

Sami Keränen

ESD-laitteiston käyttöönotto

Insinööriyö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikka ja liikenne

Kone- ja tuotantotekniikka

Kevät 2009



**Kajaanin
ammattikorkeakoulu**

OPINNÄYTETYÖ TIIVISTELMÄ

Koulutusala Tekniikka ja liikenne	Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikka
Tekijä(t) Sami Keränen	
Työn nimi ESD-laitteiston käyttöönotto	
Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Elektroniikkatuotanto	Ohjaaja(t) Pekka Juntunen
	Toimeksiantaja Kajaanin AMK
Aika Kevät 2008 - Kevät 2009	Sivumäärä ja liitteet Sivuja 33 ja liitteitä 1
<p>Insinööriyössä tarkoituksena on ollut käyttöönottaa Kajaanin ammattikorkeakouluun vuosia sitten hankitut ESD-mittausvälineet. Päätaavoitteena on ollut luoda yhteinen laboratoriotyö tuleville kone- ja tuotantotekniikan sekä tietotekniikan insinööriopiskelijoille.</p> <p>Työn keskeisimpänä asiana on ollut laboratoriotyöohjeen suunnittelu ja valmistus. Työssä on suunniteltu ja suoritettu erilaisia resistiivisyys- ja staattisen sähkönvarauksen mittauksia. Mittauksia on suoritettu ESD-lattioille, ESD-työtasoille ja ESD-vaateille. Kaikille mittauskohdille on tehty 30 mittausta, joilla on varmistettu mittauksien luotettavuus.</p> <p>Lopputuloksena on laboratoriotyö, johon on poimittu johdonmukaisesti lattiaa koskevia tärkeitä mittauksia, sekä ESD-vaateiden tutkimista. Työssä on käynyt ilmi Kajaanin ammattikorkeakoulun ESD-lattioitten huono johtavuus. Tämä johtuu lattioiden hoitamattomuudesta. Lattioitten vaha on luultavasti ollut väärää ja lattian vahauksia on suoritettu liian vähän.</p>	
Kieli	Suomi
Asiasanat	Staattinen sähkö, resistanssi ja ESD-mittalaitteet
Säilytyspaikka	<input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun Kaktus-tietokanta <input checked="" type="checkbox"/> Kajaanin ammattikorkeakoulun kirjasto

School School of Engineering	Degree Programme Mechanical and Production Engineering
Author(s) Sami Keränen	
Title Initialization of ESD equipment	
Optional Professional Studies Electronic Production	Instructor(s) Mr Pekka Juntunen, Teacher
	Commissioned by Kajaani University of Applied Sciences
Date Spring 2008 - Spring 2009	Total Number of Pages and Appendices Pages 33 / Appendices 1
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was the initialization of ESD, or electrostatic discharge, measuring equipment, which was acquired a few years ago to the Kajaani University of Applied Sciences. The main objective was to create a laboratory work for the new students in the School of Engineering.</p> <p>The main issue in this thesis was to plan and create the instructions for the laboratory work. In the thesis a range of resistance and electrostatic discharge measurements were designed and made. The measurements were made on the ESD floors, ESD working surface and ESD clothes. Each measuring target was measured 30 times to ensure the reliability of the measurements.</p> <p>The result of the thesis is a laboratory work, in which the most important measurements of the floors and ESD clothes are picked. It turned out that the floors are in a poor condition. The reason for the poor condition of the floors is that the floors have not been taken care of.</p>	
Language of Thesis Finnish	
Keywords	electrostatic discharge, resistance and ESD equipment
Deposited at	<input checked="" type="checkbox"/> Kaktus Database at Kajaani University of Applied Sciences <input checked="" type="checkbox"/> Library of Kajaani University of Applied Sciences

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 YLEISTÄ STAATTISESTA SÄHKÖSTÄ	2
1.1 Staattinen sähkövaraus	2
1.2 Hankaussähkö eli kosketusvaraus	2
1.3 Induktiivinen varautuminen	3
3 SÄHKÖSTAATTINEN PURKAUS (ESD)	4
3.1 Kipinäpurkaus	4
3.2 Koronapurkaus	5
3.3 Huiskupurkaus	5
4 STAATTISEN SÄHKÖNPURKAUKSEN VAIKUTUS IHMISEEN	6
4.1 Staattisen sähkönpurkauksen vaikutus elektronisille komponenteille	6
4.2 Tyypilliset vikaantumismekanismit	8
4.2.1 Läpilyönti puolijohdemateriaalin (Bulk breakdown)	8
4.2.2 Läpilyönti PN-liitoksessa (Thermal secondary breakdown)	9
4.2.3 Pintaläpilyönti	10
4.2.4 Läpilyönti eristeessä	10
4.2.5 Metalloinnin sulaminen, elektromigraatio	11
4.3 Materiaalien luokittelu	11
5 TYÖN TOTEUTUS	13
5.1 Käytössä oleva mittauslaitteisto	13
5.2 Mittauskohteet	17
5.3 Standardit ja niiden vaatimukset	18
5.4 Mittaukset vaatteille	20
5.4.1 Pintaresistanssi (R_s , Surface resistance)	20
5.4.2 Läpimenoresistanssi (R_v , Volume resistance)	22
5.4.3 Resistanssi pisteestä pisteeseen (R_{pp} , Point to point resistance)	23

5.5 Mittaukset lattialle	25
5.5.1 Resistanssi maahan (Rtg, Resistance to ground)	25
5.5.2 Resistanssi pisteestä pisteeseen (Rpp, Point to point resistance)	26
5.5.3 Yhdistelmäresistanssin mittaus	27
5.5.4 Henkilövarauksen mittaus	28
5.6 Mittaukset työtasoille	29
5.6.1 Resistanssi maahan (Rtg, Resistance to ground)	29
5.6.2 Resistanssi pisteestä pisteeseen (Rpp, Point to point resistance)	30
6 LOPPUTULOSTEN TARKASTELU	31
7 YHTEENVETO	32
LÄHTEET	33
LIITTEET	

1 JOHDANTO

Staattinen sähkö on yksi vanhimmista tunnetuista ilmiöistä. Staattista sähköä eli hankaussähköä syntyy, kun kaksi eri ainetta olevaa kappaletta hankaavat toisiaan. Toiseen kappaleeseen siirtyy positiivinen ja toiseen negatiivinen varaus. Hankauksesta syntyvät jännitteet ovat hyvin suuria. Joskus hankaussähkö syntyy, kun kävelee portaita alas ja koskettaa muovikaidetta jatkuvasti. Kampaaminenkin synnyttää hankaussähköä. Ihmisen synnyttämän hankaussähkön purkaukset ovat niin lyhytaikaisia, etteivät ne ole esimerkiksi ihmiselle vaarallisia suuresta jännitteestä ja virrasta huolimatta.

Elektroniikan komponentit ovat herkempiä staattiselle sähkölle, joten pienikin staattisen sähkön purkaus (ESD) ja sähköstaattisen vetovoiman (ESA) aikaansaama pintojen kontaminoituminen voivat aiheuttaa komponenttien vikaantumisia tai toiminnallisia häiriöitä. Elektroniikkateollisuudessa staattista sähköä torjutaan ESD-suojauksella. ESD-suojauksessa mahdollisesti syntyvät staattiset varaukset johdetaan hallitusti maahan. Näin suuria varauksia ei pääse syntymään ja mahdollisesti syntyvät varaukset puretaan hallitusti.

Tämän insinööriyön tarkoituksena oli käyttöönottaa ESD-mittausvälineet sekä laatia niiden käytöstä yhtenäiset laboratorio-ohjeet Kajaanin ammattikorkeakoulun kone- ja tuotantotekniikan opiskelijoille sekä tietotekniikan opiskelijoille. Työssä tullaan tutustumaan staattisen sähkönpurkauksiin sekä yleisellä että tieteellisellä tasolla. Työssä tullaan huomaamaan, kuinka paljon ympärillämme onkaan staattista sähköä.

2 YLEISTÄ STAATTISESTA SÄHKÖSTÄ

1.1 Staattinen sähkövaraus

Staattista sähkövarausta syntyy kahden materiaalin hankautuessa vasten toisiaan. Tämän jälkeen, jos materiaalit erotetaan toisistaan, saa toinen materiaali positiivisen ja toinen negatiivisen varauksen. Varausten polariteetti määräytyy aineiden keskinäisestä sijainnista ns. triboelektrisessä sarjassa. [1.]

Erotettaessa nopeasti eristävät kappaleet toisistaan voi syntyä staattinen varaus, kuten kaksi muovikalvoa. Varaus muodostuu usein ilman kosketustakin vapautuneen esineen aiheuttaman sähkökentän indusoimana. [1.]

