



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Tuomas Paakkunainen

Kimmonkometria-antureiden testaa- mislaitteiston kehittäminen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkö- ja automaatiotekniikka

Insinöörityö

22.5.2020

Tekijä Otsikko	Tuomas Paakkunainen Kimmoketonometria-antureiden testaamislaitteiston kehittäminen
Sivumäärä Aika	30 sivua 22.5.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	sähkö- ja automaatiotekniikka
Ammatillinen pääaine	elektroniikka
Ohjaajat	huoltopäällikkö Tero Heinonen lehtori Anssi Ikonen
<p>Insinööriä on jatkoa aiemmin toteutetulle projektille kehittää kimmoketonometria-antureiden testaamisprosessia Icare Finland Oy:lle. Työn tavoitteena oli etsiä antureiden funktionaalisen tason testaamiseen tarkoitettua laitteistosta ongelmakohtia, jotka aiheuttivat häiriöitä mittaustuloksiin ja korjata ne. Alkuperäisellä laitteella mitatuissa tuloksissa oli huomattava häiriötä, joka jätti tuloksen mittaajan tulkinnan varaan ja saattoi olla merkitsevää lopputuloksen kannalta. Tuotannon luotettavuuden kannalta on tärkeää, että mittaustulokset ovat luotettavia ja helposti luettavia.</p> <p>Alkuperäisessä laitteessa oli käytetty heikosti suojattuja johtimia ja useita liitoskohtia laitteen ja mittaustulosten lukemiseen käytetyn oskilloskoopin välillä, jotka osoittautuivat mittaustulosten häiriöiden lähteeksi. Uuteen laitteeseen asennettiin johtimiksi hyvin suojatut koaksiaalikaapelit ja laitteen virransyöttönä toimineet paristot korvattiin 6 V muuntajalla taseisen virransyötön takaamiseksi.</p> <p>Uudet johtimet ja virransyöttö juotettiin suoraan laitteen piirikorttiin niin, että välistä karsittiin mahdollisimman paljon ylimääräisiä liitoskohtia pois.</p> <p>Uudella laitteistolla, joka syntyi työn tuloksena, saadaan selkeitä ja häiriöttömiä mittaustuloksia, jotka eivät jätä lopullista tulosta tulkinnanvaraiseksi. Tämän vuoksi mittaaminen on nopeampaa, helpompaa ja varmempaa. Tämä on tärkeää testausprosessin sujuvuuden kannalta ja mahdollisten väärin hylättyjen tai hyväksytyjen tulosten karsimiseksi.</p>	
Avainsanat	EMC, sähkömagneettinen yhteensopivuus, testaus, kimmoketonometria, suojautuminen EMC-häiriöiltä

Author Title	Tuomas Paakkunainen Rebound Tonometry Probe Test Platform Development
Number of Pages Date	30 pages 22 May 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Electrical and automation engineering
Professional Major	Electronics
Instructors	Tero Heinonen, Service Manager Anssi Ikonen, Senior Lecturer
<p>This thesis is a continuation of a project that has already begun to develop rebound tonometry probe verification process at Icare Finland Oy. The aim of the work was to look for problem areas in the hardware for testing the functional level of the probes, which created noise in the measurement result and to correct them. There was significant noise in the measurements done with the original hardware, which left the result to the interpretation of the user and could be consequential for the result. For the reliability of production, it is important that the measurement results are reliable and easy to read.</p> <p>Conductors used on the original device were poorly shielded and there were multiple joints between the device and the oscilloscope, which proved to be the source for noise in the measurement results. The new device is fitted with well-shielded coaxial cable as conductors, and the batteries which served as power supply for the device are replaced with a 6 V power supply to ensure smooth power delivery.</p> <p>The new conductors and power supply were soldered directly to the circuit board of the device, so that as much extra joints were eliminated as possible.</p> <p>The new equipment which was created as a result of the work, provides clear and noiseless measurements that do not leave the result open to interpretation. This makes measuring faster, easier, and more reliable. This is important for the smooth running of the testing process and for eliminating possible false rejected or approved results.</p>	
Keywords	EMC, testing, rebound-tonometry, shielding from EMC

Sisällys

1	Johdanto	3
2	Sähkömagneettinen yhteensopivuus	4
2.1	Häiriöiden kytkeytymistavat ja niiltä suojautuminen	4
2.2	EMC-häiriötyypit ja niiltä suojautuminen	7
2.3	Johtimet, liittimet ja häiriöiltä suojautuminen	9
3	Työhön käytetyt materiaalit ja laitteet	11
3.1	TA01i -silmapainemittari	11
3.2	Koaksiaalikaapeli	13
3.3	BNC-liitin	14
3.4	Testilaitteen tehonsyöttö	15
3.5	PFT01-kimmoketonometria-anturin testipenkki	16
3.6	Antureiden testaaminen	17
4	Työn tulokset	18
5	Kehittämisen jatkosuunnitelmat	23
6	Yhteenveto	25
	Lähteet	26

Lyhenteet

AC/DC	<i>Alternating current/direct current.</i> Vaihtovirta/tasavirta.
AWG	<i>American wire gauge.</i> Amerikassa käytetty standardi sähkökaapelin mitoille ja tehonkestolle.
BNC	<i>Bayonet Neill-Concelman.</i> Paul Neillin ja Carl Concelmanin mukaan nimetty bayonet lukitus mekanismiin perustuva liitin.
EMC	<i>Electromagnetic compatibility.</i> Sähkömagneettinen yhteensopivuus.
ESD	<i>Electrostatic discharge.</i> Sähköstaattinen purkaus.
EMI	<i>Electromagnetic interference.</i> Sähkömagneettiset häiriöt.
EMP	<i>Electromagnetic pulse.</i> Sähkömagneettinen pulssi.
ICT	<i>In-circuit test.</i> Valmiin piirilevyn yhteyksien testaus.
PVC	<i>Polyvinyl chloride.</i> Polyvinyylikloridi.
RCA	<i>Radio Corporation of America.</i> Audio- ja videolaitteissa käytetty liitäntä, jonka nimi tulee sen kehittäneestä yhtiöstä.
RF-häiriö	Radiotaajuushäiriö.
USB	<i>Universal Serial Bus.</i> Sarjaporttiarkkitehtuuri.

1 Johdanto

Insinööriyön tavoite on kehittää laitteistoa Icare Finland Oy:lle sen silmäpainemittareissa käytettävien kertakäyttöisten kimmoketonometria-antureiden testaukseen. Työ on jatkoa aiemmin alkaneelle projektille. Projektin ensimmäisessä vaiheessa kehitettiin uusi LabVIEW:hin perustuva ohjelmisto aiemmin käytössä olleen Easy Scope II:n tilalle. Uudella ohjelmistolla mittaustuloksista saatiin helpommin ja nopeammin luettavia, mutta tuloksissa esiintyi edelleen häiriötä, joka jätti mittaustulokset vielä hieman tulkinnanvaraisiksi.

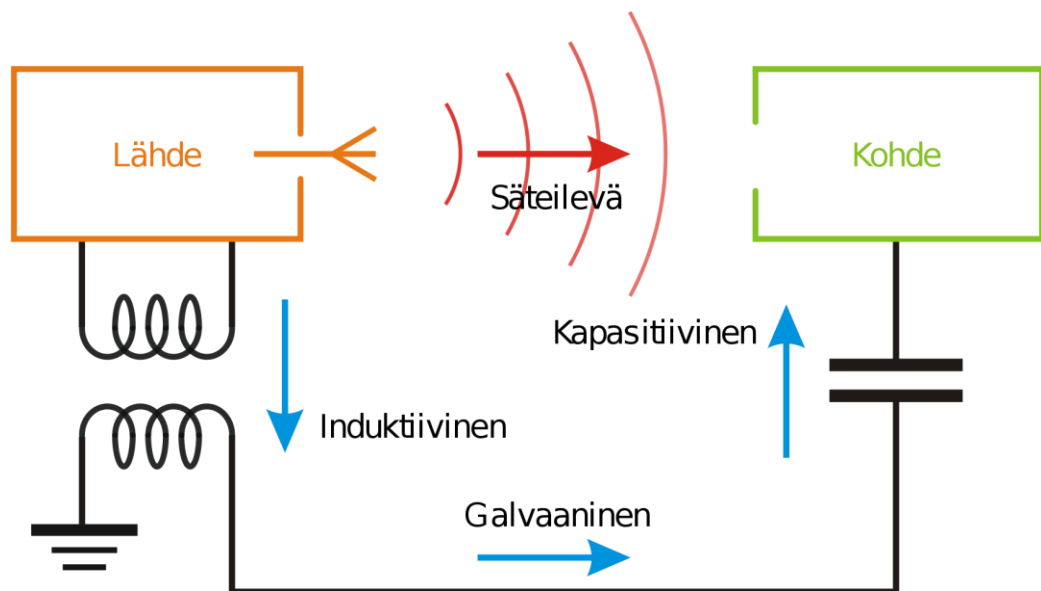
Pelkkä ohjelmiston kehittäminen ei ollut riittävä toimenpide siihen, että mittaustuloksista saataisiin mahdollisimman luotettavia, tasalaatuisia ja helposti luettavia. Tämän vuoksi sain tehtäväkseni kimmoketonometria-antureiden testauslaitteiston kehittämisen.

