkielman lopuksi saaduista tuloksista muodostetaan johtopäätöksiä, joiden perusteelta pyritään analysoimaan mittatapaa, valittua mittalaitetta sekä parantamaan korjauspalvelun tehokkuutta ja tuottavuutta. Näistä tuloksista ja johtopäätöksistä on muodostettu yhteenveto. Lopuksi on esitetty mahdollisia jatkotutkimuksen aiheita, jotka syntyivät tutkimusta tehdessä sekä töiden ohella.

2. TUTKIMUSMENETELMÄT

Tässä kappaleessa on esitetty taustateoria ja tutkimusmenetelmät diplomityössä tehtävälle tutkimukselle. Varsinainen rajausta kohdistuu mikropiireihin ja niiden kunnan tarkasteluun. Kuitenkin, jotta ASA:n mittaustulokset ja diplomityön tuloksia voitaisiin helpommin tulkita, esitetään aluksi joidenkin passiivisten komponenttien mittaustuloksia. Näiden mittaustuloksien perusteella arvioidaan aluksi, voidaanko taustateoriasta tehdä helposti johtopäätöksiä saatavista mittaustuloksista. Tämän jälkeen siirrytään puolijohdekomponentteihin ja viimein mikropiireihin. Lopuksi on esitetty joitain käytännön esimerkkejä, joissa menetelmää on kehitetty vianetsinnässä ja arvioitu, miten käytännöllistä ja luotettavaa se on. Näissä käytännön esimerkeissä vianetsintä on kohdistunut monimutkaisempiin mikropiireihin, joista ei ole saatavilla paljoakaan materiaalia taustatutkimukselle.

2.1 Passiiviset komponentit

Sähkötekniikan yleisimmät passiiviset komponentit ovat pääsääntöisesti vastukset, kondensaattorit ja kelat, jotka muodostavat resistanssia, kapasitanssia ja induktanssia [5] & [6]. Tämän työn puitteissa on rajattu käsiteltäväksi resistanssi ja kapasitanssi ASA:lla mitattavana suureena. Induktanssi on jätetty käsittelemättä, koska käytetyn mittalaitteen mitta-alue induktanssille on 2 mH – 300 H [1]. Induktanssin mitta-alue ei oikein sovi palvelumme käytötarkoitukseen, koska kelojen ja induktanssien mittaamiseen sekä vianetsimiseen on käytössämme vakiintunut muita mittalaitteita.

Passiivisten komponenttien tapauksessa mittaus tapahtuu valitsemalla sopiva mitta-alue. Mitta-alue käytännössä PFL780-mittalaitteella tarkoittaa joko valittavaa jännitettä tai taa-juutta. Eri jännitealueilla on myös eri virtaraja. Tämä siniaalto-muotoinen vaihtojännite syötetään mitattavaan kohteeseen ja sen virtaa mitataan. Tämä virta piirretään kuvaajaksi, jolloin jännite on vaaka-akselilla ja virta pystyakselilla. Tästä piirretystä kuvaajasta tulisi pystyä päättämään mitattavan komponentin sähköisiä ominaisuuksia. Käytettävät mittaajännitteet ja -virrat ovat esitetty taulukossa 1 ja valittavat mittaustaajuudet ovat esitetty taulukossa 2.[1]

Taulukko 1. Taulukossa on esitetty käytettävien mitta-alueiden jännitteen ja virran huippuarvot. [1]

Jännitealue	\hat{u} [V]	\hat{i} [mA]
Junction	1	0.500
Logic	10	5
Low	10	150
Med	20	1
High	40	1

Taulukko 2. Taulukossa on esitetty käytettävät mittaustaajuudet. [1]

Taajuusalue	f [Hz]
Low	90
Medium	500
High	2000

Taulukosta 1 nähdään, että valittavia jännitteitä mittausta varten on neljä. Myös mitta-alueiden virta on rajoitettu, jotta mitattava kohde ei vaurioituisi. Taulukosta 2 nähdään, että valittavia mittaustaajuuksia on kolme.

ASA:lla resistanssia voidaan mitata asettamalla mittalaitteen toinen mittajohdin vastuksen toiselle elektrodille ja vastaavasti toinen mittajohdin toiselle elektrodille. Mittauksen polariteetilla ei ole väliä. Koska syötetty jännite tunnetaan tai voidaan mitata, kuten myös virta, täten mitattava resistanssi voidaan myös haluttaessa laskea. Mittaustulos voi vääristyä, jos mitattava kohde on osana piirilevyä ja sen rinnalle on kytketty muita komponentteja. Resistanssia mitatessa jännite ja virta ovat samassa vaiheessa, oletetaan mittaustulokseksi suora kuvaaja, jonka kulmakerroin määrittää resistanssin suuruuden.[1], [2] & [3]

Koska mittalaitteessa on useita eri mitta-alueita, on tärkeää valita mitattavalle komponentille sopiva mitta-alue. PFL780-mittalaitteen käyttöohjeessa suositellut mitta-alueet resistanssin mittaamiselle on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Taulukossa on esitetty PFL780-mittalaitteen käyttöohjeessa suositellut mitta-alue mitattavalle resistanssille.[1]

Mitta-alue	Resistanssi [Ω]
Junction	1 000 – 50 000
Logic	300 – 6 000
Low	16.5 – 300
Med	5 000 – 60 000
High	12 000 – 150 000

Taulukosta 3 voidaan havaita, että mittalaitteella voidaan mitata resistanssia välillä 16.5 Ω - 150 k Ω . Resistanssin mittaamiseen ei ole suositeltu käytettäväksi mitään yksittäistä taajuus-alueita, koska ideaaliolosuhteissa mittaustaajuus ei vaikuta resistanssin mittaustulokseen.

Elektrolyyttikondensaattorit ovat kokemuksemme mukaan yksi korjauspalvelujen tyypillisimmistä vikatilanteista. Elektrolyyttikondensaattoreiden tyypillisiä vikaantumisia ovat häviöiden kasvaminen ja kapasitanssin pieneneminen, mutta mahdollisia ovat myös tilanteet, joissa kondensaattori muuttuu oikosulukuksi tai avoimmeksi piiriksi [7] & [8]. Tämän tutkimuksen yhteydessä ollaan kiinnostuneita tutkimaan, voidaanko ASA:a käyttämällä tutkia elektrolyyttikondensaattoreiden häviöiden kasvamista ja kapasitanssin pienentymistä.

ASA:a käyttämällä kondensaattorin vikaantuminen todetaan vaihesiirron perusteella. Kondensaattorin kapasitanssin aiheuttaman reaktanssin ollessa huomattavasti suurempi verrattuna häviöiden aiheuttamaan impedanssiin, mittalaitteen syöttämän virran ja jännitteen välinen vaihesiirto ovat lähes 90°. Kondensaattorin vikaantuessa vaihesiirto pienenee, kun kapasitanssin reaktanssi pienenee ja häviöiden aiheuttama impedanssi kasvaa. [1], [2], [3] & [4]

Koska mittalaitteessa on useita eri mitta-alueita, on tärkeää valita mitattavalle komponentille sopiva mitta-alue. PFL780-mittalaitteen käyttöoppaassa suositellut mitta-alueet kapasitanssien mittaamiselle ovat esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Taulukossa on esitetty mittaustaajuudet ja -jännitteet kapasitanssin mittaukseen.[1]

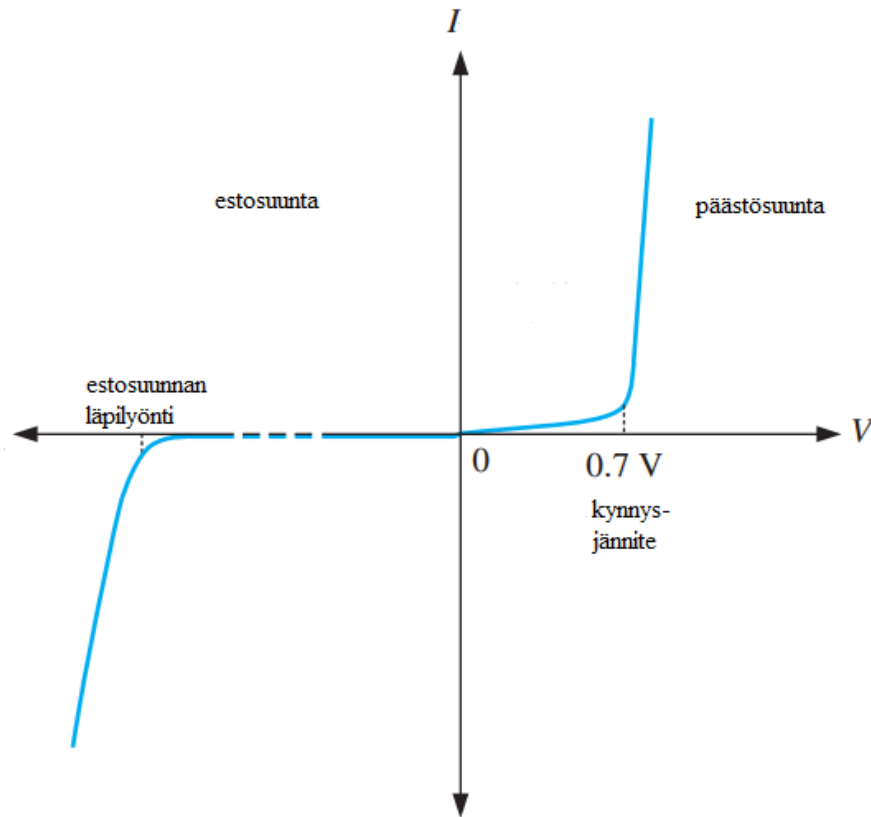
	Taajuusalue		
Jännitealue	Low	Mid	High
Logic	300 nF – 6 μ F	56 nF – 1 μ F	15 nF – 300 nF
Low	6 μ F – 100 μ F	1 μ F – 20 μ F	300 nF – 5 μ F
Med	30 nF – 300 nF	5 nF – 68 nF	1.5 nF – 15 nF
High	10 nF – 150 nF	2 nF – 30 nF	500 pF – 7 nF

Taulukosta 4 nähdään, että mittausalue on käytännössä 500 pF – 100 μ F. Tämä mittausalue on melko pieni verrattuna elektrolyyttikondensaattoreiden tyypilliseen kapasitanssiin [7]. Taulukoiden 1 ja 4 perusteella voidaan kuitenkin päätellä, että suurempien kapasitanssien mittaamisen vaadittaisiin mahdollisuus käyttää vieläkin pienempää mittaustaajuutta tai suurempaa lähtövirtaa.

2.2 Diodi

Diodi on puolijohdekomponentti, joka muodostuu yhdestä pn-liitoksesta. Komponentin pääsääntöinen tehtävä on päästää virta kulkemaan vain toiseen suuntaan. Diodeja on useita eri tyyppisiä, jotka soveltuvat lukuisiin eri käyttötarkoituksiin. Käyttötarkoituksena voi olla esimerkiksi vaihtosähkön tasasuuntaus, ylijännitteiden rajoittaminen, signaalinkäsittely tai sen muokkaus. Lukuisien käyttötarkoitusten vuoksi diodi on erittäin tyypillinen komponentti, johon törmää lähes jokaisessa laitteessa. [6], [9] & [10]

Diodin toimintaperiaatetta on helpointa tarkastella kuvaajasta, jossa on esitetty jännitteen ja virran välinen suhde. Tällainen kuvaajan on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Kuvassa on esitetty diodin virran ja jännitteen välinen suhde. Kun jännite kasvaa päästösuuntaan, diodin läpi ei kulje virtaa ennen kuin kynnyksjännite on ylitetty. Tämän jälkeen diodi muuttuu johtavaksi ja virta pääsee kulkemaan. Vastaavasti estosuuntaan virtaa ei ideaalasti kulje. Estosuuntaisen jännitteen kasvaessa liian suureksi voi tapahtua läpilyönti, jolloin diodi johtaa myös estosuuntaan. [9]

Kuvasta 1 nähdään diodilla olevan käytännössä kaksi toimintatilaa. Joko se on päästö- tai estosuuntaan riippuen sen yli vaikuttavasta jännitteestä. Estosuunnassa ollessaan diodin anodilla on pienempi jännite verrattuna katodiin eikä pn-liitos täten johda. Tällaisessa tilanteessa diodin läpi kulkee pieni vuotovirta. Kun estosuuntainen jännite kasvaa liian suureksi, diodin pn-liitos rupeaa johtamaan myös estosuuntaan, jota kutsutaan estosuuntaiseksi läpilyönniksi. Päästösuuntaisena ollessaan diodin katodilla on pienempi jännite kuin anodilla. Tällöin diodi ei johda merkittävästi ennen pn-liitoksen kynnyksjännite saavuttamista, jolloin diodi muuttuu johtavaksi ja virtaa kulkee sen läpi. [6], [9] & [10]

Joissain diodityypeissä estosuuntainen läpilyönti on suunniteltu tapahtuvaksi kontrollidusti, kun tietty jännite saavutetaan. Zenerdiodien tapauksessa tätä jännitettä kutsutaan zenerjännitteeksi. Zenerdiodeja käytetään tyypillisesti esimerkiksi signaalinkäsittelyssä ja jännitteen säätelmissä, sekä rajoittamisessa. Korjauspalveluissa nämä komponentit ovat tyypillisesti hankalia koska niiden zenerjännitettä ei voi mitata yleismittarilla. Joskus näissä

komponenteissa voidaan myös käyttää samoja koteloita, kuin normaaleissa diodeissa, jolloin niiden erottaminen toisistaan voi olla hankalaa. [6], [9] & [10]

PFL780-mittalaitteella diodeja voidaan mitata siten, että positiivinen mittajohto asetetaan diodin anodille ja negatiivinen mittajohto katodille. Jos mittajohdot ovat väärinpäin, kuvaaja esiintyy näytöllä väärinpäin. Signaalidiodien testaamiseen on suositeltu käytettäväksi logic-mittausjännitettä ja suurempitehoisten diodien mittaamiseksi low-mittausjännitettä. Zenerdiodien zenerjännitettä voidaan myös mitata mittalaitteella, käyttämällä joko med- tai high-mittausjännitettä.[1]

Normaalien diodien mittaustulokseksi oletetaan saatavan kuvan 1 kaltainen kuvaaja. Taus-tateoria on käsitellyt diodien toiminnan vastaavanlaisen kuvaajan avulla kuin PFL780-mittalaitteen ASA:n tuloksesi pitäisi saada, joten niiden oletetaan myös vastaavan toisiaan läheisesti. Ainoana erona on se, että varsinaista estosuuntaista läpilyöntiä ei välttämättä tapahdu, jos mittausjännite ei riitä ilmiön mittaamiseen. Zenerdiodien tapauksessa estosuuntainen läpilyönti oletetaan näkyvän mittaustuloksessa. Tämä johtuu siitä, että zenerjännite on tyypillisesti pienempi verrattuna jännitteeseen, jossa diodin estosuuntainen läpilyönti tapahtuu.

Taulukko 5. Taulukossa on esitelty diodien mittaukseen käyttöoppaassa suositellut mitta-alueet.

Mitta-alue	Mitattavan diodin tyyppi
Low	Teho-diodi
Logic	Signaali-diodi
Med	Zenerdiodi, zenerjännite alle 20 V
High	Zenerdiodi, zenerjännite yli 20V

Taulukosta 5 nähdään, että mittalaitteella voi mitata teho- ja signaalidiodia sekä zenerdiodia. Tehodiodien ja signaalidiodien mittaukseen käytettävä mittausjännite on sama. Kuitenkin low-mittausjännitteellä virran huippuarvo on rajoitettu 150 mA, kun taas logic-mittausjännitteellä se on rajoitettu 5 mA. Zenerdiodia pitäisi mitta-alueiden mukaisesti pystyä mittaamaan 50 V asti, koska se on high-mittausjännitteen huippuarvo.

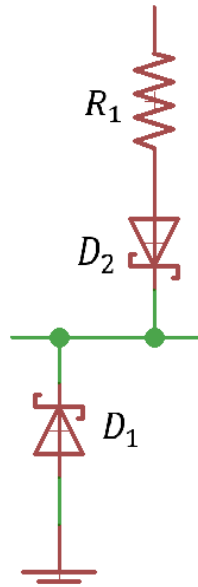
2.3 7400-sarjan logiikkapiirit

Tämän diplomityön yhteydessä mikropiirien tutkimista ASA:a käyttämällä on lähestytty tutkien 7400-sarjan logiikkapiirejä. Kyseisen logiikan käyttö on erittäin yleistä vielä tänä päivänäkin ja niihin törmää korjauspalveluissa lähes päivittäin. Komponentin yleisyys ja valmistajien suuri lukumäärä myös edesauttavat tiedon saatavuutta. Komponentit ovat yleensä melko halpoja ja helposti saatavissa.

7400-sarja haarautui aluksi pääsääntöisesti kahteen eri transistoriteknologiaan, transistori-transistorilogiikkaan (englanniksi transistor-transistorlogic, jatkossa käytetään lyhennettä TTL) ja komplementti metallioksidi silikoni (englanniksi complementary metal-oxide silicon, jatkossa käytetään lyhennettä CMOS), joissa kummassakin on eri toteutukset niiden toiminnalle [6] & [11]. Yleisyytensä vuoksi tämän työn yhteydessä on päätetty tutkia alkuperäistä TTL-sarjaa, TTL-sarjan vähävirtaista schottkydiodi-sarjaa (englanniksi low-power Schottky, jatkossa käytetään lyhennettä LS), sekä CMOS-sarjan nopeaa logiikkaa (englanniksi high-speed CMOS, jatkossa käytetään lyhennettä HC) [12]. Tuloksien vertailukelpoisuuden vuoksi on myös päätetty käyttää vain yhden valmistajan mikropiirejä. Valmistajaksi valittiin Texas Instruments, koska he tarjoavat tuotteistaan paljon dokumentaatioita.

Jos logiikkapiirit ovat osana piirilevyä, käyttöjännitteissä on huomattava määrä kapasitanssia parantamaan tehonsyöttöä mikropiireihin. Täten tutkimusta tehtäessä jokaisessa tapauksessa oletetaan, että mikropiirien käyttöjännitteen ja maapotentiaalin välissä on niin paljon kapasitanssia, että käytettävillä mittaustaajuuksilla se esiintyy mittalaitteelle oikosulkuna. Varsinaisia mittauksia tehdessä ilmiötä jäljiteltiin oikosulkemalla käyttöjännite ja maapotentiaali käyttämällä johdinta, jolloin yksi mahdollisista mittauksista häiritsevästä tekijöistä pystyttiin sulkemaan pois.

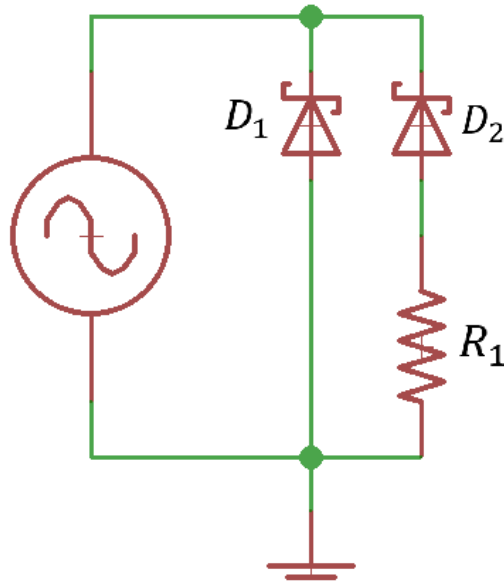
Tarkastellaan ensiksi 7400-sarjan logiikan tuloja, jotka on toteutettu TTL-tekniikalla. Kuvassa 2 on esitetty LS-sarjan tulo, mutta samalla sijaiskytkennällä voi esittää myös muihin TTL-tuoteperheisiin kuuluvat mikropiirit. Perus TTL-sarjan tuloissa on bipolaaritransistori (englanniksi bipolar junction transistor, jatkossa käytetään lyhennettä BJT), mutta sen kantakollektori pn-liitos voidaan pelkistää diodiksi. [11], [13] & [14]



Kuva 2. 7400-sarjan perus TTL-sarja ja LS-sarja tulo voidaan pelkistää kahdeksi diodiksi sekä yhdeksi resistanssiksi. [11], [13] & [14]

Kuvasta 2 nähdään, että tulo voidaan pelkistää kahdeksi diodiksi ja yhdeksi vastukseksi. Diodi D_1 on tuloa suojaava diodi, joka vähentää tulon kohinaa sekä estää tuloa värähtelemästä. Diodi D_2 on TTL-sarjan logiikkapiireissä tulon BJT tai LS-sarjan schottkydiodi. Resistanssi R_1 toimii LS-sarjassa ylösvetovastuksena ja TTL-sarjassa se rajoittaa BJT:n kantavirtaa. [11], [13] & [14]

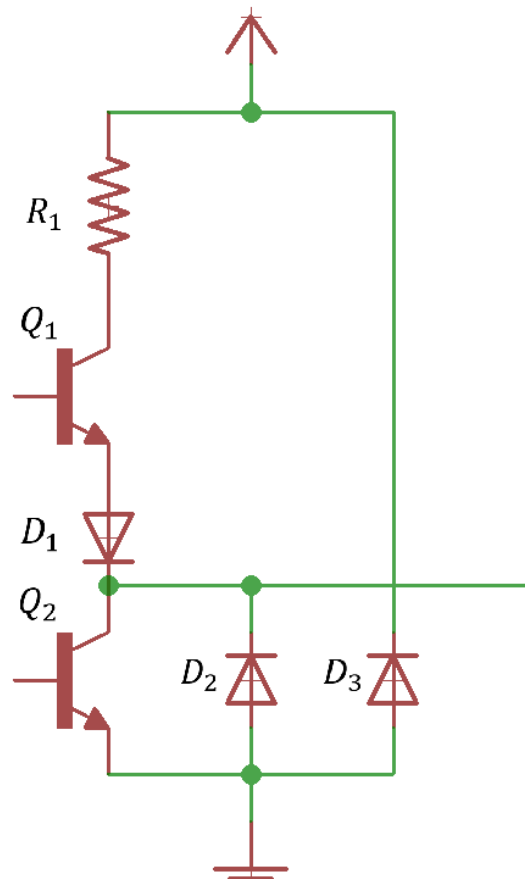
Jos oletetaan, että käyttöjännitteen ja maapotentiaalin välillä on niin paljon kapasitanssia, että mittaustaaajuudella sen muodostama impedanssi on lähes oikosulku, kytkentä voidaan pelkistää kuvan 3 tavalla.



Kuva 3. TTL-sarjan tai LS-sarjan tulot voidaan pelkistää kahdeksi rinnankytketyksi diodiksi, joista toisen kanssa sarjassa on resistanssia.

Kun tuloon syötetään positiivinen jännite diodit D_1 ja D_2 biasoituvat estosuuntaan, koska katodeilla on suurempi jännite kuin anodeilla. Tällöin laitteeseen virtaa vain diodien pieni vuotovirta. Kun tuloon syötetty jännite on negatiivinen ja ylittää diodien kynnsjännitteen, laitteesta kulkee virtaa mittalaitteen suuntaan. Tästä voidaan olettaa, että ASA:lla voidaan todennäköisesti tutkia, ovatko tulossa olevat komponentit ehjiä tai vaurioituneita. Tästä voidaan muodostaa hypoteesi, että tulokseksi saadaan diodin mittaustulosta muistuttava kuvaaja, mutta käänteisenä.

