



Ari Kivelä

## **KIINTEISTÖN VIRRANMITTAUSJÄRJESTELMÄ**

# **KIINTEISTÖN VIRRANMITTAUSJÄRJESTELMÄ**

Ari Kivelä  
Opinnäytetyö  
2013  
Tietotekniikan koulutusohjelma  
Oulun seudun ammattikorkeakoulu

# TIIVISTELMÄ

Oulun seudun ammattikorkeakoulu  
Tietotekniikan koulutusohjelma, elektroniikan suunnittelu ja testaus

---

Tekijä: Ari Kivelä  
Opinnäytetyön nimi: Kiinteistön virranmittausjärjestelmä  
Työn ohjaaja: Ensio Sieppi  
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2013 Sivumäärä: 52 + 8 liitettä

---

Tämän opinnäytetyön aiheena oli kehittää virranmittausjärjestelmä kiinteistöjen päävirranmittaamiseen. Työn tarkoituksena oli toteuttaa prototyyppi, joka kykenee mittaamaan virtaa vaihekohtaisesti kolmivaiheisesta syöttökaapelista. Prototyyppiin haluttiin lisäksi jännitemittaus yhdestä vaiheesta ja pulssilaskenta kilowattituntimittaria varten. Mitatut virta- ja jännitearvot näkyvät laitteeseen liitettävällä LCD-näytöllä ja ne lähetetään myös sarjaliikenneporttiin. Sarjaliikenteeseen päivitetään mitattujen arvojen lisäksi myös pulssilaskennan tulokset. Prototyyppi vaatii mittauselektroniikan suunnittelun ja toteutuksen sekä C-kielisen ohjelman toteuttamisen mikrokontrollerille.

Opinnäytetyö koostui tutkimuksesta, suunnittelusta, toteutuksesta ja testauksesta. Ensimmäisessä vaiheessa tutustuttiin erilaisten virranmittausantureiden toimintaan ja niiden soveltuvuuteen tähän opinnäytetyöhön. Anturin valinnan jälkeen siirryttiin työn toiseen vaiheeseen eli prototyypin suunnitteluun. Piirikaavio suunniteltiin osa-alueittain ja suunnitteluna apuna käytettiin simulointia. Toteutukseen kuului prototyypin valmistus ja ohjelmakoodin kehittäminen. Valmiille prototypille suoritettiin tarvittavat testaukset.

Opinnäytetyön tulokseksi saatiin toimiva virranmittausjärjestelmän prototyyppi. Prototyyppissä toimii kaikki tavoitteen mukaiset ominaisuudet, lukuun ottamatta jännitteenmittausta, joka jäi puutteelliseksi tarkkuuden osalta. Opinnäytetyö oli kokonaisuutena tarkoituksenmukainen ja luo hyvän pohjan kaupallisen tuotteen kehittämiselle.

---

Asiasanat: Virranmittaus, anturi, prototyyppi, mittauslaitteet, pulssilaskenta

## **ALKULAUSE**

Tämä opinnäytetyö tehtiin Housemate Oy:n tiloissa talvella 2011–2012. Työn ohjaajana toimi Oulun seudun ammattikorkeakoulun puolesta yliopettaja Ensio Sieppi. Tilaajan puolelta valvojana toimi Juha Tauriainen. Kiitokset ohjaajalle ja valvojalle avusta opinnäytetyön aikana.

Oulussa 20.5.2013

Ari Kivelä

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ALKULAUSE	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 VIRRANMITTAUSANTURIT	8
3 ANTUREIDEN TESTAUS	10
3.1 Hall-anturi	10
3.2 Virtamuuntaja	12
3.3 Virta-anturi 1	14
3.4 Virta-anturi 2	16
3.5 Jatkotutkimukset	18
4 PROTOTYYPIN MÄÄRITTELY	24
4.1 Kotelointi ja liitännät	24
4.2 Virran- ja jännitteenmittaukset	24
4.3 Sarjaliikenne	25
4.4 Näyttö	25
5 ELEKTRONIIKAN SUUNNITTELU	26
5.1 Mittarilevy	27
5.1.1 Jännitteet	28
5.1.2 Mikrokontrolleri	30
5.1.3 Virranmittaus	33
5.1.4 Jännitteenmittaus	34
5.1.5 Pulssilaskenta	34
5.1.6 Näyttö	35
5.2 Anturilevy	36
6 MIKROKONTROLLERIN OHJELMA	38
6.1 Ulkoisten keskeytysten toiminta	38
6.2 Ajastin	40
6.3 Sarjaliikenteen tulkinta	42
6.4 AD-muunnos	44
7 TESTAUS	47

7.1 Elektroniiikan testaus	47
7.2 Antureiden testaus	47
7.3 Virranmittauksen testaus	47
7.4 Jännitteenmittauksen testaus	48
8 YHTEENVETO	50
LÄHTEET	51
LIITTEET	52

# 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli kehittää prototyyppi omakotitalon päävirranmittaukseen. Suomessa yleisesti on käytössä kolmivaiheinen 400 VAC:n jännitteellä toimiva sähköverkko, jossa vaiheen ja nollajohtimen välinen jännite on 230 VAC. Tästä haluttiin mitata vaihekohtaisesti virrat. Tehonlaskentaa varten haluttiin mitata myös yhden vaiheen vaihtojännite. Prototyyppiin toteutettiin myös pulssilaskenta kilowattituntimittarilta tulevien pulssien laskentaa varten. Kaikki mittausarvot lähetetään sarjaliikenteen kautta PC:lle. Lisäksi LCD-näytöllä näkyvät kolmen vaiheen virrat ja yhdestä vaiheesta mitattava jännite.

Opinnäytetyön aiheenvalinnan taustalla olivat muun muassa opintojen suuntautumisvaihtoehto eli elektroniikan suunnittelu ja testaus, oma mielenkiinto ja tuttu työympäristö. Halu näyttää ja kehittää omaa osaamista olivat myös opinnäytetyön suorittamisen taustalla.

Työn tilaaja sai tästä työstä toimivan prototyypin virranmittauksiin. Prototyyppissä on toimiva TTL-tasoinen sarjaliikenne, koska suunnitteluvaiheessa ei tiedetty valmiissa tuotteessa käytettävää sarjaliikennemuotoa. TTL-tasoinen sarjaliikenne voidaan muuttaa helposti toisentyyppiseksi sarjaliikennemuodoksi. Prototyyppistä tehtyjen mittausten perusteella voidaan parannella ongelmakohtia valmiin tuotteen aikaansaamiseksi.

Tämä dokumentti kuvaa opinnäytetyötä yleisellä tasolla ja dokumentissa esitellään opinnäytetyö kokonaisuutena. Kaikkia spesifisiä asioita ei ole kuvattu yksityiskohtaisesti. Dokumentissa viitataan myös liitteisiin, jotka ovat ainoastaan toimeksiantajan käytössä.

## 2 VIRRRANMITTAUSANTURIT

Vaihtovirran mittaaminen pystytään toteuttamaan pääasiassa kolmella eri tavalla, jotka ovat virtamuunnin, shunt-vastus ja Hall-anturi. Koska tarkoituksena on mitata vaihekohtainen virta pääkeskukseen tulevasta syöttökaapelista, virtaantureita pitää olla jokaiselle vaiheelle.

Shunt-vastus on pieniohminen sarja vastus mitattavassa johtimessa. Vastuksen läpikulkeva virta aiheuttaa jännitteen vastuksen napojen väliin. Tyypillisiä jännitearvoja vastukselle on 50, 75 ja 100 mV maksimivirralla. Vaihejohtoon kytkettynä jännite nollajohtoon mitattuna on lähellä 230 VAC:a. Yleensä shuntvastuksia käytetään nollajohtimissa, jotta mittalaitteesta ei tule jännitteellistä. Shunt-vastus olisi yksinkertainen ratkaisu, mutta sen soveltuvuus vaihekohtaiseen virranmittaamiseen ei ole kovin hyvä sen korkean jännitetason takia. Shunt-vastus jätettiin tästä syystä pois jatkotutkimuksista. (1.)

Virtamuunnin on muuntaja, jolla on tunnettu muuntosuhde ensiö- ja toisiokäämin välillä. Ensiö ja toisio on galvaanisesti erotettu toisistaan, joten se soveltuu vaihekohtaiseen virranmittaamiseen hyvin. Virtamuuntajan ensiökääminä toimii virtajohdin, josta halutaan mitata virta. Ensiön ympärillä on toisiokäämi, johon indusoituu ensiön virta muuntosuhteen mukaan. Toisista voidaan virta mitata kytkemällä tunnettu vastus toisiokäämin napoihin ja vastuksen yli mitataan jännite, josta voidaan laskea vastuksen läpikulkeva virta. Kun vastuksen virta kerrotaan muuntosuhteen mukaan, saadaan ensiöjohtimen virta. (2.)

Hall-anturin toiminta perustuu Hall-ilmiöön, jossa vaihejohtimen virta muodostaa ympärilleen magneettikentän. Magneettikenttä vaikuttaa puolijohde-Hall-anturiin, johon muodostuu magneettikenttää vastaava jännite. Hall-anturi on myös galvaanisesti erotettu mitattavasta johtimesta, joten sen soveltuvuus vaihejohtimen virran mittaamiseen on hyvä. Koska johtimen ympärillä oleva magneettikenttä heikkenee etäisyyden kasvaessa, anturi tulee sijoittaa mahdollisimman lähelle johdinta. Tämä aiheuttaa johtimen asennuksessa ongelman, että se pystytään toistuvasti asentamaan samalla tavalla. Hall-anturin toimintaan vaikuttaa sen etäisyys johtimesta ja suunta johtimeen. Tämänlainen on-



gelma voidaan ratkaista sijoittamalla Hall-anturi ferriittirenkaan väliin ja johdin kulkemaan ferriittirenkaan läpi. Tämänkaltaisia ratkaisuja löytyy kaupallisista antureista, joita tässä työssä tutkitaan. (3.)

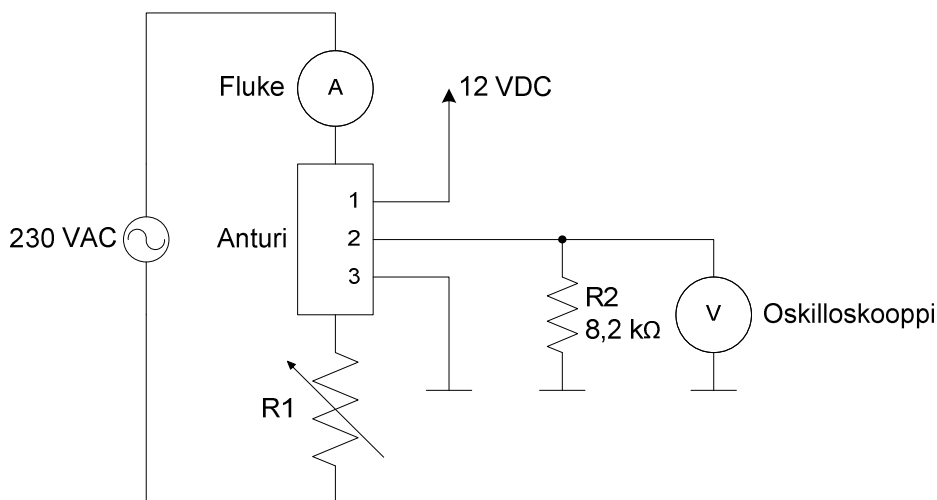
### 3 ANTUREIDEN TESTAUS

Kaupallisista virranmittausantureista valittiin jatkotutkimuksiin neljä parhaiten soveltuvinta anturia, joille tehtiin testikytkentä. Antureiden valintakriteerinä oli galvaaninen erotus mitattavasta johdosta. Lisäksi valinnassa huomioitiin anturin käytännöllisyyttä prototyypissä ja hankintahintaa.