2 Sähkömagneettinen yhteensopivuus

Sähkömagneettinen yhteensopivuus (EMC) on tärkeä osa elektronisen järjestelmän tai laitteen suunnittelua. Sen tarkoitus on taata, että laite tai järjestelmä pystyy toimimaan luotettavasti sille tarkoitetussa ympäristössä. Suunnittelussa tulee ottaa huomioon ja ehkäistä mahdolliset laitteen sisäiset ja ympäristöön kohdistuvat sähkömagneettiset häiriöt (EMI). Yleisin esimerkki sähkömagneettisesta häiriöstä on matkapuhelimen aiheuttama häiriö radioon. (3.)

2.1 Häiriöiden kytkeytymistavat ja niiltä suojautuminen

Häiriöiden kytkeytymistavat voidaan jakaa päätyyppeihin, joita on neljä (kuva 1).



Kuva 1. häiriöiden kytkeytymistavat (3).

Induktiivinen kytkeytyminen

Sähkömagneettisessa yhteensopivuudessa induktiivinen kytkeytyminen tarkoittaa sitä, kun johtimessa kulkeva sähkövirta muodostaa muuttuvan magneettikentän, joka

puolestaan indusoi häiriöjännitteen johdinsilmukkaan. Häiriöjännitteen amplitudiin käytettävä laskukaava.

$$U_n = \omega BA \cos \emptyset. \quad (1)$$

jossa

ω on sinimuotoisesti värähtelevän magneettikentän kulmataajuus $2\pi f$.

B on magneettivuon tiheys.

A on johdinsilmukan pinta-ala

\emptyset on magneettikentän ja johdinsilmukan muodostaman pinnan normaalin välinen kulma.

Induktiiviselta kytkeytymiseltä suojaamiseksi on keinoja, joita voi hyödyntää laitteen suunnitteluvaiheessa. Esimerkiksi kierretyllä parikaapelilla voidaan vähentää induktiivista kytkeytymistä, koska parikaapelissa vierekkäisten silmukoiden magneettivuot kumoavat toisensa. Häiriö pienenee myös impedanssin kasvaessa, joten hyvä keino on sovittaa piiriin impedanssi mahdollisimman korkeaksi. Lyhyet johtimet ja pienet johdinsilmukat auttavat estämään induktiivista kytkeytymistä. Magneettikentän voimakkuus heikkenee etäisyyden kasvaessa, joten asettamalla häiritetty ja häiritsevä kohde etäälle, voidaan induktiivista kytkeytymistä vaimentaa. Metallit vaimentavat sähkömagneettista säteilyä ja ohjaavat magneettikenttiä, joten metallinen kotelointi on suositeltavaa. (1; 2; 3; 4.)

Galvaaninen kytkeytyminen

Myös johtuvana kytkeytymisenä tunnettu galvaaninen kytkeytyminen muodostuu piiriin fyysisiä reittejä pitkin. Syy löytyy yleensä johdotuksesta tai maadoituksesta, joka on toteutettu huonosti. Galvaaniset häiriöt jakautuvat kytkeytymistavan mukaan kahteen eri ryhmään, yhteismuotoisiin ja eromuotoisiin häiriöihin. (2; 3; 5.)

Eromuotoinen häiriö muodostuu piiriin hyötysignaalien tavoin käyttäen samoja fyysisiä reittejä. Häiriö on mitattavissa johtimien välisenä jännitteenä tai virtana. Laitteessa häiriön lähteenä voi toimia esimerkiksi hakkuriteholähde, joka verkkovirtaa muuntaessaan laitteelle sopivaksi luo nopeita transienttipiikkejä, jotka häiritsevät laitteen osia kytkeytyen käyttöjännitejohdinta pitkin. (3; 5.)

Yhteismuotoiset häiriöt muodostuvat piiriin niin, että vähintään yksi kytkeytymisteistä ei ole signaalitie. Yhteismuotoinen häiriö ilmenee saman vaiheisena jännitteenä tai virtana

maan ja signaalijohtimen välillä ja se on mitattavissa. Yhteismuotoinen häiriö ei yleensä ole välttämättä haitallinen, koska se ei aiheuta johtimiin suoraan jännite-eroa sen edessä signaalijohtimissa saman vaiheisena. Häiriö voi kuitenkin muuttua eromuotoiseksi häiriöksi ylimääräisten kytkeytymisteiden tai signaalijohtimien impedanssien epäsymmetrian takia. (3; 5.)

Yhteismuotoisten häiriöiden estämiseksi jokaiseen johtimeen voi liittää ferriitin, joka vaihmentaa yhteismuotoisen häiriösignaalin, vaikuttamatta kuitenkaan hyötysignaalin kulkuun. Korkeataajuista häiriövirtaa tehonsiirron johtimissa voidaan vähentää kuristinta käyttämällä, jossa virran paluu- ja menojohtimet ovat käämitty saman sydämen ympärille. Induktanssi ja siten myös impedanssi ovat suurempia, koska yhteismuotoisten virtojen magneettivuot vahvistavat toisiaan. On myös kuristimia, joihin on suunniteltu sellainen rakenne, joka sallii osan magneettivuosta vuotaa ulkopuolelle, jolloin kuristimella voi myös suodattaa eromuotoista häiriötä. Eromuotoisten häiriöiden estämiseen voi myös käyttää suotimia, jos hyötysignaali ja on häiriötaajuuden kanssa eri taajuudella. Johtava yhteys voidaan myös katkaista esimerkiksi muuntajan avulla, jolloin on kyse galvanisesta erotuksesta, eli kahden osan välillä olevasta eristeestä, joka estää varauksenkuljettajien siirtymisen osien välillä. Maadoittaessa tulee välttää monien eri piirien yhdistämistä ja on tärkeää valita mahdollisimman häiriötön maataso. Lyhyitä johtoja kannattaa myös suosia, sillä pitkät johdot vastaanottavat helpommin häiriötä. (3; 5.)

Kapasitiivinen kytkeytyminen

Yleisesti kapasitiivisella kytkeytymisellä tarkoitetaan kahden johtimen välille syntyneitä tahatonta kapasitanssia. Kaikissa käytännön piireissä esiintyy kapasitanssia. Johtimien välille syntynyt kapasitanssi voi aiheuttaa häiriövirran kuljettamalla häiriösignaalin piiristä toiseen. Potentiaalieroista johtuvat sähkökentät aiheuttavat kapasitiivisia häiriötä, joten samassa potentiaalissa olevat johtimet eivät aiheuta häiriötä. Kapasitiivisten häiriöiden voimakkuus kasvaa taajuuksien kasvaessa. Helpoiten kapasitiivinen häiriö kytkeytyy, jos häiriötä vastaanottavan piirin impedanssi on suuri, jolloin piirin taajuudella ei ole vaikutusta häiriön voimakkuuteen. (2; 6; 10.)

Kapasitiivista häiriötä voidaan vähentää johtimien yhdensuuntaista pituutta lyhentämällä ja kasvattamalla niiden etäisyyttä toisistaan. Johtimien välisen etäisyyden ollessa kolme kertaa sen halkaisijan mitta, kapasitiivisen häiriön määrä laskee erittäin pieneksi, jonka

jälkeen etäisyyden kasvattamisella ei ole merkittävää hyötyä. Häiriöiden aiheuttamaa vaikutusta voidaan myös torjua suodattimilla taajuuskaistaa kaventamalla. Suojamaadoitetun kaapelin käyttö on myös hyvä keino, jolloin häiriöjännitteistä pääsee eroon lähes kokonaan, koska kaapelin suojamaadoitettu kuori muodostaa johtimen ympärille Faradayn häkin eli sähkömagneettisen säteilyn estävän kuoren. (6.)

Säteilevä kytkeytyminen

Säteilevä kytkeytyminen on sähkömagneettisesta säteilystä johtuva häiriö, jossa häiriön aallonpituus on samaa kokoluokkaa signaalijohtimien pituuksien kanssa. RF-häiriöiden lähteitä ovat yleisesti korkeataajuuksisia jännitteitä tai sähkövirtoja sisältävät laitteet ja jotkin taivaankappaleet ja luonnonilmiöt, kuten aurinko ja revontulet. Riippuen piirin suojauksesta, sähkölaitteet ovat alttiita RF-häiriöille, jotka aiheuttavat virheitä ja vikatiloja heikentäen laitteen toimivuutta. Laitteen koteloinnilla voi suojata laitetta ulkopuolisilta RF-häiriöiltä. (3; 10.)