1.2 Hankaussähkö eli kosketusvaraus

Kahden kiinteän ja kahden nestemäisen tai kiinteän ja nestemäisen aineen rajapinnassa tapahtuu kosketusvarautumista. Kaasuissa tätä ei tapahdu, mutta kaasun sisältämät hiukkaset ja nestepisarat voivat varautua.

Triboelektrinen sarja (kuva 1) kertoo taipumuksesta varausten syntymiseen, kun sarjassa nimettyjä materiaaleja hangataan toisiinsa. Sarjan ylhäällä olevat materiaalit pyrkivät luovuttamaan elektroneja ja varautumaan positiivisesti. Sarjan alhaalla olevat materiaalit pyrkivät puolestaan vastaanottamaan elektroneja ja vapautumaan negatiivisesti. Ylempänä sarjassa oleva materiaali varautuu aina positiivisesti alempana olevaan nähden.[1.]

Varauksen suuruuteen vaikuttaa mm. aineiden keskinäinen sijainti triboelektrisessä sarjassa, hankauksen voimakkuus ja ilman suhteellinen kosteus. Mitä kauempana materiaalit ovat sarjassa toisistaan, sitä suurempi on syntyvä varaus. Voimakas hankaus nostaa varausten syntymästä, kun taas suuri ilmankosteus purkaa varauksia.[1.]

Positiivisesti varautuva + + +

Aine

ilma
 eläimen turkki
 villakangas
 lasi, kiille
 hiukset, nytoni
 villa, silkki
 alumiini
 paperi
 teräs
 kumi
 nikkeli
 kupari, messinki
 hopea, kulta
 platina ----> asetaattikuidut
 polyesteri, mylarkalvo
 selluloidi, polystyreeni, stroyox
 polyuretaani, vaahtomuovi
 polyeteeni
 polypropeeni
 PVC- muovi, polyvinyylidloridi
 silikonit
 tefloni
 silikonikumi
Negatiivisesti varautuva - - -

Kuva 1. Esimerkki triboelektrisestä sarjasta[3.]

1.3 Induktiivinen varautuminen

Varauksen syntyessä, ilman kosketusta, on kyseessä induktiivinen varautuminen. Kyseinen ilmiö tapahtuu, kun varautuneen kappaleen sähkökenttään tuodaan varaukseton kappale. Tällöin varaukseton kappale vetää puoleensa vastakkaismerkkistä varausta, jolloin kappale varautuu sähkökentän ansiosta.

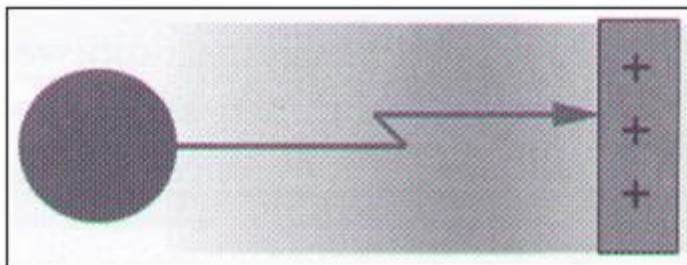
3 SÄHKÖSTAATTINEN PURKAUS (ESD)

Staattisen sähköpurkauksen määritelmä: ”Staattisen sähkövarauksen siirtyminen kahden kappaleen välillä, jotka ovat eri staattisessa potentiaalissa suoran kosketuksen seurauksena tai staattisen sähkökentän indusoimana.”[2.]

Ihmiskeho on hyvä johdin. Kun kehomme varautuu staattisella sähköllä ja kosketamme joltavaa esinettä, varaus siirtyy yhtenä tai useampana äkillisenä purkauksena kehosta esineeseen. Tämä ilmiö tunnetaan nimellä staattisen sähkön purkaus eli ESD. (ESD = Electrostatic Discharge)[1.]

3.1 Kipinäpurkaus

Kipinäpurkaus on ESD-muoto, (kuva2) jonka tunnusmerkkinä näemme pieniä kipinöitä kipinäpurkauksen tapahtuessa ihmisen sormenpään ja metallin välillä. Tämä tarkoittaa vaarallista purkausmuotoa tiloissa, joissa sijaitsee herkästi syttyviä nesteitä ja höyryjä. Purkaus tapahtuu myös erittäin nopeasti ja lähes kaikki varautunut energia vapautuu kerralla.



Kuva 2. Kipinäpurkaus [4.]

3.2 Koronapurkaus

Koronapurkaus (kuva 3) voi syntyä johteisiin, joissa on teräviä kohtia tai reunoja. Purkaus tapahtuu, kun maadoitettu johde siirtyy voimakkaasti varautunutta kappaletta kohti, purkauskanavia muodostuu kuitenkin kipinäpurkauksesta poiketen useita. Terävässä kärjessä olevan sähkökentän suuruus aiheuttaa purkauksen. Vapautuva energiamäärä ei yleensä ole riittävän suuri toimimaan sytytyslähteenä.



kuva 3. Koronapurkaus [4.]

3.3 Huiskupurkaus

Syntyy muodoltaan pyöreän johdekappaleen lähestyessä varautunutta johtamatonta kappaletta. Purkaus on kestoltaan lyhytaikainen, ja kipinäpurkauksesta poiketen varauksista vapautuu vain pieni osa, joten kappaleet jäävät eri potentiaaleihin myös purkauksen jälkeen. Vaarallinen purkausmuoto, koska vapautuva energia riittää sytyttämään palavia kaasuja ja höyryjä.

4 STAATTISEN SÄHKÖNPURKAUKSEN VAIKUTUS IHMISEEN

Staattisen sähkön purkaukset aiheuttamat kipinät eivät yleensä aiheuta ihmiselle suurta vaaraa, koska niiden energia on pieni. Staattisen sähkön purkauksen voi jännitteestä riippuen tuntea, kuulla tai nähdä.[1.]

Alla on esitetty ihmisen havainnoimat jänniterajat.

- Tunteminen vaatii noin 3000 V:n jännitteen.
- Kuuleminen vaatii noin 4000 V:n jännitteen.
- Näkeminen vaatii noin 5000 V:n jännitteen.[1.]

4.1 Staattisen sähkön purkauksen vaikutus elektronisille komponenteille

Nykyaikaiset elektroniikassa käytettävät komponentit ovat erittäin pienikokoisia, mikä altistaa komponentit entistä enemmän staattisen sähköpurkauksen aiheuttamiin vaurioihin. Rakenteet, joista komponentit nykypäivinä valmistetaan, on myös suuri syy vikaantumis-alttiudelle. Alla olevasta taulukosta (taulukko 1) huomataan, kuinka suuria eroja eri komponenttityypeillä on.

Taulukko 1. Komponenttien ylijännitekestoisuuksia. [1.]

Komponenttityyppi	Vioittumisjännite (V)
CMOS	250–3000
Schottky-TTL	1000–2500
ECL	500–1500
MOSFET	100–200
VMOS	30–1800
JFET	140–7000
GaAs -MESFET	100–300
Bipolaaritransistori	380–7000
Operaatiovahvistin	190–2500
EPROM	100–200
SCR	680–1000
Kalvovastus	300–3000

ESD:ssä siirtyvä sähkövaraus ei ole kovin suuri, mutta suuri jännite sekä purkauksen lyhyt kesto aika johtavat suuriin virrantiheyksiin ja sähkökentän voimakkuuksiin mikropiirien ohuissa johtimissa ja eristekerroksissa. Herkimmin ohuita oksidikerroksia vioittaa suuri jännite. MOS-teknologia on erityisen arka ylijännitteille. Nykyaikaiset integroidut piirit ovat toteutettu suurimmaksi osaksi MOS-teknologialla. MOS-teknologian suosio johtuu sen mahdollistamasta komponentin pienestä koosta. MOS-transistorin hilaoksidin paksuus on nykyisissä mikropiireissä luokkaa 10 nm. Komponenttien pienuus on ehtona nykyelektroniikan menestymiseen, joten MOS-teknologiaa on käytettävä, vaikka riski vioittumiselle on suurempi. [1.]

ESD-viat voidaan jakaa kahteen päätyyppiin sähköisen toiminnan kannalta.

- 1) Välittömät viat, jotka heti johtavat täydelliseen toimimattomuuteen tai komponentin selvään heikkenemiseen. Vika voidaan todeta komponentin tai komponenttilevyn toiminnallisella testauksella. [1.]