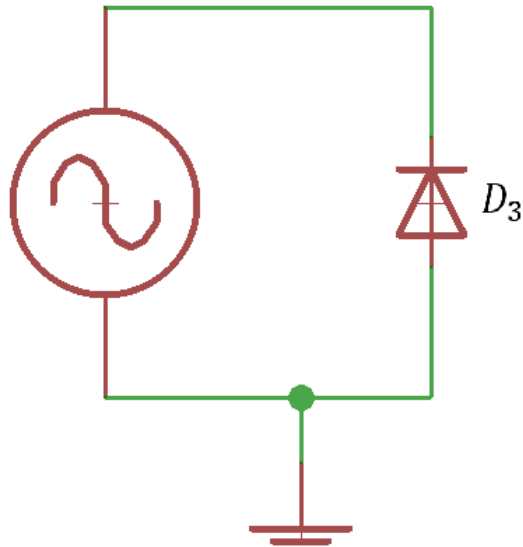
7400-logiikkapiirien TTL-sarjan lähdöt muodostuvat kahdesta NPN-transistorista, jotka yhdistävät lähdön käyttöjännitteeseen tai maapotentiaaliin. Lähdössä on kolme diodia, jotka suojaavat sitä. Pelkistetty kuva lähdestä on esitetty kuvassa 4. [11], [13] & [14]



Kuva 4. Kuvassa on esitetty TTL-sarjan lähdön kytkentäkaavio. Lähtö koostuu kahdesta NPN-transistorista ja sitä suojaavista komponenteista. [11], [13] & [14]

Kuvasta 4 nähdään, että lähtö muodostuu kahdesta BJT:stä, Q_1 ja Q_2 . Näiden transistorien tarkoitus on yhdistää lähtö joko käyttöjännitteeseen tai maapotentiaaliin. Resistanssi R_1 rajoittaa lähdön virtaa. Diodin D_1 tarkoitus on suojata tuloa, kun käyttöjännitettä ei ole, jolloin tulo on korkea impedanssinen. Diodit D_2 ja D_3 ovat parasiittisiä diodeja. [11]

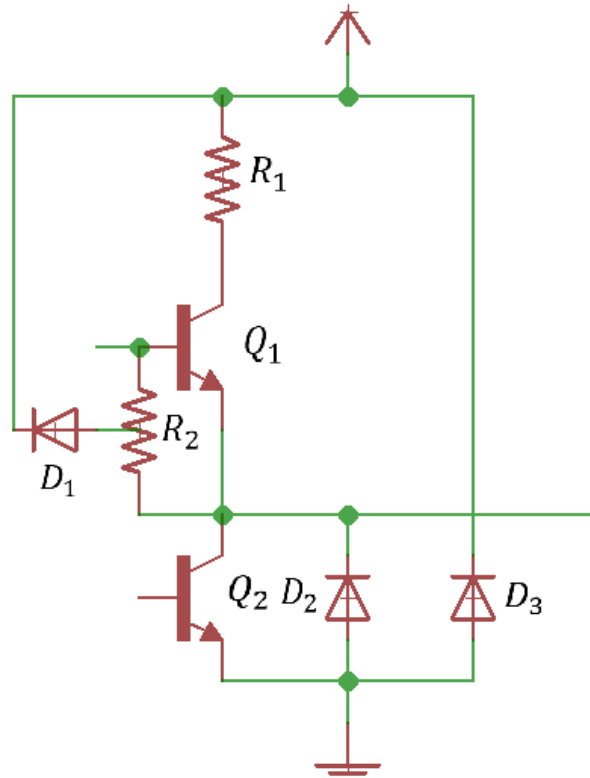
Jos oletetaan, että käyttöjännitteen ja maapotentiaalin välissä on niin paljon kapasitanssia, että se muodostaa mittaustaaajuudella oikosulun ja transistorit ovat avoin piiri, voidaan kuvan kytkentäkaavio pelkistää kuvaksi 5.



Kuva 5. Kuvasta nähdään, että 7400-logiikan TTL-sarjan lähtö voidaan pelkistää yhdeksi diodiksi.

Kuvasta 5 nähdään, että tämän kaltaisten komponenttien lähdössä pitäisi olla mitattavissa yksi diodi, jonka kunnosta voidaan mahdollisesti päätellä lähdön toimivuutta. Hypoteesina on, että kun tuloon syötetään positiivinen jännite, diodin katodilla on suurempi jännite kuin anodilla, jolloin diodi on estotilassa. Toisaalta tulon jännitteen ollessa negatiivinen diodi on päästösuuntainen. Kynnysjännitteen ylittyessä tulosta kulkee virtaa mittalaitteeseen. Täten ASA-mittaustulokseksi pitäisi saada yksi diodia vastaava kuvaaja, mutta käänteisenä.

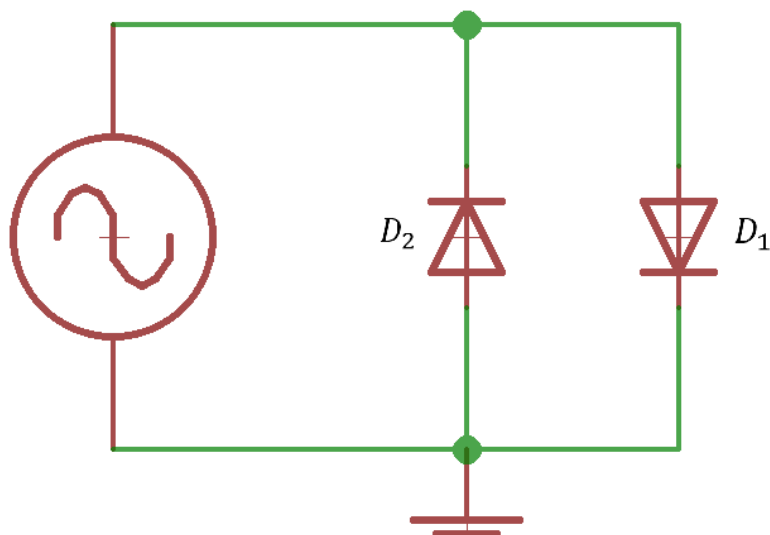
LS-sarjassa lähtö on toteutettu lähes samalla tavalla kuin aiemmassa, mutta lähdöstä on kytketty käyttöjännitteeseen diodi, jonka rinnalla on myös resistanssi. Pelkistetty kytkentä lähdöstä on esitetty kuvassa 6. [11] & [13]



Kuva 6. 7400-logiikan LS-sarjan lähtö muodostuu kahdesta transistorista, kahdesta resistanssista ja kolmesta parasiittisesta diodista. [11] & [13]

Kuvasta 6 nähdään, että LS-sarjan lähtö ei eroa paljoakaan kuvassa 4 esitetystä TTL-sarjan lähdöstä. Erona on, että transistorin Q_1 kannalta emitterille muodostuu resistanssi R_2 . Tästä resistanssista muodostuu parasiittinen diodi D_1 , joka johtaessaan yhdistää lähdön käyttäjännitteeseen. [11] & [13]

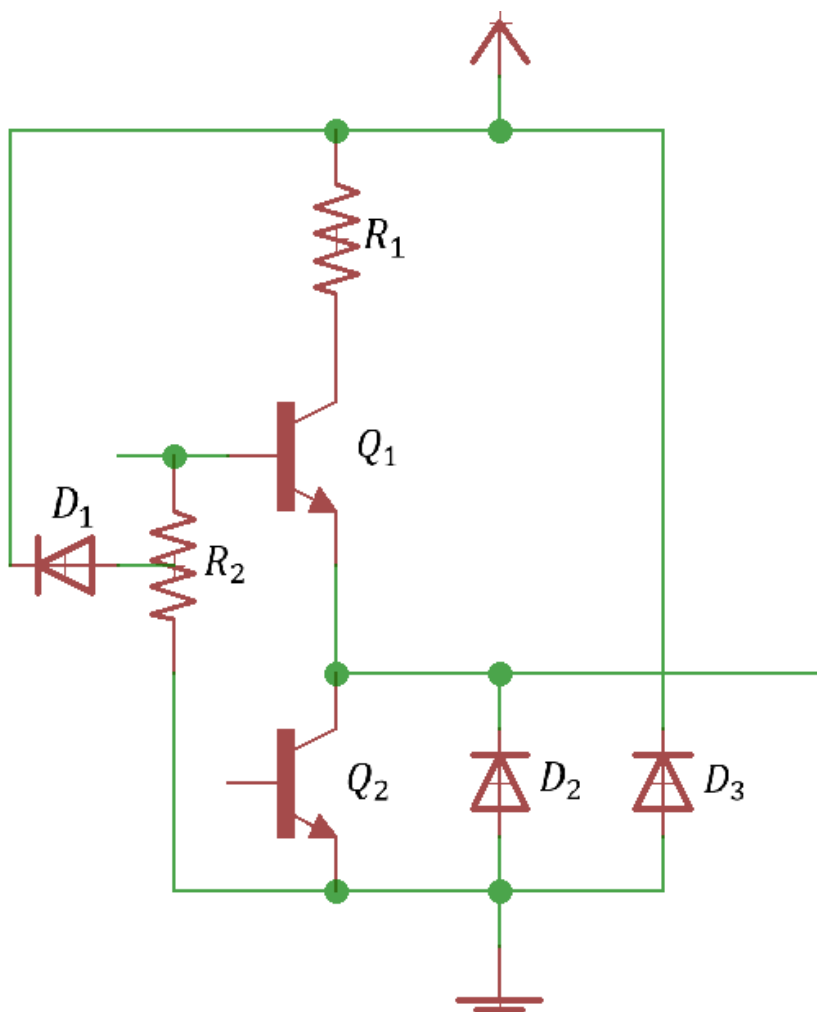
Jos oletetaan maapotentiaalin ja käyttäjännitteen välille niin paljon kapasitanssia, että käytetyllä mittaustaaajuudella sen muodostama impedanssi on lähes oikosulku, lähtö voidaan edelleen pelkistää kuvaksi 7.



Kuva 7. 7400-logiikan LS-sarjan lähtö voidaan pelkistää kahdeksi diodiksi, jotka ovat kytketty rinnakkain. Diodin D_1 anodi on mikropiirin tulossa ja katodi maapotentiaalissa. Diodin D_2 anodi on maapotentiaalissa ja katodi mikropiirin tulossa. [11] & [13]

Kuvasta 7 nähdään, että 7400-logiikan LS-sarjan lähdessä on kaksi diodia. Diodin D_1 anodi on mikropiirin tulossa ja katodi maapotentiaalissa. Diodin D_2 anodi on maapotentiaalissa ja katodi mikropiirin tulossa. Täten komponentin lähdön kuntoa pitäisi voida tutkia käyttämällä ASA:a. Kun mittausjännite on positiivinen ja ylittää diodin D_1 kynnsjännitteen, diodi D_1 on päästötilassa ja sen lävitse kulkee virtaa. Vastaavasti mittausjännitteen ollessa negatiivinen ja sen ylittäessä diodin D_2 kynnsjännitteen, diodi D_2 on päästötilassa ja sen lävitse kulkee virtaa. Täten voidaan olettaa, että ASA:n tulokseksi saadaan kaksi diodia, jotka johtavat kuvaajassa eri suuntiin.

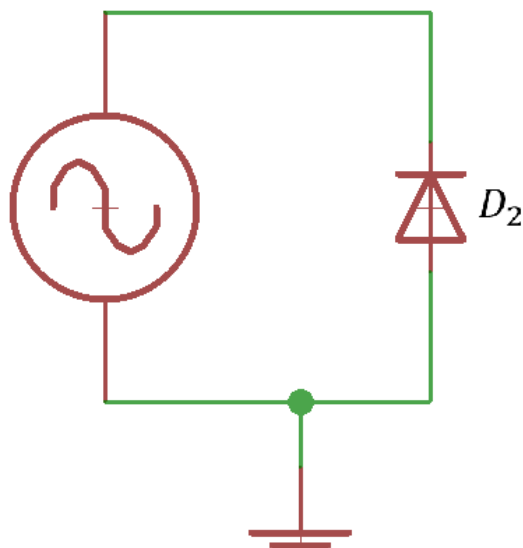
Joissakin tapauksissa halutaan, että lähtö voi olla kolmitilainen. Tämä tarkoittaa, että lähtö voi muiden tapauksien tavalla olla yhteydessä käyttöjännitteeseen tai maapotentiaaliin, sekä lisäksi se voi olla myös korkeaimpedanssisessa tilassa. Tämän kaltaisia lähtöjä voi löytää esimerkiksi käyttötarkoituksessa, joissa useita logiikkapiirejä on kytketty yhteen samaan tiedonsiirtoväylään. Tämän kaltainen lähtö on esitetty kuvassa 8. [11], [14] & [15]



Kuva 8. Kolmitilainen Schottky-lähtö koostuu kahdesta transistorista, sekä sen parasitiittisista diodeista. [11], [14] & [15]

Kuvasta 8 nähdään, että lähtö muistuttaa hyvin paljon kuvan 4 ja kuvan 6 lähtöjä. Lähtö on verrattavissa selviten kuvassa 6 esitettyyn schottky-lähtöön. Erona on kuitenkin, että resistanssi R_2 ei ole yhteydessä lähtöön, vaan mikropiirin maapotentiaaliin, joka mahdollistaa korkeaimpedanssisen tilan. Resistanssista R_2 muodostuu käyttöjännitteeseen parasitiittinen diodi D_1 .

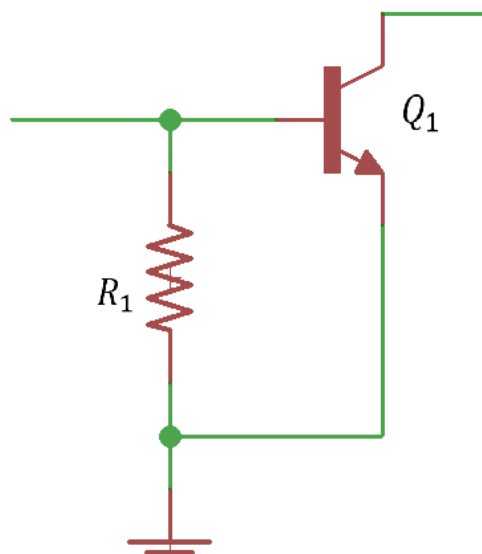
Jos oletetaan, että maapotentiaalın ja käyttöjännitteen välillä on niin paljon kapasitanssia että valitulla mittaustaaajuudella sen muodostama impedanssi on lähes oikosulku, lähtö voidaan edelleen pelkistää kuvaksi 9.



Kuva 9. Kolmitilainen schottky-lähtö voidaan pelkistää kuvan kaltaiseksi kytkennäksi, jolloin se muodostuu vain parasittisesta diodista D_2 . Tämän diodin katodi on mikropiirin lähdössä ja anodi mikropiirin maapotentiaalissa.

Kuvasta 9 nähdään, että kolmitilaisen schottky-lähdön voi esittää sijaiskytkentänä, jossa on yksi diodi, jonka anodi on lähdössä ja katodi maapotentiaalissa. Tästä voidaan päätellä, että lähdön kuntoa mahdollisesti voidaan tutkia käyttämällä ASA:a. Kun mittausjännite on positiivinen, diodin D_2 katodilla on suurempi jännite kuin anodilla, jolloin diodi ei johda. Mittausjännitteen ollessa negatiivinen ja ylittäessä diodin kynnsjännitteen, diodi rupeaa johtamaan siten, että virtaa kulkee mittalaitteeseen. Täten ASA:n tulokseksi pitäisi saada yksi diodi muistuttava kuvaaja, mutta käänteisenä.

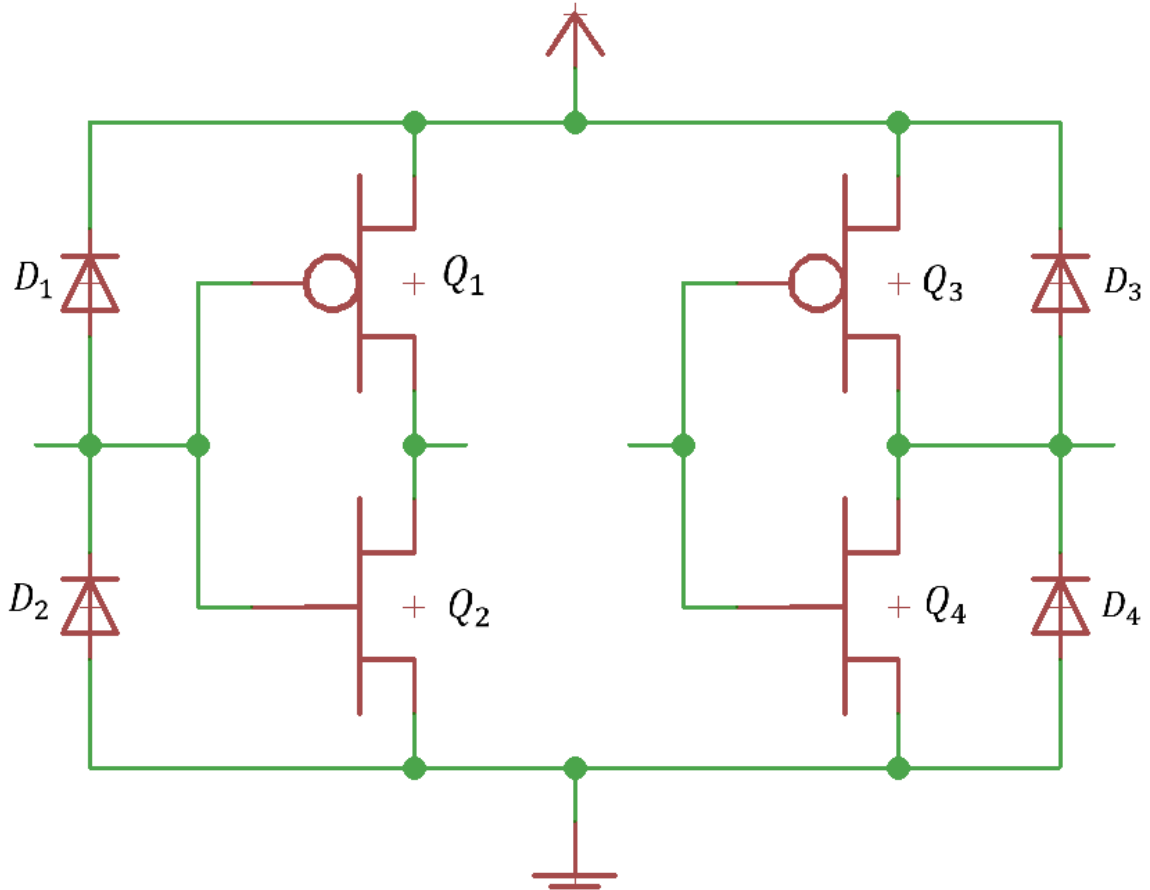
Neljäs mahdollinen lähtö 7400-sarjan TTL-piireille on avokollektorilähtö (englanniksi open-collector output). Tällaisessa tapauksessa lähdössä on vain yksi transistori, jonka johtavuutta logiikka ohjaa. Transistorin kollektori on liitetty mikropiirin lähdöön ja sen emitteri mikropiirin maapotentiaaliin. Tällöin transistorin johtaessa mikropiirin lähtö saadaan ohjattua maapotentiaaliin tai transistorin ollessa sulkutilassa, lähtö on korkeaimpedanssisessa tilassa. Tällainen lähtö on esitetty kuvassa 10. [11], [14] & [16]



Kuva 10. Kuvassa on esitetty avokollektorilähtö, joka muodostuu pääsääntöisesti yhdestä BJT:stä. [11], [14] & [16]

Kuvasta 10 nähdään, että lähdössä on vain yksi BJT. Transistorin pitäisi olla korkeaimpe-danssisessa tilassa, kun kantavirtaa ei ole. Täten lähtötyypin mittaaminen käyttämällä ASA:a ei välttämättä ole mahdollista, jos lähdestä ei pystytä mittaamaan mitään.

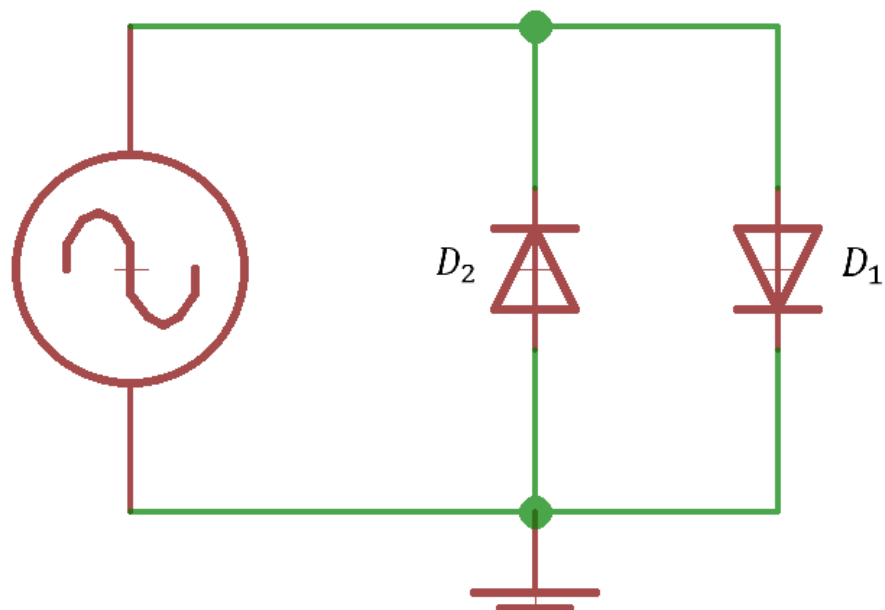
CMOS-teknologialla toteutetuissa mikropiireissä tilanne on erilainen kuin TTL:ssä. Näiden laitteiden tuloihin ja lähtöihin on muodostettu diodit, jotka suojaavat laitetta ESD:ltä. Diodit muodostuvat siten, että ensimmäisen diodin katodi on joko tulossa tai lähdössä ja anodi on käyttäjännitteessä. Toisen diodin anodi on joko tulossa tai lähdössä ja katodi on maapoten-tiaalissa. Normaalisissa käyttötilanteissa, kun käyttäjännite on kytketty ja käyttöolosuhteet ovat käyttöohjeiden mukaiset, diodit eivät johda. Tämän kaltainen kytkentä on esitetty ku-vassa 11. [11], [17] & [18]



Kuva 11. 7400-logiikan tulo sekä lähtö, joka on toteutettu CMOS-tekniikalla. Tulo muodostuu transistoreista Q_1 ja Q_2 , joita suojaavat diodit D_1 ja D_2 . Lähtö muodostuu transistoreista Q_3 ja Q_4 , joita suojaavat diodit D_3 ja D_4 . [11], [17] & [18]

Kuvasta 11 nähdään, että tulo muodostuu yhdestä transistoreiden komplementtiparista, joka muodostuu transistoreista Q_1 ja Q_2 . Tuloa suojaa ESD:ltä diodit D_1 ja D_2 . Kun mikropiiriin on kytketty käyttöjännite ja se operoi käyttöohjeiden mukaisissa käyttöolosuhteissa, suojadiodit eivät vaikuta mikropiirin toimintaan. Kuitenkin jos tuloon syötetty jännite ylittää käyttöjännitteen, sekä diodin D_1 kynnyksjännitteen, virtaa tuloon kulkeutuva virta mikropiirin käyttöjännitteeseen. Sama ilmiö tapahtuu diodissa D_2 , mutta se johtaa negatiivisten jännitteiden vaikuttaessa. Tilanne on sama myös mikropiirin lähdössä. [11], [17] & [18]

Jos oletetaan käyttöjännitteen ja maapotentiaalın väliin niin paljon kapasitanssia, että mitaustaaajuudella sen impedanssi on lähes oikosulku, tulo ja lähdön ESD-suojaus voidaan pelkistää kuvaksi 12. Kuvassa on esitetty vain toisen pelkistetty kytkentä, koska teoria on tulolle ja lähdölle sama.