2.2 EMC-häiriötyypit ja niiltä suojautuminen

Sähköstaattinen purkaus (ESD)

Sähköstaattinen purkaus on staattisen sähkövarauksen purkaus. Sähköstaattisen purkauksen voi tunkea ja nähdä kipinäpurkauksena, jos sen varaus on tarpeeksi suuri. Sähköstaattinen varaus voi myös purkautua muutenkin kuin kipinä. (2; 7.)

Sähköstaattinen purkaus syntyy kahden varaustilassa olevan asian koskettaessa toisiinsa, esimerkiksi koskettaessa jotakin esinettä saattaa syntyä sähköstaattinen purkaus. Staattinen sähkövaraus ja sähköstaattinen purkaus voi muodostua joko hankauksesta johtuvan staattisen sähkövarauksen seurauksena tai elektrostaattisen induktion seurauksena ilman kosketusta. Sähköstaattisen purkauksen näkyvin muoto on kipinä, mutta se voi tapahtua myös näkymättömästi. Vaikka ESD olisi näkymätön, saattaa se olla riittävän energinen vaurioittamaan herkkiä elektronisia laitteita. (2; 7.)

Puolijohdekomponentit ovat herkkiä sähköstaattisille purkauksille, sillä hetkellinen virtajännite- ja tehoarvot ovat suuria. Purkauksen seurauksena komponenttiin voi tulla

pysyvä vika tai hetkellinen toimintakyvyn heikkeneminen. Yksi vaurioitunut komponentti voi aiheuttaa myös muiden osien vaurioitumisen järjestelmässä. Staattisesta purkauksesta tulee myös voimakas hetkellinen sähkömagneettisen pulssin, joka voi helposti häiritä purkauksen lähellä olevia digitaalisia piirejä. (2; 7.)

Suojautuminen ESD:ltä tapahtuu pääasiassa johtamalla staattiset varaukset hallitusti sähköjärjestelmän maatasoon varausta poistavan materiaalin kautta tai maadoittamalla. Varaus poistetaan materiaalin läpi, joka tasoittaa varauksen suhteellisen hitaasti välttäen suurvirtaisia ja nopeita varauksen purkauksia. Varauksen poistoon käytettävän materiaalin resistanssi on yleensä 100 kΩ:n ja 1 GΩ:n välillä. (2.)

Radiotaajuushäiriöt

RF-häiriöt eli radiotaajuushäiriöt ovat sähköisissä laitteissa esiintyviä induktion tai sähkömagneettisen säteilyn aiheuttamia häiriöitä. Kuluttajalaitteista löytyy paljon mahdollisia häiriöiden lähteitä ja myös vastaanottajia. Monet kodinkoneet sisältävät paljon tehoa hienoelektroniikkaa kuten pesukoneet ja jääkaapit. Jopa leivänpaahtimet ja ovikellot voivat aiheuttaa häiriöitä. Monet laitteet toimivat 2,4 GHz taajuudella, kuten mikroaaltouunit, Bluetooth-laitteet ja Wlan-verkot, joten ne saattavat häiritä toistensa toimintaa. Koteloimalla laite mahdollisimman tiiviisti ja johtavalla materiaalilla estää häiriöiden syntymistä. (8; 10.)

Sähkömagneettinen pulssi (EMP)

Sähkömagneettinen pulssi, myös elektromagneettisena pulssina tunnettu purkaus on erittäin korkeatehoinen ja lyhykestoinen sähkömagneettinen aalto, joka vaurioittaa sähkölaitteita ja elektroniikkaa. EMP voi olla ihmisen tekemä tai luonnollisesti syntynyt. Pienet eristetyt järjestelmät ovat paremmin turvassa EMP:ltä. EMP:lle herkkiä rakennelmia ovat sähkölinjat, puhelinlinjat ja pitkät lanka-antennit, jotka myös johtavat pulssin niihin kiinnitettyihin laitteisiin tuhoisin seurauksin ja voisi teoriassa aiheuttaa mannerten välistä tuhoa. (9.)

Suojautuminen EMP:tä vastaan onnistuu Faradayn häkillä ja erityisillä suodattimilla johdinten osalta, jotka kulkevat suojasta ulos. Valokuidun käyttö kuparin sijaan suojaa

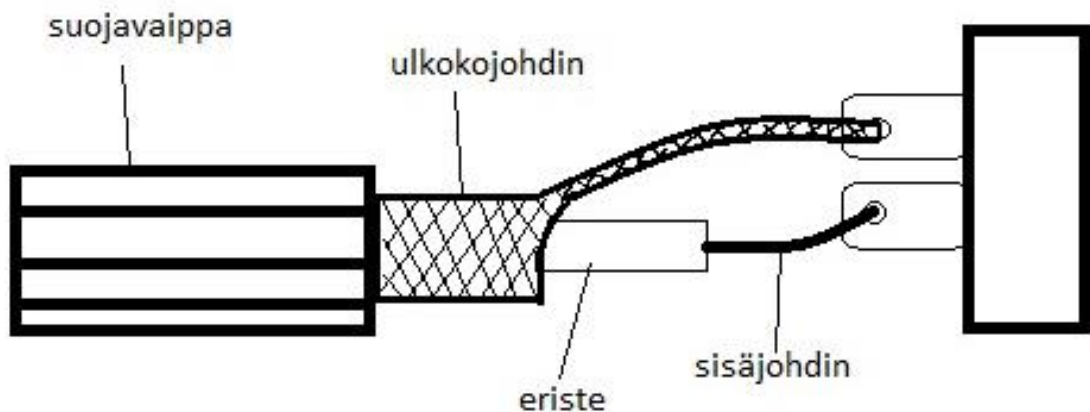
kaapeleita pitkin siirtyvältä pulssilta. Verkosta eristetyt järjestelmät ovat myös paremmin suojassa. (9.)

2.3 Johtimet, liittimet ja häiriöiltä suojautuminen

Laitteiden kaapelointia suunniteltaessa on erittäin tärkeää valita laadukkaat ja tarkoitukseen soveltuvat johtimet ja liittimet. Pelkästään hyvät johtimet ja liittimet eivät kuitenkaan takaa hyvin suojattua siirtolinjaa, jos toteutus on heikko. Koaksiaalikaapelin suojavaipan tulee olla eheä koko siirtolinjan matkalta ja liittimeksi pitää valita kaapelin kanssa yhteensopiva liitin. (2.)

Koska koaksiaalikaapelin suojaus perustuu ulkojohtimen kaapelin ympärille luomaan sähkömagneettiseen suojaan, on erinomaisen tärkeää, että liitos toteutetaan niin, että ulkojohtimen peittämä alue on yhtenäinen koko kaapelin matkalla. (2.)

Suurin osa suojattujen kaapelien kanssa esiintyvistä häiriöistä johtuvat väärin toteutetuista liitoksista. Hyvä esimerkki huonosta tavasta liittää kaapeli liittimeen on ns. Pigtail-liitos, jolloin käytössä ei ole asianmukaista liittintä, vaan liitos on toteutettu huonosti (kuva 2).



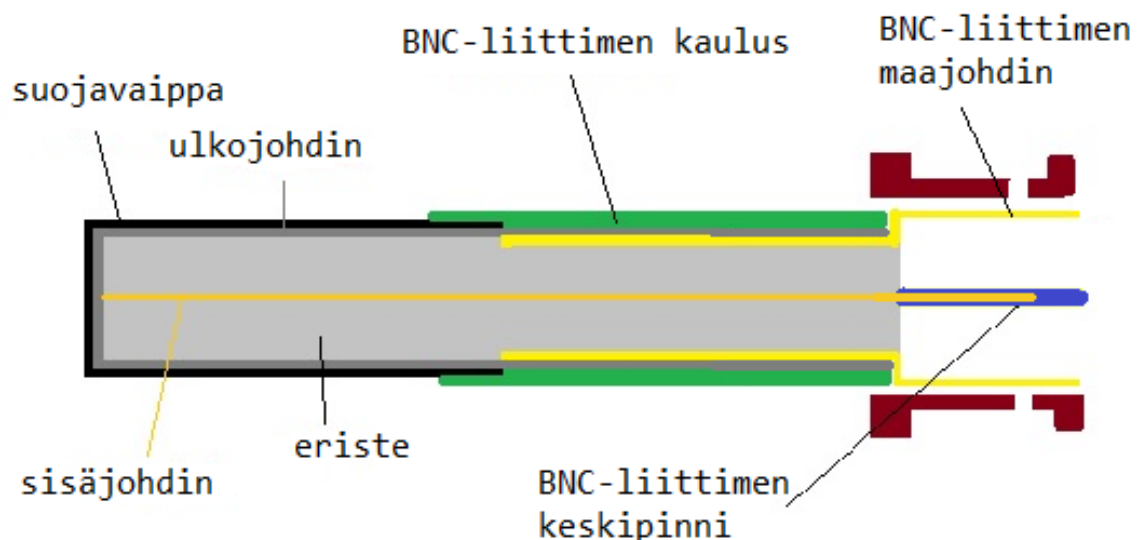
Kuva 2. Pigtail-liitos. (2.)