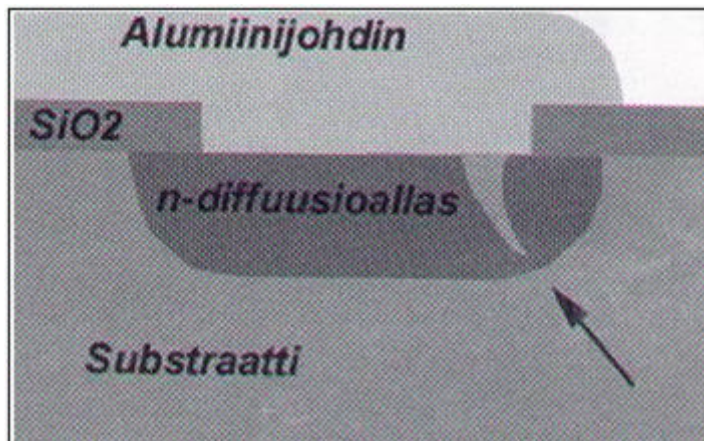
- 2) Piilevät viat, jotka eivät muuta komponentin välitöntä toimintaa ratkaisevasti, mutta vasta viikkojen tai kuukausien kuluttua komponentin toiminta muuttuu. Tämänäyttöiset viat ilmenevät esimerkiksi lievänä vuotovirtojen kasvuna tai jännitekestoisuuden alenemisena. [1.]

4.2 Tyypilliset vikaantumismekanismit

Elektroniset komponentit voivat vioittua monella eri tavalla. Pääasiassa kuitenkin vikaantuminen johtuu joko komponentin johtimien sulamisesta ja höyrystymisestä tai mikropiirien rakenteiden välisissä eristeissä tapahtuvista läpilyönneistä.

4.2.1 Läpilyönti puolijohdemateriaalin (Bulk breakdown)

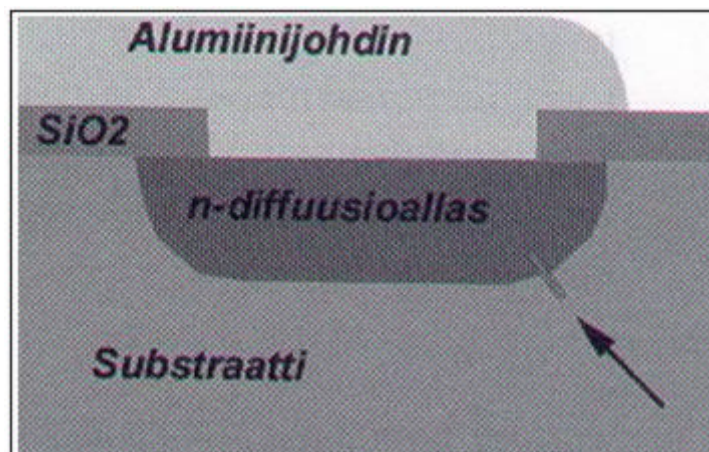
Läpilyönti puolijohhteessa (kuva 4) aiheuttaa virtatiheyden nousua, joka taas nostaa lämpötilaa. Läpilyönti aiheuttaa puolijohdemateriaalin lejeeroitumista ja metallin seostumista diffuusioaltaaseen. [4].



Kuva 4. Lämpilyönti puolijohdemateriaaliin[4.]

4.2.2 Lämpilyönti PN-liitoksessa (Thermal secondary breakdown)

Lämpilyönti PN-liitoksessa (kuva 5) syntyy, kun lämpötila kasvaa lämpilyöntikohdassa pulssin suuren virtatiheyden aiheuttamana. Lämmön siirtyvyys on hidasta verrattuna virtatiheyden nopeuteen. Lämpö ei ehdi siirtyä laajemmalle piiriin ja lämpilyönti tapahtuu. PN-liitoksessa tapahtuu resistiivistä vuotoa.[4].



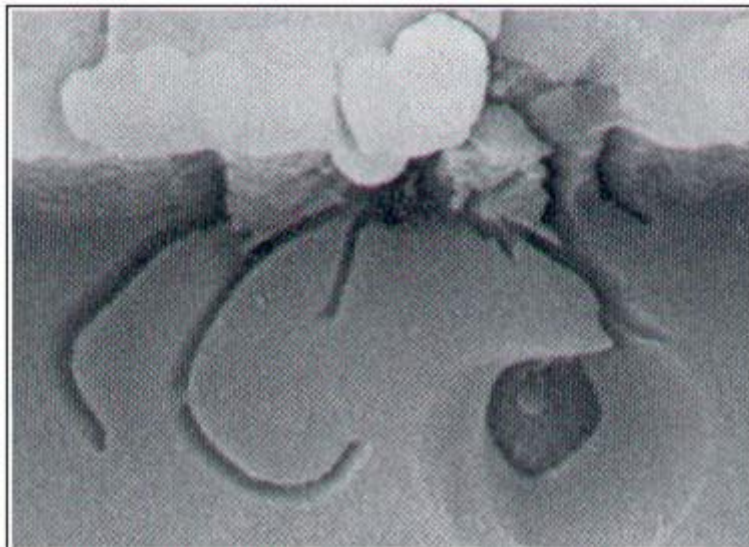
Kuva 5. Lämpilyönti PN-liitoksessa [4].

4.2.3 Pintaläpilyönti

Pintaläpilyönti on metallipintojen tai johteiden välinen läpilyönti, jossa metalli höyrystyy ja aikaansaa täten vuotovirran kasvua ja oikosulkuja. Se etenee tyypillisesti eristeen pinnalla liukupurkauksena.[4.]

4.2.4 Läpilyönti eristeessä

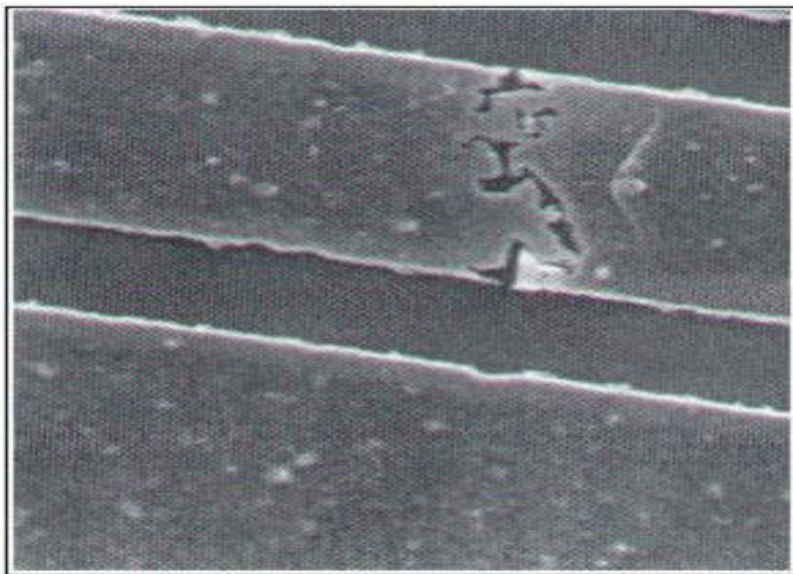
Läpilyönti eristeessä (kuva 6) ylijännitteen aiheuttamana voi sulattaa elektrodeina toimivia materiaaleja. Sulaessa syntyvä höyry kulkee oksidiin syntyneen reiän sisälle aiheuttaen oikosulun tai resistiivisen vuodon. Oksidikerroksessa voi tapahtua myös parametrimuutoksia.[4.]



Kuva 6. Läpilyönti oksidikerroksessa[4.]

4.2.5 Metalloinnin sulaminen, elektromigraatio

Elektromigraatio (kuva 7) on suuresta virrantiheydestä johtuvaa johtimen sulamista. Metallin siirtyminen elektromigraatiossa voi katkaista johtimen. Elektromigraation tunnistus voidaan todeta samalla periaatteella kuin sulakkeen katkeamisen tunnistus.[4.]



Kuva 7. Elektromigraatio[4.]

4.3 Materiaalien luokittelu

Materiaalit on hyvä luokitella niiden sähkönjohtavuuden mukaan. Tämän määrittelee standardi IEC 61340-5-1. Standardin mukaan materiaali jaetaan viiteen eri materiaaliluokkaan.

Heikosti varautuva materiaali

Heikosti varautuva materiaali, joka hangattaessa tai irrotettaessa saman tai toisenlaisesta materiaalista synnyttää hyvin vähän varauksia, ominaisuudella ei suoraa yhteyttä materiaalin pintaresistanssiin.

Staattiselta purkaukselta suojaava materiaali

Staattiselta purkaukselta suojaava materiaali, joka rajoittaa virran kulkua ja vaimentaa ESD-purkauksesta aiheutuvaa energiaa siten, että 1000 V:n henkilöpurkauksesta vapautuva energia on enintään 50 nJ.