Kuva 12. Kuvassa on esitetty pelkistetty kuva CMOS-tekniikalla toteutetun mikropiirin tulosta tai lähdöstä.

Kuvasta 12 nähdään, että tulo ja lähtö pelkistyvät diodeiksi D_1 ja D_2 , jotka ovat tuloa ja lähtöä ESD:ltä suojaavat diodit. Diodin D_1 anodi on joko mikropiirin tulossa tai lähdössä ja katodi on mikropiirin käyttöjännitteessä. Diodin D_2 katodi on joko mikropiirin tulossa tai lähdössä ja anodi maapotentiaalissa. Tästä voidaan päätellä, että mikropiirin kuntoa voidaan tarkastella käyttämällä ASA:a. Mittaustuloksesta pitäisi saada kahden diodin kuvaaja, joista toinen johtaa mittaussännitteen ollessa positiivinen ja toinen johtaa sen ollessa negatiivinen.

2.4 V-Drive VDE-40007 -taajuusmuuttaja

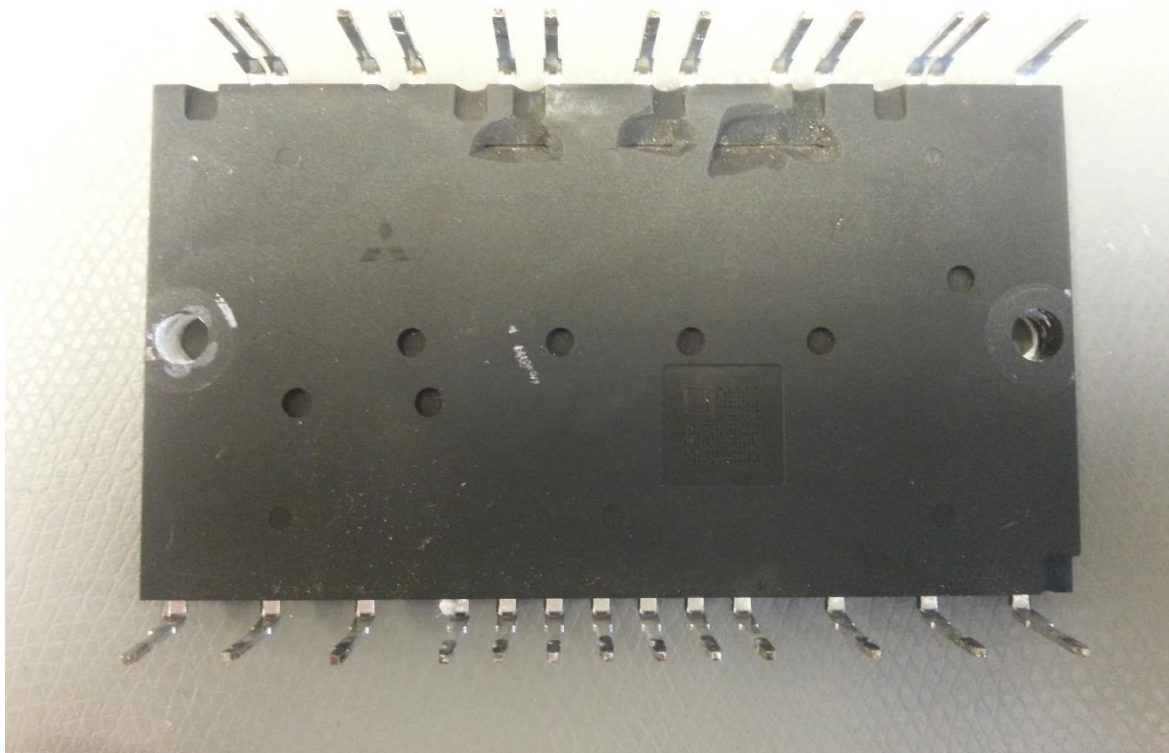
Varsinaisten töiden yhteydessä haluttiin myös kokeilla vianetsintää käyttämällä ASA:a ja arvioimalla täten, miten käytännöllinen PFL780-mittalaite on vianetsinnässä. Yksi saapuneista korjaustapauksista oli V-Drive VDE-40007 -taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttaja saapui ilman vikakuvausta, joten varsinaista vianetsintää oli vaikea rajata millekään yksittäiselle alueelle. Korjattava tuote on esitetty kuvana 13.



Kuva 13. V-Drive VDE-40007 taajuusmuuttaja, jonka lähtöteho on 0.75 kW ja lähtötaajuus 0 Hz – 650 Hz.

Tuotteesta löytyi vaurioitunut hilaeristetty bipolaaritransistori-moduuli (englanniksi insulated gate bipolar transistor, jatkossa käytetään lyhennettä IGBT). Vaurioitunut IGBT-moduuli löydettiin visuaalisesti. Kotelon sisältä löytyi irtonaisia paloja, jotka olivat oletettavasti

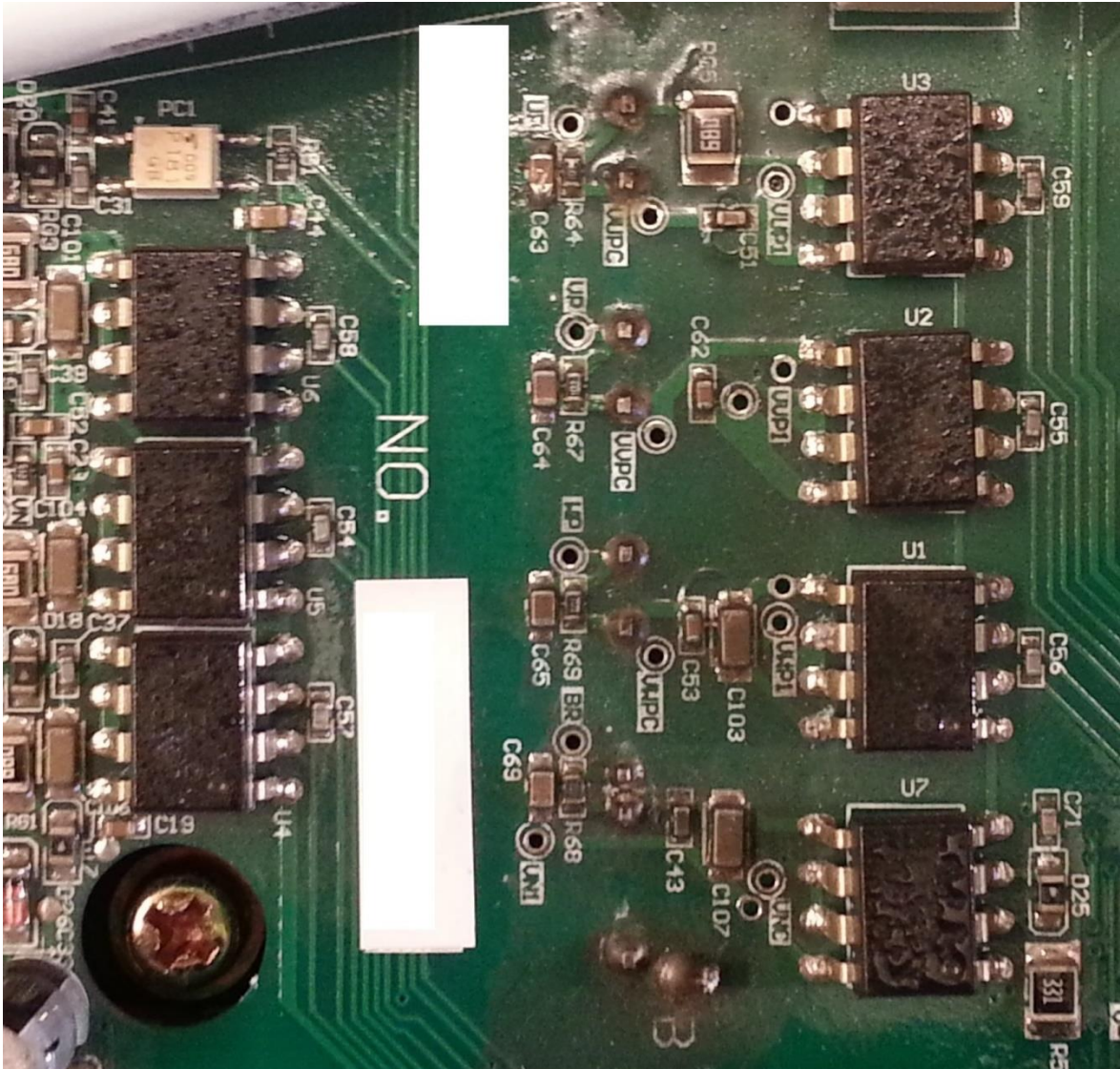
peräisin IGBT-moduulin kotelosta. IGBT-moduuli irrotettiin piirilevystä, jolloin vaurio oli näkyvillä selkeästi moduulin pohjassa. Vaurioitunut IGBT-moduuli on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Kuvassa on esitetty vaurioitunut Mitsubishi CP10TD1-24A IGBT-moduuli. Kuvan yläreunassa on näkyvillä selviä halkeamia, joista on irronnut palasia tuotteen kotelon sisälle. Vauriot ovat fyysisesti lähellä elektrodeja, jotka ovat yhteydessä IGBT-moduulin pääteasteen ylempiä IGBT:tä. [19]

Kuvasta 14 nähdään, että IGBT-moduulin ylälaidasta on selvästi irronnut paloja. Palat ovat läheltä elektrodeja, jotka ovat yhteydessä IGBT-moduulin pääteasteen ylempien IGBT:den hiloihin. IGBT-moduuli sisältää myös kolmivaiheisen kokoaaltotasasuuntaajan, lämpötilasensori, sekä IGBT:n ja nolladiodin ulkoiselle jarruvastukselle. [19]

Aikaisemman kokemuksemme mukaan vaurioituneiden IGBT-moduulien yhteydessä on syytä tarkastaa sitä ympäröivien komponenttien kunto. Tässä tapauksessa IGBT-moduulin vaurio liittyy pääteasteen transistoreihin, joten tarkastellaan hilaohjainten kuntoa. Kuva tuotteen hilaohjaimista on esitetty kuvassa 15.



Kuva 15. V-Drive VDE-40007 -taajuusmuuttajan hilaohjaimet, sekä niitä ympäröivät komponentit. IGBT-moduuli on ollut kiinnitettynä piirilevyyn alapuolelle tarkasteltuna kuvan suunnasta. Sarjanumerot ja muut tuotekoodit on peitetty.

Kuvasta 15 nähdään, että piirilevyssä on seitsemän hilaohjainta, jotka ovat piirilevyn merkintöjen mukaisesti nimetty järjestyksessä $U_1 - U_7$. IGBT-moduulin elektrodijärjestyksestä ja hilaohjaimien fyysisistä sijainneista piirilevyllä voidaan päätellä hilaohjaimien $U_1 - U_3$ ohjaavat lähtöasteen täysisillan ylempiä IGBT:itä. Hilaohjaimet $U_4 - U_6$ ohjaavat täysisillan alempia IGBT:itä. Hilaohjain U_7 ohjaa IGBT:tä, joka kytkee ulkoisen jarruvastuksen niin haluttaessa.

Tämän tuotteen tapauksessa on käytetty hilaohjaimena HCPL-3020, joka on optisesti erotettu IGBT-hilaohjain [20]. Varsinaisessa datalehdessä ei ole paljastettu paljoakaan tietoa

hilaohjaimen sähköisestä kytkennästä [20]. Tämän vuoksi etukäteen ei varsinaisesti voida esittää mitään hypoteesia, mitä mittaustuloksen pitäisi olla. Täten ongelmaa on päätetty lähestyä empiirisesti mittaamalla ASA:lla tulokset kaikkien hilaohjaimien lähdöistä ja verrata niitä toisiinsa, jos mittaustuloksien välillä olisi havaittavissa poikkeavuuksia.

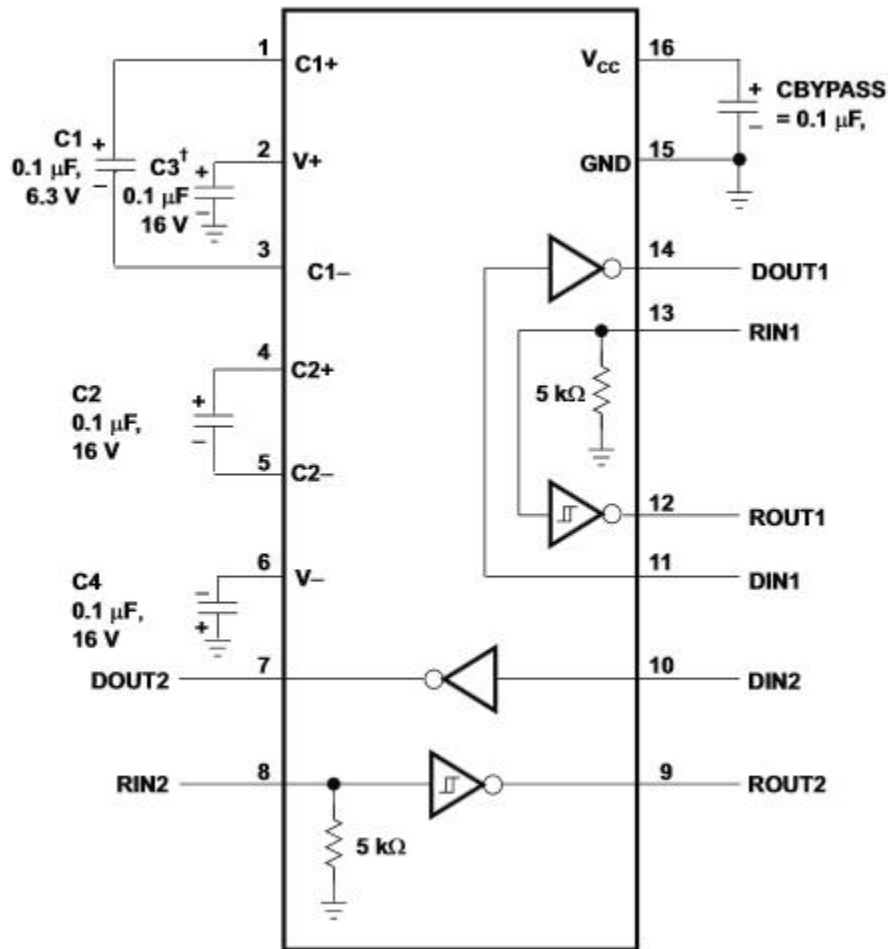
2.5 Omron HMI-paneeli

Toinen valitsemamme tapaus käytännön esimerkiksi, oli Omronin valmistama NT600S-ST121-EV3, joka on ohjelmoitava kosketusnäytöllinen HMI-paneeli [21]. Lähtötietojen mukaan paneelin sarjaliikennekommunikaatio ei toiminut. Kokemuksemme mukaan tämä viittaisi siihen, että kommunikointipuskuri on vaurioitunut. Joissain paneeleissa kommunikointikaapeli on liitetty suoraan liittimestä kommunikointipuskuriin ilman mitään erillistä suojausta. Tällöin noihin pitkiin häiriö alttiisiin kaapeleihin syntyy helposti ylijänniteitä häiriöisestä ympäristöstä. Itse paneeli on esitetty kuvassa 16.



Kuva 16. Kuvassa on esitetty Omron NT600s-sarjan ohjelmoitava HMI-paneeli. Korjauksen lähtötietona oli, että paneeli toimi muuten moitteettomasti, mutta sarjaliikennekaapelilla ei saanut yhteyttä paneeliin.

Paneelin sarjakommunikointipiiri on MAX202. Piirissä on kaksi kanavaa asynkroniselle RS-232-tiedonsiirrolle ja varauspumppuja, joilla tehdään osa mikropiirin käyttöjännitteistä. Kuva mikropiirin tyypillisestä kytkennästä ja sen tuloista sekä lähdöistä on esitetty kuvassa 17. [22]



Kuva 17. Kuvassa on esitetty MAX202-sarjakommunikaatiopiiriin tyypillinen kytkentä. Kuvasta nähdään, että piirissä on kaksi kanavaa asynkroniselle tiedonsiirrolle sekä varauspumppuja. Sarjaliikenneporttien tuloissa on 5 k Ω nimellinen resistanssi. [22]

Kuvasta 17 nähdään, että MAX202-sarjakommunikaatiopiirissä on kaksi asynkronista kanavaa. Tulojen nimellinen tuloimpedanssi on 3 – 7 k Ω . Kuvasta nähdään myös mikropiirin sisäiset varauspumput, joiden elektrodeihin on liitetty ulkoiset kondensaattoreita. [22]

Piiristä ei ole paljastettu valmistajan datalehdessä paljoakaan tietoa varsinaisesta toteutuksesta. Datalehdessä ei voida päätellä piirin tuloimpedanssien lisäksi muuta, mitä piiristä pitäisi pystyä mittaamaan käyttämällä ASA:a. Täten ongelmanratkaisua tässä tapauksessa on

lähestytty täysin empiirisesti mittaamalla rikkinäisen mikropiirin mittaustulokset, vaihtamalla mikropiiri ja uusimalla mittaukset. Tämän jälkeen mittaustuloksia verrataan toisiinsa ja esitetään johtopäätöksiä. Tarkoituksena on selvittää, saadaanko mittaustuloksilla selville mikropiirin vaurioita sekä ovatko tämän kaltaisen mikropiirin ASA:n tulokset helposti ymmärrettävissä ja tulkittavissa.

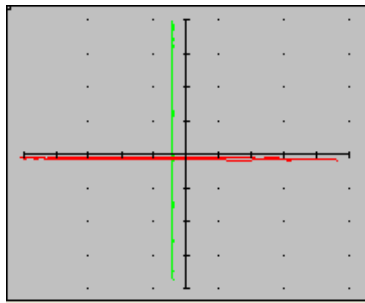
3. TULOKSET

Tässä kappaleessa on esitetty tutkimuksen tulokset mittauksista samassa järjestyksessä kuin kappaleen 2 taustateoria. Tuloksien luettavuutta on pyritty sujuvoittamaan taulukoimalla useita mittaustuloksia yhdeksi kuvamatriisiksi, jolloin niiden vertaaminen on helpompaa. Osa mittaustuloksista, jotka eivät olleet niin merkittäviä tutkimuksen kannalta, on esitetty liitteenä II.

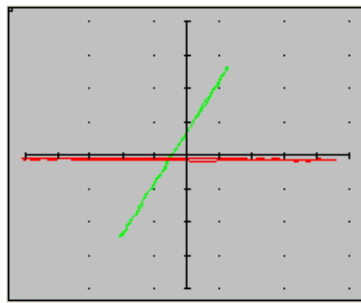
3.1 Passiiviset komponentit

Vastuksia päätettiin tutkia käyttämällä vain yhtä mitta-aluetta, joksi valittiin junction-mittausjännite. Mittaukset suoritettiin käyttämällä low-mittaustaajuutta. Tällä mitta-alueella käyttöohjeen mukaan pitäisi pystyä mittaamaan resistanssin arvoja välillä 1 k Ω - 50 k Ω [1]. Tältä alueelta valittiin mitattavaksi 5 arvoa, joista pienin oli 1 k Ω . Tämän jälkeen vastuksen resistanssia kasvatettiin 25 % mitta-alueesta. Resistanssin arvo pyöristettiin lähimpään E24-vastussarjan arvoon. Valitut resistanssit olivat täten 1 k Ω , 12 k Ω , 27 k Ω , 36 k Ω ja 47 k Ω . Tutkitut vastukset olivat Multicompin valmistamia ja kuuluivat MF25-sarjaan, jonka valmistustoleranssi on ± 1 % [23].

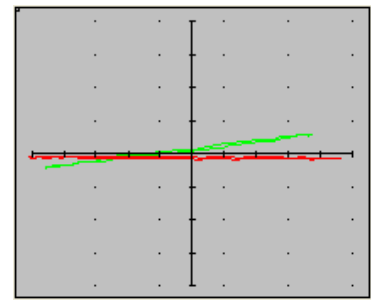
Varsinaiset mittaukset suoritettiin asettamalla vastus pöydälle ja kytkemällä mittalaitteen toinen mittajohdin vastuksen toiseen elektrodiin ja toinen mittajohdin toiseen elektrodiin. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 18.



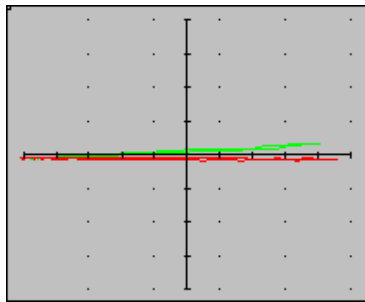
18A Mittajohtimien oikosulku



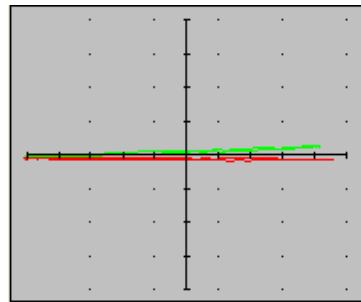
18B 1 kΩ vastus



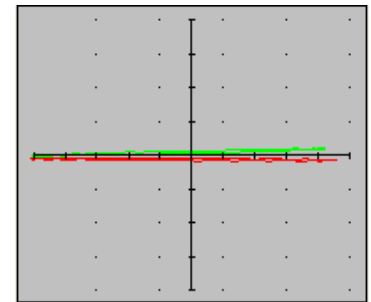
18C 12 kΩ vastus



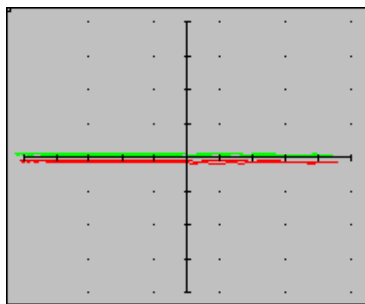
18D 27 kΩ vastus



18E 36 kΩ vastus



18F 47 kΩ vastus



18G avoimet mittajohtimet

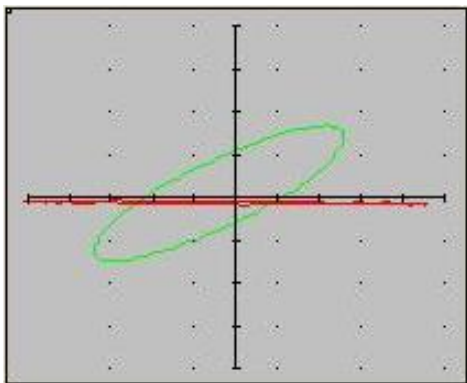
Kuva 18. Matriisissa on esitetty resistanssin mittauksen tutkimustulokset. Kuvassa on 18A mittajohtimien oikosulku, 18B 1 kΩ vastuksen mittaustulos, 18C 12 kΩ vastuksen mittaustulos, 18D 27 kΩ vastuksen mittaustulos, 18E 36 kΩ vastuksen mittaustulos, 18F 47 kΩ vastuksen mittaustulos ja 18G avoimet mittajohtimet.

Kuvasta 18A nähdään ASA-mittaustulos, kun mittajohdot oikosuljetaan. Mittaustulokseksi muodostuu kuvaajaksi pystysuora viiva. Tämä vastaa oletettua mittaustulosta, koska virta pääsee kulkemaan vapaasti mittajohtimesta toiseen. Täten varsinaisen kuorman muodostaa mittajohtimien impedanssi, joka voidaan olettaa äärimmäisen pieneksi verrattuna kyseisellä mitta-alueella mitattaviin arvoihin. Mittaustuloksessa voidaan kuitenkin havaita, ettei jännite ole täysin 0 V, vaan se on kuvaajan negatiivisella puolella. Kuvaajan pitäisi kulkea suoraan origon lävitse ja kulkea pysty akselia myöten. Täten voidaan päätellä mittaustuloksissa esiintyvän offset-jännitettä, joka todennäköisesti johtuu mittalaitteen olevan huonosti kalibroitu.