Liitoksessa häiriöltä suojaava punottu ulkojohtin on kuorittu eristeen päältä pois ja kääritty häntämäiseksi. Vaikka liitoksen pituus suhteessa koko johtimen pituuteen olisi erittäin pieni voi sillä olla huomattavat seuraukset. Tällaisessa liitoksessa ulkojohtimen

sähkövirta keskittyy johtimessa vain toiselle puolelle, eikä enää suojaa johdinta ulkoisilta häiriöiltä vaan päinvastoin luo niitä. (2.)

Hyvä liitos kaapelin ja liittimen välille saadaan, kun käytetään oikeanlaista liittintä. Koaksiaalikaapelia käytettäessä se on esimerkiksi BNC-liitin. BNC-liittimille on hieman erilaisia tapoja, kuinka niitä liitetään kaapeliin, riippuen liittimen suunnittelusta, mutta kaikilla saavutetaan hyvä liitos, joka ei heikennä suojausta. (2.)

Esimerkki tavasta, kuinka kaapeli ja liitin voidaan liittää toisiinsa (kuva 3). Kaapelin suojavaipasta kuoritaan pois osa. BNC-liitin painetaan koaksiaalikaapeliin niin, että liittimen maajohdin menee kaapelin eristeen ja ulkojohtimen väliin. Tämän jälkeen BNC-liittimen kaulus painetaan paikalleen, jolloin se puristaa kaapelin kiinni liittimeen ja tekee liitoksesta jämäkän. Myös kaapelin sisäjohtin puristuu tiukasti liittimen keskipinnin sisälle taaten hyvän kulun signaalille.



Kuva 3. Koaksiaalikaapeli ja BNC-liitin. (2.)

Kun liitos toteutetaan tällä tavalla, kaapelin signaalia suojaava ulkojohtin pysyy eheänä ja yhtenäisenä koko matkan aina liittimelle asti, eikä häiriöt pääse kytkeytymään signaaliin. (2.)

3 Työhön käytetyt materiaalit ja laitteet

Työssä oli tarkoitus mitata anturin liikettä, kun laite suorittaa silmänpainemittauksen. Kun ajokela laukaisee anturin, niin mittakela alkaa mittaamaan sen nopeutta ja kiihtyvyyttä, josta laite tulkitsee silmänpaineen. Tämä signaali kaapataan laitteen piirikortilta oskilloskoopille luettavaksi, jotta antureiden laatua voidaan seurata.

3.1 TA01i -silmäpainemittari

TA01i-silmäpainemittari (kuva 4) on Icaren vanhemmasta TA01-mallista paranneltu versio. TA01i tuli vanhemman mallin korvaajaksi vuonna 2007 ja sitä valmistetaan edelleen. Mittari on paristokäyttöinen ja toimii neljällä AA-paristolla. Mittarissa on otsatuki etäisyyden säädöllä. Silmänpainetta mitatessa laite ottaa kuusi mittausta. Kuudesta mittaustuloksesta laite poistaa suurimman ja pienimmän arvon ja laskee neljän jäljelle jääneen mittaustuloksen keskiarvon, joka ilmoitetaan elohopeamillimetreinä[mmHg]. TA01i käyttää mittaukseen kertakäyttöisiä antureita, joiden testaamisprosessin kehittämiseksi tämä opinnäytetyö on tehty. (13)



Kuva 4. Icare TA01i -silmäpainemittari. (12.)

TA01i kuten muutkaan Icaren silmäpainemittarit eivät tarvitse vuosihuoltoa tai kalibrointia, sillä laitteet on testattu ja kalibroitu tehtaalla ennen myyntiä. Laitteet testataan ja kalibroidaan uudestaan vain, jos ne jostain syystä saapuvat huollettavaksi.

Ainoat toimet laitteen ylläpitämiseksi ovat paristojen ja anturipesän säännöllinen vaihto, jonka myös loppukäyttäjä voi tehdä itse.

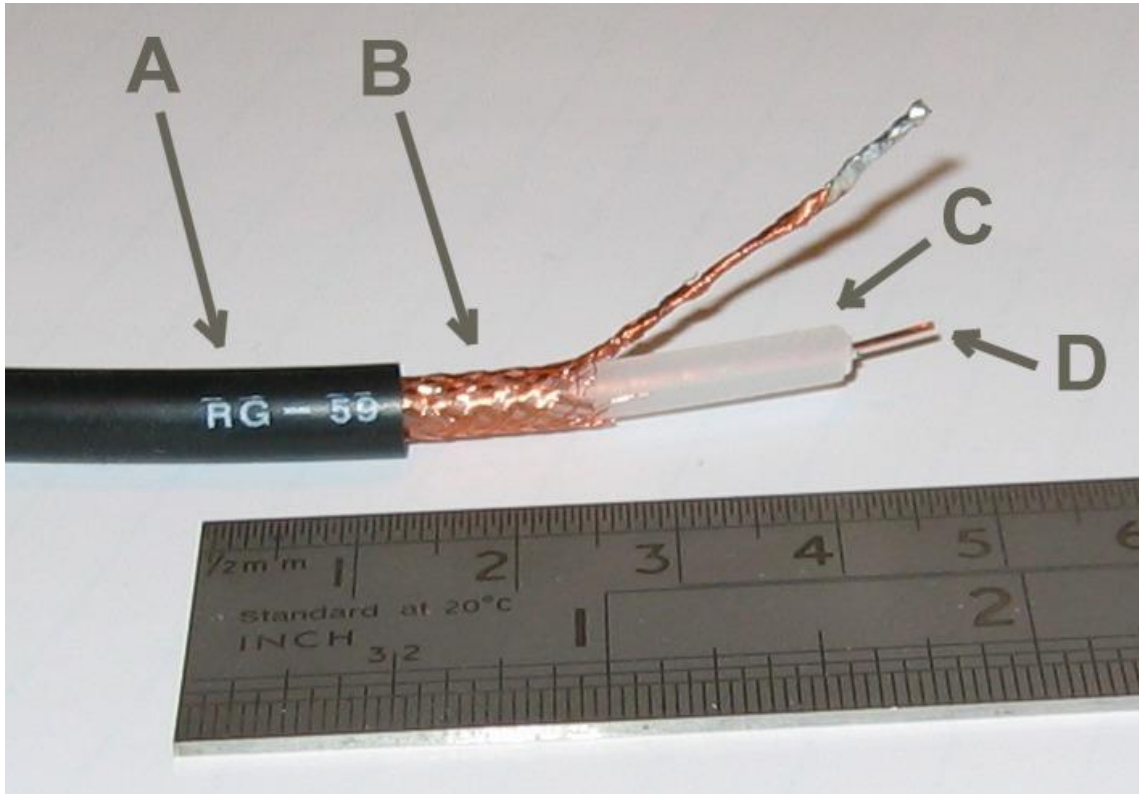


Kuva 5. Anturipesä ja sen säilytysputki. (13.)

Anturipesä (kuva 5) sijaitsee laitteen mittakelan sisällä ja kertakäyttöiset anturit asetetaan anturipesään mittausta varten. Mittakela laukaisee anturin kohti silmää ja myös tarkastelee anturin liikettä, josta laite saadun jännitearvon perusteella laskee silmänpaineen.

3.2 Koaksiaalikaapeli

Koaksiaalikaapeli on siirtolinja, jota käytetään korkeataajuuksisen sähköisen signaalin siirtoon. Koaksiaalikaapeli koostuu suojavaipasta (A), ulkojohtimesta (B), eristeestä (C) sisäjohtimesta (D) (kuva 6). (2; 14.)



Kuva 6. Koaksiaalikaapelin osat. (14.)

Sisäjohtin on joko yksi tai monisäikeinen kuparijohtin, joka on voitu päällystää hopealla korkeataajuisia signaaleja varten. Sisäeriste voi olla joko vaahtomuovia, muovia tai ilmaa, jolloin sisäjohtin ja ulkojohtin erotetaan toisistaan välikappaleilla. Ulompi johtin on putkimainen ja on yleensä punottua kupariverkkoa, joka voi sisäjohtimen tavoin olla hopealla päällystettyä. Yleensä ulomman johtimen alla on ohut foliokerros, mutta ulompi johtin voi olla rakenteeltaan myös kaksi punottua verkkoa päällekkäin. Suojavaippa on yleisesti PVC-muovia. (14.)