Kytkenässä käytettiin 230 VAC:n sähköverkkoon soveltuvaa portaallisesti säädettävää kuormavastusta. Kuormavastuksella voitiin säätää virta 1–10 A:iin, 1 A:n portailla. Kuormavastuksen vaihejohtimesta mitattiin virta testattavalla anturilla ja Fluke 434 -mittarilla. Fluke 434 -energia-analysaattorin tarkemmat tiedot näkyvät liitteessä 1. Testattavien antureiden ulostulosta mitattiin jännite Owonin digitaalisella oskilloskoopilla. Oskilloskoopin tarkemmat tiedot näkyvät liitteessä 2. Flukea käytettiin virran referenssiarvon mittaamiseen.

#### 3.1 Hall-anturi

Hall-anturin tarkemmat tiedot on esitelty liitteessä 1. Testikytkennässä anturin käyttöjännitteenä käytettiin 12 VDC:n jännitettä. Anturinlähtö on source output -tyyppinen jännitelähde. Tämän takia anturin lähtöön pitää kytkeä kuormavastus lähdön ja maatason välille. Testikytkennässä (kuva 1) käytettiin 8,2 k $\Omega$ :n kuormavastusta R2. Kuormavastuksen yli mitattiin jännitettä oskilloskoopilla.



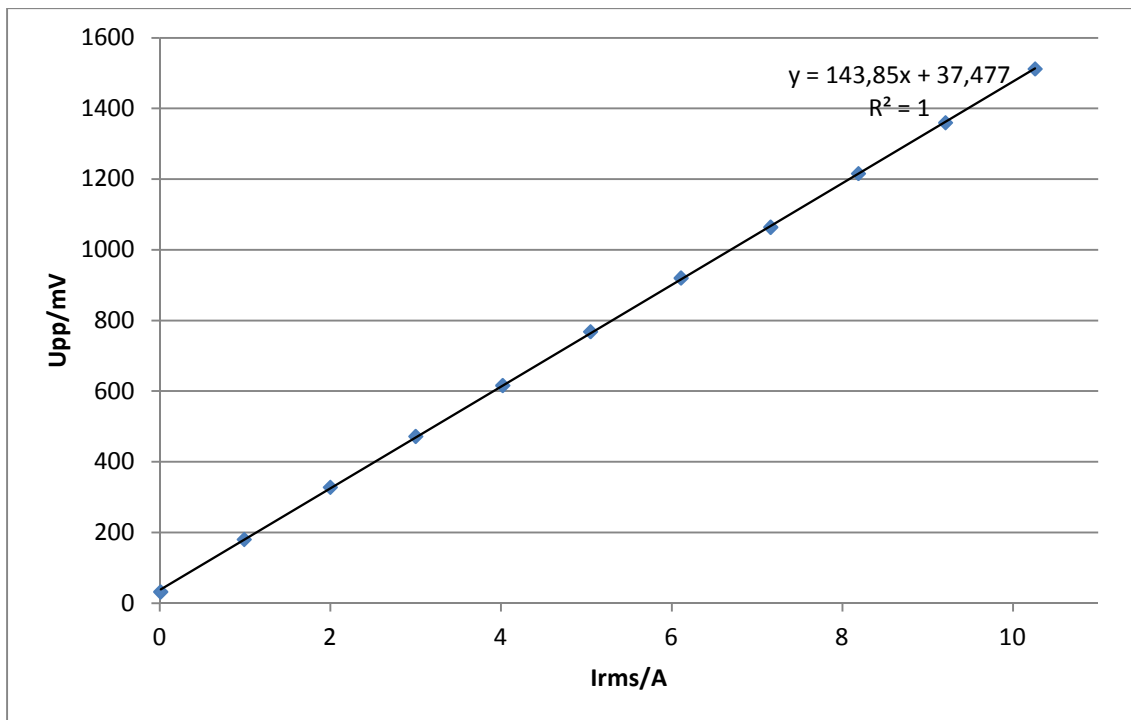
KUVA 1. Hall-anturin testikytkentä

Mittaukset suoritettiin 0–10 A:n tehollisarvoilla yhden ampeerin mittausväleillä. Flukesta otettiin talteen virran tehollis- ja huippuarvot ( $I_{rms}$  ja  $I_p$ ). Vastaavasti anturin lähdöstä kirjattiin ylös oskilloskoopilla mitattu jännitteen huipusta huippuun arvo  $U_{pp}$ . Mittaustulokset näkyvät taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Hall-anturin mittaustulokset

Mittaus	Fluke 435		Anturi $U_{pp}$ (mV)
	$I_{rms}$ (A)	$I_p$ (A)	
1	0,01	0,01	32
2	0,99	1,41	180
3	2,00	2,82	328
4	3,00	4,24	472
5	4,02	5,68	616
6	5,05	7,13	768
7	6,11	8,62	920
8	7,16	10,10	1064
9	8,19	11,55	1216
10	9,21	12,99	1360
11	10,26	14,45	1512

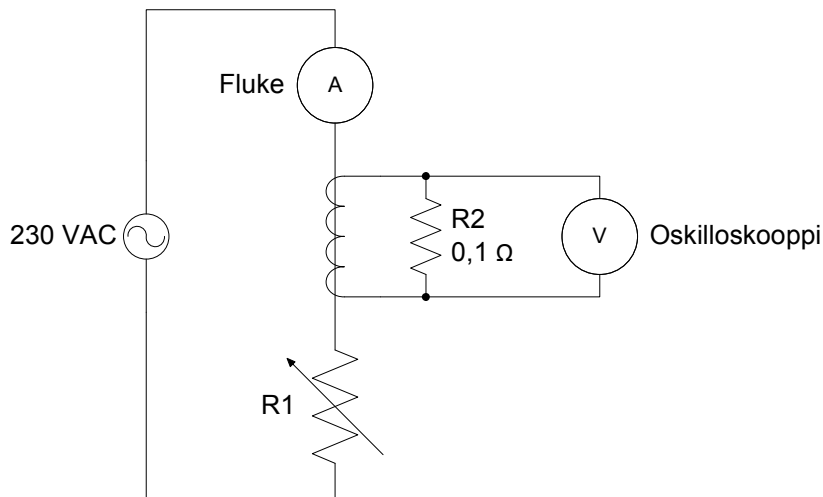
Taulukon 1 arvoista piirrettiin kuvaaja (kuva 2) anturin ulostulon jännitteen huipusta huippuun arvo virran funktiona Excel-ohjelmalla. Kuvaajaan laskettiin myös suoran yhtälö  $y$  ja korrelaatiokerroin  $R^2$ .



KUVA 2. Hall-anturin huipusta huippuun -jännite virran funktiona

### 3.2 Virtamuuntaja

Muuntajan tarkemmat tiedot näkyvät liitteessä 2. Muuntaja ei tarvitse erillistä käyttöjännitettä, joten sen testikytkentä on yksinkertainen. KytKentä on esitelty kuvassa 3. Muuntajan ensiönä toimii virtajohto, joka kulkee toision läpi. Toisiokäämin napojen välille pitää kytkeä kuorma vastus R2. Testikytkennässä käytettiin 0,1  $\Omega$ :n vastusta. Tämän vastuksen yli mitattiin oskilloskoopilla jännitettä.



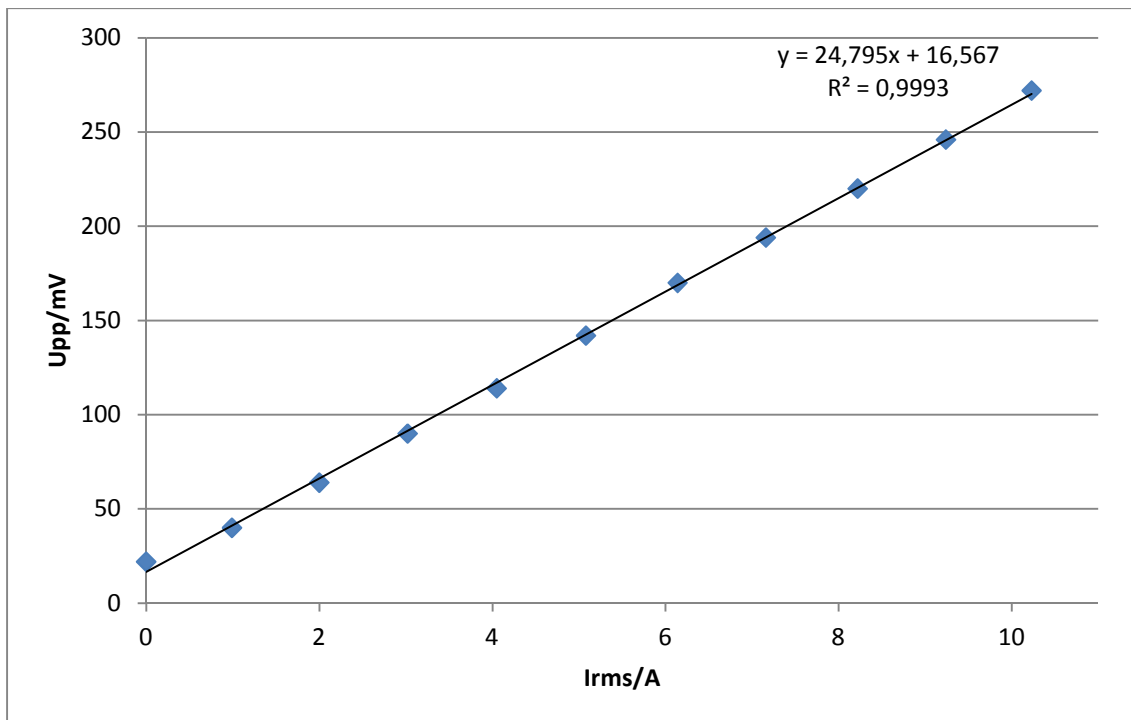
KUVA 3. Virtamuuntaja testauskytkentä

Mittaukset suoritettiin 0–10 A:n tehollisarvoilla yhden ampeerin mittausväleillä. Flukella mitattiin virran tehollis- ja huippuarvo ( $I_{rms}$  ja  $I_p$ ). Muuntajan toisiokäämin navoista mitattiin oskilloskoopilla jännitteen huipusta huippuun arvoa  $U_{pp}$ . Mittaustulokset näkyvät taulukossa 2.