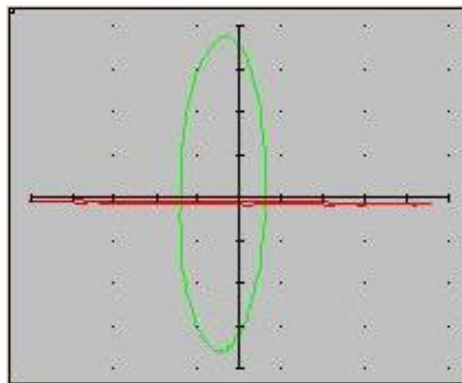
Kuvassa 18B on esitetty mittaustulos $1\text{ k}\Omega$ vastukselle, joka on pienin suositeltu resistanssi mitattavaksi kyseisellä mitta-alueella. Kuvaaja on kaikista selvän mittaustulos verrattuna muihin. Mittaustuloksesta ei kuitenkaan kyetä millään tavalla päättämään itse mitattavan kohteen resistanssia. Tämä johtuu mittalaitteen ohjelmistosta, jonka mittaustuloksissa ja kuvaajissa ei ole minkään näköistä asteikkoa. Resistanssi olisi kuitenkin helppo laskea matemaattisesti, jos ohjelmistossa olisi esimerkiksi kursori-toiminto, jolla voitaisiin määrittää kahden eri pisteen välistä eroa molemmilla akselilla.

Kuvissa 18C – 18G mittaustulokset muistuttavat hyvinkin paljon toisiaan. Kuvassa 18C on esitetty $12\text{ k}\Omega$ vastuksen mittaustulos. Kuvaajasta on vielä havaittavissa ensimmäisen asteen yhtälö, eikä se ole vielä täysin vaakasuora. Kuvissa 18D – 18G on esitetty mittaustulokset $27\text{ k}\Omega$, $37\text{ k}\Omega$, $47\text{ k}\Omega$ vastuksista ja avoimesta piiristä. Näiden kuvaajat ovat lähestulkoon vaakasuorassa, eikä niitä täten voi kovinkaan helposti erottaa toisistaan. Tämä on tuloksena melko erikoista, koska kaikki valitut resistanssit pitäisi olla mitattavissa ja erotettavissa toisistaan käytetyllä mitta-alueella, vaikkei näin olekaan.

Kondensaattoreiden häviöiden suurenemista ja kapasitanssin mittaamista tutkittiin eräästä saapuneesta korjaustapauksesta. Osassa tuotteen kondensaattoreista oli havaittavissa pullistumia, jotka viittaisivat kondensaattoreiden eliniän olevan lopussa. Kuitenkaan kaikki kondensaattorit eivät olleet pullistuneita, mutta myös niiden kunto on syytä tarkastaa. Tarkasteltavaksi tutkimusta varten piirilevystä irrotettiin yksi kondensaattori. Tämän kondensaattorin kapasitanssi kotelon merkintöjen mukaisesti oli $100\text{ }\mu\text{F}$ ja jännitekestoisuus 25 V . Kondensaattori voidaan mitata PFL780-mittalaitteella käyttämällä ASA:a, valitsemalla käytettäväksi low-mittausjännite ja low-mittaustaajuus [1]. Asa:n mittaustulos on esitetty kuvassa 19.



19A Vaurioitunut kondensaattori



19B Varaosaksi valittu kondensaattori

Kuva 19. 19A kuvassa on esitetty piirilevystä irrotetun vaurioituneeksi epäillyn kondensaattorin ASA-mittaus-tulos. Kuvasta on havaittavissa ellipsin kärkien kallistuneen kuvaajan vastakkaisiin neljänneksiin. Kuvassa 19B on esitetty varaosaksi valitun kondensaattorin ASA-mittaus-tulos. Ellipsi on selvästi pystymässä, eli sen kärjet ovat lähellä pystyakselia.

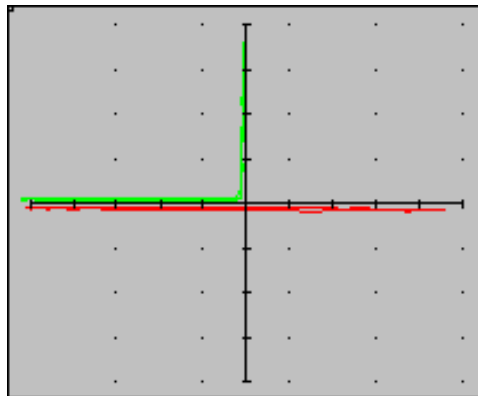
Kuvasta 19A nähdään, että mittaus-tuloksen muodostaman ellipsin kärjet ovat selvästi kallistuneen kuvaajan vastakkaisiin neljänneksiin. Tämä tarkoittaa taustateorian mukaan kondensaattorin aiheuttaman vaihesiirron pienentyneen, jolloin sen impedanssin resistiivinen komponentti on suurentunut. Mittalaitteen käyttöohjeen ja taustatutkimuksen perusteella tämä viittaa epäkuuntoiseen kondensaattoriin, jonka häviöt ovat kasvaneet ja kapasitanssi pienentynyt. Kuvassa 19B nähdään mittaus-tulos varaosaksi valitusta kondensaattorista. Ellipsin kärjet ovat lähestulkoon pystyakselilla, jos otetaan huomioon mittaus-tuloksissa esiintyvä offset-jännite. Tämän kaltainen mittaus-tulos taas viittaa hyväkuuntoiseen kondensaattoriin, jonka häviöt ovat erittäin pienet. [1], [2], [3] & [4]

Mittaus-tulos päätettiin vahvistaa käyttämällä Peak Atlas ESR70 -mittalaitetta, jolla voidaan mitata kondensaattorin kapasitanssi ja ekvivalenttinen sarjaresistanssi (englanniksi equivalent series resistance, jatkossa käytetään lyhennettä ESR) [24]. Mittalaitteen mittaus-tarkkuus kapasitanssille on $\pm 4\%$, $\pm 0.2\ \mu\text{F}$, sekä ESR:n mittaamisessa $\pm 1.5\%$, $\pm 0.2\ \Omega$ [24]. Vaurioituneen kondensaattorin mittaus-tulokseksi saatiin kapasitanssiksi ”in-circuit / leaky” (suomeksi piirissä tai vuotava). Tämä tarkoittaa käyttöohjeen mukaisesti, ettei mittalaite kyennyt mittaamaan kapasitanssia [25]. Kondensaattorin ESR:ksi mittalaite pystyi kuitenkin mittaamaan $32.0\ \Omega$. Vastaavat mittaukset toistettiin varaosaksi valitulle kondensaattorille, jolloin mittaus-tuloksena oli $107.4\ \mu\text{F}$ ja $0.1\ \Omega$.

Tässä tapauksessa vaurioitunut ja varaosaksi valittu kondensaattori olivat eri valmistajalta sekä eri tuoteperhettä, mikä voi vääristää mittaustulosta. Alkuperäinen kondensaattori oli Lelonin valmistama REA-sarjan kondensaattori, jonka kapasitanssi oli kotelon merkintöjen mukaisesti 100 μF ja jännitekestoisuus 25 V. Varaosaksi valittiin Rubyconin valmistamasta ZLJ-sarjasta 100 μF kapasitanssilla ja 35 V jännitekestoisuudella oleva kondensaattori. Eroista huolimatta kummankin kondensaattorin häviökertoimen maksimiarvo ja kapasitanssin valmistustoleranssi ovat vastaavia, joten mittaustulokset ovat keskenään vertailukelpoisia [26] & [27].

3.2 Diodi

Tutkimusta varten valittiin tutkittavaksi yksi kappale signaalidiodia, sekä neljä eri zenerjännitteen omaavaa zenerdiodia. Puolijohteiden tutkiminen aloitettiin mittaamalla 1N4148-diodi käyttämällä ASA:a. Mittaus tehtiin PFL780-mittalaitteen käyttöoppaan mukaisesti, käyttämällä logic-jännitealuetta ja low-mittaustaajuutta [1]. Mittalaitteen positiivinen mittajohdin asetettiin diodin anodille ja negatiivinen mittajohdin diodin katodille [1]. Mittaustulos on esitetty kuvassa 20.



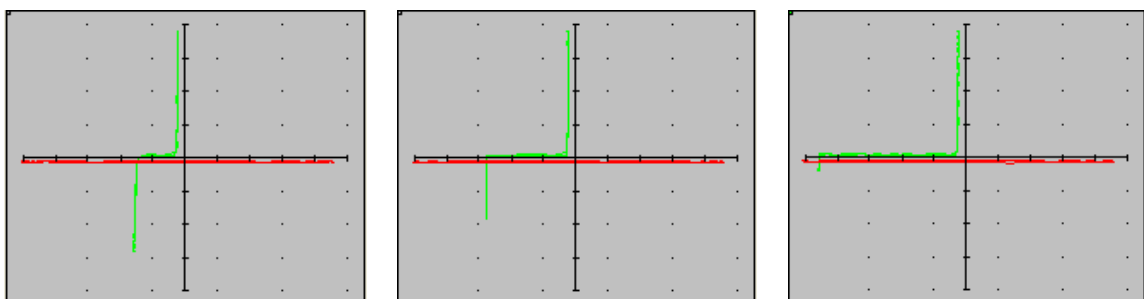
Kuva 20. Kuvassa on esitetty 1N4148-diodin mittaustulos. Mittaus on suoritettu ohjekirjan mukaisella tavalla, käyttämällä logic-mittausaluetta ja low-mittaustaajuutta sekä asettamalla mittalaitteen positiivinen mittajohdin diodin anodille ja negatiivinen mittajohdin diodin katodille.

Kuvasta 20 nähdään, että 1N4148-diodin mittaustulos vastaa kappaleessa 2.3 esitettyä hypoteesia. Mittausjännitteen ollessa on negatiivinen, virtaa ei kulje, koska diodin katodilla on

suurempi jännite verrattuna anodiin. Tällöin diodi on estotilassa. Kuvaajassa ei ole havaittavissa estosuuntaista läpilyöntiä. Mittausjännitteen huippuarvo käytetyllä mitta-alueella on vain noin 10 V ja 1N4148-diodin läpilyönti tapahtuisi mittausjännitteen ollessa 100 V [28]. Mittausjännitteen ollessa positiivinen, havaitaan diodin siirtyvän päästötilaan, jolloin virta pääsee kulkemaan. Ilmiön pitäisi diodin datalehden mukaisesti tapahtua jännitteen ollessa noin 1 V [28]. Saamassamme mittaustuloksessa diodi kuitenkin johtaa jännitteen ollessa noin 0 V. Mittaustulosta todennäköisesti vääristää jo aikaisemmissa mittaustuloksissakin havaittu jännitteen offset, joka johtuu mittalaitteen olevan huonosti kalibroitu.

Zenerdiodien mittaamiseen on mittalaitteella kaksi jännitealuetta, joista pienemmällä mitataan zenerdiodeja 20 V asti ja isommalla siitä suurempijänniteisiä. Tutkimusta varten zenerdiodit valittiin niin, että kahden zenerdiodin zenerjännite olisi pienemmällä mitta-alueella, yhden zenerjännite asetuisi mittausjännitteiden väliin ja yhden zenerjännite olisi suuremmalla mitta-alueella. Testin tarkoitus oli havaita, voidaanko zenerdiodi helposti erottaa normaalista diodista, sekä voidaanko käyrästä mitenkään arvioida zenerjännitteen suuruutta. Tutkimusta varten valitut zenerdiodit olivat 1N4733A, 1N4740A, 1N4746A ja 1N4753A, joiden zenerjännitteet ovat 5.1 V, 10 V, 18 V ja 36 V [29].

Zenerdiodit mitattiin ohjekirjassa suositellulla mitta-alueella asettamalla mittalaitteen positiivinen mittajohdin zenerdiodin anodille ja negatiivinen mittajohdin zenerdiodin katodille [1]. Mittauksissa käytettiin med-mittausjännitettä ja low-mittaustajuutta. Mittaustulokset kolmen pienimmän zenerjännitteen omaavasta zenerdiodista on esitetty kuvassa 21.



21A 5.1 V 1N4733A-zenerdiodi

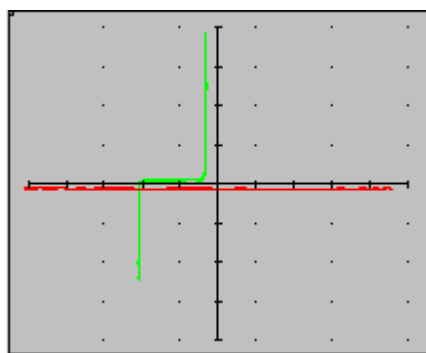
21B 10 V 1N4740A-zenerdiodi

21C 18 V 1N4746A-zenerdiodi

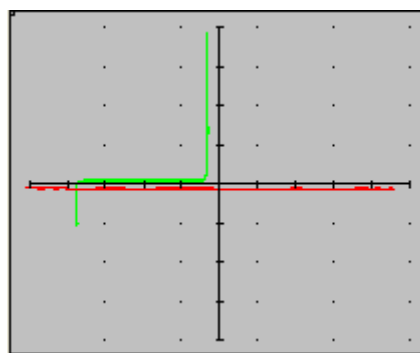
Kuva 21. Kuvassa 21A on esitetty mittaustulos 1N4733A-zenerdiodista, jonka zenerjännite on 5.1 V. Kuvassa 21B on esitetty mittaustulos 1N4740A-zenerdiodista, jonka zenerjännite on 10 V. Kuvassa 21C on esitetty mittaustulos 1N4746A-zenerdiodista, jonka zenerjännite on 18 V. [29]

Kuvasta 21A – 21C nähdään, miten zenerjännitteen kasvaessa kuvaaja muuttuu selkeästi. Mittaustuloksissa on selvästi erotettavissa diodityypiksi zenerdiodi. Kun mittausjännite kasvaa tarpeeksi negatiiviseksi, virtaa rupeaa kulkemaan puolijohteen läpi, mikä näkyy kuvaajassa. Zenerjännitteen suuruutta voidaan arvioida vertaamalla tuloksia toisiinsa, jolloin ne voidaan asettaa suuruusjärjestykseen. Kuvaajissa ei ole mitään asteikkoa jännitteestä tai virrasta, joten mitään numeroarvoja ei voida mittauksien perusteella saada. Tässäkin tapauksessa mittaustuloksissa näkyy selvästi kalibroinnista johtuva offset-jännite. Tämä havaitaan, koska päästösuuntaan johtaminen alkaa jo negatiivisella jännitteellä.

Koska kuvassa 21C esitetty mittaustulos 1N4746A-zenerdiodista leikkautui mittausjännitteen loppuessa, päätettiin se mitata uudestaan suuremmalla mittausjännitteellä. Mittaustulos tästä sekä myös 1N4753A-zenerdiodista, on esitetty kuvassa 22.



22A 18 V 1N4746A-zenerdiodi



22B 36 V 1N4753A-zenerdiodi

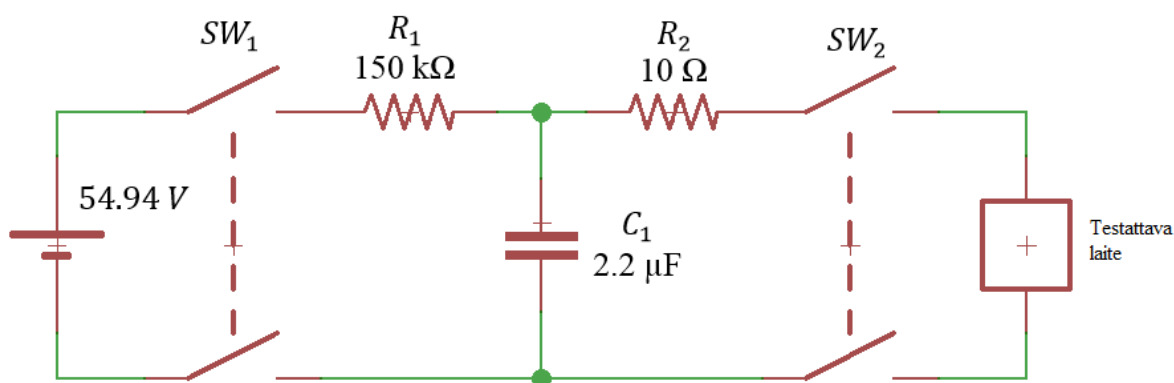
Kuva 22. Kuvassa 22A on esitetty mittaustulos 1N4746A-zenerdiodista, jonka zenerjännite on 18 V. Kuvassa 22B on esitetty mittaustulos 1N4753A-zenerdiodista, jonka zenerjännite on 36 V. Kumpikin mittaus suoritettiin käyttämällä high-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta. [29]

Kuvasta 22A nähdään, että 1N4746A-zenerdiodin zenerjännite on siirtynyt lähemmäs origoa verrattuna kuvaan 21C. Tämä on odotettu tulos, koska mittausjännitteen kasvaessa myös kuvaajan asteikon täytyy kasvaa, jotta mittaustulos olisi kokonaan nähtävissä. Vastaavasti kuvassa 22B nähdään 1N4753A-zenerdiodin mittaustulos, joka muistuttaa täysin muita mittaustuloksia. Kuvan 22B mittaustuloksen zenerjännite on myös kauempana origosta kuin kuvan 22A, mikä on myöskin odotuksia vastaava mittaustulos.

3.3 7400-sarjan logiikkapiirit

Mikropiirien vaurioittamiseen valittiin käytettäväksi ihmiskehomalli (englanniksi human body model, jatkossa käytetään lyhennettä HBM). Tämä mallintaa ihmiseen varautuneen energian purkautumista laitteeseen sitä koskettamalla. HBM toimii varaamalla ihmiskehon kapasitanssia jäljittelevä kondensaattori testijännitteeseen. Tämä kondensaattoriin varattu energia purkautuu testattavaan laitteeseen sarjaresistanssin lävitse. Standardin mukaisesti HBM:n kapasitanssi on 100 pF ja sarjavastus 1.5 k Ω . Testijännitteenä käytetään yleensä 2 kV, 4 kV, 6 kV tai 8 kV. [30], [31] & [32]

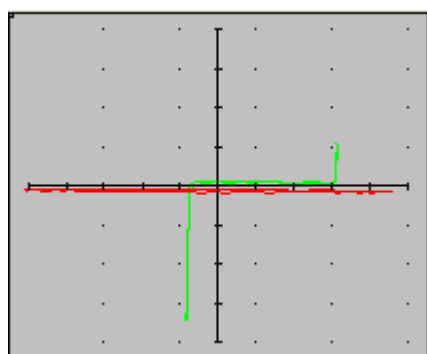
Valitettavasti tätä työtä tehdessä ei ollut saatavilla jännitelähdettä, jolla kyseinen jännite olisi saavutettu. Tämän vuoksi päädyttiin ratkaisuun, jossa mallinnettiin varsinaista testienergiaa. Tämä aikaansaatiiin laskemalla mittauskytkennän testijännitettä sekä kasvattamalla kapasitanssia, johon energia on varautunut. Myös sarjavastuksen kokoa pienennettiin, jolloin suurin mahdollinen purkausvirta pysyy ennallaan. Mittauskytkentä ja komponenttiarvot on esitetty kuvassa 23. Varsinaiset komponenttiarvot ovat mitoitettu liitteessä I.



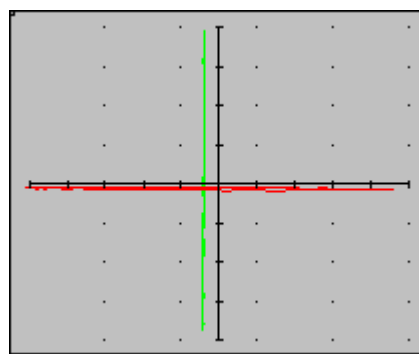
Kuva 23. Kuvassa on esitetty mittauskytkentä, jolla mallinnettiin HBM-testiä. Kytkenä perustuu ihmiskehoa mallintavaan kapasitanssiin, kahteen resistanssiin, joista toinen rajoittaa kondensaattorin latausta ja toinen purkausta. Kytkimien tarkoitus on liittää kondensaattori joko jännitelähteeseen latausta varten tai purkaa kondensaattoriin latautunut energia testattavaan laitteeseen.

Kuvassa 23 esitetyn testikytken toimintaperiaate mittauksia varten on, että kun kytkin SW_1 johtaa, kapasitanssi C_1 latautuu jännitelähteen jännitteeseen. Latausvirtaa rajoittaa resistanssi R_1 . Kun kondensaattori on varautunut, kytkin SW_1 avataan, jolloin jännitelähde ei ole enää yhteydessä testikytkentään. Kun kytkin SW_2 suljetaan johtavaksi, kondensaattorissa C_1 oleva varaus purkautuu resistanssi R_2 lävitse testattavaan laitteeseen.

7400-sarjan logiikkapiirien TTL-tuloja tutkittiin Texas Instrumentsin valmistamasta SN7400-mikropiiristä. Testaus suoritettiin kytkemällä mikropiirin käyttöjännite ja maapotentiaali oikosulkuun. Tämä mallinsi käyttöjännitteen kapasitanssin aiheuttamaa oikosulkua käyttöjännitteessä. Kuvassa 23 esitellyn mittauskytkennän toinen mittajohdin liitettiin mikropiirin toisen logiikkaportin B-tuloon ja toinen mittajohdin mittauskytkennän maapotentiaaliin. Mittaus suoritettiin logic-mittausjännitteellä ja low-mittaustaajuudella. Mittaustulos ehjän ja vaurioitettun piirin tulosta ovat esitetty kuvassa 24.



24A Ehjän SN7400-mikropiirin tulo

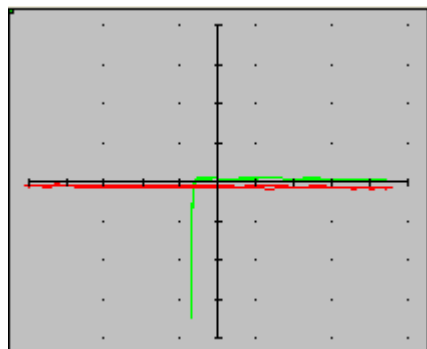


24B Vaurioitettun SN7400-mikropiirin tulo

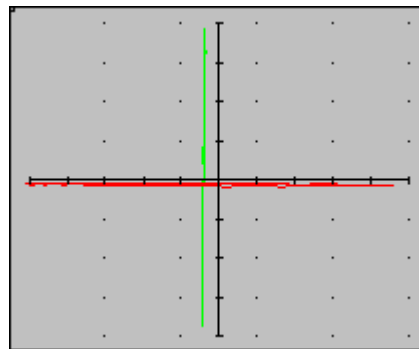
Kuva 24. Kuvassa 24A on esitetty ehjän SN7400-mikropiirin tulo, joka on toteutettu TTL-tekniikalla. Kuvassa 24B on esitetty mittaustulos samasta tulosta, kun sitä on vaurioitettu tahallisesti kuvan 23 mukaisella kytkennällä.