Koaksiaalikaapelissa suurtaajuinen sähkömagneettinen kenttä etenee poikittaisena värähtelynä rajoittuen ulkojohtimen ja keskijohtimen väliseen eristeeseen. Kaapelin laadun kannalta tämän materiaalin ominaisuudet ovat tärkeitä. Ulkoeriste taas määrittää pitkälti missä olosuhteissa kaapelia voi käyttää, sillä ulkoeristeestä voidaan tehdä esimerkiksi

tulen tai ultraviolettisäteilyä kestävä. Ulompi johdin estää kaapelia lähettämästä häiriösignaaleja ja myös estää niiden pääsyn signaalia kuljettavaan sisempään johtimeen. (14.)

Tässä työssä käytin RG-6 tyyppin koaksiaalikaapelia sen hyvien eristys- ja vaimennusominaisuuksien vuoksi. Kaapeli on Beldenin RG-6/U, jonka ydin kuparia ja on kooltaan 18 AWG eli sen halkaisija on 1,0237 mm. Eristeenä on kaasuinjektoitua suuritiheyksistä polyeteenivaahtoa. Ulompi eriste ja johde koostuu kahdesta osasta, alempana on Dufoil® alumiinifolio-polyesteri teippi, joka peittää 100 % sisemmästä eristeestä ja sen päällä on tinatusta kuparista valmistettu punottu verkko, jonka peittävyys on 95 %. Ulomman eristeen materiaalina on PVC, kaapelin kokonaishalkaisija on 6,9 mm. Kaapelin vaimennus on 1.000 MHz:n taajuudella 0,240 dB/30 metriä ja 6GHz:n taajuudella 17.700 dB/30 metriä. (11.)

3.3 BNC-liitin

BNC-liitin (kuva 7) on 1940-luvun loppupuolella kehitetty suurtaajuisten signaalien siirtoon käytettävien koaksiaalikaapelien nopeaan liittämiseen eri laitteisiin. Tämän työn tapauksessa oskilloskooppiin. Laitteessa on naaraspuolinen vastine liittimelle. Liitin on helppo kytkeä, se vain työnnetään niin, että naarasliittimessä olevat tapit osuvat urosliittimen hahloihin ja sitten painetaan hieman ja käännetään neljänneskierros myötäpäivään. (15.)



Kuva 7. BNC-liitin. (17.)

Tässä työssä BNC-liittimen ja koaksiaalikaapelin liittäminen toisiinsa tapahtui luvussa 2.3 mainitulla tavalla. Koaksiaalikaapelin suojavaipan eheys varmistettiin, sekä kaapelin kuorinta ja yhdistäminen BNC-liittimeen toteutettiin liittimen valmistajan ohjeiden mukaisesti. Näin voitiin taata mahdollisimman hyvä suojaus signaalille.

3.4 Testilaitteen tehonsyöttö

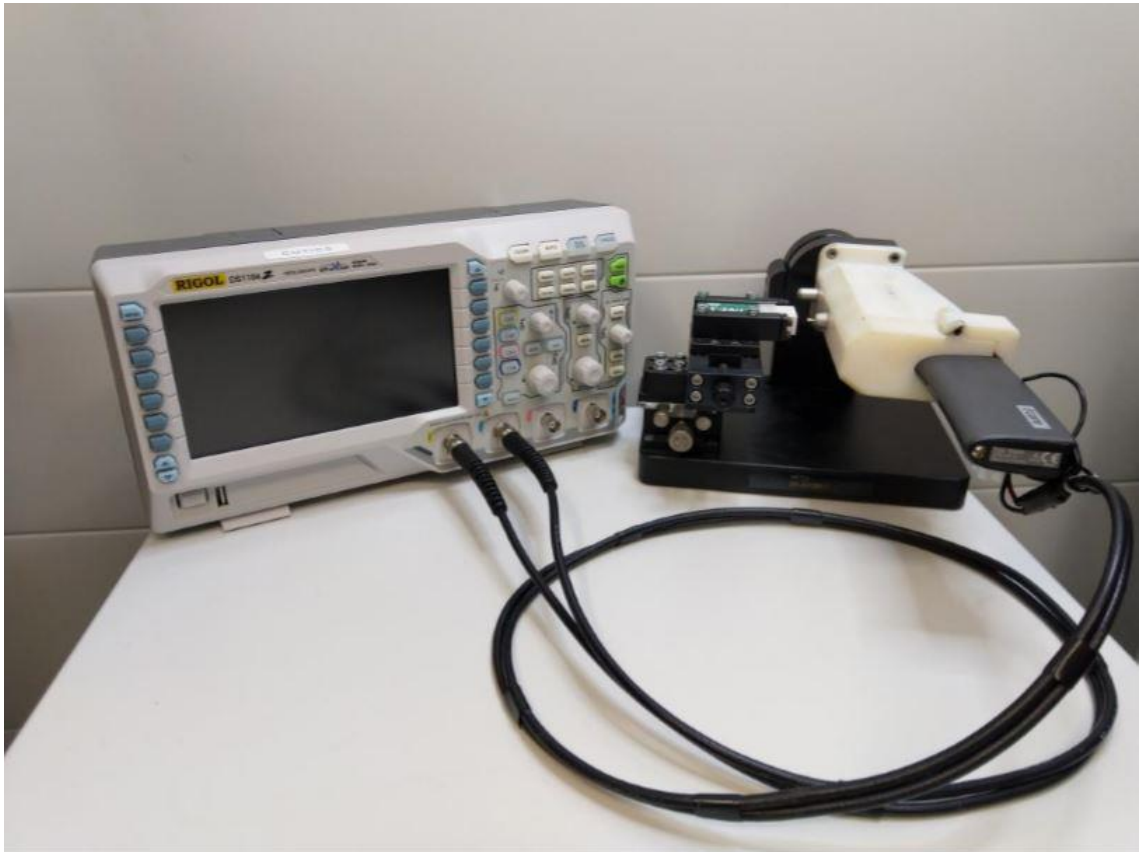
Tasaisen virransyötön takaamiseksi laitteen paristot korvattiin kuuden voltin AC/DC-muuntajalla (kuva 8).



Kuva 8. 6 V:n muuntaja. (16.)

Paristojen korvaaminen ulkoisella virtalähteellä ei vaikuta mittaustarkkuuteen, sillä laitteessa on käyttöjännitteen regulointi ja suodatus. Johdosta katkaistiin liitin pois, johdot kuorittiin ja juotettiin kiinni suoraan piirilevyn patterikontakteihin. Näin voidaan taata, ettei anturin liikkumiseen testausvaiheessa pääse vaikuttamaan paristojen heikko varaus.

3.5 PFT01-kimmoketonometria-anturin testipenkki



Kuva 9. PFT01-testipenkki TA01i mittarilla oskilloskooppiin liitettynä. (13.)

PFT01 (kuva 9) on antureiden funktionaalisen tason testaamisen kehitetty teline, johon TA01i-mittari kiinnittyy. Silmää simuloimaan testipenkkiin on kiinnitetty kimmoisa muovikappale. Silmää simuloivan muovikappaleen kiinnikkeissä on hienosäätömahdollisuuksia halutun etäisyyden saavuttamiseksi muovikappaleen ja anturin välille. Myös kappale, johon mittari kiinnittyy, pyörii akselinsa ympäri pituussuunnassa.

Kuvan oskilloskooppi on Rigol DS1104Z, joka korvasi DS1M12 USB-oskilloskoopin projektin ensimmäisessä vaiheessa ohjelmiston uusimisen myötä. Uusi oskilloskooppi liitettiin tietokoneen USB-porttiin, jolloin uudella ohjelmistolla voitiin lukea mittaustuloksia.

3.6 Antureiden testaaminen

Antureiden saapuessa Icarelle valmistajalta jokainen erä testataan ennen myyntiä tarkkojen työohjeiden mukaisesti laadun valvomisen vuoksi, ettei asiakkaalle päädy viallisia antureita. Anturit punnitaan ja tutkitaan mikroskoopin alla mahdollisten epäpuhtauksien tai epämuodostumien varalta ja myös niiden funktionaalinen taso testataan.

Anturit ovat noin 25 milligrammaa painavia kullattuja metallilankoja, joiden päässä on nuppineulan päätä muistuttava, mutta huomattavasti pienempi pallo. Päässä sijaitseva pallo on se anturin osa, joka on mitatessa kontaktissa silmään, joten se on tehty bioyh-teensopivasta materiaalista allergisten reaktioiden välttämiseksi. Anturit ovat yksittäispa-kattuja ja myydään 100 kappaleen laatikoissa.