TAULUKKO 2. Virtamuuntajan mittaustulokset

Mittaus	Fluke 435		Muuntaja $U_{pp}$ (mV)
	$I_{rms}$ (A)	$I_p$ (A)	
1	0,00	0,01	22
2	0,99	1,40	40
3	2,00	2,82	64
4	3,02	4,26	90
5	4,05	5,71	114
6	5,08	7,16	142
7	6,14	8,66	170
8	7,16	10,10	194
9	8,22	11,57	220
10	9,24	13,02	246
11	10,23	14,42	272

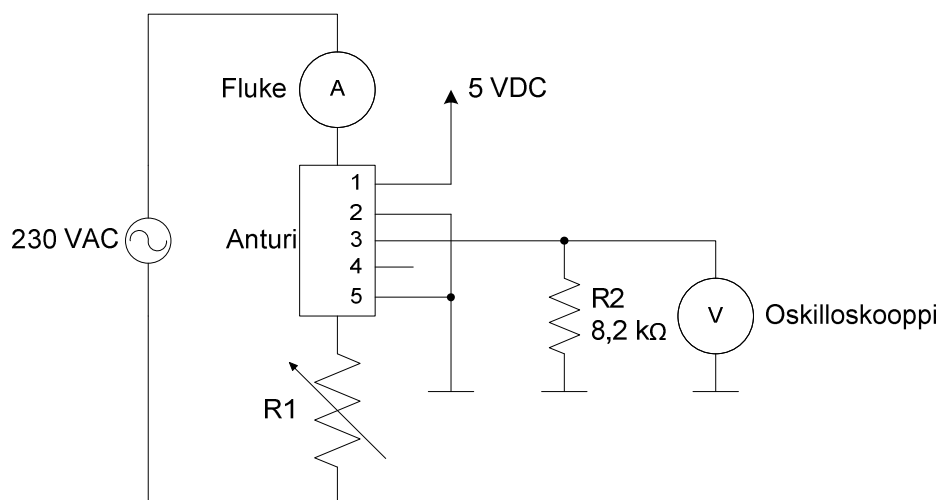
Taulukon 2 arvoista piirrettiin kuvaaja (kuva 4) anturin ulostulon jännitteen huipusta huippuun arvon virran funktiona Excel-ohjelmalla. Kuvaajaan laskettiin myös suoran yhtälö  $y$  ja korrelaatiokerroin  $R^2$ .



KUVA 4. Virtamuuntajan huipusta huippuun -jännite virran funktiona

### 3.3 Virta-anturi 1

Virta-anturin 1 tarkemmat tiedot ovat esitelty liitteessä 3. Anturi vaatii toimiakseen 5 VDC:n käyttöjännitteen. Kuvassa 5 on esitelty virta-anturin testikytkentä. Anturin pinnit ovat kytketty datalehden ohjeiden mukaan ja ulostulon (pinni 3) on kytketty kuormavastuksen R2 kautta maahan. Kuormavastuksena käytettiin 8,2 kΩ:n vastusta. Oskilloskooppi kytkettiin anturin pinnin 3 ja maan välille.



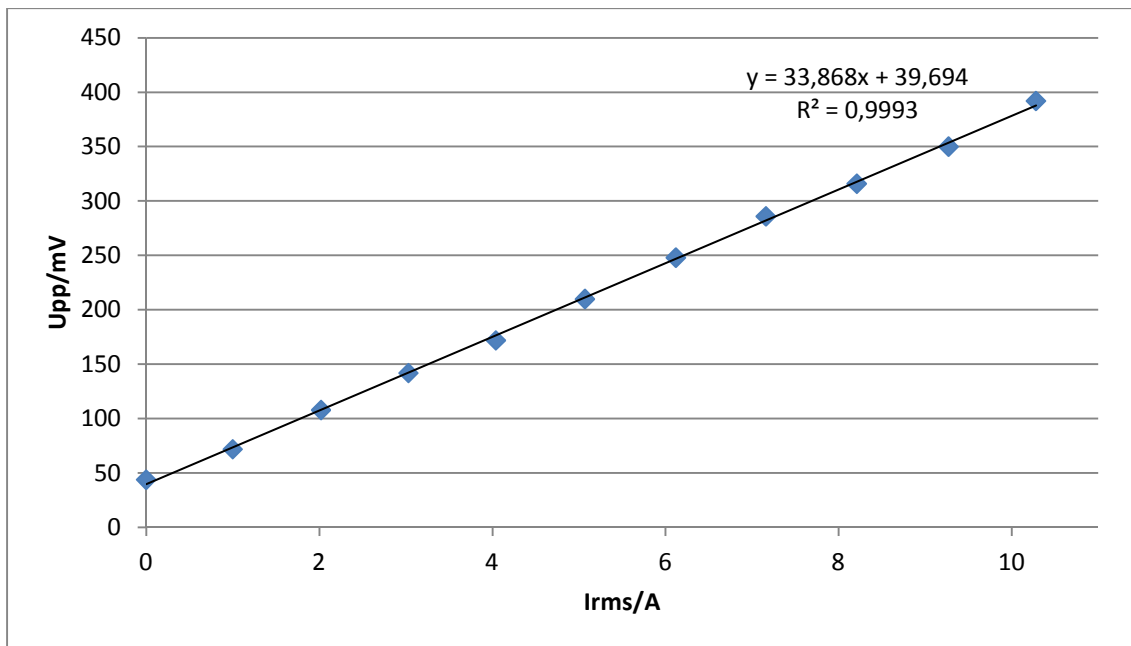
KUVA 5. Virta-anturi 1:n testikytkentä

Mittaustulokset suoritettiin 0–10 A:n tehollisarvoilla yhden ampeerin mittaussväleillä. Flukella mitattiin virran tehollis- ja piikkiarvo ( $I_{rms}$  ja  $I_p$ ). Virta-anturin ulostulosta mitattiin oskilloskoopilla jännitteen huipusta huippuun arvoa  $U_{pp}$ . Mittaustulokset näkyvät taulukossa 3.

*TAULUKKO 3. Virta-anturi 1:n mittaustulokset*

Mittaus	Fluke 435		Anturi $U_{pp}$ (mV)
	$I_{rms}$ (A)	$I_p$ (A)	
1	0,00	0,01	44
2	1,00	1,42	72
3	2,02	2,85	108
4	3,03	4,27	142
5	4,04	5,70	172
6	5,07	7,15	210
7	6,12	8,64	248
8	7,16	10,10	286
9	8,21	11,58	316
10	9,27	13,08	350
11	10,28	14,50	392

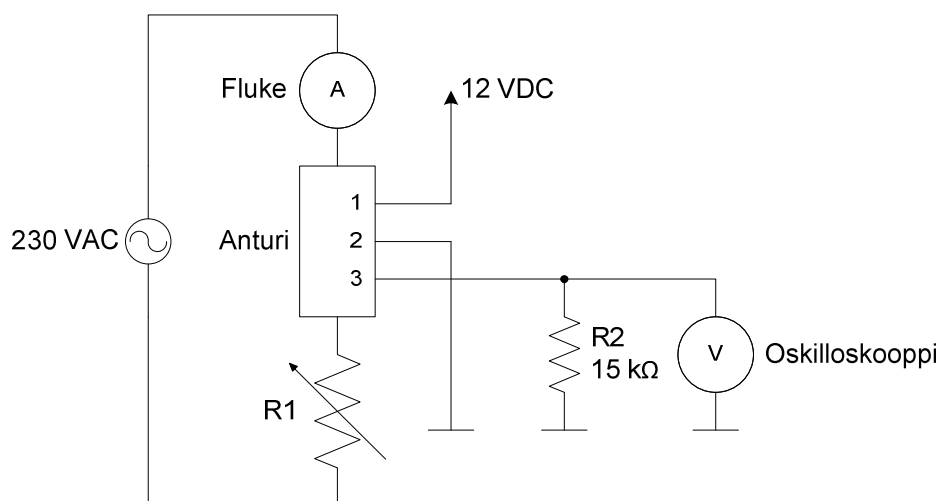
Mittaustuloksista piirrettiin kuvaaja (kuva 6) anturin ulostulon jännitteen huipusta huippuun -arvon virran funktiona Excel-ohjelmalla. Kuvaajaan laskettiin myös suoran yhtälö  $y$  ja korrelaatiokerroin  $R^2$ .



KUVA 6. Virta-anturi 1:n huipusta huippuun -jännite virran funktiona

### 3.4 Virta-anturi 2

Anturin tiedot on esitelty liitteessä 4. Testikytkenässä käytettiin 12 VDC:n jännitettä. Ulostulon (pinni 3) kuormitus poikkeaa muista antureista siten, että kuormavastuksen R2:n on oltava vähintään 10 kΩ:a. Testikytkenässä käytettiin 15 kΩ:n vastusta. Testikytkenä on esitelty kuvassa 7.



KUVA 7. Virta-anturi 2:n testikytkenä

Mittaustulokset suoritettiin 0–10 A:n tehollisarvoilla yhden ampeerin mittaussvälein. Flukella mitattiin virran tehollis- ja huippuarvoa ( $I_{rms}$  ja  $I_p$ ). Virta-anturin

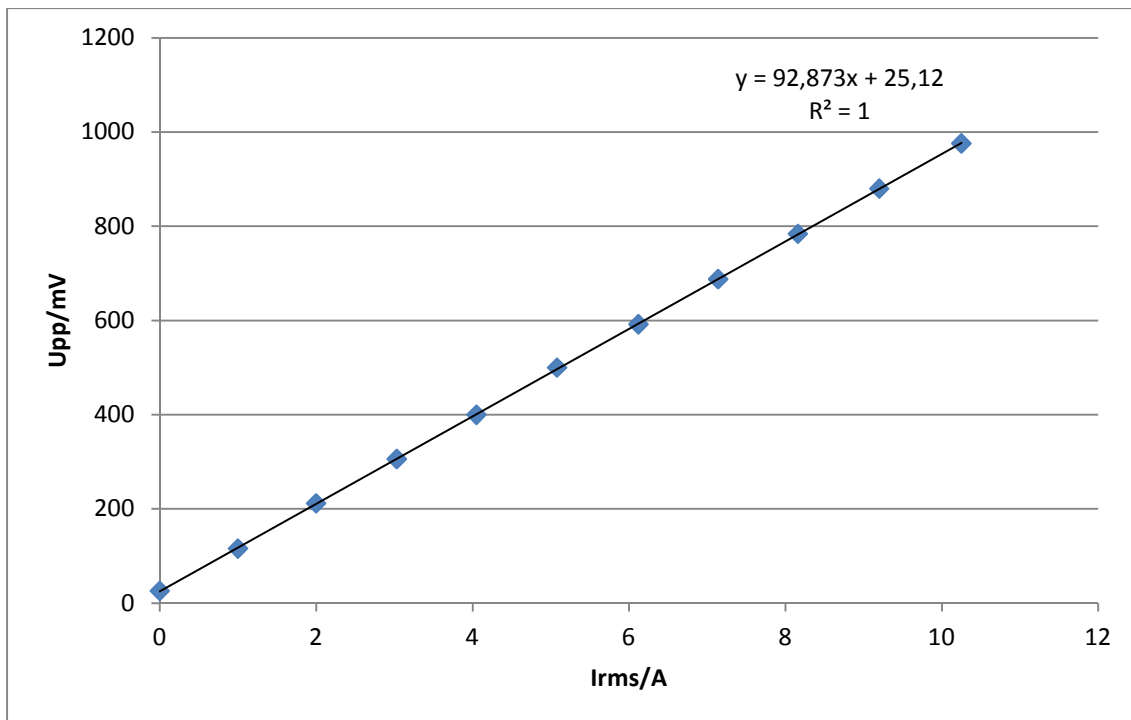


ulostulosta mitattiin oskilloskoopilla jännitteen huipusta huippuun -arvoa  $U_{pp}$ . Mittaustulokset näkyvät taulukossa 4.