Kuvasta 24A nähdään ehjän TTL-tekniikalla toteutetun 7400-logiikkapiirin tulon mittaustulos käyttämällä ASA:a. Mittaustuloksesta on nähtävissä yksi diodi, joka johtaa, kun mittaustulos on negatiivinen. Positiiviseen suuntaan näyttää johtavan myös toinen diodi, jonka jännite on suurempi kuin negatiiviseen suuntaan olevan diodin kynnsjännite. Tätä positiiviseen suuntaan johtavaa diodia ei kyetty havaitsemaan taustateorian mukaisesti. Suurempi kynnsjännite kuitenkin voisi viitata siihen, että kyseessä on estosuuntaan tapahtuva läpilyönti joko kuvassa 2 esiintyvälle diodille D_1 tai tulon BJT:lle, joka on pelkistetty taustateoriassa diodiksi. Kuvasta 24B nähdään testituloksesta, kun samaa tulosta on vaurioitettu tahallisesti kuvan 23 testikytkennällä. Kuvia 24A ja 24B verrattaessa on havaittavissa erittäin huomattava muutos, koska kuvan 24B mittaustulos on muuttunut erittäin pieni-impedanssiseksi oikosuluksi. Tulon epäideaalisuudet todennäköisesti aiheuttivat ASA-mittaustuloksen poikkeavuuden taustateoriassa esitetystä oletuksesta. Mittaustuloksissa oli kuitenkin havaittavissa selvästi tunnistettavia ominaisuuksia, joita voitaisiin etsiä muista vastaavista tuloista, jos niiden kuntoa tarkastellaan.

LS-tekniikalla toteutettuja tuloja tutkittiin Texas Instrumentsin valmistamasta SN74LS00-mikropiiristä. Testaus suoritettiin vastaavalla tavalla kuin SN7400-mikropiirissä. Mittaustulos ehjästä ja vaurioitettusta tulosta on esitetty kuvassa 25.



25A Ehjän SN74LS00-mikropiirin tulo

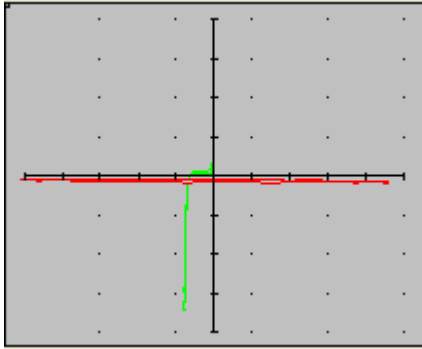


25B Vaurioitettun SN74LS00-mikropiirin tulo

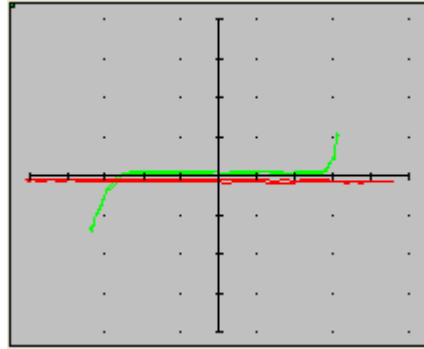
Kuva 25. Kuvassa 25A on esitetty ehjän SN74LS00-mikropiirin tulo. Kuvassa 25B on esitetty mittaustulos samasta tulosta, kun sitä on vaurioitettu tahallisesti kuvan 23 mukaisella kytkennällä.

Kuvasta 25A nähdään, että LS-tekniikan tulossa on mitattavissa yksi diodi, joka johtaa negatiiviseen suuntaan. Tämä vastaa taustateoriassa esitettyä oletusta ja eroaa kuvassa 24A nähdystä ilmiöstä, jossa tulo johti myös positiiviseen suuntaan, kun mittausjännitteen oli riittävän suuri. LS-tekniikan tulossa ei ole transistoria, vaan kaksi schottkydiodia, joka viittaisi siihen, että TTL-tulossa nähtävä ilmiö johtuisi BJT:n emitter-kollektori tai emitterikanta pn-liitoksen estosuuntaisesta läpilyönnistä. Kuvassa 25B on esitetty mittaustulos samasta tulosta, kun sitä on tahallisesti vaurioitettu, jolloin tulo muuttui pieni-impedanssiseksi oikosuluksi. ASA-mittaustulos vastasi taustateoriasta tehtyihin oletuksiin ja siinä oli valittu testien energialla vaurioitettaessa mitattavissa selvä poikkeavuus.

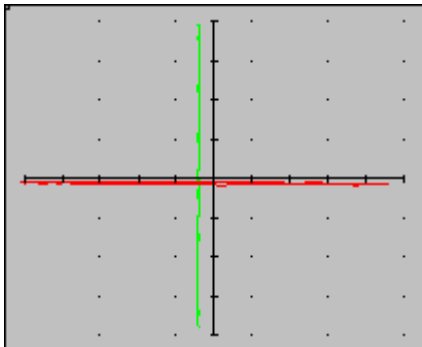
CMOS-tuloja tutkittiin Texas Instrumentsin valmistamasta SN74HC00-mikropiiristä. Testaus suoritettiin samalla tavalla, kuin edellisten tulojen tutkiminen. Erona oli kuitenkin, että logic-mittausjännitteellä mitattu mittaustulos oli epäselvä, joten se päätettiin uusiksi myös junction-mittausjännitteellä. Mittaustulokset ehjästä ja tahallaan vaurioitettusta tulosta on esitetty kuvassa 26.



26A SN74HC00-mikropiirin tulo logic-mittausjännitteellä



26B SN74HC00-mikropiirin tulo junction-mittausjännitteellä

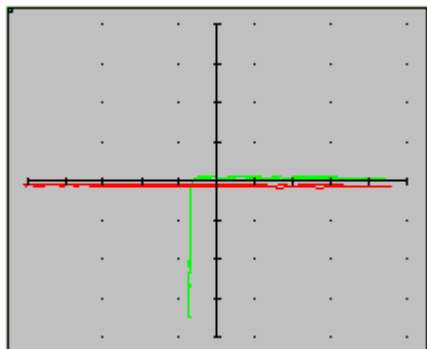


26C SN74HC00-mikropiirin vaurioitettu tulo

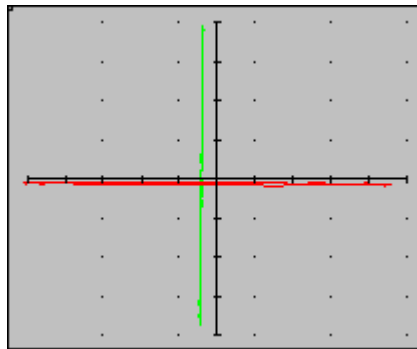
Kuva 26. Kuvassa 26A on esitetty SN74HC00-mikropiirin ehjä tulo, joka on mitattu logic-mittausjännitteellä. Sama tulo on mitattu kuvassa 26B käyttämällä junction-mittausjännitettä. Kuvassa 26C on esitetty sama tulo mitattuna logic-mittausjännitteellä, kun sitä on tahallaan vaurioitettu kuvan 23 mukaisella kytkennällä.

Kuvassa 26A nähdään CMOS-tekniikalla toteutetun mikropiirin tulon ASA-mittaustulos. Mittaustuloksesta nähdään, että negatiivisen jännitteen puolella on selvästi yksi diodi, joka rupeaa johtamaan jännitteen ylittäessä diodin kynnyksijännitteen. Positiivisella jännitteellä johtavaa diodia on vaikea havaita, koska sen oletetaan nousevan pystyakselia pitkin ja ohjelmisto kykenee huonon resoluution vuoksi piirtämään vain toisen viivoista. Täten mittaustulos uusittiin mittaamalla se pienemmällä mittausjännitteellä. Mittaustulos on esitetty kuvana 26B, josta nähdään alkuperäisen oletuksen pitäneen paikkaansa. Kuvasta 26C nähdään mittaustulos tulosta, kun sitä on tahallisesti vaurioitettu kuvan 23 testikytkennällä. Mittaustuloksesta nähdään, että tulo muuttui pieni-impedanssiseksi. Mittauksen tulos vastasi taustateoriassa esitettyjä oletuksia. Aino ongelma oli varsinaisessa mittalaitteen ohjelmassa, jonka vuoksi toista diodia oli hankala havaita kuvaajasta. Tulon vaurioittamisen jälkeen, mittaustuloksessa oli havaittavissa selvä muutos.

7400-sarjan logiikkapiirien TTL-lähtöjä tutkittiin SN7400-mikropiiristä. Testaus suoritettiin tuloja vastaavalla tavalla. Ainoana poikkeuksena oli, että tarkasteltavana oli mikropiirin lähtö 2. Mittaustulos mikropiirin ehjästä ja vaurioitetusta lähdöstä on esitetty kuvassa 27.



27A SN7400-mikropiirin lähtö

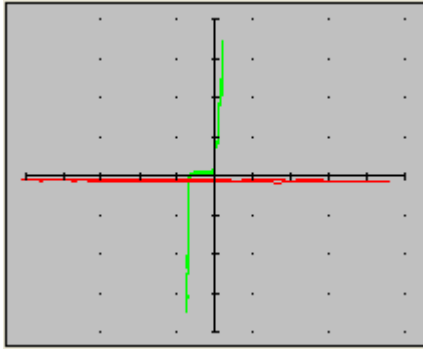


27B vaurioitettu SN7400-mikropiirin lähtö

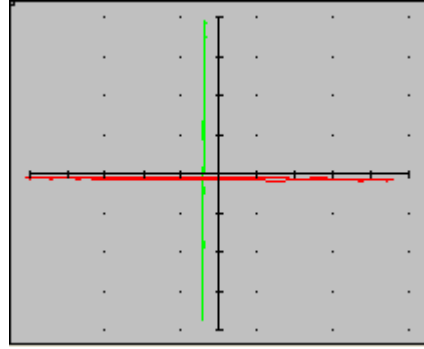
Kuva 27. Kuvassa 27A on esitetty ASA-mittaustulos 7400-logiikkapiirin lähdöstä, joka on toteutettu TTL-tekniikalla. Kuvassa 27B on esitetty sama lähtö tahallaan vaurioittamisen jälkeen.

Kuvasta 27A nähdään, että mittaussännitteen ollessa positiivinen varsinaista virtaa ei kulje mittalaitteeseen. Vastaavasti mittaussännitteen ollessa negatiivinen, huomataan virran rupeavan kulkemaan mittalaitteeseen, jännitteen kasvaessa tarpeeksi suureksi. Tämä viittaisi, että lähdössä on mitattavissa yksi diodi, jonka anodi on maapotentiaalissa ja katodi mikropiirin lähdössä. Kuvasta 27B nähdään mittaustulos, kun lähtöä vaurioitettiin kuvan 23 mukaisella kytkennällä. Kuvasta on havaittavissa, että lähtö muuttui pieni-impedanssiseksi. Täten mittaustulos vastasi taustateorioissa esitettyihin oletuksiin ja lähdöstä oli helposti havaittavissa muutos, kun sitä vaurioitettiin tahallisesti valitsemallamme testillä.

LS-tekniikan lähtöä tutkittiin Texas Instrumentsin valmistamasta SN74LS00-mikropiiristä. Testaus suoritettiin samalla tavalla kuin SN7400-mikropiirissä. ASA-mittaustulos ehjästä ja tahallaan vaurioitetusta lähdöstä on esitetty kuvassa 28.



28A SN74LS00-mikropiirin lähtö

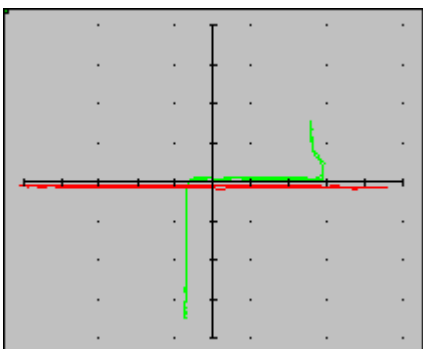


28B Vaurioitettu SN74LS00-mikropiirin lähtö

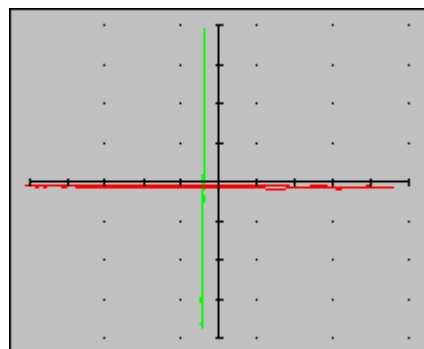
Kuva 28. Kuvassa 28A on esitetty SN74LS00-mikropiirin lähdön ASA-mittaustulos. Saman lähdön mittaustulos on esitetty kuvassa 28B, kun sitä on tahallisesti vaurioitettu.

Kuvasta 28A nähdään, että 7400-sarjan logiikkapiirien lähdöissä, jotka ovat toteutettu LS-tekniikalla, on havaittavissa kaksi diodia, joista toinen johtaa mittaussännitteen ollessa negatiivinen ja toinen johtaa mittaussännitteen ollessa positiivinen. Tämä vastaa taustateoriassa esitettyjä oletuksia. Kuvaaja ei myöskään ole symmetrinen, mikä todennäköisesti johtuu mittalaitteen kalibroinnin aiheuttamasta sännitteen offsetistä. Kuvassa 28B nähdään saman lähdön mittaustulos, kun lähtöä on tahallisesti vaurioitettu kuvan 23 mukaisella kytkennällä. Kuvasta nähdään, että mittaustulos muuttui selkeästi, kun se muuttui pieni-impedanssiseksi.

Kolmitilaista schottky-lähtöä tutkittiin Texas Instrumentsin valmistamasta SN74LS125-mikropiiristä. Testaus suoritettiin samalla tavalla kuin muidenkin lähtöjen tutkiminen. Tutkittavana lähtönä oli logiikkaportin kaksi lähtö. Mittaustulos ehjästä ja vaurioitettusta lähdöstä on esitetty kuvassa 29.



29A kolmitilainen lähtö SN74LS125 mikropiirissä

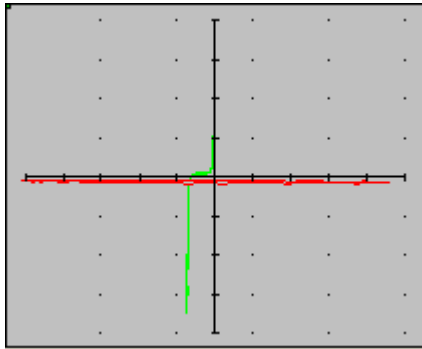


29B vaurioitettu lähtö SN74LS125 mikropiirissä

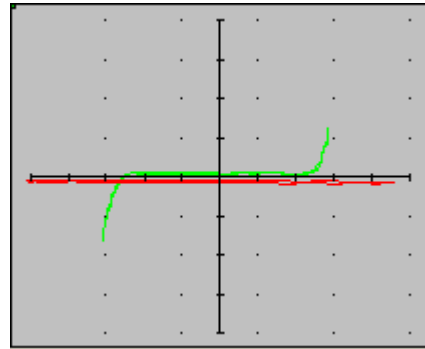
Kuva 29. Kuvassa 29A on esitetty SN74LS125-mikropiirin lähdön ASA-mittaustulos. Kuvassa 29B on esitetty saman lähdön ASA-mittaustulos, kun sitä on tahallisesti vaurioitettu.

Kuvasta 29A nähdään, että kun mittausjännite on tarpeeksi negatiivinen, lähdöstä voidaan mitata yksi diodi, joka johtaa negatiiviseen suuntaan. Tämä vastaa taustateoriassa esitettyä hypoteesia. Sen sijaan mittausjännitteen ollessa tarpeeksi positiivinen, huomataan myös positiivisessa suunnassa johtavuustila. Kuitenkin tuo johtavuus tapahtuu huomattavasti suuremmalla jännitteellä, joten kyseessä todennäköisesti ei ole diodi, vaan estosuuntainen läpilyönti jollekin lähdön komponenteista. Kuvassa 29B nähdään, että lähtöä tahallisesti vaurioitettaessa se muuttuu erittäin pieni-impedanssiseksi. Vaikka mittaustulos olikin ristiriidassa taustateorian kanssa, siitä on selvästi tunnistettavissa vaurio valittua mittaustapaa käyttäen.

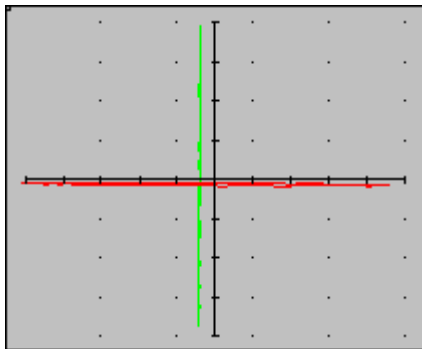
CMOS-lähtöä tutkittiin Texas Instrumentsin valmistamasta SN74HC00-mikropiiristä. Testaus suoritettiin samalla tavalla kuin muidenkin lähtöjen tutkiminen. Tutkittavana kohteena oli mikropiirin toisen logiikkaportin lähtö. Ehjän lähdön mittaustulos oli epäselvä, joten mitaus uusittiin pienemmällä mittausjännitteellä. Testin tulos on esitetty kuvassa 30.



30A 74HC00-mikropiirin lähdön ASA-mittaustulos käyttämällä logic-mittausjännitettä



30B 74HC00-mikropiirin lähdön ASA-mittaustulos käyttämällä junction-mittausjännitettä

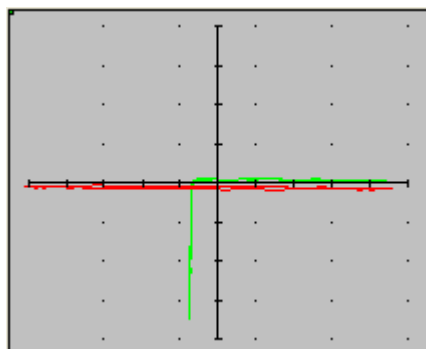


30C Sama lähtö tahallisen vaurioittamisen jälkeen

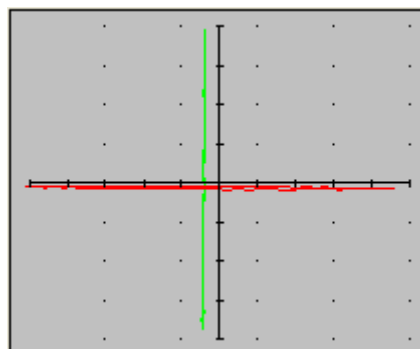
Kuva 30. 74HC00-mikropiirin lähdöstä on esitetty ASA-mittaustulos logic-mittausjännitteellä kuvassa 30A ja junction-mittausjännitteellä kuvassa 30B. Kuvassa 30C on esitetty mittaustulos samasta portista, kun sitä oli tahallisesti vaurioitettu.

Kuvassa 30A nähdään CMOS-tekniikalla toteutetun mikropiirin lähdön ASA-mittaustulos. Tuloksesta nähdään, että negatiivisen jännitteen puolella on selvästi yksi diodi, joka rupeaa johtamaan jännitteen ylittäessä kynnsjännitteen. Positiivisella jännitteellä kuitenkin johtavaa liitosta on vaikea havaita, koska sen oletetaan nousevan pystyakselia pitkin ja ohjelmisto kykenee huonon resoluution vuoksi piirtämään vain toisen viivoista. Täten mittaustulos uusittiin mittaamalla se pienemmällä mittaussjännitteellä, jotta myös positiivisella jännitteellä johtava diodi olisi paremmin havaittavissa. Tämä oletus voidaan todeta oikeaksi kuvasta 30B. Kuvasta 30C nähdään mittaustulos tulosta, kun sitä on tahallisesti vaurioitettu kuvan 23 testikytkennällä. Mittaustuloksesta nähdään, että tulo muuttui pieni-impedanssiseksi.

Avokollektorilähtöä tutkittiin Texas Instrumentsin valmistamasta SN74LS03-mikropiiristä. Poikkeuksena muihin mittauksiin tässä tapauksessa varsinaista hypoteesia mittaustuloksesta ei kyetty taustateoriassa esittämään. Lähdön epäiltiin olevan korkeaimpedanssinen kaikissa tilanteissa. Mikropiiristä tutkittiin lähtöä 2. Mittaustulos ehjästä ja tahallaan vaurioitetusta lähdöstä on esitetty kuvassa 31.



31A SN74LS03-mikropiirin lähtö



31B SN74LS03-mikropiirin vaurioitettu lähtö

Kuva 31. Kuvassa 31A on esitetty SN74LS03-mikropiirin avokollektorilähtö ASA-mittaustulos. Kuvassa 31B on esitetty sama lähtö, kun sitä on vaurioitettu tahallisesti.

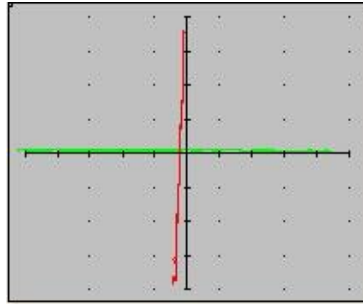
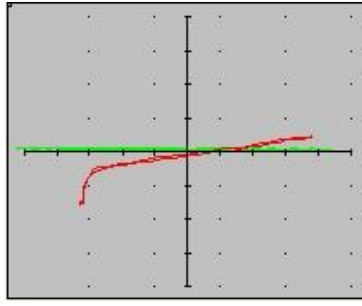
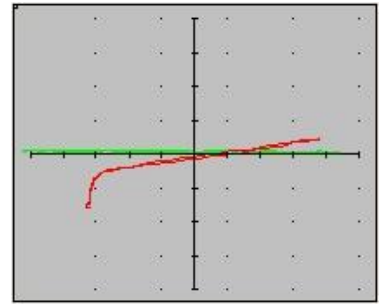
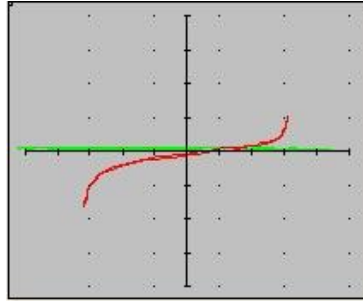
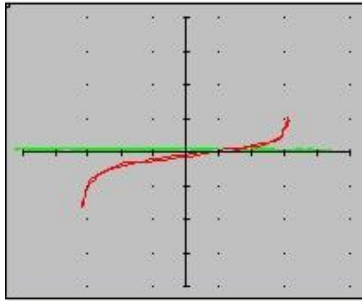
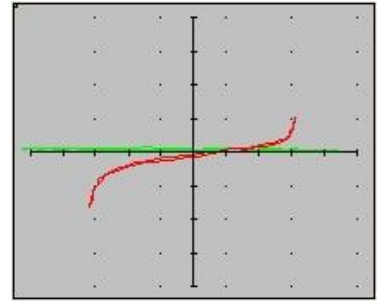
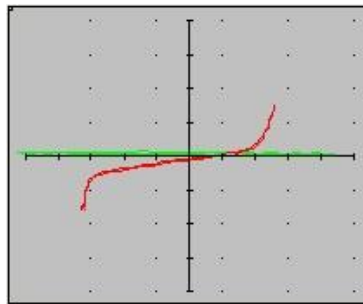
Kuvasta 31A nähdään, että kun mittaussjännite on positiivinen, lähtö on korkeaimpedanssinen. Tämä vastaa taustateoriasta esitettyyn oletusta. Toisaalta mittaussjännitteen ollessa negatiivinen, lähdössä on havaittavissa diodi, joka on ristiriidassa alkuperäisiin johtopäätöksiin. Syytä tälle ei pystytä päättelemään saatavilla olevasta taustateoriasta. Kyseessä voi olla parasiittinen diodi, jota ei ole mainittu itse komponentin datalehdessä tai puolijohteiden epäideaalisuus. Kuvassa 31B on esitetty sama lähtö, kun sitä on vaurioitettu tahallisesti ku-

van 23 testikytkenällä. Kuvasta nähdään, että tulo muuttuu pieni-impedanssiseksi. Mittaus-tulos oli siis ristiriidassa taustateoriassa tehtyihin oletuksiin. Mittaustulos kuitenkin muuttui huomattavasti piirin vaurioituessa.