Antureiden funktionaalinen taso testataan PTF01-testipenkillä (kuva 7). Anturi asetetaan laitteen kelan sisällä sijaitsevaan anturipesään ja ajokela magnetisoi anturin mittausnäp-päintä painamalla. Seuraava painallus mittanäppäimestä aloittaa TA01i laitteen mittaus-syklin ja ampuu anturin kumia vasten. Mittakela mittaa anturin nopeudenmuutoksia mit-taustapahtuman aikana. Yhden anturin testaus koostuu useammasta mittauksesta, joi-den tuloksia tulkitsemalla päätetään, suoriutuuko anturi testistä hyväksytysti vai ei.

4 Työn tulokset

Työn alussa pohdin, mistä häiriöt mittaustuloksissa saattaisivat johtua. Itse piirikortista se ei luultavimmin johdu, koska laite on toimiva, luotettava ja standardit täyttävä. Ensimmäinen silmiin pistävä mahdollinen kehittämisen kohde olivat laitteen johtimet ja niissä olevat useat liitokset.

Antureiden testaamiseen käytettävään Icaren TA01i -silmäpainemittariin on juotettu johtimia, joilla saadaan tuotua ajo- ja mittakelan signaalit oskilloskoopille. Johtimena laitteesta oskilloskoopille toimi heikosti suojattu kaapeli, jonka toisessa päässä liittiminä olivat RCA-uroslititimet ja toinen pää oli kuorittu ja yhdistetty sokeripalaan eli kytkentäriimaan. Sokeripalasta lähti johtimet laitteen sisälle kaappaamaan piirikortilta ajo- ja mittakelan jännitearvoja. RCA-uroslititimet eivät ole suoraan sopivia oskilloskooppiin, joten kaapelin ja oskilloskoopin välissä jouduttiin käyttämään BNC-uros–RCA-naaras-sovitinta. Useat liitokset ja heikosti suojatut johtimet paljastuivat lopulta häiriöiden lähteeksi.

Alkuun tutustuin laitteen piirikorttiin ja etsin mahdollisia pisteitä, joista signaalit olisi mahdollista kaapata, jos alkuperäiset pisteet eivät sopisi käytettäväksi. Myös erillisen piirikortin valmistaminen, jossa olisi vahvistin ja suodatin signaalille kävi mielessä, mutta se lisäisi liitoksia, joka ei ole toivottavaa. Paras tapa lähestyä ongelmaa alkuun oli siis koittaa kaapelointia parantamalla parantaa mittaustuloksia.

Koitin erilaisia koaksiaalikaapeleita ja tapoja liittää niitä laitteeseen, kunnes päädyin RG-6-tyypin kaapeliin. Vaikka RG-6-tyypin kaapelilla saatiin parhaat tulokset, osoittautui se hieman ongelmalliseksi paksuutensa ja jäykkyytensä vuoksi, koska se pitää juottaa suoraan piirikorttiin kiinni.

Uudet laitteet valmistettiin käytöstä poistetuista TA01-silmäpainemittareiden kalibrointiin käytetyistä referenssilaitteista. Kaapelien sovittamiseksi laitteeseen, sen koteloa piti hieman muokata.

Koska laitteen tehonsyöttö korvattiin 6 V:n muuntajalla, jäi laitteen alaosassa oleva tila, jossa paristot muuten olisivat, tyhjäksi. Paristokotelo osoittautui hyväksi väyläksi syöttää kaapelit laitteen sisälle piirikortille. Paksua RG-6-tyypin koaksiaalikaapelia ei saanut kunnolla sovitettua kotelon ja piirikortin väliin, joten välissä käytin lyhyen matkan ohuempaa

RG-179-tyypin kaapelia, joka oli myös helpompi juottaa kiinni piirikorttiin. Kaapeleiden ja piirikortin väliin joutui myös lisäämään vastuksia, kuten alkuperäisessäkin laitteessa, joten se hoitui hyvin samalla, kun kaapeli vaihtui. Ohuempi kaapeli toi myös hieman joustoa väliin, ettei kaapeli pääse kampeamaan itseään irti piirikortista. Lopuksi kaapelit myös kiinnitettiin koteloon kuumaliimalla.

Uuden laitteen (kuva 10) signaalin vienti oskilloskoopille toteutettiin hyvin suojatulla koaksiaalikaapelilla ja välistä karsittiin pois useita liitoksia.



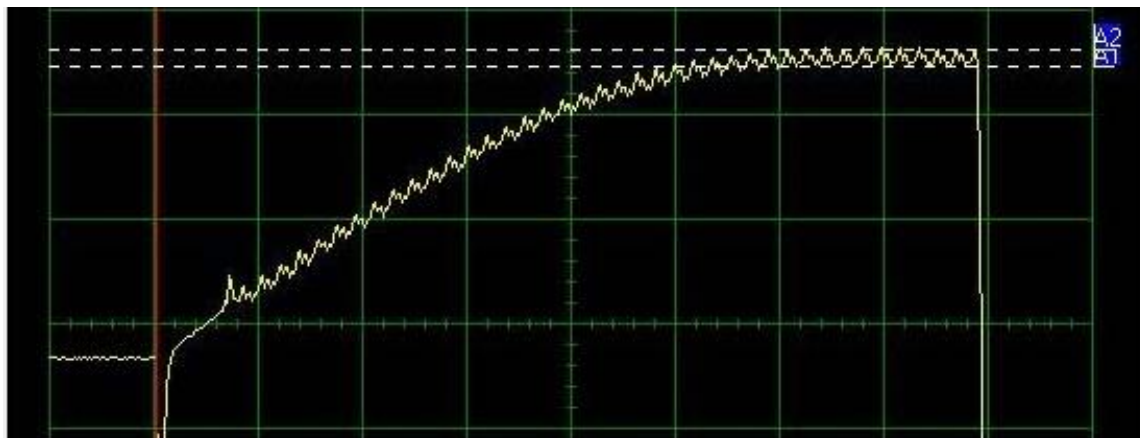
Kuva 10. avattu TA01i uusilla johtimilla ja virransyötöllä.

Tällä toimenpiteellä mittaustuloksista saatiin lähes täysin häiriöttömiä. Lisäksi aiemmin paristoilla suoritettu virransyöttö korvattiin 6 V:n muuntajalla, tasaisen virransyötön ja mahdollisimman toistettavien mittaolosuhteiden takaamiseksi.

Uutta laitetta testattiin vertaillen vanhaan laitteeseen luvussa 3.6 mainitulla tavalla ja tulokset olivat erittäin hyviä.

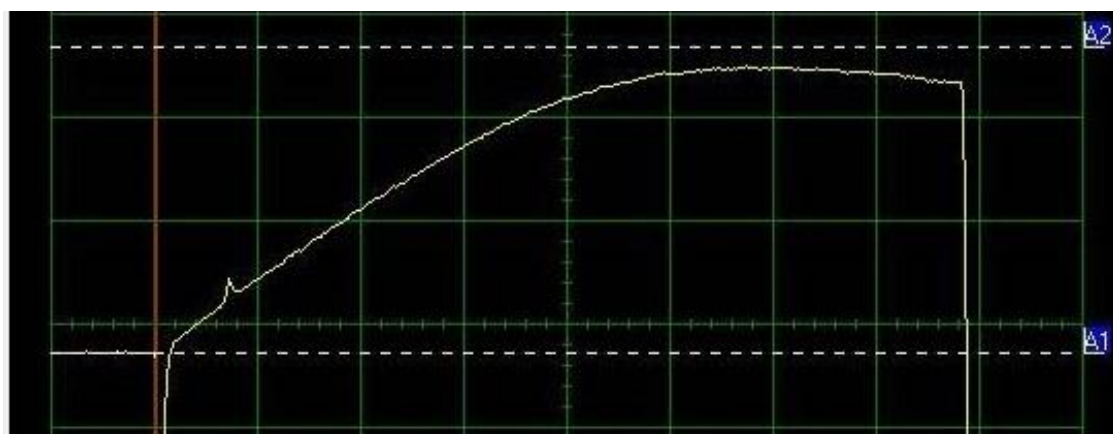
Kuvissa 11, 12, 13 ja 14 esiintyvät käyrät edustavat laitteen mittakelan (keltainen) ja ajokelan (lila) (kuva 16) signaaleita.

Signaali, joka saatiin vanhalla laitteella mittaamalla, sisälsi huomattavan paljon häiriötä (kuva 11) ja jätti lopullisen tuloksen mittaajan tulkinnan varaan. Olisi toivottavaa, että oskilloskoopilta luettava käyrä (kuvan keltainen viiva) olisi mahdollisimman tasainen.