*TAULUKKO 4. Virta-anturi 2:n testikytkennän mittaustulokset*

Mittaus	Fluke 435		Virta-anturi $U_{pp}$ (mV)
	I <sub>rms</sub> (A)	I <sub>p</sub> (A)	
1	0,00	0,00	26
2	1,00	1,41	116
3	2,00	2,82	212
4	3,03	4,27	306
5	4,05	5,70	400
6	5,08	7,16	500
7	6,12	8,63	592
8	7,14	10,05	688
9	8,16	11,50	784
10	9,20	12,98	880
11	10,25	14,44	976

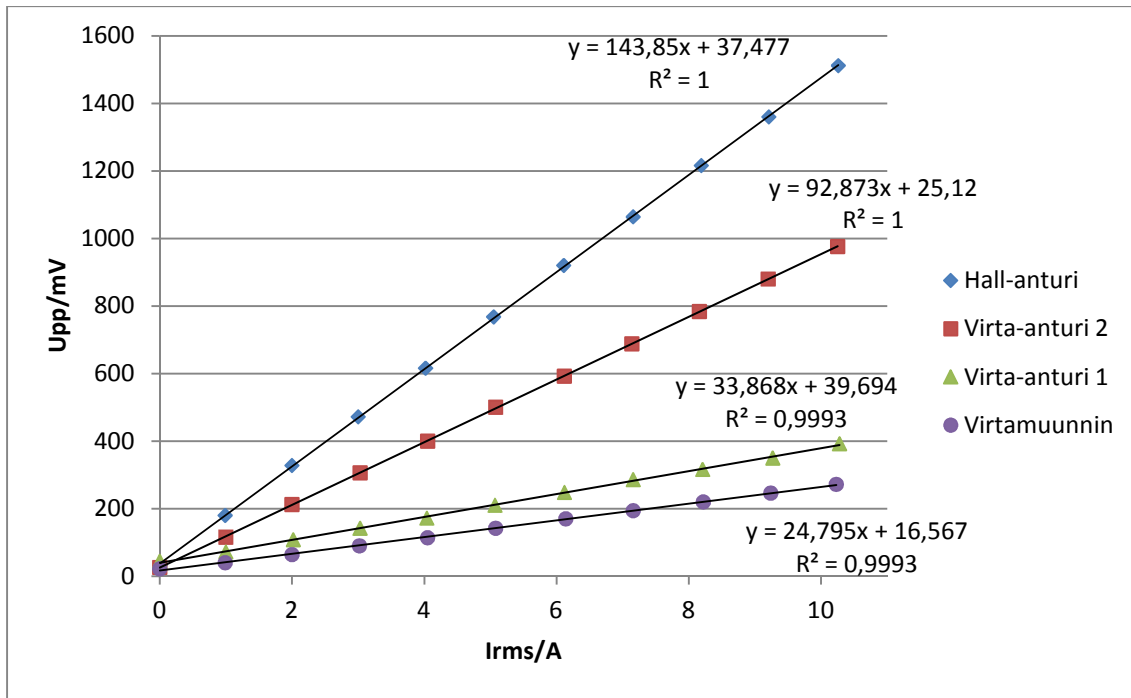
Mittaustuloksista muodostettiin kuvaaja (kuva 8) huipusta huippuun -jännite virran funktiona Excel-ohjelmalla. Excel-ohjelmalla laskettiin kuvaajaan suoran yhtälö  $y$  ja korrelaatiokerroin  $R^2$ .



KUVA 8. Virta-anturi 2:n huipusta huippuun -jännite virran funktiona

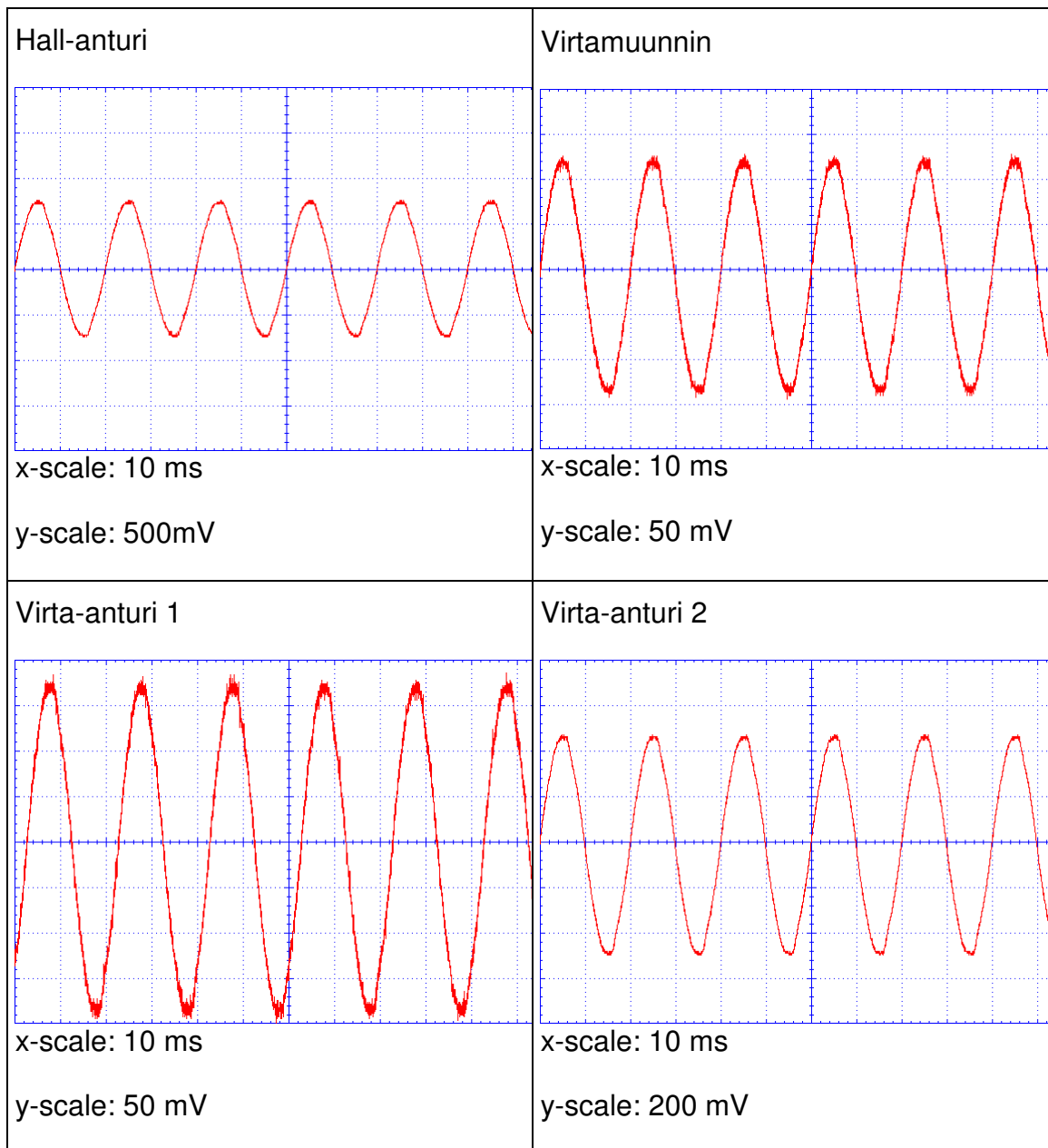
### 3.5 Jatkotutkimukset

Kuvaan 9 on koottu kaikkien neljän testatun virta-anturin huipusta huippuun -jännitteen virran funktion kuvaajat. Kaikilla antureilla korrelaatiokerroin on 1 tai lähelle sitä. Tämä tarkoittaa sitä, että antureiden toiminta 0–10 A:n alueella on lineaarista ja poikkeamia ei ole mittausalueella. Suurin ulostulojännite saadaan Hall-anturilla ja pienin jännite virtamuuntajalla.



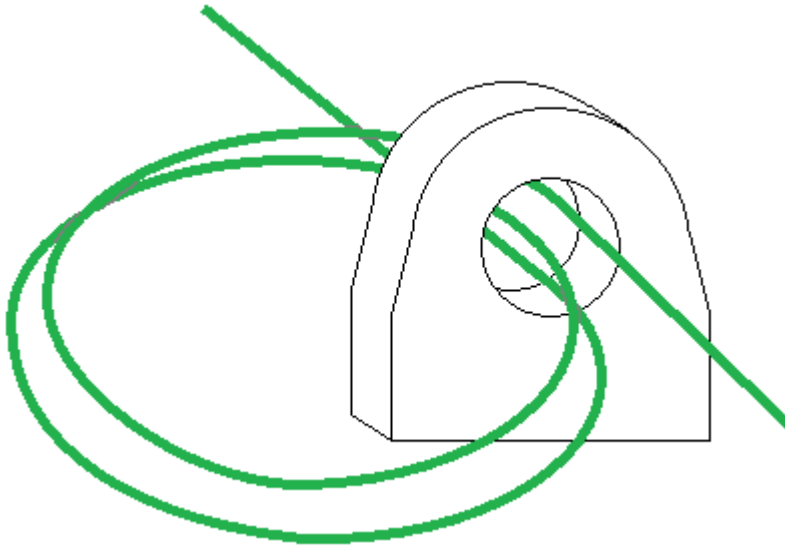
KUVA 9. Antureiden huipusta huippuun -jännite virran funktiona

Kuvaan 10 on kerätty antureiden ulostulosta mitattu jännite 10 A:n virralla. Antureiden jännitetasot ovat keskenään eritasoisia, ja tästä syystä oskilloskoopin yskaalausta on jouduttu erikseen muuttamaan sopivaksi kullekin anturille. Antureiden ulostulosignaalin taajuus on sähköverkon taajuus, joka on noin 50 Hz.



KUVA 10. Antureiden ulostulon aaltomuodot 10 A:n kuormalla

Neljästä virta-anturista valittiin kaksi suurimman ulostulojännitteen omaavaa anturia, Hall-anturi ja virta-anturi 2. Testikytettä näille antureille muutettiin siten, että mitattava virtajohto kierretään kolme kertaa anturin läpi kuvan 11 mukaisesti. Johtimen kierrättämisellä päästiin mittaamaan anturin toimintaa näennäisesti suuremmilla virroilla.



*KUVA 11. Mitattava johdin kolme kertaa anturin läpi*

Kun johtimessa kulkee 1 A:n virta, anturi tulkitsee sen 3 A:n virraksi. Vastaavasti 5 A:n virta johtimessa vastaa 15 A:a anturissa. Tällä menetelmällä päästään mittaamaan 30 A:n virtaa, kun todellisena kuormana on 10 A. Kuten aikaisemmissakin mittauksissa, mittaukset suoritettiin 0 A:sta 10 A:iin yhden ampeerin mittaussvälein. Todellisen virran tehollis- ja huippuarvo mitattiin Fluke-mittarilla. Virta-antureiden ulostulosta mitattiin oskilloskoopilla jännitteen huipusta huippuun -arvo. Mittaustulokset näkyvät taulukossa 5 ja 6.