3.4 V-Drive VDE-40007 -taajuusmuuttaja

Ensimmäisenä käytännön esimerkkinä tutkittiin V-Drive VDE-40007 -taajuusmuuttajaa, josta löydettiin vaurioitunut IGBT-moduuli. IGBT-moduuli todettiin vaurioituneeksi, kun visuaalisen tarkastuksen yhteydessä huomattiin, että siitä oli haljennut paloja irti. Kokemuksemme perusteella tiedetään, että tällaisissa tapauksissa voi myös IGBT-moduulia ohjaavat hilaohjaimet vaurioitua. Tässä tapauksessa tarkoitus oli tutkia, voidaanko hilaohjaimissa nähdä merkkejä vaurioitumisesta käyttämällä ASA:a.

Mittaus suoritettiin siten, että vaurioitunut IGBT-moduuli irrotettiin piirilevystä, jonka jäl-keen hilaohjaimia tarkasteltiin. Tarkastelu suoritettiin asettamalla PFL780-mittalaitteen ne-gatiivinen mittajohdin hilaohjaimen maapotentiaaliin ja mittalaitteen positiivinen mittajoh-din hilaohjaimen lähtöön. Hilaohjaimet olivat osana piirilevyä. Mittauksissa käytettiin junc-tion-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta. Tulokset hilaohjaimien $U_1 - U_7$ lähtöjen mit-taustuloksista on esitetty kuvassa 32.

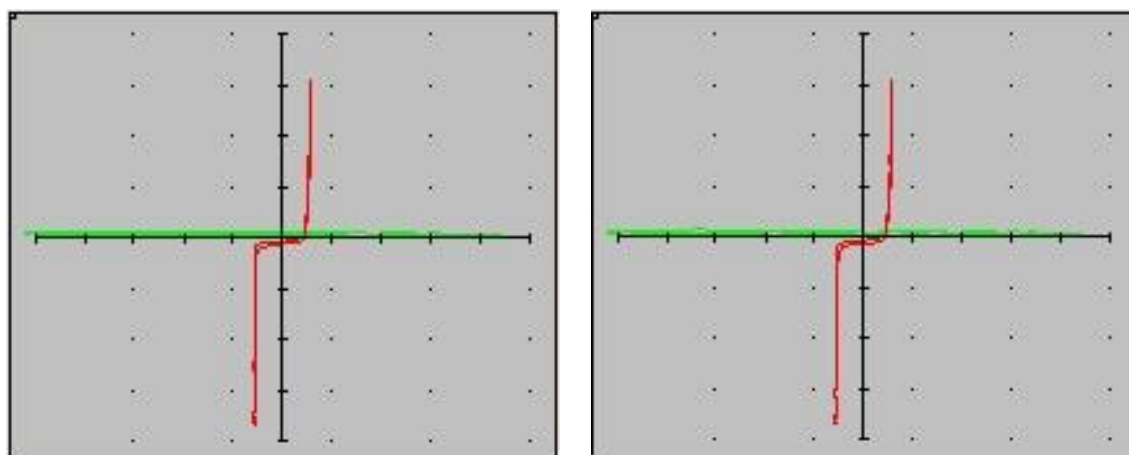
32A Hilaohjain U_1 32B Hilaohjain U_2 32C Hilaohjain U_3 32D Hilaohjain U_4 32E Hilaohjain U_5 32F Hilaohjain U_6 32G Hilaohjain U_7

Kuva 32. Kuvissa 32A – 32G on esitetty hilaohjaimien $U_1 - U_7$ ASA-mittaustulokset käyttämällä logic-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta. Hilaohjaimet olivat mittausta tehtäessä osana taajuusmuuttajan piirilevyä. Mittalaitteen negatiivinen mittajohdin laitettiin hilaohjaimen maapotentiaaliin ja positiivinen mittajohdin hilaohjaimen lähtöön.

Kuvista 32D – 32G nähdään, että tulokset hilaohjaimien $U_4 - U_7$ lähdöistä vastaavat toisiaan. Mittaustuloksesta voidaan esittää hypoteesi, että hilaohjaimen lähdössä on kaksi diodia. Toinen diodeista on siten, että sen katodi on lähdössä ja anodi mikropiirin käyttöjännitteessä sekä toinen siten, että sen anodi on mikropiirin lähdössä ja katodi mikropiirin maapotentiaalissa. Tämän kaltaista kytkentää käytetään tyypillisesti suojaamaan mikropiirin lähtöä ESD:ltä [33], [34] & [35].

Toisaalta kuvista 32A – 32C hilaohjaimien $U_1 - U_3$ lähdöissä näkyy poikkeavuuksia. Selvin näistä on hilaohjaimen U_1 lähtö kuvassa 32A. Kuvasta nähdään, että lähtö näyttäisi olevan erittäin pieni-impedanssinen. Hilaohjaimien U_2 ja U_3 lähdössä näkyy kuvissa 32B ja 32C

yksi diodi, joka johtaa mittausjännitteen ollessa negatiivinen. Näissä kuvissa ei kuitenkaan näy toista diodia, joka johtaisi mittausjännitteen ollessa positiivinen, kuten kuvissa 32D – 32G. Lähdöt eivät ole kuitenkaan pieni-impedanssisia, kuten hilaohjaimessa U_1 , joten asiaa päätettiin tutkia muuttamalla mittausjännitettä suuremmaksi. Tulokset on esitetty kuvassa 33.



33A Hilaohjaimen U_2 lähtö mitattuna logic-mittausjännitteellä

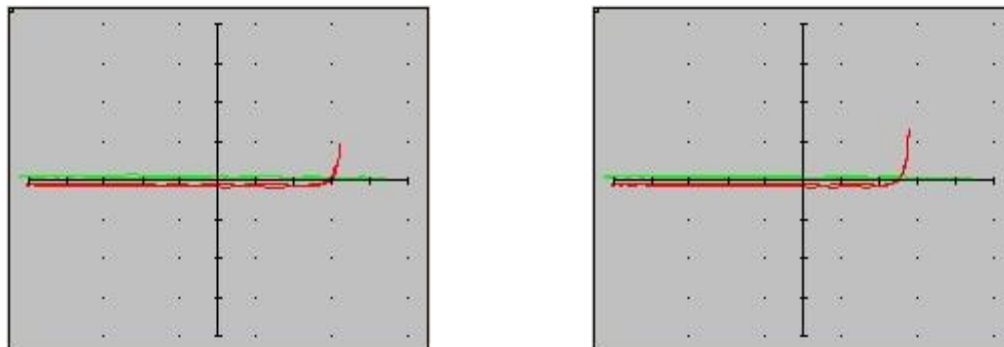
33B Hilaohjaimen U_3 lähtö mitattuna logic-mittausjännitteellä

Kuva 33. Hilaohjaimien U_2 ja U_3 lähtöjen ASA-mittaustulos on esitetty kuvissa 33A ja 33B, mitattuna logic-mittausjännitteellä ja low-mittaustaajuudella.

Kuvista 33A ja 33B nähdään, että myös lähdestä käyttöjännitteeseen olevat diodit ovat mitattavissa. Tuloksista voidaan kuitenkin päätellä diodien kynnsjännitteiden kasvaneen, eivätkä ne täten olleet mitattavissa matalammalla mittausjännitteellä. Tämä voisi viitata siihen, että hilaohjaimien U_2 ja U_3 lähdöt ovat altistuneet jonkinasteiselle vauriolle. Vaurio ei kuitenkaan ollut niin merkittävä kuin hilaohjaimessa U_1 , joka on muuttunut pieni-impedanssiseksi.

Koska hilaohjaimen U_1 lähtö oli selvästikin vaurioitunut, päätettiin komponenttia tutkia lähemmin, jolloin vioittuminen saadaan varmasti rajattua oikeaan komponenttiin. Hilaohjain irrotettiin piirilevystä, jonka jälkeen hilaohjaimen lähdölle suoritettiin ASA. ASA suoritettiin siten, että ensiksi mitattiin lähdön ja maapotentiaalın välinen diodi asettamalla negatiivinen mittajohdin hilaohjaimen lähtöön ja positiivinen mittajohdin mikropiiriin maapotentiaaliin. Tällöin diodia mitataan PFL780-mittalaitteen käyttöohjeen mukaisesti. Vastaava toistettiin käyttöjännitteen ja lähdön väliselle diodille, mutta negatiivinen mittajohdin asetettiin

mikropiirin käyttöjännitteeseen ja negatiivinen mittajohdin hilaohjaimen lähtöön. Mittauksessa käytettiin junction-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta. Mittaustulokset on esitetty kuvassa 34.



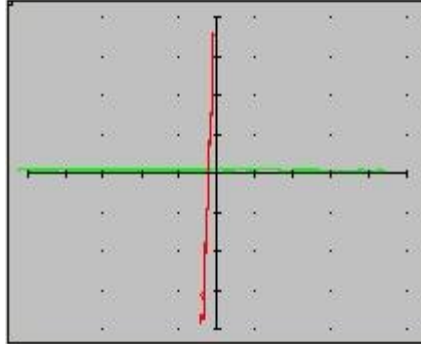
34A diodi hilaohjaimen lähdöstä käyttöjännitteeseen 34B diodi hilaohjaimen lähdöstä maapotentiaaliin
 Kuva 34. Kuvassa 34A on esitetty hilaohjaimen lähdöstä käyttöjännitteeseen oleva diodin ja kuvassa 34B on esitetty hilaohjaimen lähdöstä maapotentiaaliin oleva diodin ASA-mittaustulos. Mittaukset on tehty käyttämällä junction-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta.

Kuvista 34A ja 34B nähdään, että kummastakin mittauksesta saatiin tulokseksi diodia vastaavat kuvaajat. Kuvaajia verrattaessa voidaan kuitenkin havaita, että käyttöjännitteestä lähtöön mitatun diodin kynnysjännite on suurempi verrattuna maapotentiaalista lähtöön olevan diodin. Tämä ilmiö on vastaa myös havaintoa hilaohjaimien U_2 ja U_3 mittaustuloksista.

Hilaohjaimien $U_1 - U_3$ tapauksessa lähdöstä käyttöjännitteeseen suojaavan diodin kynnysjännitteet ovat kasvaneet verrattuna hilaohjaimiin $U_4 - U_7$. Varmaa syytä tälle ilmiölle ei voida määrittää. Kyseessä voi olla esimerkiksi valmistustoleransseista johtuvat erot. Tämä ei kuitenkaan ole todennäköistä, koska kynnysjännite oli kasvanut vain hilaohjaimissa, jotka olivat yhteydessä IGBT-moduulin vaurioituneisiin osiin. Täten todennäköisempi syy ilmiölle on diodien osittainen vaurioituminen, samassa yhteydessä, jossa myös IGBT-moduuli vaurioitui. Tällöin diodit eivät ole tuhoutuneet täysin, vaan niiden ominaisuudet ovat muuttuneet osittain. Ilmiötä kutsutaan sähköiseksi yllirasittumiseksi (englanniksi electrical over stress, jatkossa käytetään lyhennettä EOS) [36], [37] & [38].

Hilaohjaimen U_1 ollessa osana piirilevyä mitattiin sen lähtö pieni-impedanssiseksi. Kuitenkin lähdön mittaustulos muuttui, kun hilaohjain irrotettiin piirilevystä. Tämä viittaisi siihen, että varsinainen vika on jossain muussa komponentissa. Hypoteesi päätettiin varmistaa mit-

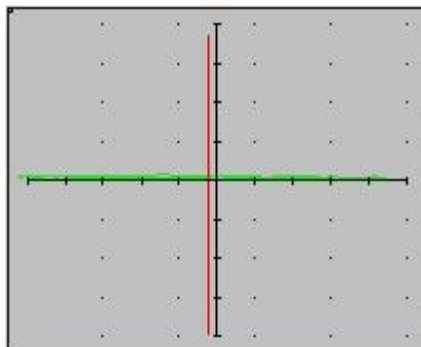
taamalla vastaava tulos piirilevyn johtimesta, joka on yhteydessä kyseisen hilaohjaimen lähtöön. Mittaus tehtiin logic-mittausjännitteellä ja low-mittaustaajuudella. Mittaustulos on esitetty kuvassa 35.



Kuva 35. Mittaustulos piirilevyn kuparijohtimesta, joka on yhteydessä hilaohjaimen U_1 lähtöön. Varsinainen hilaohjain oli irrotettu piirilevystä mittausta varten.

Kuvasta 35 voidaan havaita lähdön olevan edelleen erittäin pieni-impedanssinen ja vastaavan kuvaa 32A. Tästä voidaan päätellä vian olevan jossain muussa komponentissa, eikä hilaohjain U_1 vaikuttanut mittaustulokseen. Vaurioitunut komponentti on kuitenkin sähköisesti yhteydessä mitattuun solmupisteeseen.

Piirilevyä edelleen tutkimalla on havaittavissa, että solmupisteeseen on liitettyä TVS-diodi, suojaamaan IGBT:n hila-emitterijännitettä. Tämä komponentti irrotettiin piirilevystä ja sille suoritettiin ASA-mittaus. Mittaus tehtiin käyttämällä logic-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta. Positiivinen mittajohdin asetettiin TVS-diodin toiselle elektrodille ja negatiivinen mittajohdin toiselle elektrodille. Mittaustulos on esitetty kuvassa 36.



Kuva 36. Kuvassa on esitetty ASA-mittaustulos irrotetun TVS-diodin elektrodien välillä. Mittauksessa käytettiin logic-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta.

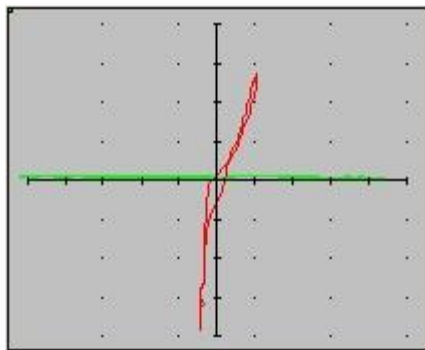
Kuvasta 36 on havaittavissa, että TVS-diodin mittaustulos on pieni-impedanssinen. Kyseinen TVS-diodi on Littlefusen valmistama SMBJ18CA, jonka ei pitäisi olla pieni-impedanssinen käytetyllä mittaajännitteellä [39]. Täten kyseessä on selvästikin vioittunut komponentti, joka aiheutti hilaohjaimen lähdön mittaustuloksen pieni-impedanssisuuden.

3.5 Omron HMI-paneeli

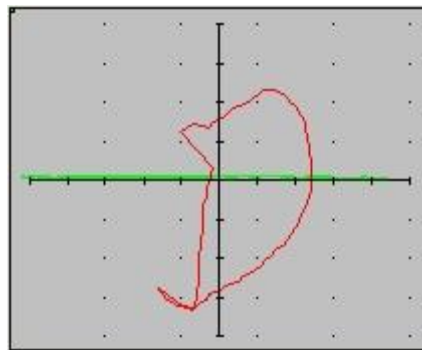
Toisena käytännön esimerkkinä oli Omronin valmistama NT600S-ST121-EV3 HMI-paneeli. Kyseinen HMI-paneeli saapui korjauspalveluun vikakuvakusella, ettei sarjakommunikointikaapelilla enää saanut yhteyttä paneeliin, vaikka se muuten toimi kuten ennenkin. Kokemuksemme perusteella tämän kaltaiset tilanteet useimmiten viittaisivat sarjakommunikointipiirin vaurioitumiseen.

Tässä tapauksessa kokeiltiin käyttää ASA:a varmistamaan alkuperäisen hypoteesin paikkaansa pitävyys. Tarkoituksena oli myös tutkia millaisia mittaustuloksia monimutkaisista sarjakommunikointipiireistä saadaan ja onko vian paikantaminen tällaisissa tapauksissa käytännöllistä. Mittauksia varten mitattiin kaikkien mikropiirin elektrodien ASA-mittaustulos. Mittaukset suoritettiin siten, että mikropiiri oli osana tuotteen piirilevyä. Mittalaitteen negatiivinen mittajohdin asetettiin mikropiirin maapotentiaaliin. Tämän jälkeen mittalaitteen positiivinen mittajohdin asetettiin mitattavaan elektrodiin ja mittaustulos tallennettiin. Kun kaikki elektrodit oli käyty läpi ja mittaustulokset oli tallennettu, mikropiiri irrotettiin ja korvattiin vastaavalla varaosalla. Tämän jälkeen mittaukset toistettiin ja mittaustuloksia verrattiin keskenään. Mittauksissa käytettiin logic-mittaajännitettä ja low-mittaustaajuutta. Tässä yhteydessä on esitetty mittaustulokset, joissa huomattiin eroavuuksia. Kokonaiset mittaustulokset ovat esitettynä liitteenä II.

Ensimmäinen muutos mittaustuloksissa havaittiin mikropiirin viidennessä elektrodissa, joka on varauspumpun toisen kondensaattori negatiivinen tulo. Mittaustulos on esitetty kuvassa 37.



37A Alkuperäisen mikropiirin viidennen elektrodin ASA-mittaustulos

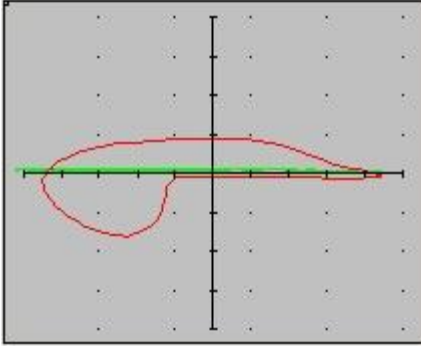


37B Vaihdetun mikropiirin viidennen elektrodin ASA-mittaustulos

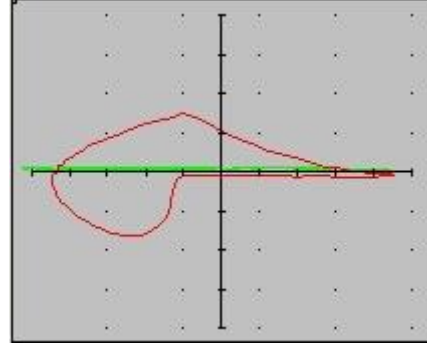
Kuva 37. Kuvassa 37A on esitetty alkuperäisen mikropiirin viidennen elektrodin ASA-mittaustulos. Kuvassa 37B on mittaustulos samasta elektrodista, kun mikropiiri on vaihdettu uuteen varaosaan. Mittauksissa käytettiin logic-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta.

Kuvasta 37A voidaan havaita, että alkuperäisestä mikropiiristä saatu mittaustulos on melko pieni-impedanssinen, koska kuvaaja on lähellä pystyakselia. Kuvaajassa on myös nähtävissä, että mittausjännitteen ollessa negatiivinen kuvaaja on jyrkempi eli pieni-impedanssimpi verrattuna tilanteeseen, jossa mittausjännite on positiivinen. Kuvassa 37B on esitetty ASA-mittaustulos varaosaksi käytetystä mikropiiristä, josta huomataan mittaustuloksen muuttuneen täysin. Mittaustulosta on erittäin vaikea tulkita, mutta siitä voisi esittää hypoteesin, että pyöreä muoto viittaisi taustateoriassa esitettyyn kapasitanssiin, jonka muotoa puolijohteet vääristävät. Varauspumput toimivat siten, että varaus latautuu kondensaattoriin kytkimien avulla, jolloin jännitettä voidaan kasvattaa tai muuttaa negatiiviseksi [40], [41] & [42]. Täten mittaustuloksien perusteella voitaisiin esittää hypoteesi, että kuvan 37A mikropiirissä nuo kytkimet ovat vaurioituneet ja johtavat täten jatkuvasti. Kuvassa 37B nuo kytkimet eivät johda, jolloin mittaustulokseen vaikuttaa suurimmaksi osaksi varauspumpun ulkoisen kondensaattorin kapasitanssi.

Toinen merkittävä muutos tapahtui mikropiirin seitsemännestä elektrodista, joka on toisen sarjakommunikointikanavan lähtö. Mittaustulos on esitetty kuvassa 38.



38A Alkuperäisen mikropiirin seitsemän elektro-
din ASA-mittaustulos

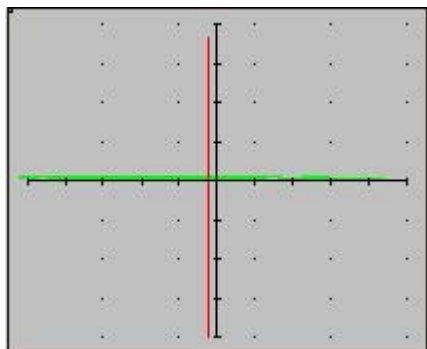


38B Varaosaksi valitun mikropiirin seitsemän
elektrodin ASA-mittaustulos

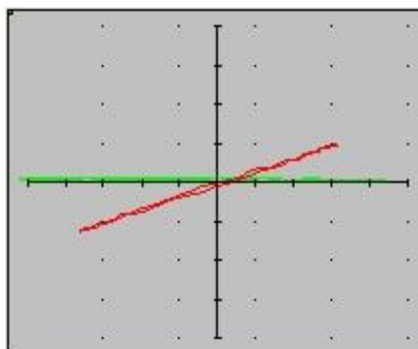
Kuva 38. Kuvassa 38A on esitetty alkuperäisen mikropiirin seitsemän elektro-
din ASA-mittaustulos. Kuvassa 38B on esitetty varaosaksi valitun mikropiirin seitsemän elektro-
din ASA-mittaustulos. Mittauksissa käytettiin logic-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta.

Kuvasta 38A nähdään, että tässä tapauksessa mittaustuloksien analysointi on vieläkin vaikeampaa. Kuvista on nähtävissä selvä muutos, mutta sen syntyperästä tai syystä ei voida saatavilla olevan tiedon perusteella esittää varmaa hypoteesia. Tämä johtuu siitä, että kyseisen mikropiirin datalehdessä ei löydy mitään tietoa, miten lähdöt on toteutettu. Tässä tapauksessa analyysi on ehkä parasta tehdä vertaamalla kaikkien kanavien lähtöjä keskenään. Nämä mittaustulokset on esitetty liitteessä II. Mittaustuloksista nähdään, että alkuperäisen mikropiirin lähtöjen mittaustulokset eivät vastaa toisiaan. Kun varaosa vaihdettiin ja mittaukset uusittiin, mikropiirin lähtöjen mittaustulokset vastaavat toisiaan. Mittaustuloksista voidaan myös päätellä, että nimenomaan alkuperäisen mikropiirin toisen kanavan lähtö oli vaurioitunut, koska ensimmäisen kanavan lähdön mittaustulos vastaa varaosan kummankin lähdön mittaustulosta. Täten voitaisiin päätellä, että alkuperäisessä mikropiirissä on ollut jokin vaurio, joka on muuttanut toisen lähdön mittaustulosta. Kuitenkin koska mikropiirin sisäistä kytkentää ei tunneta lainkaan, on mittaustuloksien analysointi tarkemmin vaikeaa.

Selvin muutos havaittiin kanavan 1 tulossa, joka on mikropiirin 13. elektrodi. Mittaustulos on esitetty kuvassa 39.



39A Alkuperäisen mikropiirin kanavan 1 tulo



39B Varaosana käytetyn mikropiirin kanavan 1 tulo

Kuva 39. Kuvassa 39A on esitetty alkuperäisen mikropiirin kanavan 1 tulon ASA-mittaustulos. Kuvassa 39B on esitetty ASA-mittaustulos samasta tulosta varaosaksi valitusta mikropiiristä. Mittauksissa käytettiin logic-mittausjännitettä ja low-mittaustaajuutta.