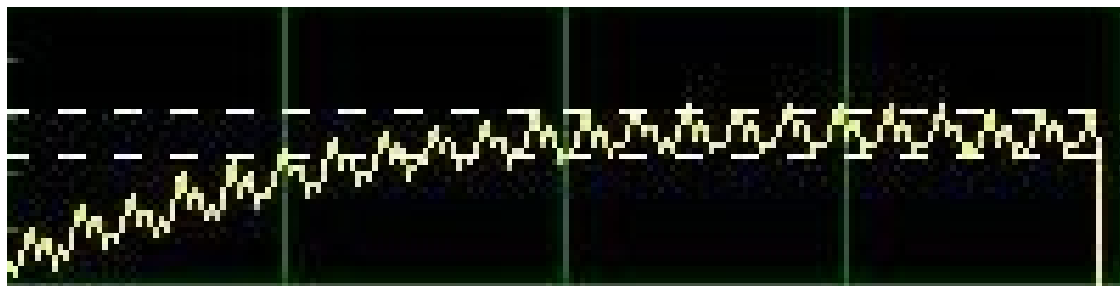
Kuva 11. Mittaus vanhalla laitteella.

Uudella laitteella mittaamalla saatu signaali on huomattavasti tasaisempi ja helpommin luettavissa (kuva 12), eikä mittaustuloksen tarkkuuteen vaikuta käyttäjän tulkinta saadusta mittaustuloksesta.

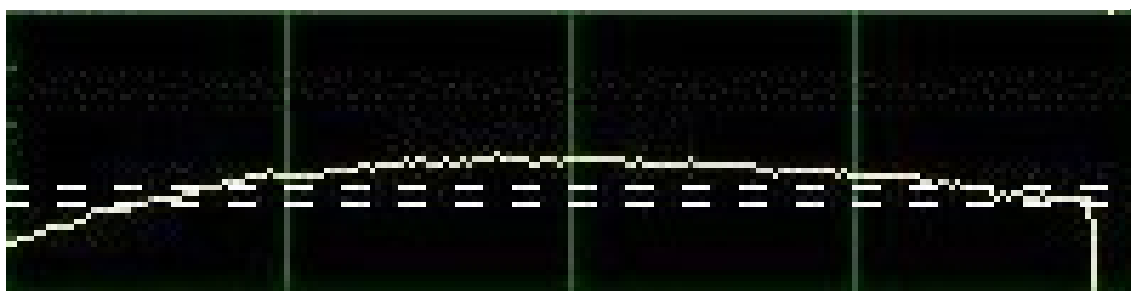


Kuva 12. Mittaus uudella laitteella.

Kun signaaleita tarkastelee lähemmin, voi niistä arvioida häiriön suuruutta. (kuvat 13 ja 14)



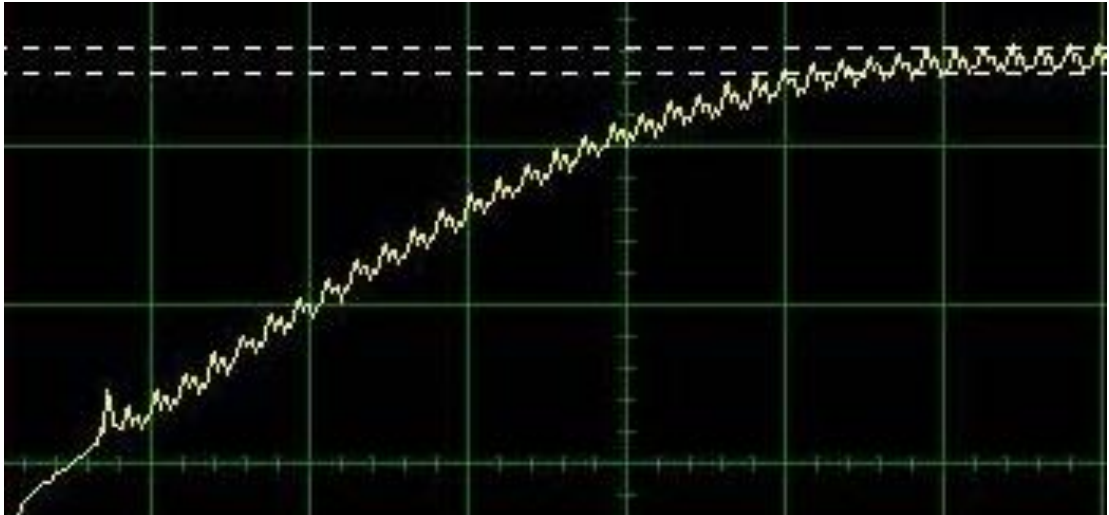
Kuva 13. Vanhan laitteen signaali suurennettuna.



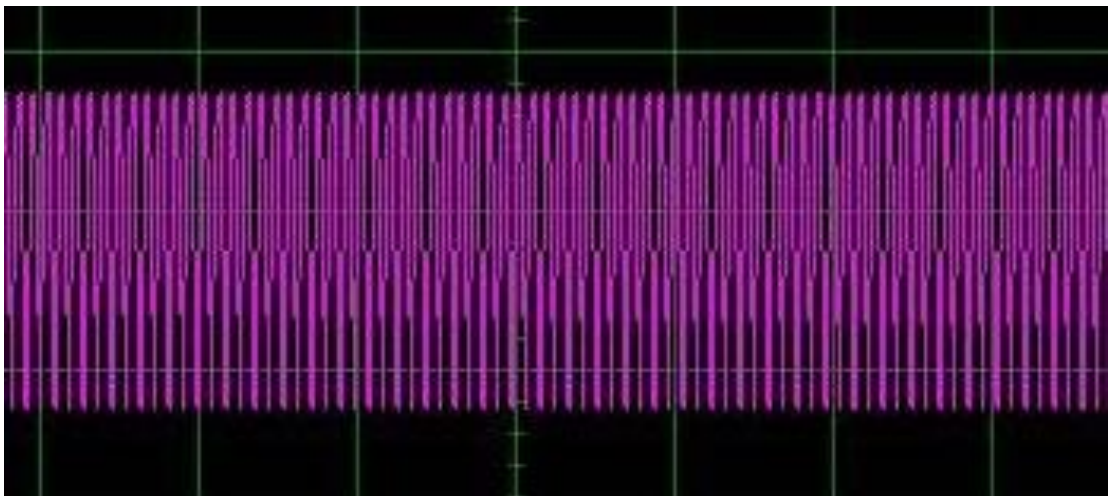
Kuva 14. Uuden laitteen signaali suurennettuna.

Jos kuvan perusteella (kuva 13) vanhaan laitteeseen kytkeytyneen häiriön peak-to-peak arvoksi oletetaan 400 mV, voisi tämän perusteella arvioida uuteen laitteeseen (kuva 14) kytkeytyvän häiriön peak-top-peak arvon olevan 20 mV:n luokkaa. Näin uuteen laitteeseen tehdyillä parannuksilla saavutettu häiriön vaimennus olisi -26 desibelin luokkaa.

Jos mittakelan signaaliin kytkeytynyttä häiriötä ja ajokelan signaalissa tapahtuvia muutoksia tarkastelee lähemmin, voi niistä huomata yhtäläisyyksiä (kuvat 15 ja 16). Mittakelan signaaliin kytkeytynyt häiriö näyttäisi etenevän samalla taajuudella, kuin ajokelan signaali.



Kuva 15. Mittakelan signaali.



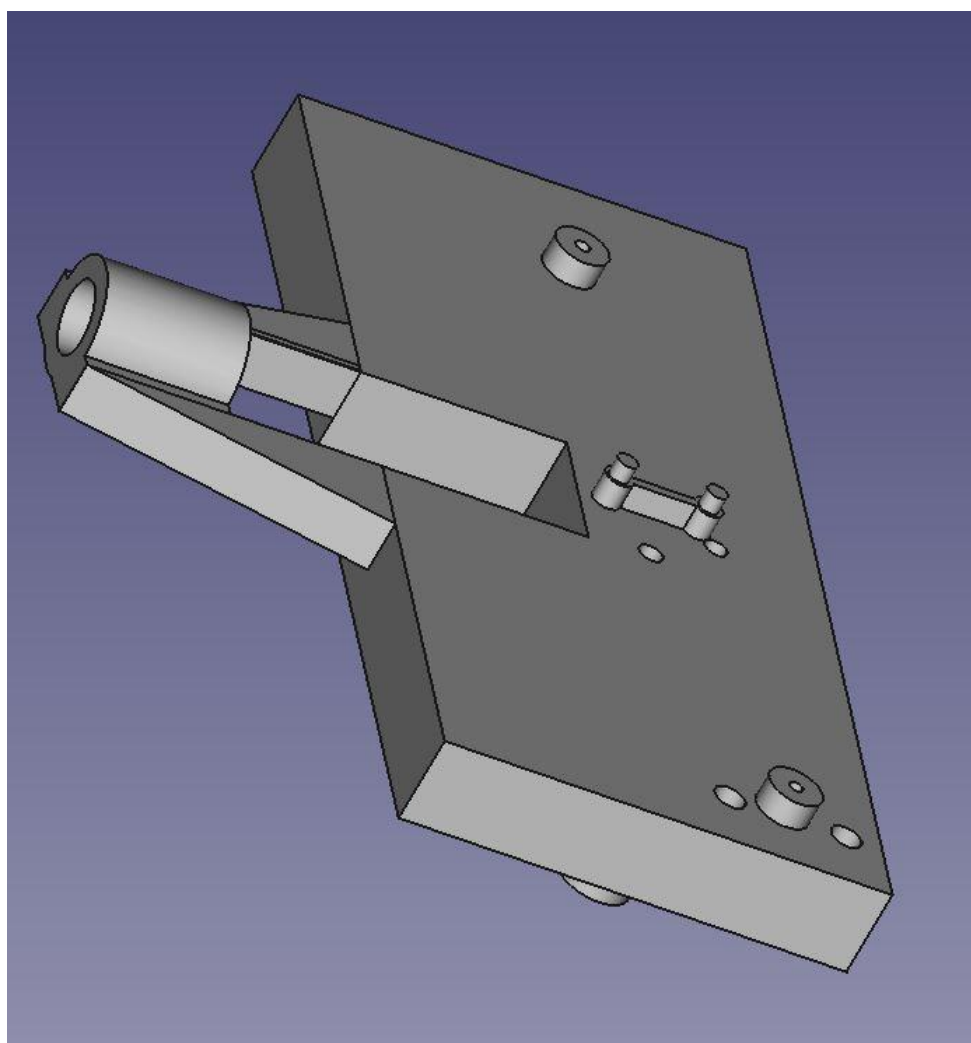
Kuva 16. Ajokelan signaali.