Staattista sähköä johtava materiaali

Staattista sähköä johtava materiaali, jonka pintaresistanssi on välillä $1 \times 10^2 \Omega - 1 \times 10^5 \Omega$

Staattista sähköä poistava materiaali

Staattista sähköä poistava materiaali, jonka pintaresistanssi on välillä $1 \times 10^5 \Omega - 1 \times 10^{11} \Omega$

Eristävä materiaali

Eristävä materiaali, jonka pintaresistanssi on suurempi kuin $1 \times 10^{11} \Omega$

5 TYÖN TOTEUTUS

Tehtävänä oli luoda yhteinen laboratoriotyöharjoitus tuleville kone- ja tuotantotekniikan ja tietotekniikan opiskelijoille sekä käyttöönottaa käyttämättömänä olleet ESD-mittauslaitteet. Aloitin insinööriyön tutustumalla ESD-salkuissa oleviin mittalaitteisiin. Tutustuin niihin aluksi manuaalien lukemisella sekä internetistä löytämälläni tiedolla. Löysin useita eri mittausmahdollisuuksia, jotka ovat esiteltyinä myöhemmin työssä. Ryhdyin tekemään testauksia ja samalla opettelemaan laitteiston käyttöä.

Suunnittelin testit niin, että teen erinäisiä resistiivisyys- ja staattisen sähkönvarauksen mittauskohteita tietyille mittauskohteille. Näiden pohjalta loin sopivat mittaukset tuleville opiskelijoille laboratoriotyön muodossa.

5.1 Käytössä oleva mittauslaitteisto

Eristysvastusmittari

Mittari (kuva 8), jolla voidaan mitata kaikki EPA-alueen maadoitusmittaukset. Esimerkiksi pintaresistanssin, resistanssin maahan, resistanssin pisteestä pisteeseen yms.



Kuva 8. Eristysvastusmittari Megger BMM 2000 ESD

Mittauspunnus(H116BC)

Standardin (IEC 61340-5-1) mukainen rengasanturi (kuva 9), jonka pohjassa on johtava kumi. Anturin halkaisija on 63 mm ja se painaa 2,3 kg.



Kuva 9. Rengasanturi (Vermason H116BC)

Elektrostaattinen jännitemittari (Trek model 540)

Elektrostaattisella jännitemittarilla (kuva 10) voidaan mitata jännitteet +/- 100 V:iin asti. Mittari tallentaa mittauksen aikana esiintyneet positiiviset ja negatiiviset huippuarvot led-näyttö pylvääseen.



Kuva 10. Elektrostaattinen jännitemittari

Maadoituspiste

Mittauksista saadaan luotettavia liittämällä maadoituspiste pistorasiaan. Maadoituspisteeseen (kuva 11) liitetään sovitusaadapteri, johon kytketään eristysvastusmittarin miinusnavasta tuleva mittajohto. Mittaus on täten EPA-maadoitettu.



Kuva 11. Maadoituspiste

Maadoitusranneke ja sovitusadapteri

Maadoitusranneke (kuva 12) soveltuu moniin mittauksiin sekä suojauksiin. Rannekkeen avulla esimerkiksi ihminen maadoitetaan. ESD-mittauksissa sovitusadapteri on yleinen liitännämenetelmä, jota käytetään liittämään johdinpinnat toisiinsa.



Kuva 12. Maadoitusranneke ja sovitusadapteri

Maadoitushihna

Maadoitushihnalla (kuva 13) tehdään normaalikengistä johtavia kenkiä. EPA-alueella liikkuminen on kiellettyä ilman ESD-kenkiä tai maadoitushihnalle maadoitettuja kenkiä.



Kuva 13. Maadoitushihna

Mittajohdot ja muut oheistavarat

Mittajohtoja banaani liittimellä (kuva 14), hauenleukoja ja yms.



Kuva 14. Mittajohdot banaani liittimellä

5.2 Mittauskohteet

Mittauskohteiksi valitsin lattian, vaatteet ja työtasot. Mielestäni nämä ovat tärkeimpiä mitta-
uskohteita koulumme elektroniikkaluokissa, koska näillä mittauksilla voimme varmistaa
luokkiemme suojaustason sekä tarpeen vaatiessa tehdä korjauksia ja muutoksia.

5.3 Standardit ja niiden vaatimukset

Mittaukset tehdään kolmen alla mainittujen standardien antamien raja-arvojen sekä vaatimusten mukaan.

Standardi IEC 61340-4-1 (2000), ”Electrical resistance of floor coverings and installed floors”

Standardi IEC 61340-5-1 (2000).

Standardi IEC 61340-5-2 (2000).

Lattiatasoille sovelletaan standardia IEC 61340-4-1 ja IEC 61340-5-2

Standardin mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään maksimiarvo resistanssille maahan $\leq R_g \leq 1 \times 10^9 \Omega$. Suositeltu maadoitusresistanssi mittausjännitteellä 100 V on $> 1 \times 10^6 \Omega$. Mittausjännitteellä 10 V on suositeltu resistanssi $\leq 1 \times 10^6 \Omega$. Mittausaika on 15 ± 2 s.

Vaatteille sovelletaan standardia IEC 61340-5-1

Standardin mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään maksimiresistanssi pisteestä pisteeseen eli $\leq R_p \leq 1 \times 10^{12} \Omega$, jolloin purkautumisaika oltava alle 2 s. Suositusarvo ESD-vaatteelle 100 V:n mittausjännitteellä on kuitenkin alle $1 \times 10^{10} \Omega$. Käytettäessä 10 V:n mittausjännitettä resistanssiraja on $\leq 1 \times 10^5 \Omega$. Standardin mukaan mittauksessa tulee tehdä resistanssimittaus, jossa elektrodien välissä on yksi sauma.

Työtasoille sovelletaan standardia IEC 61340-5-1

Standardin mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään maksimiresistanssi pisteestä pisteeseen eli $1 \times 10^4 \leq R_p \leq 1 \times 10^{10} \Omega$. Standardin mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään maksimiarvo resistanssille maahan $7,5 \times 10^4 \leq R_g \leq 1 \times 10^9 \Omega$.

5.4 Mittaukset vaatteille

5.4.1 Pintaresistanssi (Rs, Surface resistance)

Mittauksessa tutkittiin ESD-vaatteen johtavuutta EPA-maadoituspisteeseen. Suoritin mittauksen standardin IEC 61340-5-1 mukaan. Standardi määrää, että mittauskohtia tulee olla vähintään kolme. Valitsin neljä mittauskohtaa ESD-vaatteesta. Standardin mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään alle 1000 G Ω resistanssi. Suositussyöäraja on kuitenkin 10 G Ω . Mittauskohdat on esitetty alla olevassa kuvassa 15. Pintaresistiivisyyden mittauksessa käytettiin rengasanturia sekä eristysvastusmittaria.



Kuva 15. Mittauskohdat

Mittauskohdat

- etukappaleesta ylhäältä
- takakappaleesta ylhäältä tai yksinkertaiselta kaarrokkeelta
- helmasta tai haalarin lahkeesta
- hihan yläosasta

Tulosten oikeellisuuden varmistamiseksi mittauksissa käytettiin ESD-työtasoja tai johtavia ESD-alustoja. Suoritin (kuvan 15) jokaisesta mittauskohdasta 30 mittausta, käyttäen kolmea eri takkia, jolloin tuloksista saadaan luotettavia.



Kuva 16. Pintaresistanssi ESD-vaatteesta

Pintaresistanssimittaus tehtiin myös normaaleille vaatteille. Vertailussa huomattiin ESD-vaatteiden ero normaaleihin vaatteisiin.