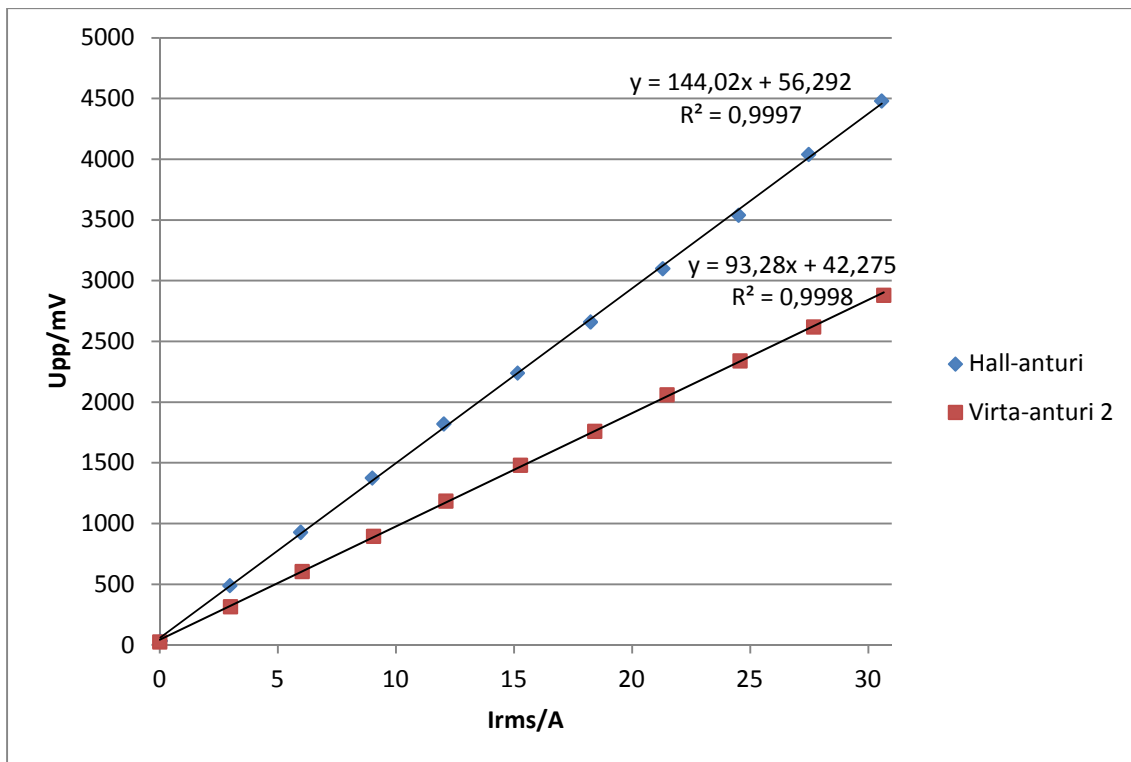
*TAULUKKO 5. Hall-anturin testikytkennän mittaustulokset*

Mittaus	Fluke 435		Virta-anturi Upp (mV)
	Irms (A)	Ip (A)	
1	0,01	0,01	34
2	0,99	1,40	488
3	1,99	2,82	928
4	3,00	4,23	1376
5	4,01	5,66	1820
6	5,05	7,12	2240
7	6,08	8,57	2660
8	7,10	10,00	3100
9	8,17	11,50	3540
10	9,16	12,91	4040
11	10,19	14,35	4480

TAULUKKO 6. Virta-anturi 2:n testikytkennän mittaustulokset

Mittaus	Fluke 435		Virta-anturi Upp (mV)
	I <sub>rms</sub> (A)	I <sub>p</sub> (A)	
1	0,00	0,01	26
2	1,00	1,41	314
3	2,01	2,83	604
4	3,02	4,26	896
5	4,04	5,70	1184
6	5,09	7,17	1480
7	6,14	8,66	1760
8	7,16	10,10	2060
9	8,19	11,55	2340
10	9,23	13,00	2620
11	10,22	14,40	2880

Mittaustuloksista muodostettiin kuvaajat huipusta huippuun -jännite virran funktiona Excel-ohjelmalla. Kuvaaja on esitetty kuvassa 12. Excel-ohjelmalla laskettiin kuvaajien suoranyhtälöt y ja korrelaatiokertoimet  $R^2$ . Fluke-virtamittarilla mitatut virran tehollisarvot kerrottiin kolmella, jotta anturin jännitearvot vastaisivat todellista arvoa.



KUVA 12. Antureiden huipusta huippuun -jännite virran funktiona

Koska Hall-anturin ja virta-anturi 2:n lineaarisuudessa ei ole merkittävää eroa, virtamittarissa käytettäväksi anturiksi valittiin Hall-anturi korkeamman ulostulojännitteen vuoksi. Lisäksi valintaan vaikutti Hall-anturin tukevampi kiinnitystapa piirilevyllä.

## 4 PROTOTYYPIN MÄÄRITTELY

### 4.1 Kotelointi ja liitännät

Prototyyppi päätettiin toteuttaa kahteen erilliseen koteloon, joista toinen sisältää virta-anturit ja niiden komponentit. Tätä koteloa kutsutaan tässä työssä anturikoteloksi ja sen sisältämää piirilevyä anturilevyksi. Toinen kotelo puolestaan sisältää kaikki muut komponentit ja toiminnot, joista lisää myöhemmin. Tätä koteloa kutsutaan mittarikoteloksi ja sen sisällä olevaa piirilevyä mittarilevyksi. Kumpikin kotelo on käytössä sijoitettu sähkökeskuksessa, joten koteloinnin IP-luokitukseksi riittää IP2X. Mittarikotelo kiinnitetään DIN-kiskoon ja anturikotelossa on ruuvikiinnitysmahdollisuus.

Mittarikotelon liitännät ovat seuraavat:

- 2-napainen ruuviliitin 12 VDC:n käyttöjännitteelle
- 2-napainen ruuviliitin jännitteenmittaukselle
- 2-napainen ruuviliitin pulssilaskennalle
- suojattu RJ-45-liitin anturikoteloon
- 3-napainen piikkirima sarjaliikenteelle
- 2 x 8 -napainen piikkirima LDC-näytölle
- 2-napainen piikkirima taustavalon kytkimelle.

Anturikotelon läpi tulee kulkemaan kolme vaihejohtoa ilman erillisiä liittimiä, jotta laitteessa säilytetään sähköturvallisuus. Kotelon ainoa liitäntä on häiriösuojattu RJ-45-liitin. RJ-45-johdolla tuodaan mittarilevyltä anturien vaatima käyttöjännite anturilevylle ja antureiden jännitesignaalit viedään samassa johdossa mittarilevylle. RJ-45-liitin ja -johto valittiin häiriönsietokykyjensä perusteella ja niistä löytyy tarvittava määrä johtimia.

### 4.2 Virran- ja jännitteenmittaukset

Virranmittaus toteutettiin vaihekohtaisesti. Suunnittelun lähtökohtana on se, että suurin virta yhdessä vaiheessa on 25 A. Kuitenkin virranmittausjärjestelmä



suunniteltiin siten, että se on helposti muutettavissa 35 A:n virroille. Virta-arvo ilmoitetaan 0,1 A:n tarkkuudella LDC-näytöllä ja sarjaliikenteessä.

Jännitteenmittaus toteutetaan vaihe- ja nollajohtimen väliltä. Näille johtimille varataan riviliittimet mittarilevyltä. Jännitteenmittaus pyrittiin toteuttamaan mahdollisimman yksinkertaisesti ja vähillä komponenteilla. Jännitteen mittaamisen tarkkuudeksi riittää 1 VAC:n tehollisarvo.

### **4.3 Sarjaliikenne**

Mittarilevyllä oleva mikrokontrolleri muodostaa TTL-tasaisen sarjaliikenteen, jossa se ilmoittaa virta-, jännite- ja pulssilaskurin muutokset. Sarjaliikennettä syntyy ainoastaan, kun tapahtuu riittävän suuri muutos edellisiin arvoihin. Mikrokontrolleri lähettää datapakettina uudet nykyiset arvot, kun muutosta tapahtuu jossakin mitattavassa arvossa.

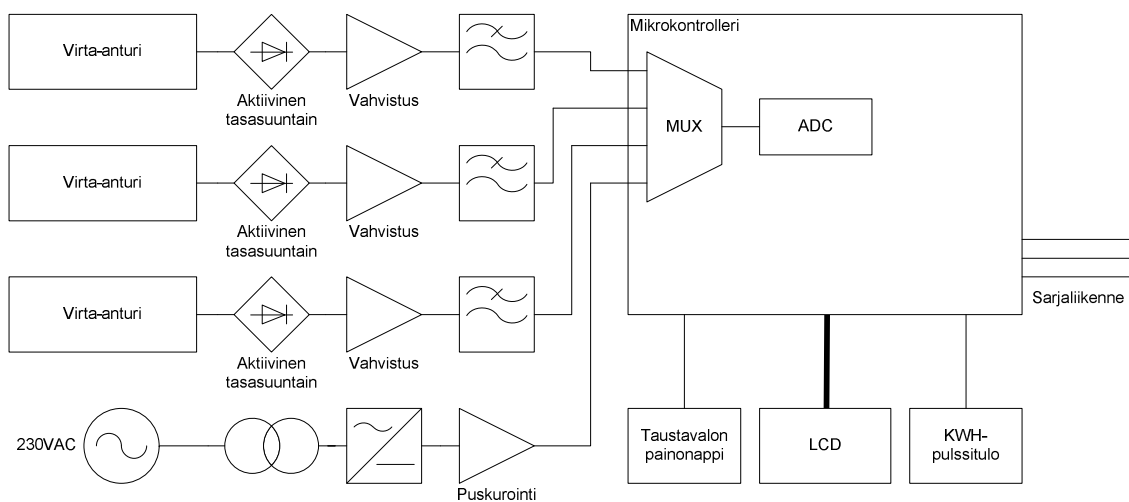
Sarjaliikenteen kautta voidaan mikrokontrolleri asettaa kalibrointitilaan. Kalibrointitilassa mikrokontrolleri antaa virtaa ja jännitettä vastaavia AD-muunnoksen arvoja sarjaliikenneporttiin. AD-muunnosarvoista lasketaan uudet kertoimet ja vakiotermit. Kalibrointiarvojen laskennan jälkeen mikrokontrollerille voidaan syöttää virran ja jännitteen laskentaa varten uudet arvot sarjaliikenteen kautta.

### **4.4 Näyttö**

Näyttönä käytetään kaksirivistä 20 merkin LCD-näyttöä. LCD-näytöllä näytetään kolmen vaiheen tehollisvirta-arvot 0,1 ampeerin tarkkuudella ja yhdestä vaiheesta mitattu tehollinen jännitearvo. Näytön taustavalo voidaan pistää päälle mittarilevyn painonapista tai piikkirimaliitännästä. Taustavalo sammuu automaattisesti noin minuutin kuluttua. Näytön käyttö valmiissa tuotteessa ei ollut vielä varmaa, ja tästä syystä näytön toimintaan ei panostettu kovinkaan paljon tässä vaiheessa.

## 5 ELEKTRONIIKAN SUUNNITTELU

Tämä osio sisältää kuvauksen virranmittausjärjestelmän prototyypin kytkentäkaaviosta. Prototyypin kytkentäkaavio on jaettu kahteen osaan, mittari- ja anturilevyyn. Kytkentäkaaviot ovat liitteessä 7 ja 8. Elektroniikan periaatetasonkuva on esitelty kuvassa 13. Lohkokaaviossa on esitelty koko mittausjärjestelmän toiminta pääpiirteittäin. Myöskään kaaviossa ei ole eritelty anturilevyä ja mittari-levyä erikseen.



KUVA 13. Elektroniikan lohkokaavio

Elektroniikan suunnittelun lähtökohtana oli se, että virta-anturit sijoitetaan erilliseen piirilevyllä muiden komponenttien ollessa toisella piirilevyllä. Tämä mahdollistaa toiminnallisen piirilevyn sijoittamisen sähkökeskuksessa kauemmaksi häiriöitä aiheuttavista 230 VAC:n johdoista, joista mitataan virtaa. Mittari- ja anturilevyn välillä käytetään RJ-45-johtoa. RJ-45-liittimen pinnit on kytketty taulukon 7 mukaisesti ja kuvassa 14 on käytetyn RJ-45-liittimen todellinen kuva.