Kuvasta 39A on nähtävissä, että alkuperäisen mikropiirin kanavan 1 tulon ASA-mittaustulos on erittäin pieni-impedanssinen. Taustateoriassa esitettiin, että tuloimpedanssin pitäisi olla $3\text{ k}\Omega - 7\text{ k}\Omega$. Täten mittaustulos poikkeaa taustateoriasta huomattavasti ja mikropiirin tuloa voisi epäillä vaurioituneeksi. Kuvassa 39B on esitetty ASA-mittaustulos, kun tilalle on vaihdettu varaosa. Kuvasta nähdään, että tulo vastaa nyt kappaleessa 3.1 saatuja tuloksia resistanssien mittaamisesta. Tästä voidaan päätellä, että mikropiirin kanavan 1 tulo oli vaurioitunut ja ongelma saatiin korjattua vaihtamalla mikropiiri.

4. JOHTOPÄÄTÖKSET

Vastuksien mittaamisen yhteydessä pystyttiin arvioimaan resistanssin määrää kuvaajan kulmakertoimesta. Ongelmallista on kuitenkin se, ettei mittalaitteen ohjelmiston kuvaajissa ole minkäänkokoisia asteikoita, joten kyseessä on vaan arvio. Täten varsinaista resistanssin määrää voidaan arvioida vain vertailemalla kahta mittaustulosta toisiinsa. Täten mittalaite ei ole kovin tarkka mitattaessa resistanssia. Outoa tuloksissa oli myös, ettei kaikkia mitta-alueella mitattavissa olevia resistanssin arvoja pystytty tunnistamaan kuvaajista, koska ne muistuttivat erittäin paljon toisiaan tai avointa piiriä. Sama ilmiö havaittiin kondensaattoreiden yhteydessä. Kapasitanssin, ESR:n ja vaihesiirron määrää on mahdotonta määrittää tarkasti, koska ohjelmistossa ei ole mitään työkalua sen selvittämiseen. Käyrämuodosta voidaan kuitenkin saada estimaatti, kannattaako kyseistä komponenttia ruveta tutkimaan tarkemmin. Käyttöoppaan mukaan mittalaitteella voidaan mitata vain melko pieniä kapasitanssin arvoja. Taustateoriasta ja mittaustuloksista selvisi, että ASA-mittaustapa on validi kummankin suureen määrittämiseen. Tässä tapauksessa ohjelmiston puutteiden vuoksi tätä ei kyetty käytettyllä mittalaitteella suorittamaan, joten kannattaa käyttää jotain muuta mittalaitetta, jolloin saadaan tarkempia tuloksia.

Diodien tapauksessa tulokset olivat kaikista eniten johdonmukaisia verrattuna taustateoriaan. Ongelmaksi muodostui tässäkin tapauksessa asteikon puute mittalaitteen ohjelmistosta. Täten esimerkiksi zenerjännitettä tai kynnyksjännitettä ei pystytä määrittämään tarkasti. Yleismittarilla voitaisiin mitata diodien kynnyksjännite, joka samalla myös ilmaisisi diodin toimivan. Täten mittalaite soveltuu ainoastaan toteamaan, onko diodi mahdollisesti zenerdiodi. Tällaiseenkin tarkasteluun on kuitenkin olemassa jo kätevämpiä mittalaitteita, kuten esimerkiksi Peakin valmistama Atlas Zen [43]. Tämä mittalaite kertoisi diodityypin lisäksi myös tietoa sen kynnyksjännitteestä ja mahdollisesta zenerjännitteestä [43].

7400-sarjan logiikkapiirejä tutkiessa huomattiin, että kaikki mittaustulokset eivät olleet suoraan verrattavissa taustateoriassa esitettyihin oletuksiin. Näitä poikkeuksia tapahtui lähinnä mikropiireissä, joiden tuloissa sekä lähdöissä oli käytetty BJT:ita. Kaikissa tapauksissa kuitenkin huomattiin suuri ero mittaustuloksissa, kun porttia vaurioitettiin tahallisesti. Valitulla mittauskytkenällä ja – energialla portteja vaurioitettaessa ne muuttuivat pieni-impedanssiksi, jolloin niiden mittaustuloksista oli helppo päätellä portin olevan vaurioitunut.

V-Drive VDE-40007 -taajuusmuuttajan tapauksessa käyttämällä valittua mittatapaa pystyttiin hilaohjaimissa ja niiden yhteydessä olevista komponenteista havaitsemaan selviä vaurioita. Vaikka vikaa yritettiin etsiä hilaohjaimista, löydettiin samalla myös siihen liittyneestä solmupisteestä toinen viallinen komponentti, joka vaikutti mittaustulokseen. Vaikka mitattavasta komponentista ei pystytty selvittämään ennen mittauksia paljoakaan tietoa, pystyttiin mittaustuloksia vertaamaan toisiinsa sekä yksikön sisäisesti että toiseen korjattavaksi toimitettuun yksikköön. Täten voidaan päätellä, että valittua mittalaitetta ja mittaustekniikkaa pystytään hyödyntämään tehokkaasti tapauksissa, joissa korjattavaksi toimitetaan monta samanlaista yksikköä tai jos yksikössä on monta identtistä kanavaa. Tällöin mittaustuloksia voidaan helposti verrata toisiinsa ja etsiä mittaustuloksissa poikkeavuuksia. Oikosulkujen tapauksessa on vaikea päätellä, mikä solmupisteen komponenteista on vaurioitunut. Tällöin voidaan joutua irrottamaan ja mittaamaan useita eri komponentteja, jotka ovat yhteydessä kyseiseen solmupisteeseen.

Omron HMI-paneelin korjauksen yhteydessä havaittiin kolmessa mittauksessa selvä muutos. Viimeisessä mittaustuloksessa vaurio oli helposti havaittavissa, koska kanavan tulo oli selvästikin oikosulussa. Tämä mittaustulos vastasi myös 7400-sarjan logiikkapiireissä havaittua ilmiötä. Kahden aiemman mittauksen perusteella ei pelkästä vikaantuneen komponentin ASA-mittaustuloksesta olisi voinut päätellä komponentin olleen vaurioitunut, mikäli käyttäjälle olisi esitetty vain vaurioituneen komponentin mittaustulos. Tämä johtuu siitä, että taustamateriaalin puuttumisen vuoksi mitään varsinaisia hypoteesia toimivan komponentin mittaustuloksista ei pystytty esittämään. Näin monimutkaisten mikropiirien tapauksessa tarvitaan välttämättä jokin vertailukohde mittaustuloksille, jotta ne olisivat luotettavia. Kun ei tiedetä, mitä mitataan ja mitä mittaustulokseksi pitäisi saada, ei mittauksella todellisuudessa saavuteta mitään.

Saatujen tuloksien perusteella voidaan todeta, että PFL780-mittalaite ja ASA-mittatekniikka soveltuvat parhaiten korjauspalveluissa käytettäväksi puolijohdekomponenttien mittaamiseen tapauksissa, joissa korjattavaksi toimitetaan useita yksiköitä, joiden tuloksia voidaan verrata toisiinsa. Puolijohdekomponenttien yhteydessä varsinainen kuvaaja paljastaa mitattavasta kohteesta tarvittavan tiedon.

5. MAHDOLLISIA AIHEITA JATKOTUTKIMUKSELLE

PFL780-mittalaite on tehokas korjauspalveluissa, jos sitä käytetään oikein. Kuitenkin eri tilanteiden mittaaminen ja tulkitseminen saattaa olla niin hankalaa, että työntekijä ei mielellään käytä tätä mittaustapaa. Olemmekin yrityksessä alustavasti puhuneet, että käytämme tulevaisuudessa aikaa, tehdäksemme opaskirjan mittaussaitteen tai -tavan käytöstä. Tämä opaskirja sisältäisi ohjeet eri komponenttien mittaamiselle sekä kertoisi millaisia tuloksia oletetaan saatavaksi ehjistä ja vaurioituneista komponenteista. Tällöin varsinaista tietotaitoa ei tarvita niin paljoakaan, jolloin työkalun käyttäminen työpäivän aikana nopeutuu ja helpottuu. Näin säästämme kallisarvoista työaika yritykselle. Tämä asiakirja toteutuessaan jäisi yrityksen sisäiseen käyttöön, eikä täten sisälly tähän diplomityöhön.

Työn tuloksista huomattiin, että ESD:n ja ylijännitteiden aiheuttamat vauriot voivat olla monimutkaisia. Valitsemallamme mittaussaitteella mikropiirien portit vaurioituivat huomattavasti, jolloin ne olivat pieni-impedanssisia ja helposti havaittavissa. Käytännön tapauksissa huomattiin, että vaurio ESD:stä tai ylijännitteestä voi aiheuttaa myös puolijohteiden osittaista vaurioitumista. Tällöin mittaustulokset muuttuivat osittain. Toisaalta yhdessä käytännön esimerkin tapauksessa portti oli muuttunut pieni-impedanssiseksi, kuten 7400-sarjan loogikkapiirien tapauksessa, joka tukee tuloksien oikeellisuutta. Varsinaista vaurioitumista olisi tärkeää tutkia enemmän. Tarkoittaako mahdollisesti mittaustuloksien osittainen muuttuminen, että komponentti pitäisi vaihtaa, koska se tuhoutuu itsestään pian?

Joidenkin tutkimuksien mukaan mittalaite on käyttökelpoinen, koska eri piirilevyjen valmistuserien välillä esiintyy niin paljon poikkeavuuksia, että mittaustulokset eivät ole verrattavissa toisiinsa [44]. Tämä kuitenkin oli lähinnä käyttämällä hyväksy-hylkää -analyysia, jossa tietty prosentuaalinen eroavuus mittaustuloksessa aiheuttaa tuloksen hylkäämisen [44]. Yksi mahdollinen jatkotutkimuksen aihe voisi olla tutkia, miten eri valmistuserät, komponenttien revisiot, komponenttien valmistustoleranssit sekä eri komponenttivalmistajat vaikuttavat ASA-mittaustuloksiin.

6. YHTEENVETO

Tutkimuksen lähtökohtana oli korjauspalveluumme ostettu PFL780-mittalaite, jonka käyttö oli jäänyt työntekijöiden keskuudessa vähäiseksi. Tämä johtui mittalaitteen monimutkaisista mittaustuloksista ja vaikeakäyttöisyydestä. Tämän diplomityön tavoitteena oli tutkia voidaanko mittaustapaa käyttää korjauspalveluissa vianetsintään.

Diplomityön aluksi selvitetään taustateoria komponenttien toiminnalle ja esitetään johtopäätöksiä, millaisia mittaustuloksia ehjistä komponenteista saataisiin. Tämän jälkeen mitattiin empiirisesti tutkimukseen valittujen komponenttien ASA-mittaustuloksia. Tarkoituksena oli selvittää, vastaavatko taustateoria ja käytännönmittaukset toisiaan, sekä olivatko taustateoriassa esitetyt hypoteesit saatavista mittaustuloksista oikein. Tämän jälkeen osaa komponenteista vaurioitettiin tahallisesti ja tutkittiin mittaustuloksien muuttumista.

Mittaukset suoritettiin kytkemällä mitattavan kohteen käyttöjännite ja maapotentiaali oikosulkuun erillisellä johtimella. Tarkoituksena oli mallintaa käyttöjännitteessä olevaa kapasitanssia, jonka oletetaan esiintyvän mittalaitteelle oikosulkuna käytettävillä mittaustaajuuksilla. Komponentteja vaurioitettiin käyttämällä HBM-testiä. Ongelmana oli, ettei saatavilla ollut jännitelähdettä useille kilovolteille. Testiä pyrittiin jäljittelemään pitämällä testienergia samana, jolloin jännitettä pienennettiin ja kapasitanssia kasvatettiin. Resistanssia, jonka lävitse kondensaattoriin varautunut energia purkautuu testattavaan kohteeseen, pienennettiin, jolloin suurin mahdollinen huippuvirta on kummassakin testissä sama.

Työn tuloksena oli, ettei PFL780-mittalaite sovi tarkkoihin mittauksiin. Tämä johtuu mittalaitteen ohjelmistosta, koska siinä ei ole esitetty tarvittavia tietoja, joka helpottaisi numeroarvojen laskemista ja määrittämistä. Mittaustavalla näiden suureiden laskeminen on kuitenkin matemaattisesti mahdollista. Diodeista ja zenerdiodeista saatiin mitattua taustateoriassa esitettyjä oletuksia vastaavia mittaustuloksia, joilla oli helppo todeta komponentin ehjyys ja erottaa diodit zenerdiodeista. Vastaavanlaisia tuloksia saatiin myös 7400-sarjan logiikkapiirien yhteydessä. Kaikissa tapauksissa käytännön mittaustulokset eivät vastanneet taustateorian yhteydessä esitettyjä oletuksia. Tälle ei saatu määritettyä mitään varmaa syytä, mutta se todennäköisesti johtui komponenttien epäideaalisuuksista. Käytännön esimerkkien yhteydessä saatujen tuloksien tulkitseminen oli erittäin vaikeaa ja asiaa vaikeutti tiedon niukka

saatavuus. Kummassakin tapauksessa saatiin nopeutettua vian etsintää ja korjauksen suorittamista.

Työn johtopäätöksinä todettiin mittaustavan soveltuvan korjauspalveluiden käyttöön vian etsinnän helpottamiseksi. Laitteen käyttöön kuitenkin sisältyy erittäin paljon ongelmia, joista merkittävin on laitteen vaikeakäyttöisyys, ohjelmiston puutteet ja mittaustuloksien tulkinta. Mittaustuloksia on vaikea tulkita, koska kaikissa yhteyksissä ei voida olla varmoja, mitä mittaustuloksen pitäisi olla. Tällöin mittaustulos ei itsessään kerro mitään, ellei sitä voida verrata mihinkään. Täten mittalaite on kaikista tehokkain tilanteissa, joissa korjaukseen toimitetaan useita samanlaisia yksiköitä, jolloin mittaustuloksia voitaisiin verrata toisiinsa.

LÄHTEET

- [1] Polar Fault Locator, PFL Operator Manual, Polar Instruments Ltd, 1996.
- [2] Fundamentals of Signature Analysis, An In-depth Overview of Power-off Testing Using Analog Signature Analysis, Huntron Inc., 2009.
- [3] Fados9F1, Fault Detector & Oscilloscope 9 Features In 1 Device User Manual, ProT Ar-Ge Industrial Project Design R&D Ltd. Co.
- [4] Analog Signature Analysis as Troubleshooting Method, Curtis Smith, Huntron Inc., Saatavissa <http://www.circuitnet.com/news/uploads/1/Signature-Analysis.pdf> [viitattu 09.02.2016]
- [5] Aura, L. & Tonteri A. J., Sähkömiehen käsikirja 1, Teoreettinen sähkötekniikka, 1. painos, WSOY graafiset laitokset, Porvoo, 1986, ISBN: 951-0-13672-7.
- [6] Storey, N., Electronics, a systems approach, 4th edition, Pearson Educated Limited, Harlow, England, 2009, ISBN: 978-0-273-71918-2.
- [7] Application Guidelines for Aluminum Electrolytic Capacitors, Nichicon Corporation. Saatavissa <http://www.nichicon.co.jp/english/products/pdf/aluminum.pdf> [Viitattu 09.02.2016].
- [8] Reliability of Aluminum Electrolytic Capacitors, ELNA Co. Ltd., 2011, Saatavissa <http://www.mouser.com/pdfdocs/ELNAReliabilityAlumElecCaps.pdf> [Viitattu 09.02.2016].
- [9] Floyd, T., L., Electronic Devices, Electron Flow Version, 9th edition, Pearson Education Inc., New Jersey, United States of America, 2012, ISBN: 978-0-13-254-985-1.
- [10] Sedra, A., S. & Smith, K., Microelectronic Circuits, 6th edition, Oxford University Press, Oxford, England, 2010, ISBN: 978-0195323030.

[11] Designing with Logic, application note, Texas Instruments Incorporated, 1997, Saatavissa <http://www.ti.com/lit/an/sdya009c/sdya009c.pdf> [viitattu 11.02.2016].

[12] Logic Guide, Texas Instruments Incorporated, 2014, Saatavissa <http://www.ti.com/lit/sg/sdyu001aa/sdyu001aa.pdf> [viitattu 11.02.2016].

[13] SN5400, SN54LS00, SN54S00, SN7400, SN74LS00, SN74S00, Quadruple 2-input positive-NAND Gates, datasheet, Texas Instruments Incorporated, 1983, Saatavissa <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74ls00.pdf> [viitattu 11.02.2016].

[14] Lancaster, D., TTL Cookbook, SAMS A Division of Prentice Hall Computer Publishing, Indiana, United States of America, 1974, ISBN: 0-672-21035-5.

[15] SN54125, SN54126, SN54LS125A, SN54LS126A, SN74125, SN74126, SN74LS125A, SN74LS126A Quadruple Bus Buffers With 3-State Outputs, Datasheet, Texas Instruments Incorporated, 1983, Saatavissa <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74ls125a.pdf> [viitattu 12.02.2016]

[16] SN5403, SN54LS03, SN54S03, SN7403, SN74LS03, SN74S03, Quadruple 2-Input Positive-NAND Gates With Open-Collector Outputs, Datasheet, Texas Instruments Incorporated, 1983, Saatavissa <http://www.ti.com.cn/cn/lit/ds/symlink/sn74ls03.pdf> [viitattu 12.02.2016]

[17] SN54HC00, SN74HC00, Quadruple 2-Input Positive-NAND Gates, Datasheet, Texas Instruments Incorporated, 1982, Saatavissa <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/sn74hc00.pdf> [viitattu 12.02.2016]

[18] High-Speed-CMOS designs address noise and I/O levels, Application Note 375, Fairchild Semiconductor, 1984, Saatavissa <https://www.fairchildsemi.com/application-notes/AN/AN-375.pdf> [viitattu 12.02.2016]

- [19] CP10TD1-24A Low Power Switching Use Transfer Mold Type, Insulated Type, Application Note, Mitsubishi, 2005, Saatavissa http://www.glyn.de/data/glyn/media/doc/CP10TD1-24A_Tentative.pdf [viitattu 12.02.2016]
- [20] HCPL-3020/HCPL-0302 0.4 Amp Output Current IGBT Gate Drive Optocoupler, Data Sheet, Avago Technologies, 2006, Saatavissa <http://www.avagotech.com/docs/AV01-0367EN> [viitattu 12.02.2016]
- [21] Operation Manual, NT600S Programmable Terminal, Omron, 2002, Saatavissa http://www.fa.omron.com.cn/data_pdf/closed/mnu/v022-04_nt600s-st121%28b%29-ev_.pdf?id=151 [viitattu 13.02.2016]
- [22] MAX202 5-V Dual RS-232 Line Driver/Receiver With ± 15 kV ESD Protection, Texas Instruments, 2003, Saatavissa <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/max202.pdf> [viitattu 13.02.2016]
- [23] MF12, MF25 & MF50 Series, Metal Film Resistors, Datasheet, Multicomp, 2005, Saatavissa <http://www.farnell.com/datasheets/296761.pdf> [viitattu 13.02.2016]
- [24] Atlas ESR+, Equivalent series resistance meter, with audible Alerts, Model: ESR70, Product Brief, Peak Electronic Design Ltd., Saatavissa http://www.peakelec.co.uk/resources/esr70_datasheet_en.pdf [viitattu 14.02.2016]
- [25] Atlas ESR and ESR+, Capacitance and Equivalent Series Resistance Meter, Model ESR60/ESR70, User Guide, Peak Electronic Design Limited, 2004, Saatavissa http://www.peakelec.co.uk/resources/esr70_userguide_en.pdf [viitattu 14.02.2016]
- [26] Aluminum Electrolytic Capacitors, REA Series, Datasheet, Lelon, Saatavissa <http://www.lelon.com.tw/upload/prod/144668501478.pdf> [viitattu 14.02.2016]
- [27] Miniature Aluminum Electrolytic Capacitors, ZLJ Series, Datasheet, Rubycon, Saatavissa http://www.rubycon.co.jp/en/catalog/e_pdfs/aluminum/e_zlj.pdf [viitattu 14.02.2016]

- [28] 1N4148, Small Signal Fast Switching Diodes, Datasheet, Vishay Semiconductors, 2002, Saatavissa <http://www.vishay.com/docs/81857/1n4148.pdf> [viitattu 14.02.2016]
- [29] 1N4728A to 1N4764A Zener Diodes, Datasheet, Visha Semiconductors, 2014, Saatavissa <http://www.vishay.com/docs/85816/1n4728a.pdf> [viitattu 14.02.2016]
- [30] Luo, H., Kim, J., K. & Schubert, E., F., Human body model (HBM) for electrostatic discharge (ESD), saatavissa http://www.aeroelectric.com/Reference_Docs/ESD/Human%20body%20model%20and%20ESD.pdf [viitattu 21.02.2016]
- [31] Kelly, M., A., Servais, G., E., & Pfaffenbach, T., V., An Investigation of Human Body Electrostatic Discharge, Delco Electronics, Kokomo, Indiana, ISTFA 1993, The 19th International Symposium for Testing & Failure Analysis, Los Angeles, California, s. 167 – 173, November 1993
- [32] ESD Compliance Testing and Recommended Protection Circuits for GaAs Devices, Application Note, Skyworks Solutions Inc., 2008, saatavissa <http://www.skyworksinc.com/uploads/documents/200818B.pdf> [viitattu 21.02.2016]
- [33] System-Level ESD/EMI Protection Guide, Texas Instruments, 2012, saatavissa <http://www.ti.com/lit/sg/sszb130b/sszb130b.pdf> [viitattu 21.02.2016]
- [34] Cao, S., ESD Design Challenges and Strategies in Deeply-Scaled Integrated Circuits, Ph.D., Stanford University, 2012
- [35] Selecting an Appropriate ESD Device, Application Note, Littlefuse inc., 2009, Saatavissa https://www.digikey.com/Web%20Export/Supplier%20Content/Littelfuse_18/PDF/LF_SelectingESDDevice.pdf?redirected=1 [viitattu 21.02.2016]
- [36] Than, P., H., Uchida, K. & Nozaki, S., Effects of Electrical Stress on the InGaP/GaAs Heterojunction Phototransistor, IEEE transactions on device and materials reliability, VOL. 15, NO. 4, December 2015, s. 604 - 609

- [37] Saha, S., Celaya, J., R., Vaschenko, V., Mahiuddin, S. & Goebel, K., F., Accelerated Aging with Electrical Overstress and Prognostics for Power MOSFETs, saatavissa <http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20110014343.pdf> [viitattu 21.02.2016]
- [38] Abboud, N., Salame C., Khoury, A., Foucaran, A., Hoffmann, A. & Mialhe, P., Study for Electrical Quality Degradation of N-Channel VDMOSFET Transistor Induced by Electrical Stress, Advances in Computational Tools for Engineering Applications 2009, s. 142 - 145
- [39] Silicon Avalanche Diodes, 600W Surface Mount Transient Voltage Suppressors, SMBJ Series, Datasheet, Littlefuse, saatavissa <http://www.farnell.com/datasheets/13057.pdf> [viitattu 21.02.2016]
- [40] Richard, J-F. & Savaria, Y., High Voltage Charge Pump Using Standard CMOS Technology, NEWCAS 2004, The 2nd Annual IEEE Northeast Workshop on Circuits and Systems, 2004, s. 317 - 320
- [41] Gregoire, B., R., A Compact Switched-Capacitor Regulated Pump Power Supply, IEEE Journal of Solid-state Circuits, VOL. 41, NO. 8, August 2006, s. 1944 - 1953
- [42] Selecting Charge Pump Capacitors for Serial RS-232 Transceivers, Application Note ANI14, Sipex Corporation, 2006, saatavissa <https://www.exar.com/common/content/document.ashx?id=1278> [viitattu 21.02.2016]
- [43] Atlas ZEN, Zener Diode Analyser, Model ZEN50, User Guide, Peak Electronic Design Limited 2015, Saatavissa <http://www.peakelec.co.uk/resources/zen50-userguide-en.pdf> [viitattu 21.02.2016]
- [44] Kim, H., Park, P. & Shin, Y., Diagnostics on Electronic Control Cards in Power Plants by Analog Signature Analysis Method, IEEE, Control, Automation and Systems 2007, s. 2398 – 2401.