Kuva 17. Pintaresistanssi vaatteesta

5.4.2 Lämpimoresistanssi (R_v , Volume resistance)

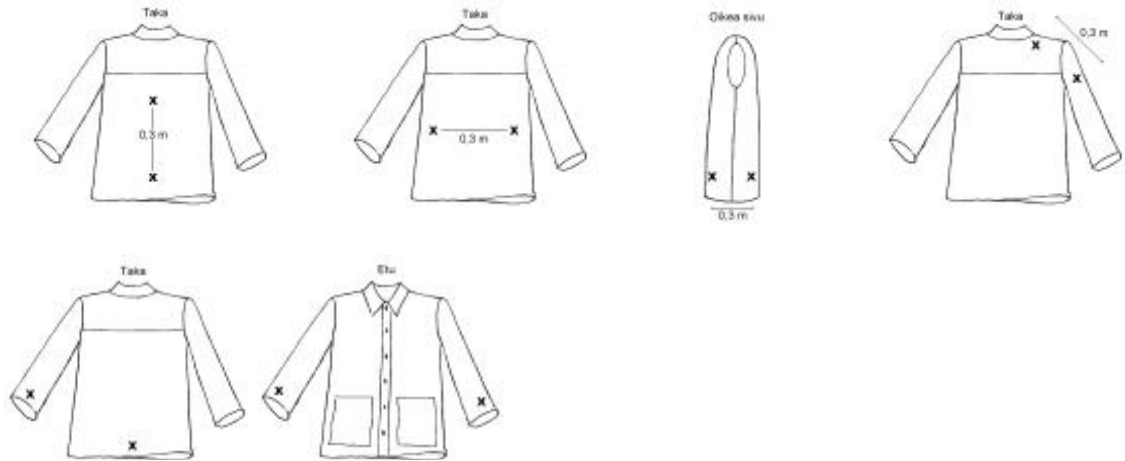
Mittaus tehtiin samoista mittauskohdista kuin pintaresistanssin mittaus. Mittauksessa käytettiin kahta rengasanturia. Mittauksessa tutkittiin ESD-vaatteen läpimenevää johtavuutta. Mittaukset toistettiin 30 kertaa kullekin mittauskohdalle. Standardin (IEC 61340-5-1) mukainen raja-arvo ei ylittynyt mittauksissa, joten mittauksia voidaan pitää luotettavina sekä onnistuneina.



Kuva 18. Lämpimoresistanssi ESD-vaatteesta

5.4.3 Resistanssi pisteestä pisteeseen (R_{pp}, Point to point resistance)

Mittauksessa tutkittiin ESD-vaatteen johtavuutta pisteestä pisteeseen. Mittaus suoritettiin kahta rengasanturia käyttäen kuudesta eri mittauskohdasta (kuva 19). Standardin (IEC 61340-5-1) mukainen vaatimus oli 5 mittauskohtaa ja mittaus oli suoritettava vähintään yhden saumakohdan yli.



Kuva 19. Mittauskohdat pisteestä pisteeseen

Mittauskohdat

- takakappaleesta kankaan pystysuuntaan
- takakappaleesta kankaan vaakasuuntaan
- sivusauman yli kainalosta
- olkasauman yli
- hihasta helmaan tai haalarin vastakkaiseen lahkeeseen
- hihasta hihaan

Mittauksessa tuli ottaa huomioon, että neljässä ensimmäisessä mittauskohdassa on antureitten välinen matka oltava minimissään 30 cm. Kaikissa mittauksissa käytettiin kolmea eri ESD-vaatetta ja jokaisesta mittauskohdasta suoritettiin 30 mittausta.



Kuva 20. Resistanssi pisteestä pisteeseen ESD-vaatteesta

Vertailumittauksissa samoja mittauskohtia mitattiin myös normaalivaatteella mutta mittaustulokset osoittautuivat taas selkeiksi ja mittauksia ei näin ollen tehty normaalia 30 kertaa.



Kuva 21. Resistanssi pisteestä pisteeseen vaatteesta

5.5 Mittaukset lattialle

5.5.1 Resistanssi maahan (Rtg, Resistance to ground)

Mittauksessa haluttiin saada selville lattian johtavuutta EPA-maadoituspisteeseen. Mittaus suoritettiin jälleen rengasanturia käyttäen, koska standardien (IEC 61340-4-1 ja IEC 61340-5-2) mukaista anturia ei ole käytettävissä. Standardin mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään alle 1 G Ω :n resistanssit. Suositeltava maadoitusresistanssi on 100 M Ω . Mittauskohtien määrät määräytyivät lattian koon mukaan. Mittauspisteiden määrän tuli olla yksi mittaus / 20 m² tai vähintään kymmenen mittausta alle 120 m² kohteissa. Yli 1000 m² kohteissa mittauksia suoritetaan yksi mittaus / 40 m². Maadoituspisteenä tuli käyttää ensisijaisesti EPA-maapistettä.



Kuva 22. Resistanssi maahan ESD-lattiasta

5.5.2 Resistanssi pisteestä pisteeseen (R_{pp}, Point to point resistance)

Mittauksen tarkoituksena oli tutkia lattian johtavuutta kahden mittauspisteen välillä, mikä antaa tiedon lattian nykykunnosta ja mahdollisista lattian hoitotarpeista. Mittaus suoritettiin samojen standardien (IEC 61340-4-1 ja IEC 61340-5-2) mukaan. Standardin mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään alle 1 G Ω resistanssit. Suositus resistanssi pisteestä pisteeseen on 100 M Ω . Lattiamaton saumakohdat oli huomioitava mittauksissa. Antureitten kosketinpintojen likaisuus vaikutti mittaus tuloksiin. Joten huomioitavaa oli muistaa pyyhkiä kosketinpinnat tietyn väliajoin nukkaantumattomalla liinalla. Mittauskohtina oli koko ESD-lattia skaala.



Kuva 23. Resistanssi pisteestä pisteeseen ESD-lattia

5.5.3 Yhdistelmäresistanssin mittaus

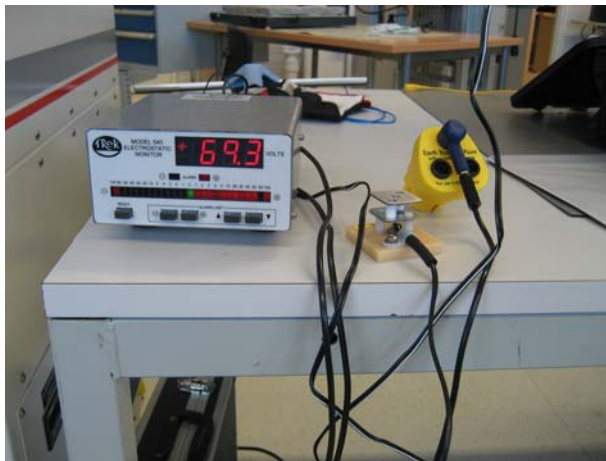
Mittauksessa haluttiin saada selville, että ESD-suojattu alue on todellakin ESD-suojattu. Resistanssi, joka saa esiintyä ESD-suojatulla alueella on $750\text{ K}\Omega$ - $35\text{ M}\Omega$. Mittausjännitteenä käytettiin 100 V. Mikäli maksimiresistanssin ($35\text{ M}\Omega$) raja ylittyi, oli etsittävä syy resistanssin kasvuun. Mittauksessa mitattiin henkilön ja lattian yhdessä muodostamaa resistanssia. Yhdistin mittaukseen myös ESD-tuolien johtavuuden mittauksen sekä työtasojen että vaunujen resistanssin mittaamisen. Mittaus tapahtui liittämällä eristysvastusmittari EPA-maahan sekä maadoitusranneke mitattavan henkilön käteen. Mittausaika oli 15 ± 2 sekuntia.



Kuva 24. Yhdistelmäresistanssin mittaus ESD-suojatussa tilassa

5.5.4 Henkilövarauksen mittaus

Mittauksen tarkoituksena oli mitata ihmisen kehon muodostamaa jännitettä ESD-lattialla liikkuesssa. Mittauksessa käytettiin elektrostaattista jännitemittaria, maadoituspistettä ja varauslevyä. Standardin mukaisessa mittauksessa käytetään varauslevyn sijasta maadoitusranneketta, mutta varauslevy soveltui paremmin kyseiseen käyttötarkoitukseen. Suunnittelin 12 erilaista mittausta, jotka toistetaan kolme kertaa. Standardin vaatimuksena on että jännite ei saa nousta ± 100 V:a korkeammaksi missään tilanteessa.



Kuva 25. Henkilönvarautuminen ESD-lattialla

5.6 Mittaukset työtasolle

5.6.1 Resistanssi maahan (Rtg, Resistance to ground)

Mittauksessa tutkittiin työtasojen johtavuutta EPA-maadoituspisteeseen. Standardin (IEC 61340-5-1) mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään maksimissaan 1 G Ω resistanssi maahan ja mittaukselle on myös määritetty 750 K Ω alaraja. Standardin mukaisesti mittausvälineenä käytettiin rengasanturia sekä eristysvastusmittaria. Mittaus suoritettiin jokaisesta työpisteestä useasta erikohdasta.



Kuva 26. Resistanssi ESD-työtasosta maahan

5.6.2 Resistanssi pisteestä pisteeseen (R_{pp}, Point to point resistance)

Mittauksessa tutkittiin työtason johtavuutta pisteestä pisteeseen. Standardin (IEC 61340-5-1) mukaan 100 V:n mittausjännitteellä hyväksytään maksimissaan 10 G Ω resistanssi maahan ja mittauksen alaraja oli 10 K Ω . Mittausvälineenä oli kaksi rengasanturia sekä eristysmittari.