TAULUKKO 7. RJ-45-liitimen kytkentä

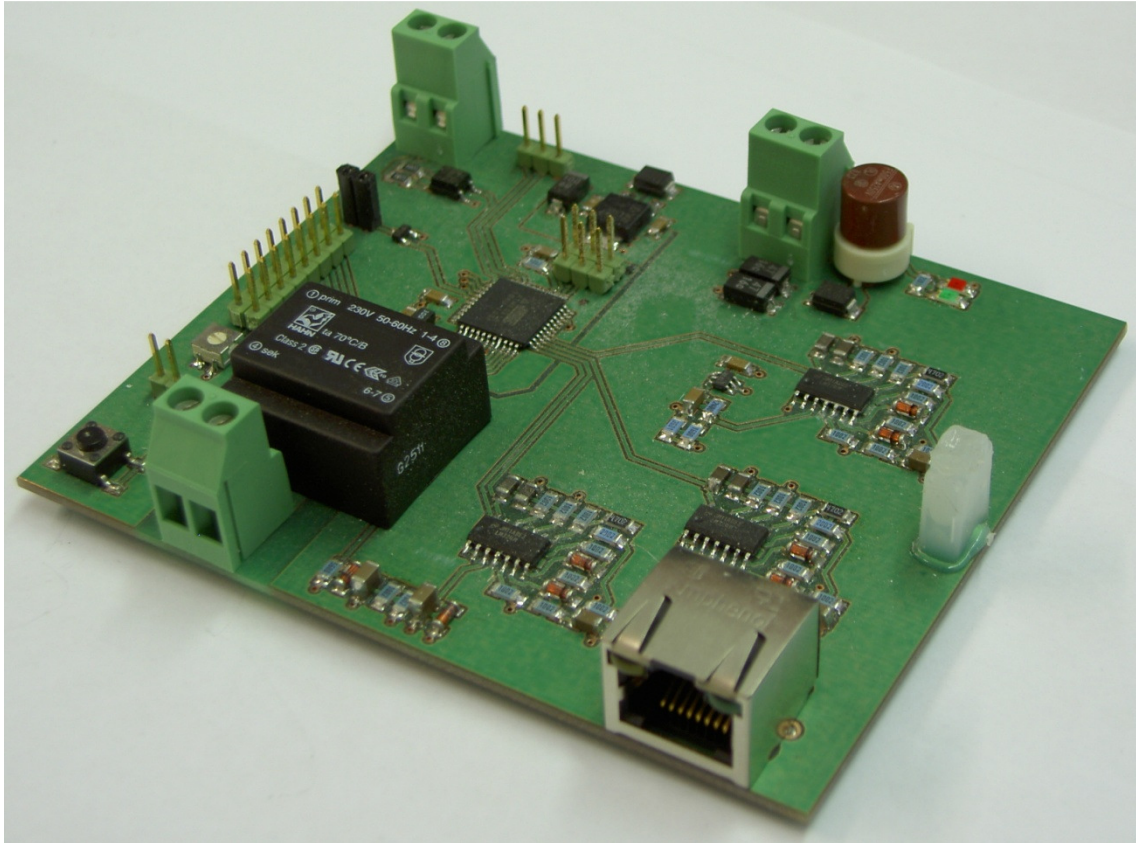
Pinni	Arvo
1	Virta-anturin 1 jännitetieto
2	GND
3	Virta-anturin 2 jännitetieto
4	GND
5	Virta-anturin 3 jännitetieto
6	GND
7	12 VDC
8	GND
Ulkokuori	Häiriösuojaus



KUVA 14. RJ-45-liitin (4)

## 5.1 Mittarilevy

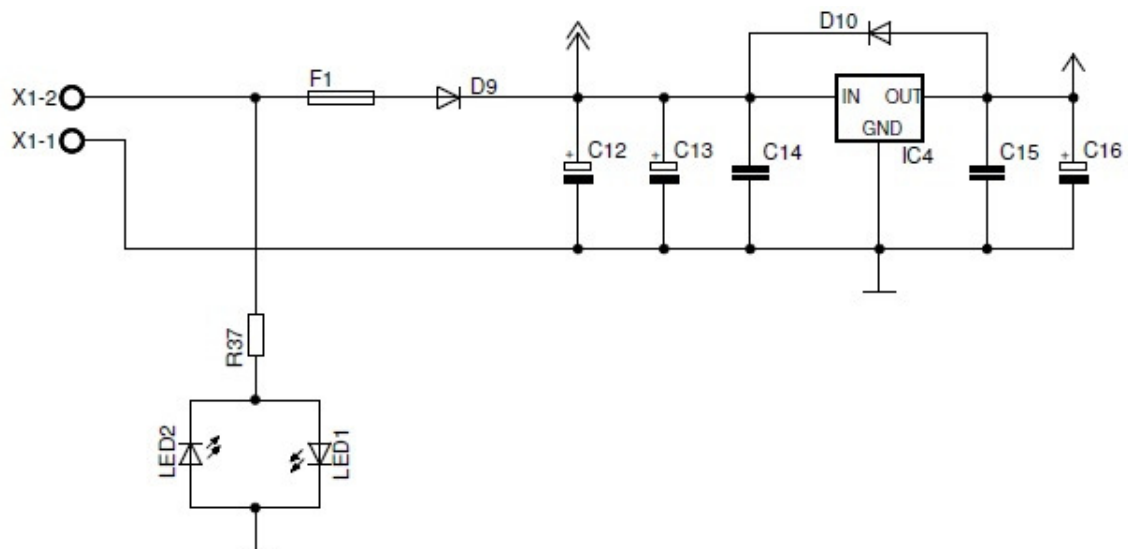
Mittarilevyllä on sijoitettu kaikki toiminnalliset osat ja ulkopuoliset liitännät. Liitännät ovat 12 VDC:n käyttöjännitteen syöttö, pulssi tulo, sarjaliikenneportti, jännitemittauksen liitin ja RJ-45-liitin. Mittarilevy on jaettu analogiseen ja digitaaliseen osaan. Analogisessa osassa on virran- ja jännitemittauksessa tarvittavat operaatiovahvistimet ja niiden oheiskomponentit, lisäksi jännitemittauksen piirilevymuuntaja. Digitaalisessa on mikrokontrolleri, pulssilaskennan komponentit, liitäntä näytölle ja sarjaliikenteelle. Kuvassa 15 näkyy mittarilevy.



*KUVA 15. Mittarilevy*

### **5.1.1 Jännitteet**

Virtamittari toimii 12 VDC:n jännitteellä ja se tuodaan mittarilevyn 2-napaiseen riviliittimeen X1 mittarilevylle. Kuvassa 16 on esitelty mittarilevyn jännitesyötön kytkentä ja digitaaliosan tarvitsema 5 VDC:n jännitteen muodostus. 12 VDC:n jännite viedään RJ-45-liittimen kautta myös anturilevylle. Anturilevylle menevä jännite otetaan diodin D9 jälkeen.



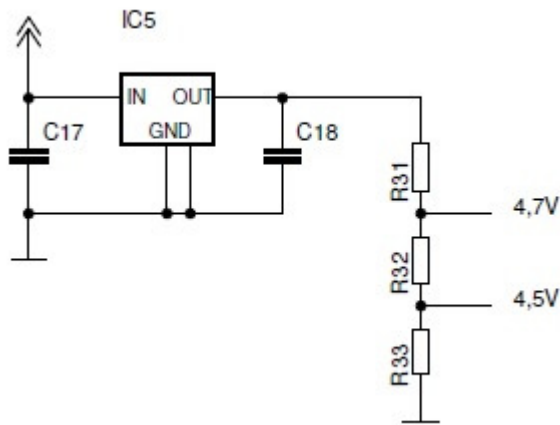
KUVA 16. Käyttöjännitteen syöttö mittarilevyllä

Aikaisemmin mainittiin, että virranmittausjärjestelmän 12 VDC:n käyttöjännite tuodaan mittarilevyllä olevaan 2-napaiseen riviliittimeen X1. Riviliittimen napaan X1-2 tuodaan positiivinen jännite ja X1-1 liittimeen maapotentiaali. Kytkennässä on 0,5 A:n sulake F1, jolla suojataan koko järjestelmä. Diodilla D9 estetään käyttöjännitteen väärinpäin kytkemisen mahdollisuus muuhun kytkentään. Käyttöjännitteen napaisuus ilmaistaan ledeillä LED1 ja LED2. Vihreä LED1 palaa kun käyttöjännite on oikeinpäin ja punainen LED2 palaa kun napaisuus on väärinpäin. Ledeille on yksi yhteinen etuvastus R37. Diodin D9 jälkeen kytkennässä on kaksi tantaalikondensaattoria C12 ja C13 tasaamassa mahdollisia jännitevaihteluita.

Mittarilevyn digitaaliosaan muodostetaan 5 VDC:n jännite regulaattorilla IC4. Regulaattorin tulossa ja lähdössä on kondensaattorit C14 ja C15 korkeataajuisien häiriöiden eliminoimiseksi. Diodi D10 on regulaattorin suojausta varten silloin, kun käyttöjännite katkaistaan tai sulake katkaisee jännitteen. Kondensaattorilla C16 tasataan 5 VDC:n jännitteen mahdollinen vaihtelu.

12 VDC jännitteestä muodostetaan myös 5,0 VDC:n, 4,7 VDC:n ja 4,5 VDC:n referenssijännitteet. Referenssijännitteiden kytkentä näkyy kuvassa 17. Regulaattorin IC5 tulossa ja lähdössä on kondensaattorit C17 ja C18 vakavoimassa jännitettä. 5,0 VDC:n jännitteestä muodostetaan kytkennässä tarvittavat vertai-

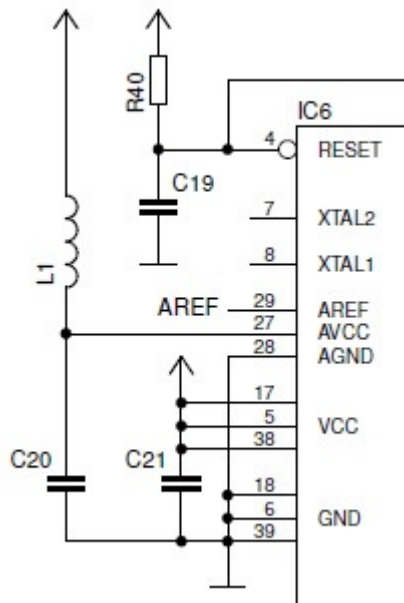
lujännitteet 4,7 VDC ja 4,5 VDC jännitejaolla. Jännitejako muodostuu vastuksista R31, R32 ja R33.



KUVA 17. Referenssijännitteet

### 5.1.2 Mikrokontrolleri

Mittaustulosten käsittelyyn, sarjaliikenteeseen ja LDC-näytön ohjaukseen käytetään ATmega16-mikrokontrolleria IC6. Mikrokontrolleri saa käyttöjännitteen digitaaliosan 5 VDC jännitteestä. Käyttöjännite tuodaan mikrokontrollerin neljään käyttöjännitepinniin, joista yhteen jännite alipäästösuodatetaan. Alipäästösuodatettu jännite toimii mikrokontrollerin sisäisen AD-muuntimen käyttöjännitteenä. Näin toimittuna varmistetaan AD-muuntimen hyvä toiminta käyttöjännitteen osalta. Mikrokontrollerin käyttöjännitteet ja reset-kytkentä näkyvät kuvassa 18.



KUVA 18. Mikrokontrollerin käyttöjännitteet ja reset-kytkentä

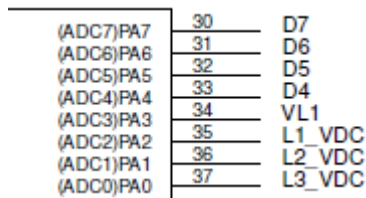
Alipäästösuodattimen muodostavat kela L1 ja kondensaattori C20. Kelan L1 toinen pää on kytketty 5 VDC:n jännitteeseen ja toinen pää kondensaattorin C20 kautta maatasoon. Kelan ja kondensaattorin välistä saadaan alipäästösuodatettu jännite mikrokontrollerin AVCC-pinniin. AD-muunnos tarvitsee toimiakseen referenssijännitteen, joka tässä tapauksessa on 4,7 V. Se kytketään kontrollerin AREF-pinniin.