LIITE I

Tässä liitteessä on laskettu komponenttiarvot kytkentään, jota käytettiin 7400-sarjan logiikkapiirien vaurioittamiseen. Tyypillisesti tämän kaltaista testiä tehdessä käytetään esimerkiksi ESD-testilaitetta, jonka lähtöjännitettä voidaan säätää. ESD-testilaitteessa voidaan käyttää monen kaltaista kytkentää, joista yksi tyypillisistä on HBM. HBM:ssä jännite varastoidaan kondensaattoriin C_{HBM} , jonka kapasitanssi on 100 pF, joka mallintaa ihmiskehon kapasitanssia. Tähän kapasitanssiin varastoitu energia purkautuu 1.5 k Ω resistanssin lävitse testinalaiseen kohteeseen. Tyypillinen testijännite kyseiselle testille on joko 2 kV, 4 kV, 6 kV tai 8 kV. Tässä yhteydessä kyseistä testilaitetta ei ollut saatavilla, joten päädyttiin ratkaisuun, että jäljitellään 8 kV testiä vastaavaa energiaa. 8 kV testijännite valittiin, koska ajanpuutteen vuoksi oli mahdollisuus suorittaa vain yksi sarja kokeita, jolloin tahdottiin suurin mahdollisuus tuloksen aikaansaamiseksi. Komponenttien arvojen testikytkennälle on johdettu yhtälöstä (1), jolla voidaan laskea kondensaattoriin varastoitunut energia. [30], [31] & [32]

$$E = \frac{1}{2} CV^2 \quad (1)$$

jossa E on kondensaattoriin varautunut energia, C on kondensaattorin kapasitanssi ja U kondensaattorin jännite.

Jos merkitään HBM-testissä käytetty energia ja testikytkennän energia yhtä suuriksi, saadaan johdettua komponenteille arvot. Yhtälöiden ratkaisemiseksi on valittu testikytkennän jännitteeksi 60V, koska se on suurin mahdollinen jännite joka saadaan käytössä olevista laboratorioteholähteistä.

$$\frac{1}{2} C_{\text{HBM}} (U_{\text{HBM}})^2 = \frac{1}{2} C_{\text{TEST}} (U_{\text{TEST}})^2$$

$$\rightarrow C_{\text{HBM}} (U_{\text{HBM}})^2 = C_{\text{TEST}} (U_{\text{TEST}})^2$$

$$\rightarrow C_{\text{TEST}} = \frac{C_{\text{HBM}} (U_{\text{HBM}})^2}{(U_{\text{TEST}})^2}$$

→

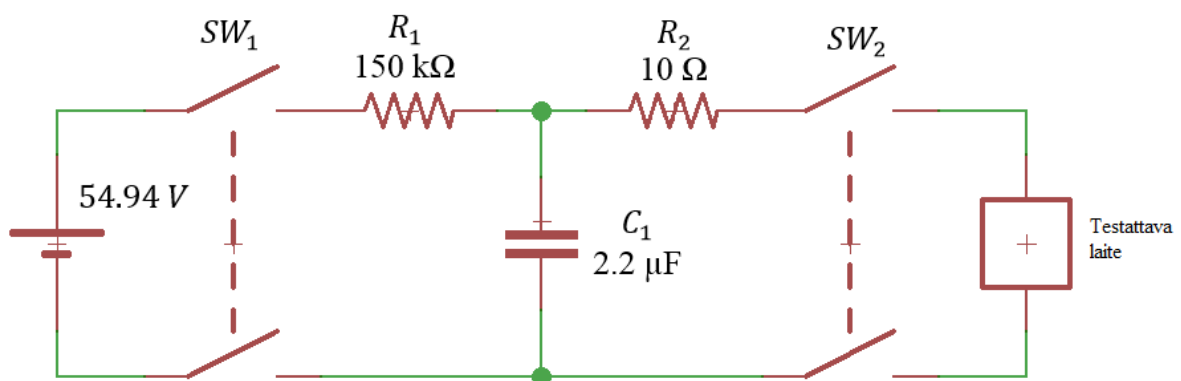
$$C_{\text{TEST}} = \frac{100\text{pF} \cdot 8\text{kV}^2}{60\text{V}^2}$$

$$C_{\text{TEST}} = 1.77\ \mu\text{F}$$

Lähin komponentti arvo kondensaattorille testin suorittamiseen riittävällä jännitekestolla oli 2.2 μF . Täten energian suuruus voidaan pitää vastaavana laskemalla testijännitettä. Täten testijännitteelle voidaan laskea kapasitanssin tavoin yhtälöstä (1) arvoksi 54.94 V.

Vastaavasti resistanssi R_2 , jonka läpi kondensaattori purkautuu testilaitteeseen, voidaan ratkaista ohmin-laista. Jos jännite HBM:ssä on 8 kV ja resistanssi 1.5 k Ω , saadaan purkautuvan virran huippuarvoksi laskettua 5.33 A. Täten ohmin-laista saadaan ratkaistua testikytkentään resistanssiksi 10.1 Ω , jota lähinnä on 10 Ω vastus.

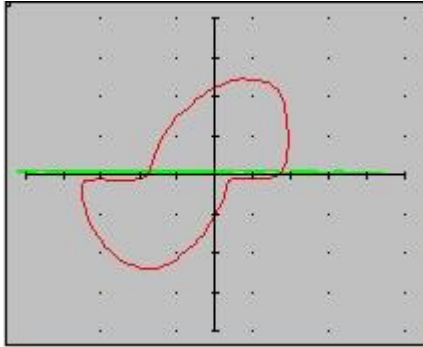
Resistanssilla R_1 , jonka rajoittaa kondensaattorin latausvirtaa, ei testin kannalta ole merkitystä, jos tarkastellaan kohteen vaurioitumista. Resistanssi laitettiin jännitelähteen ja ladattavan kondensaattorin väliin, jotta kondensaattorin lataus olisi hallittua. Täksi resistanssiksi valittiin 100 k Ω , jolloin kondensaattorin aikavakio olisi noin 220 ms, eli kondensaattori latautuisi lähes huippuarvoonsa noin sekunnissa. Tällöin testit ovat nopeasti suoritettavissa sekä kondensaattoria lataava virta olisi hallittua.



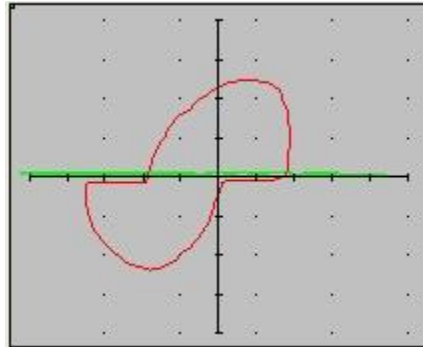
Kuva 40. Mittauskytkennän komponenttiarvot.

LIITE II

Tässä liitteessä on esitetty kaikki mittaustulokset liittyen Omron NT600S-sarjan HMI-paneeliin. Testin tarkoitus oli analysoida tuloksia joissa näkyi selvä ero. Täten tulokset, joissa eroa ei näkynyt, ovat esitetty vain tässä liitteessä. Oleelliset tulokset ovat analysoitu kappaleen 3.5 yhteydessä.

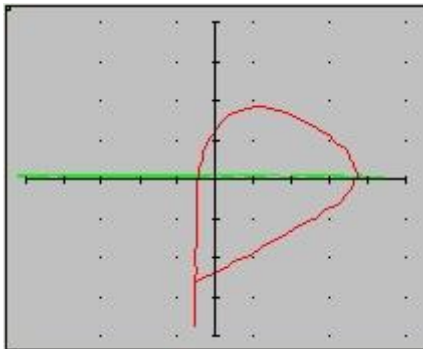


41A Alkuperäinen

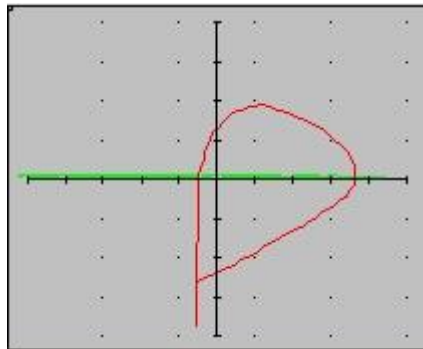


41B Korjauksen jälkeen

Kuva 41. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 1. elektrodista.

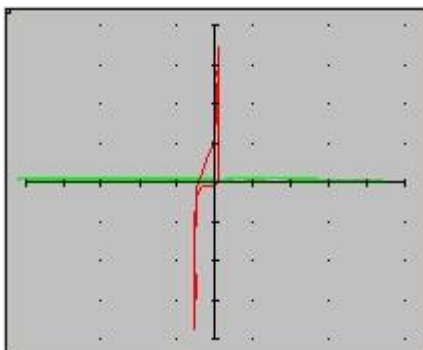


42A Alkuperäinen

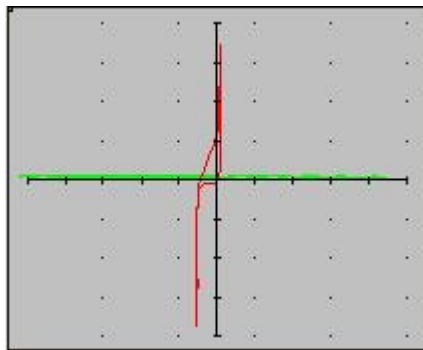


42B Korjauksen jälkeen

Kuva 42. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 2. elektrodista.

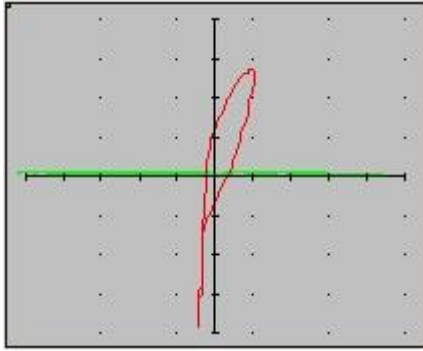


43A Alkuperäinen

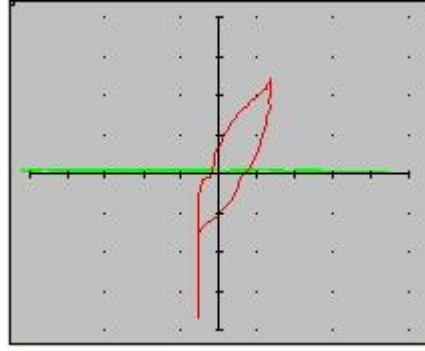


43B Korjauksen jälkeen

Kuva 43. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 3. elektrodista.

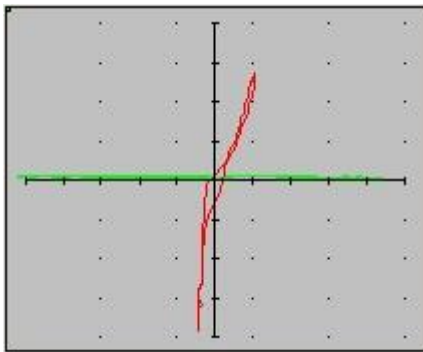


44A Alkuperäinen

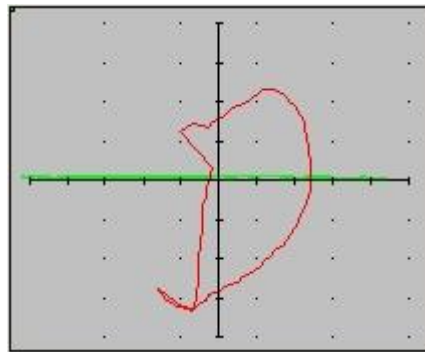


44B Korjauksen jälkeen

Kuva 44. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 4. elektrodista.

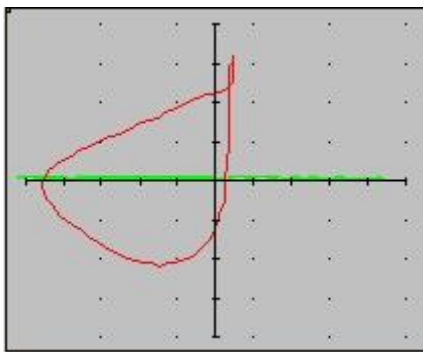


45A Alkuperäinen

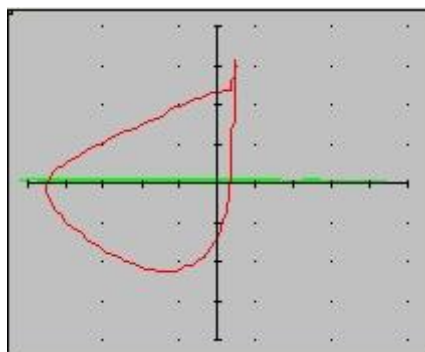


45B Korjauksen jälkeen

Kuva 45. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 5. elektrodista.

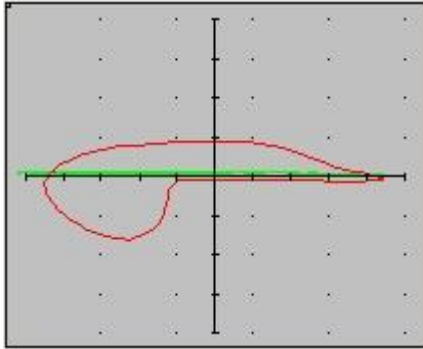


46A Alkuperäinen

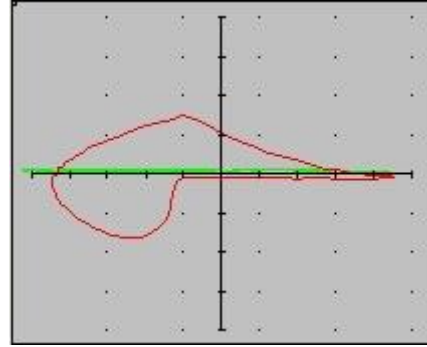


46B Korjauksen jälkeen

Kuva 46. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 6. elektrodista.

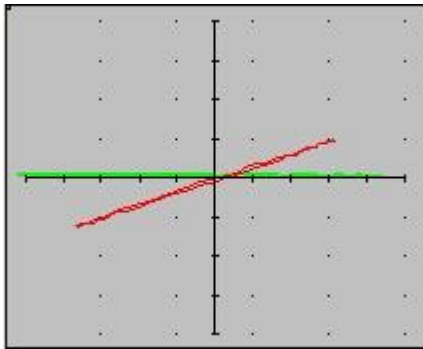


47A Alkuperäinen

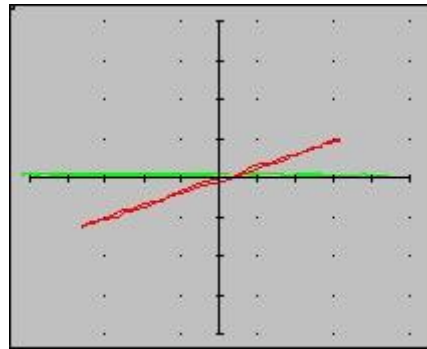


47B Korjauksen jälkeen

Kuva 47. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 7. elektrodista.

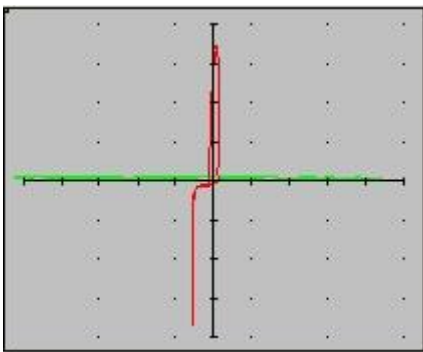


48A Alkuperäinen

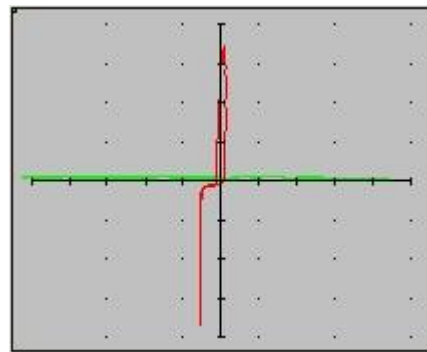


48B Korjauksen jälkeen

Kuva 48. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 8. elektrodista.

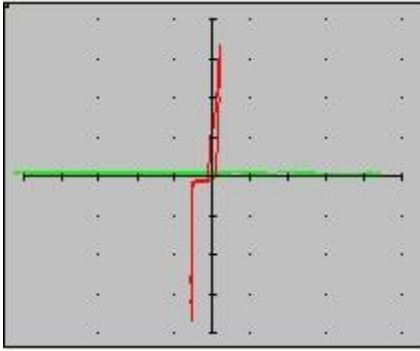


49A Alkuperäinen

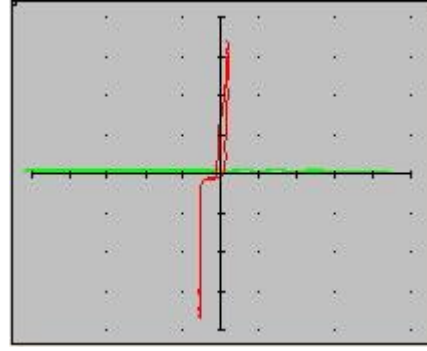


49B Korjauksen jälkeen

Kuva 49. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 9. elektrodista.

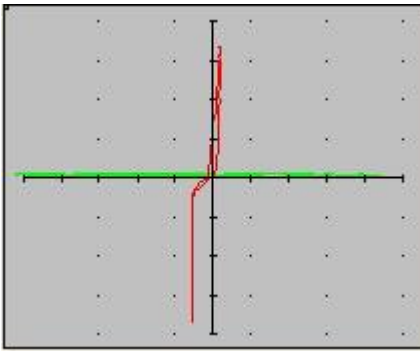


50A Alkuperäinen

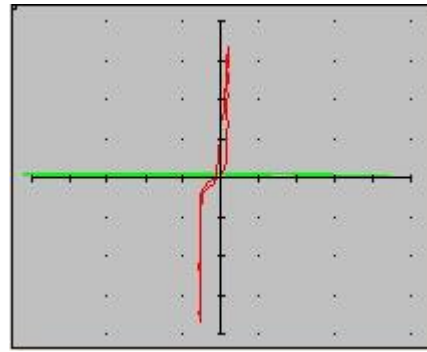


50B Korjauksen jälkeen

Kuva 50. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 10. elektrodista.

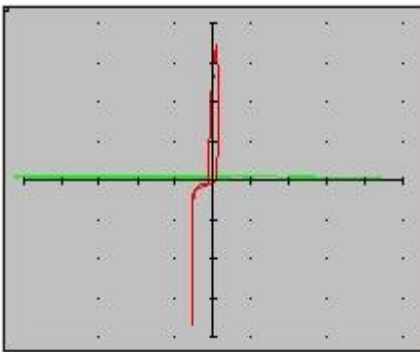


51A Alkuperäinen

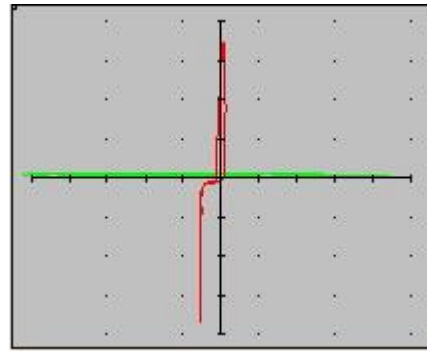


51B Korjauksen jälkeen

Kuva 51. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 11. elektrodista.

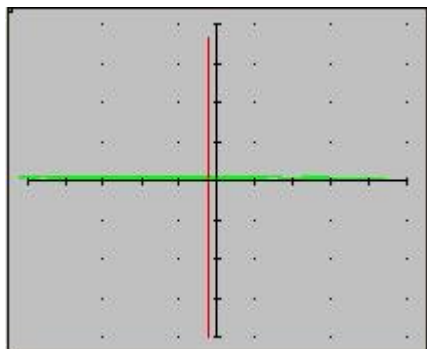


52A Alkuperäinen

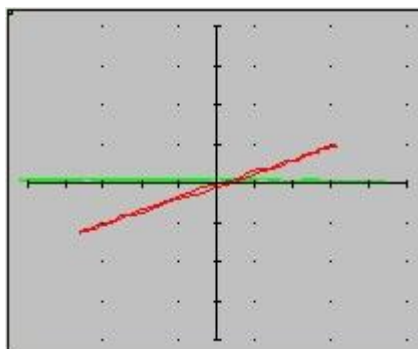


52B Korjauksen jälkeen

Kuva 52. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 12. elektrodista.

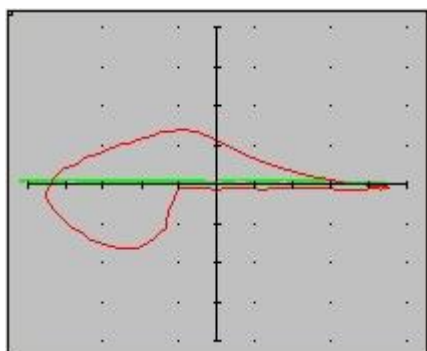


53A Alkuperäinen

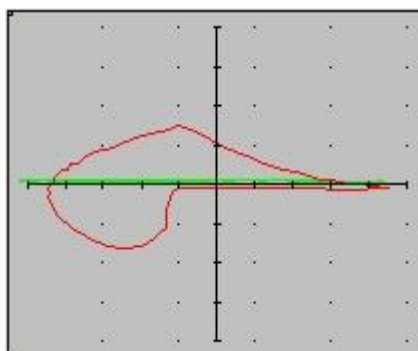


53B Korjauksen jälkeen

Kuva 53. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 13. elektrodista.

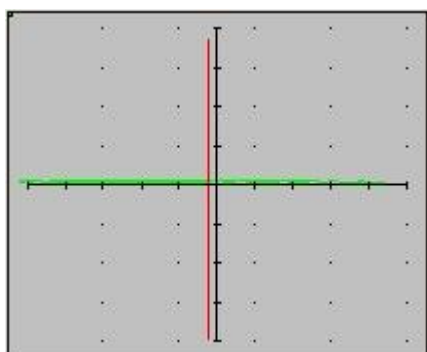


54A Alkuperäinen

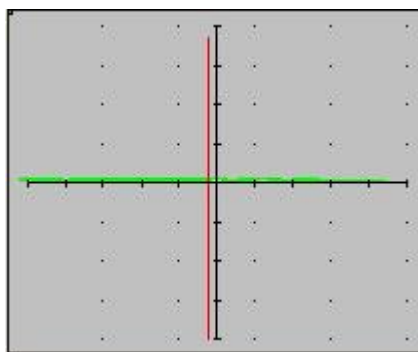


54B Korjauksen jälkeen

Kuva 54. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 14. elektrodista.



55A Alkuperäinen



55B Korjauksen jälkeen

Kuva 55. ASA-mittaustulos MAX202-mikropiirin 16. elektrodista.

Mikropiirin 15. elektrodi on jätetty mittaamatta, koska se on mikropiirin maapotentiaali. Täten mittajohtimet olisivat olleet oikosuljetut.