Kuva 27. Resistanssi pisteestä pisteeseen työtasolta

6 LOPPUTULOSTEN TARKASTELU

Työn tavoitteena oli ottaa käyttöön vuosia sitten ammattikorkeakoululle hankitut, käyttämättöminä olleet staattisen sähkön mittaukseen tarkoitetut mittalaitteet. Tehtävänä oli myös suunnitella yhteinen laboratoriotyö tuleville kone- ja tuotantotekniikan sekä tietotekniikan opiskelijoille.

Löysin erinäisten lähteiden perusteella paljon mittauksia. Suoritin elektroniikkalaboratoriossa kaikki mittaukset, joista valikoin tärkeimmät ja luotettavimmat mittaukset. Suorittamistani mittauksista ei ole dokumentoituja tuloksia, koska työssä ei haluttu sinällään tutkia lattioitten nykykuntoa eikä laboratorion EPA-maadoitusta. Koulun toinen elektroniikkaluokka vaatisi ESD-lattian, että testejä voitaisiin suorittaa siellä. Niinpä myös tietotekniikan opiskelijat suorittavat laboratoriotyön alakerran elektroniikkalaboratoriossa.

Käytin testeissä 30:n mittauksen menetelmää, jolla mittaustuloksista saadaan luotettavia. Tällä menetelmällä saadaan selville mittaustulosten keskihajonta ja sitä kautta oikeat tulokset. Vertasin yllä olevilla vaatteilla samoja mittauksia, joita tein ESD-vaatteille. Näistä mittauksista sain täysin eristäviä tuloksia tai mittarin asteikko oli riittämätön. Mittauksissa esiintyi ongelmia, jotka haittasivat mittauksien suunnittelemista. ESD-lattiat ovat päässeet repsahtamaan tosi huonoon kuntoon. Mittaustulokset heittelevät erittäin paljon sekä standardin määrittämät maksimiarvot ylittyvät lähes poikkeuksetta. Tästä syystä standardien vaihtoehtoista 10 V:n jännitettä ei voinut käyttää. Rengasanturin pohjassa oleva johtava kumi irtosi mittauksen aikana, mikä myös vaikuttaa mittaustuloksiin. Työssä tarvitaan molempia rengasantureita, joten ennen kuin laboratoriotyöt alkavat, on pohjassa oleva kumi liimattava johtavalla liimalla rengasanturiin kiinni. Yritin laittaa kyseistä kumia johtavalla teipillä kiinni mutta sen tarttuvuus ei ollut tarpeeksi riittävä.

Lopputuloksena on laboratoriotyö, johon on poimittu johdonmukaisesti lattiaa koskevia tärkeitä mittauksia sekä ESD-vaateiden tutkimista. Laboratoriotyöohje löytyy liitteenä 1.

7 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ja toteutettiin laboratoriotyö. Työn suurimpana haasteellisuutena pitäisin lähdemateriaalin vähyyttä. Kirjallisuudesta löysin yhden suomenkielisen aihetta käsittelevän painoksen. Suomessa myydään opuksia mutta tätä työtä varten ei ollut siihen varattua optiota. Sain kuitenkin poimittua ripotellen hyvän kokonaisuuden, jolla mielestäni voidaan laboratoriotyö tulevaisuudessa tehdä.

Normaali laboratoriotyöhön verrattuna ESD-laitteilla ei voi suorittaa yhtä johdonmukaista ja konemaista laboratoriotyötä. Tämä johtuu mitattavasta elementistä eli resistanssit vaihtelevat toisin kuin koneen käytön ohjeistaminen ei muutu. ESD-mittalaitteet sopisivat paremmin tutkijan työkaluiksi mutta soveltuvat laboratoriotyöksi auttamalla tulevia tutkijoita saamaan kuvan ESD-tiloissa esiintyvistä resistansseista sekä staattisen sähköän muodostumisesta. Laboratoriotyötä voidaan tulevaisuudessa muokata, mikäli siihen halutaan erilaisia mittauksia mukaan. Työssä esitetyt työtasojen mittaukset olisivat hyvä lisä, jos laboratoriotöissä olisi enemmän aikaa.

Työ oli mielestäni haasteellinen suunnitella, koska työ oli erilainen kuin normaali koneenkäyttöön liittyvän laboratoriotyön kulku. Työssä joutui tutkimaan asioita käytännössä, joka auttoi rakentamaan toimivan kokonaisuuden. Työssä huomioitavaa oli myös lattioiden huono kunto. Tulevaisuudessa lattioille on luotava hoitosuunnitelma jos halutaan ESD-lattioiden lattioiden huono toimivan ESD-lattioiden tavoin.

LÄHTEET

- 1 Ekberg Arne, Konttinen Arto, Korpipää Ari, Mattila Reijo. ESD-opas. [WWW-dokumentti], luettu 13.3.2008
[http://elektroniikka.turkuamk.fi/7050077/tuote06 /tuote06htm](http://elektroniikka.turkuamk.fi/7050077/tuote06/tuote06htm)
- 2 Kuisma, M. Staattisen sähkö ja staattisen sähkö purkaus, ESD. [WWW-dokumentti], luettu 25.3.2008
<http://www.ee.lut.fi/fi/opi/kurssit/Sa2920200/L4-esdweb.pdf>
- 3 Vierinen Kari. ESD (Electro Static Discharge).[WWW-dokumentti], luettu 26.3.2008
<http://users.evtek.fi/~karisv/mst2005/esd.htm>
- 4 Viheriäkoski Toni. ESD: Staattinen sähkö elektroniikassa. Helsinki: Oy Edita Ab, 2001.
- 5 SFS-Käsikirja 153. Staattisen sähkönhallinta elektroniikkateollisuudessa. Helsinki: Kyriiri Oy, 2002.
- 6 SFS-Käsikirja 150. Staattinen sähkö. Ohjeita staattisen sähkö aiheuttamien vaarojen välttämiseksi. Helsinki: SFS, 2006

LIITTEIDEN LUETTELO

LIITE 1 LABORATORIOTYÖOHJE: ESD-MITTALAITTEET

TYÖOHJE: ESD-mittalaitteet



Version pvm	Muutos
1.4.2009	Asiakirja luotu

SISÄLLYS

1 TAVOITE	3
2 JOHDATTAVAT TIEDOT	3
3 TUTKIMUSKOHDDE JA TEHTÄVÄN MÄÄRITYS	4
4 TARVITTAVAT VÄLINEET	4
5 TYÖN SUORITUS	5
6 YHTEENVETOTEHTÄVÄT	11
LIITE 1. MITTAUSPÖYTÄKIRJA KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.	12VIRHE.
LIITE 2. MITTAUSPÖYTÄKIRJA	13
LIITE 3. MITTAUSPÖYTÄKIRJA	14

1 Tavoite

Työn tavoitteena on oppia käyttämään EPA-alueen tiloissa käytettäviä mittalaitteita ja oppia suojaamaan oikein varustein staattiselta sähkönpurkaukselta EPA-alueella.

2 Johdattavat tiedot

Ihmiskeho on hyvä johdin. Kun kehomme varautuu staattisella sähköllä ja kosketamme johtavaa esinettä, varaus siirtyy yhtenä tai useampana äkillisenä purkauksena kehosta esineeseen. Tämä ilmiö tunnetaan nimellä staattisen sähkön purkaus eli ESD. (ESD = Electrostatic Discharge)

Heikosti varautuva materiaali

On sellaista materiaalia, joka hangattaessa tai irrotettaessa saman- tai toisenlaista materiaalia synnyttää hyvin vähän varauksia. Ominaisuudella ei ole suoraa yhteyttä materiaalin pintaresistanssiin.

Staattiselta purkaukselta suojaava materiaali

On materiaali, joka rajoittaa virran kulkua ja vaimentaa ESD-purkauksesta aiheutuvaa energiaa siten, että 1000 V:n henkilöpurkauksesta vapautuva energia on enintään 50 nJ.

Staattista sähköä johtava materiaali

On materiaali, jonka pintaresistanssi on välillä $1 \times 10^2 \Omega$ - $1 \times 10^5 \Omega$.

Staattista sähköä poistava materiaali

On materiaali, jonka pintaresistanssi on välillä $1 \times 10^5 \Omega$ - $1 \times 10^{11} \Omega$.

Eristävä materiaali

On materiaali, jonka pintaresistanssi on suurempi kuin $1 \times 10^{11} \Omega$.