Mikrokontrollerin reset-kytkentä muodostuu vastuksesta R40 ja kondensaattorista C19. Käyttöjännitteen kytkennän jälkeen kondensaattori C19 varautuu vastuksen R40 läpi. Tämä antaa nolla-aktiivisen RESET-pinnille tietyn aikavakion, joka määräytyy vastuksen ja kondensaattorin arvoista.

Mikrokontrollerissa on neljä porttia, joilla on erilaisia ominaisuuksia. Jokaisessa portissa on kahdeksan I/O-pinniä. ATmega16-piirillä on kolme ulkoista keskeytyspinniä, joista yksi on varattu myöhempää käyttöä varten INT0. Myöhempää käyttöä silmälläpitäen C-portti on myös jätetty käyttämättä tässä työssä.

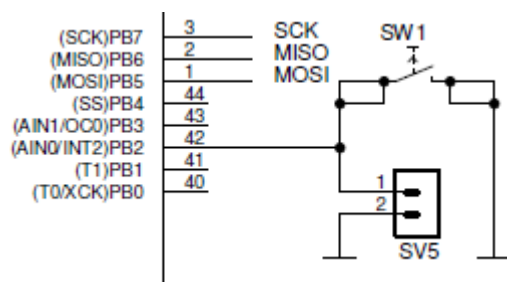
A-portissa sijaitsee mikrokontrollerin 8-kanavainen AD-muunnin. A-portin kytkentä näkyy kuvassa 19. AD-muuntimesta tarvitaan neljä kanavaa analogisten mitta-arvojen muuntamiseen (PA0–PA3). Pinniin PA0 tuodaan vaiheen L3 virran jännitetieto, pinniin PA1 vaiheen L2 virran jännitetieto ja pinniin PA2 vaiheen L1 virran jännitetieto. Pinniin PA3 tuodaan vaiheen L1 jännitteen signaali.

ATMega16 datalehdessä ei suositella AD-muunnosta käytettäessä, että A-porttiin kytkettäisiin digitaalisia tuoja tai lähtöjä. Kuitenkin pinnien vähyydestä johtuen näytön neljä datalinjaa (D4–D7) on kytketty A-portin ylimpiin pinneihin (PA4–PA7). Näin voidaan toimia, jos ohjelmassa estetään datalinjojen tilojen muuttaminen AD-muunnoksen aikana.



KUVA 19. Mikrokontrollerin A-portin kytkentä

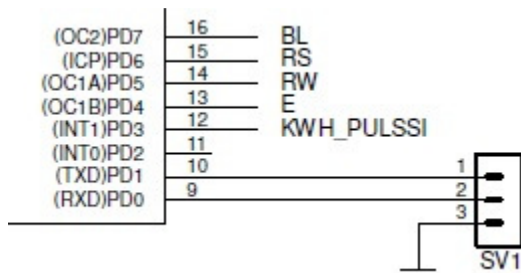
Mikrokontrollerin B-portin kytkentä näkyy kuvassa 20. Mikrokontrollerin B-portissa on kontrollerin ohjelmointipinnit SCK, MISO ja MOSI. Ne ovat kolme ylintä pinniä portista. Näihin pinneihin on kytketty ohjelmointi liitin SV3. PB2 on yksi kolmesta ulkoisesta keskeytyksestä. Pinniin on kytketty painonappi SW1 pinnin ja maatasen välille. Painonapin rinnalle on kytketty 2-pinninen piikkirima SV5 ulkoista kytkintä varten. Kytkimellä ohjataan LCD-näytön taustavalon päälle kytkemistä.



KUVA 20. Mikrokontrollerin B-portin kytkentä

D-portin kytkentä on esitelty kuvassa 21. Sarjaliikenteen pinnit RXD ja TXD ovat portin kaksi alinta pinniä PD0 ja PD1. Nämä on kytketty piikkirimaan SV1. Piikkirimasta saadaan TTL-tasoinen sarjaliikenne. D-portissa on keskeytys INT1 pinnissä PD3, johon tuodaan kWh-mittarilta esikäsitelty pulssi. Portin pinneillä D4–D6 ohjataan LCD-näytön toimintaa. Lisäksi PD7 pinnillä ohjataan taustavalon transistoria Q1.

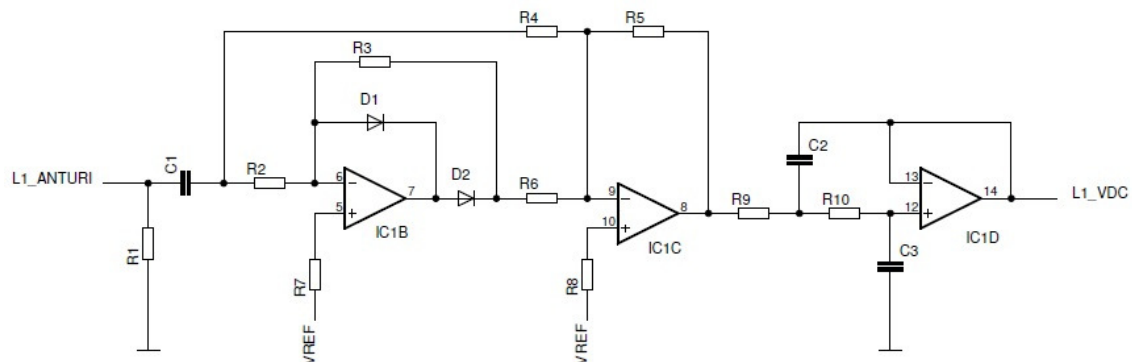




*KUVA 21. Mikrokontrollerin D-portin kytkentä*

### 5.1.3 Virranmittaus

Mittarilevylle tulee kolmen anturin virtatieto jännitesignaalina RJ-45-liittimen kautta. Jokaiselle signaalille on oma linja mikrokontrollerille saakka. Seuraavassa viitataan pelkästään ensimmäisen vaiheen komponentteihin. Toisen ja kolmannen vaiheen toteutus on identtinen ensimmäisen vaiheen kanssa. Kuvassa 22 on esitelty virranmittausanturin ja mikrokontrollerin välinen kytkentä.



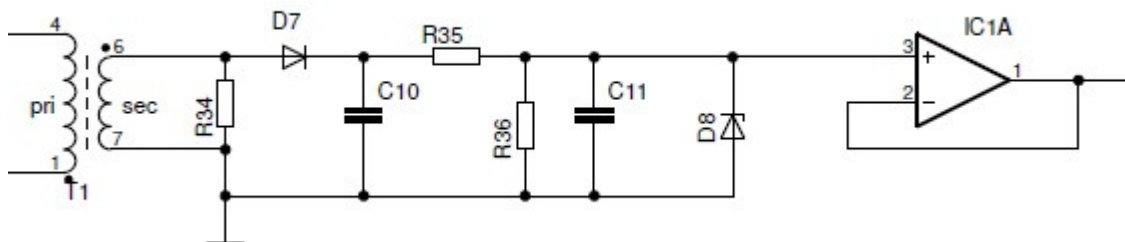
KUVA 22. Virranmittausanturin ja mikrokontrollerin välinen kytkentä

Virta-anturit ovat source output -tyyppisiä, joten ensimmäiseksi signaali tarvitsee alavetovastuksen R1. Anturin lähdön jännitteen suuruus riippuu anturin läpi kulkevasta virrasta. Kun anturin läpi ei kulje virtaa, anturin jännite on puolet käyttöjännitteestä eli noin 6 VDC. Koska mitattava virta on sähköverkon vaihtosähköä, anturin ulostulo on myös saman taajuista vaihtojännitettä, jonka offset-jännite on 6 VDC. Tämä jännite on liian suuri 5 VDC:n jännitteellä toimivalle mikrokontrollerin AD-muuntimelle, joten signaalista muokataan tarpeeksi matala tasasuunnattu jännite. Signaalista erotetaan vaihtojännite kondensaattorilla C1. Seuraavaksi signaali kokoaaltotasasuunnataan aktiivisella tasasuuntauskytkennällä. Tasasuuntauskytkentä koostuu operaatiovahvistimista IC1B, IC1C, vas-

tuksista R2–R8 ja diodeista D1 ja D2. Tällä kytkennällä päästää eroon normaalin tasasuuntauksen diodien kynnyksjännitteen aiheuttamasta virheestä. Tasasuuntauksessa käytetään VREF-jännitettä virtuaalisena maatasona, jonka alapuolelle tasasuuntaus tehdään. Tasasuuntauksen jälkeen signaali menee toisen asteen alipäästösuodatuksen läpi, jonka rajataajuus on hyvin pieni. Alipäästösuodatin koostuu operaatiovahvistimesta IC1D ja komponenteista R9, R10, C2 ja C3. Alipäästösuodatuksen jälkeen signaali on tarpeeksi tasaista AD-muunnokseen.

#### 5.1.4 Jännitteenmittaus

Jännitteenmittauskytkentä on esitelty kuvassa 23. Jännitteenmittaus on toteutettu siten, että vaihe- ja nollajohdin kytketään piirilevynmuuntajaan T1 ensiöön, napoihin 1 ja 4. Muuntajan toisiopuolella on kuormavastus R34, jonka jälkeen diodilla D7 ja kondensaattorilla C10 on toteutettu huippuarvoilmaisoin. Huippuarvoilmaisinkytkennän jälkeen signaalille tehdään jännitejako vastuksilla R35 ja R36. Vastus R35 ja kondensaattori C11 muodostavat ensimmäisen asteen alipäästösuodattimen jännitesignaalin. Zener-diodi D8 toimii kytkennässä ylijännitesuojan operaatiovahvistimelle IC1A, joka puskuroidaan jännitesignaalin mikrokontrollerin AD-muuntimelle.

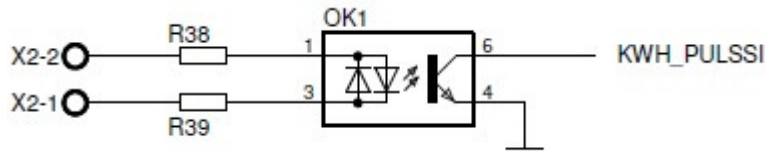


KUVA 23. Jännitteenmittauksen kytkentä

#### 5.1.5 Pulssilaskenta

Useimmissa kWh-mittareissa on pulssiulostulo, joka ilmaisee kilowattitunnit. Esimerkiksi 100 pulssia vastaa yhtä kilowattituntia. Pulssien jännitetaso voi vaihdella 5–40 VDC. Pulssin nollasson on haluttu pitää erillään muun kytkennän nollassosta. Tämän toteuttamiseksi kytkennässä on käytetty optoerotinta.

Optoerotin on AC-tyyppinen, mikä mahdollistaa sen, että kWh-mittarilta tulevan pulssin johtojen kytkennän napaisuudella ei ole merkitystä optoerotin toiminnan kannalta. Pulssilaskennan sisääntulon kytkentä on esitelty kuvassa 24.

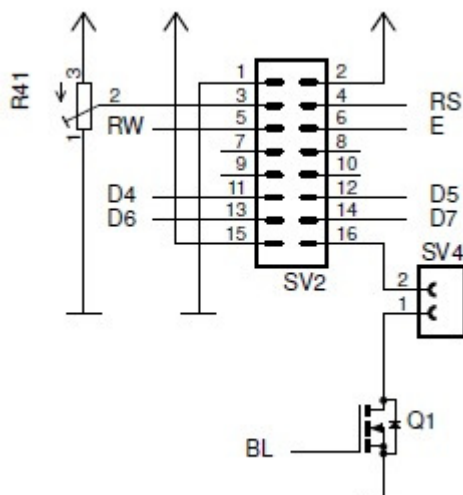


KUVA 24. Pulssilaskennan sisääntulon kytkentä

Optoerotin ledit vaativat sarjavastuksen. Tässä kytkennässä yksi sarjavastus on jaettu kahteen pienempään vastukseen R38 ja R39, jotta vastuksien tehonkesto saatiin pienemmäksi. Vastusten koko on mitoitettu toimivaksi 5–40 VDC:n pulsseille. Optoerotin lähdön transistorin emitteri on kytketty digitaalimaahan ja kollektori mikrokontrollerin PD3 pinniin.