Mitta- ja ajokelan signaalit kulkivat rinnakkaisilla johtimilla RCA-kaapelia pitkin, josta häiriö pääsi kytkeytymään.

5 Kehittämisen jatkosuunnitelmat

Olen aloittanut kehitystyön seuraavan vaiheen, joka on laitteen testipenkki. Nykyiseen testipenkkiin kiinnitetään TA01i -silmapainemittari kokonaisuudessaan ja virransyöttö ja johtimet ovat kiinnitettynä mittariin (kuva 7 ja 8). Tarkoituksena on valmistaa testipenkki, johon ei tarvitsisi liittää kuin TA01i:n piirikortti mittakelan kanssa. Uudessa testipenkissä tulee olemaan kontaktit piirikortille virransyöttöä varten ja myös piirikortilta signaalin oskilloskoopille vientiä varten. Uuteen testipenkkiin tulee myös etälaukaisin mittaamista varten, joten laitteen operoinnista johtuvat mahdolliset liikkeet ja värähtelyt eivät vaikuta mittaustuloksiin.

Uuden testipenkin (kuva 17) suunnittelussa on käytetty ilmaista 3D-mallinnus ohjelmaa FreeCADia.



Kuva 17. Osaksi uutta testipenkkiä tuleva 3D-mallinnettu osa, johon piirikortti ja kela kiinnitetään.

Kontaktit testipenkistä piirikortille on tarkoitus toteuttaa piirikorttien funktionaaliseen testaukseen tarkoitetuilla kontakti antureilla (kuva 18). Anturit ovat pitkiä sylinterimäisiä metallikappaleita, joissa kontaktiosa tulee anturin rungon sisältä ulos. Kontaktiosa on joustettu antureiden helpomman testilaitteeseen asennuksen ja hyvän kontaktin takaamiseksi piirikorttiin.



Kuva 18. Erilaisia kontakti antureita. (18.)

6 Yhteenveto

Insinööriyön tavoitteena oli kehittää Icaren antureiden testaamiseen käytettävää laitteistoa. Vanhassa laitteistossa oli heikkoja kohtia, jotka aiheuttivat häiriötä mittaustulokseen ja jätti lopullisen tuloksen mittaajan tulkinnan varaan. Vanhassa laitteistossa oli käytetty huonosti suojattuja johtimia sekä ylimääräisiä ja häiriöille alttiita liitoksia. Työn aikana pohdittiin myös muita mahdollisia laitteiston kehittämisen kohteita.

Uusi laitteisto, joka syntyi insinööriyön tuloksena, on jatkoa jo alkaneelle projektille, jonka ensimmäisessä vaiheessa kehitettiin LabVIEW-ohjelmisto antureiden testaamista varten. Uusi laitteisto uuden ohjelmiston rinnalla takaa sen, että mittaaminen on nopeampaa, selkeämpää ja luotettavampaa, eikä jätä tuloksia mittaajan tulkinnan varaan, joka on erittäin tärkeää, jotta asiakkaalle voidaan toimittaa mahdollisimman laadukkaita tuotteita.

Testilaitteiston kehittäminen jatkuu vielä tämän työn päätyttyä. Seuraava askel projektista onkin jo aloitettu, joka on uuden testipenkin suunnittelu. Tavoitteena vähentää entisestään ulkoisia virhelähteitä mittaustuloksissa.

Lähteet

- 1 Baker Donald G., 2015, Electromagnet compatibility: Analysis and Case studies in Transportation. E-kirja. Wiley.
- 2 Ott. Henry W., 2009. Electromagnetic compatibility engineering. E-kirja. John Wiley & Sons cop.
- 3 Sähkömagneettinen yhteensopivuus. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia <https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_yhteensopivuus#EMC-h%C3%A4iri%C3%B6tyyppej%C3%A4> Luettu 23.4.2020.
- 4 Induktiivinen kytketyminen. 2016. Verkkoaineisto. Wikipedia < https://fi.wikipedia.org/wiki/Induktiivinen_kytkeytyminen> Luettu 23.4.2020.
- 5 Galvaaninen kytketyminen. 2016. Verkkoaineisto. Wikipedia <https://fi.wikipedia.org/wiki/Galvaaninen_kytkeytyminen> Luettu 23.4.2020.
- 6 Kapasitiivinen kytketyminen. 2017. Verkkoainesto. Wikipedia < https://fi.wikipedia.org/wiki/Kapasitiivinen_kytkeytyminen> Luettu 23.4.2020.
- 7 Sähköstaattinen purkaus. 2020. Verkkoaineisto. Wikipedia < https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6staattinen_purkaus> Luettu 23.4.2020.
- 8 Radiotaajuushäiriöt. 2020. Verkkoaineisto. Wikipedia <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Radiotaajuush%C3%A4iri%C3%B6t>> Luettu 23.4.2020.
- 9 Sähkömagneettinen pulssi. 2020. Wikipedia <https://fi.wikipedia.org/wiki/S%C3%A4hk%C3%B6magneettinen_pulssi> Luettu 23.4.2020.
- 10 Matalataajuisten säteilevien emissioiden kenttämittaus PV-järjestelmässä. 2017. Verkkoaineisto. Theseus. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/134627/Matalataajuisten%20sateilevien%20emissioiden%20kenttamittaus%20PV-jarjestelmassa_Niklas_Poikkeus.pdf?sequence=1> Luettu 3.5.2020.
- 11 1694A Coax – Low Loss Serial Digital Coax. 2016. Datasheet. Farnell. <http://www.farnell.com/datasheets/2331674.pdf?_ga=2.210344661.1737567154.1588602150-821277593.1588602150> Luettu 3.5.2020.
- 12 Icare TA01i. Verkkoaineisto. Icare Finland Oy. <<https://www.icaretonometer.com/products/icare-ta01/>> Luettu 3.5.2020.

- 13 Tukeva Eero. 2019. Kimmoketonometria-antureiden testaamisprosessin kehittäminen. Theseus. < <https://www.theseus.fi/handle/10024/263935>> Luettu 6.5.2020.
- 14 Koaksiaalikaapeli. 2019. Verkkoaineisto. Wikipedia <<https://fi.wikipedia.org/wiki/Koaksiaalikaapeli>> Luettu 3.5.2020.
- 15 BNC-liitin. 2017. Verkkoaineisto. Wikipedia < <https://fi.wikipedia.org/wiki/BNC-liitin>> Luettu. 6.5.2020.
- 16 TD-06010E - AC/DC Power Supply, ITE, 1 Output, 6 W, 6 V, 1 A. Verkkoaineisto. Farnell < <https://fi.farnell.com/powerpax/td-06010e/ac-dc-power-supply-6v-1a-euro/dp/3375553?st=power>> Luettu 6.5.2020.
- 17 89-5048 - CONNECTOR, BNC, PLUG, 75 OHM, CABLE. Verkkoaineisto. Farnell. <<https://fi.farnell.com/ideal/89-5048/connector-bnc-plug-75-ohm-cable/dp/1906253?st=BNC%20connector>> Luettu 6.5.2020.
- 18 ICT / FCT Probes. Verkkoaineisto. Everett Charles technologies. < <https://ect-cpg.com/ICT-FCT-probes>> Luettu 6.5.2020.