3 Tutkimuskohde ja tehtävän määrittäminen

Laboratoriotyön tutkimuskohteina ovat ESD-tilojen lattiat sekä ESD-tiloissa käytettävät varusteet. Tarkoituksena on tutkia koulumme elektroniikkalaboratoriolattioitten toimivuutta ja opetella käyttämään ESD-tiloihin suunniteltuja mittauslaitteita.

4 Tarvittavat välineet

- Eristysvastusmittari
- Rengasanturi 2 kpl
- Elektrostaattinen jännitemittari (Trek model 540)
- Maadoituspiste
- Maadoitushihna 2 kpl
- Maadoitusranneke ja sovitusaadapteri
- Mittajohdot yms.

Valmistelevat työt

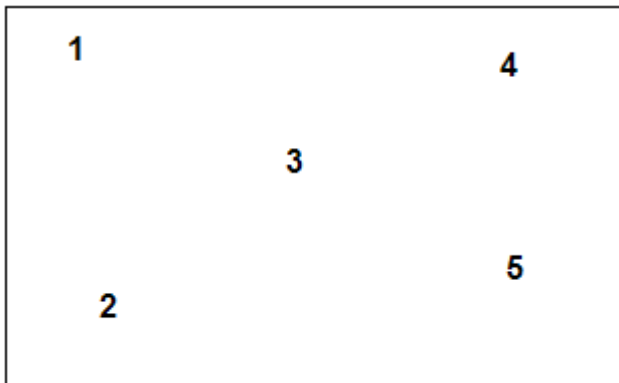
- Avaa ESD-salkut.
- Tarkista, että salkuista löytyvät kaikki yllä mainitut välineet.

5 Työn suoritus

1. Tehtävä

Työ aloitetaan tutkimalla EPA-lattian toimivuus. Aluksi mitataan resistanssi maahan. Eristysvastusmittarin mittausalueena käytetään kaikissa mittauksissa 100 V/MΩ.

1. Mittaukset suoritetaan kuvan 1 mukaisista mittauskohdista EPA-lattialta.



Kuva 1. Mittauspisteet

2. Suorita kuvan 2 mukainen kytkentä ensimmäisen mittauspisteiden kohdalle. Kytke mittajohto eristysvastusmittarin miinusnapaan ja mittajohdon toinen pää sovitusaadapterilla kytkettyyn maadoituspisteeseen. Maadoituspiste kytketään verkkovirtapistorasiaan. Seuraavaksi rengasanturiin kytketään mittajohto ja toinen pää eristysvastusmittarin plusnapaan, ja kytkentä on valmis.



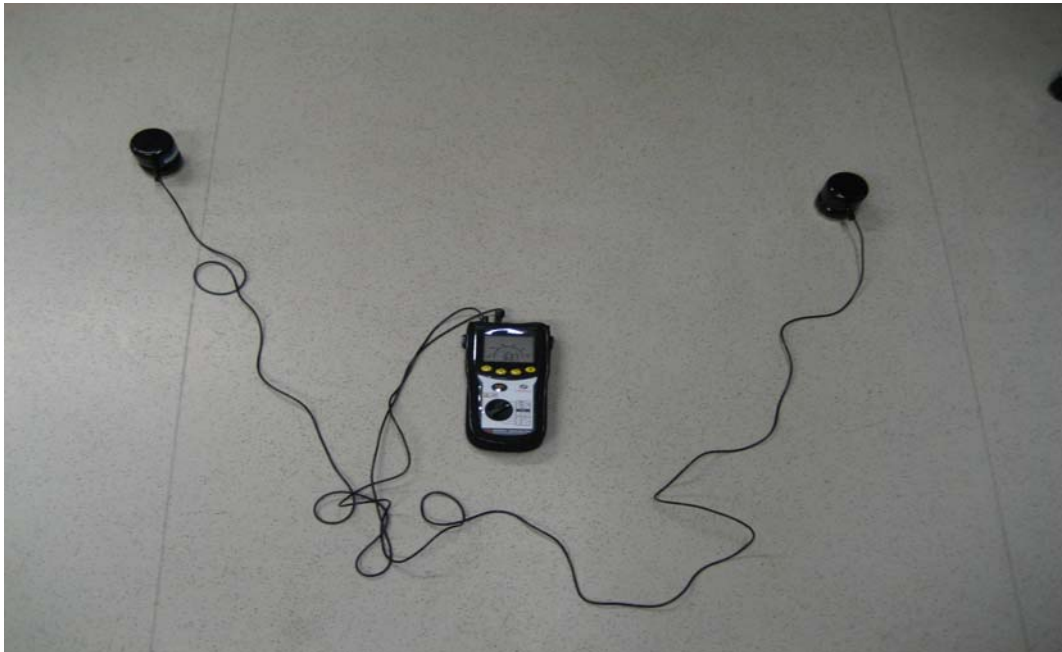
Kuva 2. Esimerkkikytkentä

3. Aseta mittari 100 V/M Ω mittausalueelle ja paina TEST-nappia noin 15 s (mittauspöytäkirjat laboratoriotyön takaosassa). Kirjaa tulos ja siirrä anturia 10–20 cm. Tee samanlainen mittaus ja kirjaa tulokset.
4. Siirry mittauspisteeseen 2 ja suorita samat mittaukset ja kirjaa tulokset.
5. Jatka mittauksia niin kauan, että kaikki mittauspisteet on mitattu ja tulokset kirjattu.

2. Tehtävä

Mittaa seuraavaksi resistanssi pisteestä pisteeseen.

1. Mittaukset suoritetaan samoista mittauskohdista kuin aiemmin.
2. Suorita kuvan 3 mukainen kytkentä ensimmäisen mittauspisteen kohdalle. Eristysvastusmittarin molemmista navoista kytketään mittajohdot rengasantureihin.



Kuva 3. Resistanssin mittaus pisteestä pisteeseen

3. Aseta mittari 100 V/M Ω mittausalueelle ja paina TEST-nappia noin 15 s (mittauspöytäkirjat laboratoriotyön takaosassa). Kirjaa tulos, tee toinen mittaus siirtäen antureita 10–20 cm ja kirjaa tulokset.
4. Suorita seuraavassa mittauspisteessä mittaus, jossa maton saumakohdan molemmilla puolilla on anturi. Siirrä antureita 10–20 cm. Tee samanlainen mittaus ja kirjaa tulokset.
5. Tee loput mittaukset ja kirjaa tulokset mittauspöytäkirjaan.

3. Tehtävä

Seuraavaksi mittaa yhdistelmäresistanssi. Yhdistelmäresistanssissa mitataan henkilön ja lattian yhteistä resistanssia.

1. Mittaus suoritetaan kuvan 4 mukaisen kytkennän perusteella. Mittauksessa maadoituspiste verkkovirtaan ja maadoitusranneke mitattavan henkilön käteen.



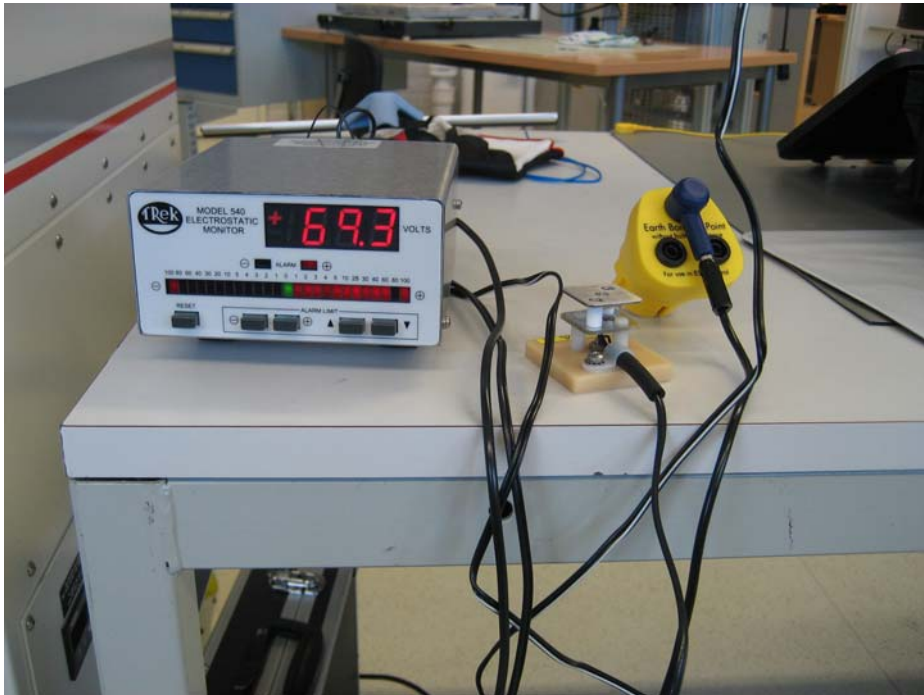
Kuva 4. Esimerkki yhdistelmäresistanssin mittauksesta

2. Ensimmäinen mittaus suoritetaan mitattavan henkilön kengistä. Mitattava henkilö seisoo lattialla (oma valinnainen mittauspiste), ja mittaja mittaa resistanssin painamalla TEST-nappia noin 15 sekuntia. Mittaus toistetaan toisesta mittauspisteestä ja tulokset kirjataan.
3. Seuraavassa mittauksessa henkilön toiseen kenkään laitetaan maadoitushihna ja suoritetaan samat mittaukset.
4. Molempiin kenkiin laitetaan maadoitushihnat ja jälleen kaksi mittausta.
5. Seuraavaksi mitattava henkilö istuu ESD-tuolille. Molemmat jalat ovat maassa ja maadoitushihnat ovat edelleen paikoillaan. Toisessa mittauksessa tuolia liikutetaan oma valinnainen matka ja suoritetaan toinen mittaus.

6. Viimeisessä mittauksessa mitataan henkilön resistanssia työtasoon kytkettynä. Mitattava henkilö liitetään maadoitusrannekkeella työtasoon, eli henkilön molemmissa ranteissa on maadoitusranneke ja mittaja mittaa resistanssin. Kyseisessä mittauksessa riittää yksi mittaus.

4. Tehtävä

ESD-lattian viimeinen tutkimusmittaus on henkilön varautumisen mittaus. Henkilön varautumisen mitataan ihmiskehon aiheuttamaa jännitettä.



Kuva 5. Elektrostaattinen jännitemittari

1. Mittaus suoritetaan käyttäen kuvan 5 mukaista jännitemittaria. Mittarin takapaneeliin kytetään virtajohto, ja edellisistä mittauksista tuttu maadoituspiste liitetään mittajohdolla laitteen maahan ja kytketään verkkovirta pistokkeeseen. Varauslevy kytketään myös takapaneeliin, sille tarkoitettuihin liittimiin.
2. Mittaus suoritetaan kolmesta mittauskohdasta vaihdellen kenkien maadoitusta. Mittapisteen ovat: henkilön kädestä, taskusta ja puserosta.
3. Ensimmäisessä mittauksessa mitattava henkilö ottaa varauslevyn käteen ja ottaa kolme reipasta askelta normaalikengillä ESD-lattialla ja palaa takaisin kolmella reippaalla askeleella. Mittarista luetaan led-näyttöpölvästä negatiiviset ja positiiviset huippuarvot, jotka kirjataan mittauspöytäkirjaan. Seuraavaksi mittari nollataan RESET-nappia painamalla. Varauslevy laitetaan housujen taskuun ja suoritetaan sama askelkuvio ja huippuarvot kirjataan. Mittari nollataan.

Seuraava mittauspiste on yllä oleva pusero. Varauslevyä tuetaan kädellä niin, että levyn metallipinta on puseron kyljessä kiinni. Samat askelkuviot toistetaan ja tulokset kirjataan.

4. Yllä olevat mittaukset toistetaan, mutta toiseen jalkaan laitetaan maadoitushihna.
5. Samat mittaukset, mutta molemmissa jaloissa maadoitushihnat.
6. Mikäli käytettävissä on ESD-kengät, suoritetaan lopuksi samat mittaukset käyttäen ESD-kenkiä.

5. Tehtävä

Läpimenoresistanssin mittaus ESD-vaatteille.



Kuva 6. Mittauskohdat ESD-vaatteesta

1. Mittaus suoritetaan ESD-työtasolla tai ESD-työalustalla. Mittauksessa käytetään molempia rengasantureita (rengasanturit vastakkain) ja eristysvastusmittaria. Mittausalue 100 V/MΩ. Mitattaessa ESD-työtasolla on alusta muistettava maadoittaa kytkemällä alusta mittarin maapotentiaaliin. Mittausaika 15 ± 2 sekuntia.



Kuva 7. Esimerkkikytkentä läpimeno-resistanssin mittauksesta

2. Suorita mittaukset kuvan 6 mukaisista mittauskohdista ja kirjaa tulokset.

6. Tehtävä

Resistanssin mittaus pisteestä pisteeseen tapahtuu samalla tavalla kuin aiemmin suoritettu resistanssin mittaus pisteestä pisteeseen lattiasta. Mittauskertoja on nyt vain yksi/mittauspiste. Mittaus tapahtuu alla olevan kuvan 8 mukaisista mittauskohdista. Mittauksen vaatimus on, että neljässä ensimmäisessä mittauskohdassa antureilla täytyy olla 30 cm:n välinen etäisyys. Mittaus tehdään ESD-työtasolla tai ESD-alustalla. Kirjaa tulokset mittauspöytäkirjaan.

- takakappaleesta kankaan pystysuuntaan
- takakappaleesta kankaan vaakasuuntaan
- sivusauman yli kainalosta
- olkasauman yli
- hihasta helmaan tai haalarin vastakkaiseen lahkeeseen
- hihasta hihaan



Kuva 8. Mittauskohdat pisteestä pisteeseen

6 Yhteenvetotehtävät

1. Vertaa lattiasta saamiasi mittaustuloksia standardin sallimiin huippuarvoihin. Ovatko mittaustulokset standardin mukaiset?

2. Mikäli tulokset ylittävät standardin rajat, niin mistä tämä johtuu?

3. Mikä yhdistelmä tuotti henkilönvarausta eniten ja mikä vähiten?

4. Miten saumakohta vaikutti mittaustuloksiin pisteestä pisteeseen -mittauksissa?

5. Oliko työssä jotain, mitä haluaisit tehdä eri tavalla, tai haluaisitko mitata eri mittauskohteesta (esim työtasoista)?

Liite1. Mittauspöytäkirja

MITTAUSPÖYTÄKIRJA	
Mittauskohde: ESD-lattia	Mittauspäivä:
Mittauksen suorittaja:	

Standardia IEC 61340-4-1 ja IEC 61340-5-2 $100V \leq R_g=R_{pp} \leq 1 \times 10^9 \Omega$ $100V \leq 7,5 \times 10^5 \leq R_{yhd} \leq 3,5 \times 10^7$

Resistanssi maahan	Mittaus 1	Mittaus 2	Kommentit (esim. mittaustuloksesta)
Resistanssi pisteestä pisteeseen	Mittaus 1	Mittaus 2	Kommentit (esim. mittaustuloksesta)
Yhdistelmä resistanssi	Mittaus 1	Mittaus 2	Kommentit (esim. mittaustuloksesta)
Ilman maadoitusta			
Maadoitushihnalla			
kahdella maadoitushihnalla			
Esd- tuolilla			
työtasolla			

Res. Maahan	[MΩ]	Kommentit
Max arvo		
Min arvo		
Ka.		
Res. pp	[MΩ]	Kommentit
Max arvo		
Min arvo		
Ka.		
Yht. res.	[MΩ]	Kommentit
Max arvo		

Min arvo		
Ka.		

Liite2. Mittauspöytäkirja

MITTAUSPÖYTÄKIRJA	
Mittauskohde: Henkilön varautuminen	Mittauspäivä:
Mittauksen suorittaja:	

IEC 61340-5-2 **Max 100V**

Mittauskohde	Käsi (huiput) [V]	Tasku (huiput) [V]	Pusero (Huiput) [V]
ilman maadoitus- ta			
maadoitushihnalla			
kahdella maadoi- tushihnalla			
ESD- kengät			

	[V]	Kommentit
Max arvo		
Min arvo		
ka.		

Liite3. Mittauspöytäkirja

MITTAUSPÖYTÄKIRJA	
Mittauskohde: ESD-Vaatteet	Mittauspäivä:
Mittauksen suorittaja:	

IEC 61340-5-1 $100V \leq R_{pp} \leq 1 \times 10^{12} \Omega$ Elektrodién välissä oltava saumakohta.

Läpimeno- resistanssi	Mittaustulos [MΩ]	Kommentit (esimerkiksi mittauspisteestä tai mittaustuloksesta)
1		
2		
3		
4		

Resistanssi pp	Mittaustulos [MΩ]	Kommentit (esimerkiksi mittauspisteestä tai mittaustuloksesta)
1		
2		
3		
4		
5		
6		

	[V]	Kommentit
Max arvo		
Min arvo		
ka.		

	[V]	Kommentit
Max arvo		
Min arvo		
ka.		