### 5.1.6 Näyttö

Näytön liitännät ovat Hitachi 44780 -normin mukaiset, joten liittimeen voidaan kytkeä mikä tahansa 2 x 8 -pinninen LCD-näyttö, joka noudattaa standardia. Pinnijärjestys on suunniteltu siten, että näyttö tulee suoraan kiinni piikkirimaan SV2. Näytölliittimen kytkentä on esitelty kuvassa 25.

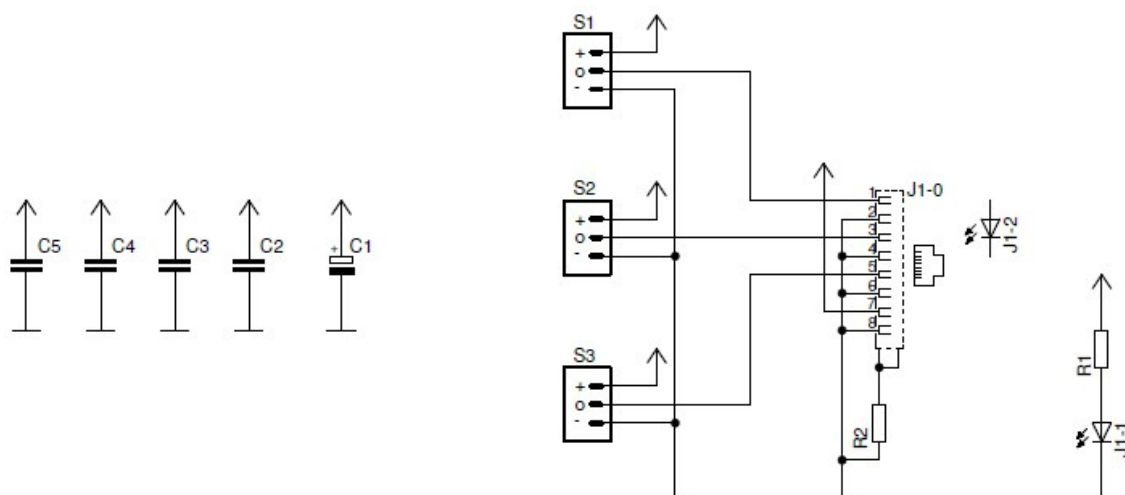


KUVA 25. Näytölliittimen kytkentä

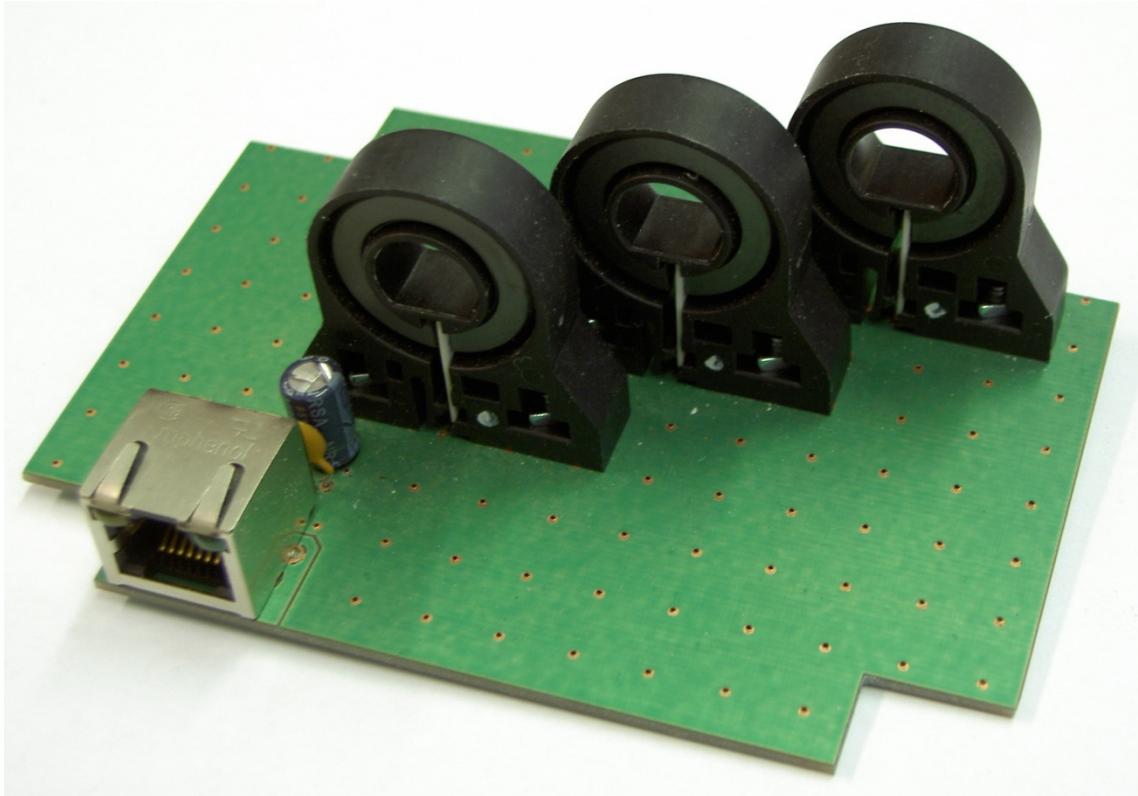
Näytelle tuodaan 5 VDC:n jännite pinniin 2 ja digitaalimaa pinniin 1. Näytön neljä datalinjaa D4–D7 (pinnit 11–14) on kytketty mikrokontrollerin A-porttiin. Muita datalinjoja D0–D3 (pinnit 7–10) ei ole kytketty, koska näyttöä ohjataan 4-bittisenä. Liittimen 3-pinnissä on näytön kontrastin säätö toteutettu trimmeripotentiometrillä R41. Näytön taustavalon anodi on pinnissä 15, joka on kytketty 5 VDC:n jännitteeseen. Taustavaloa ohjataan N-kanavaisella FET-transistorilla, jonka hila on kytketty mikrokontrollerin pinniin PD7 ja lähde digitaalimaahan. FET:n nielu on kytketty liittimen pinniin 16, joka on taustavalon katodi. Nielun ja katodin välissä on 2-pinninen holkkirima, johon voidaan sovittaa jalallinen vastus taustavalon kirkkauden säätämiseksi.

## 5.2 Anturilevy

Virranmittausanturit ovat erillisellä anturilevyllä, jonka kytkentä on esitelty 26. Toimiakseen anturit tarvitsevat vain käyttöjännitteen, joka saadaan RJ-45-liittimestä J1-0. Käyttöjännitteen vakavointiin on varattu yhteensä viisi kondensaattoria. Kondensaattorit C1 ja C2 ovat anturilevyn ohituskondensaattorit. Kondensaattorit C3–C5 ovat antureiden ohituskondensaattorit. RJ-45-liittimessä on kaksi lediä, joista toista J1-1 käytetään ilmaisemaan käyttöjännitettä. Ledillä on etuvastus R1, joka on mitoitettu 12 VDC:n jännitteelle. Kalustettu anturilevy on kuvassa 27.



KUVA 26. Anturilevyn kytkentä



KUVA 27. Kalustettu anturilevy

## 6 MIKROKONTROLLERIN OHJELMA

Mikrokontrollerille ohjelma toteutettiin MikroElektronikan MikroC-kehitysympäristössä. MikroC sisältää valmiiksi useita kirjastoja, joista tässä työssä hyödynnetään LCD-näytön ohjaukseen tarvittavaa kirjastoa. Ohjelma toteutettiin C-kielellä. Ohjelma koostuu alustuksista, pääohjelmasta sekä ulkoisista ja sisäisistä keskeytysrutiineista. Keskeytyksinä toimii AD-muunnoksen valmistuminen, ajastimen keskeytys ja sarjaliikenteenvastaanotto sekä ulkoisista keskeytyksistä kWh-pulssitulo ja taustavalon kytkin.

### 6.1 Ulkoisten keskeytysten toiminta

Mikrokontrollerin ulkoisista keskeytyksistä INT0:sta, INT1:stä ja INT2:sta käytettiin kahta viimeistä keskeytystä INT1 ja INT2. INT1-pinniin tuodaan kWh-pulssi ja INT2-pinniin taustavalon kytkin. Seuraavaksi selvitetään, miten keskeytykset on tässä työssä ohjelmoitu toimimaan.

Kuvassa 28 näkyy MCUCR-rekisteri. INT1-keskeytyksen toimintaan vaikuttavat ISC11- ja ISC10-bitit, joilla määritetään keskeytyksen muodostus tapa. Tämä keskeytys haluttiin toimimaan laskevasta reunasta, joten ISC11-bitti asetettiin 1-tilaan ja ISC10-bitti 0-tilaan.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	SM2	SE	SM1	SM0	ISC11	ISC10	ISC01	ISC00	MCUCR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

KUVA 28. MCUCR-rekisteri (5, s. 32)

INT2-keskeytyksen määrittely tapahtuu MCUCSR-rekisterissä (kuva 29). Keskeytys voidaan määrittää tapahtuvaksi joko laskevasta tai nousevasta reunasta muuttamalla bittiä ISC2. Keskeytyksen haluttiin toimivan laskevasta reunasta, joten ISC2-bitin tilaksi laitetaan 0.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	JTD	ISC2	—	JTRF	WDRF	BORF	EXTRF	PORF	MCUCSR
Read/Write	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0						See Bit Description

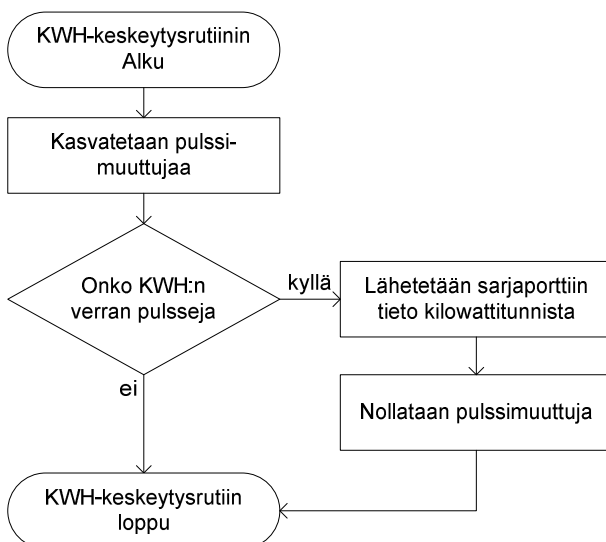
KUVA 29. MCUCSR-rekisteri (5, s. 69)

Mikrokontrollerin keskeytyksillä on yksi yhteinen sallintabitti Global Interrupt Enable -bitti SREG-rekisterissä (kuva 30). Sallintabitti on rekisterin seitsemäs bitti ja se pitää asettaa 1-tilaan, jotta keskeytykset toimivat ohjelmassa.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	I	T	H	S	V	N	Z	C	SREG
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

KUVA 30. SREG-rekisteri (1, s. 9)

Prioriteetiltaan tärkeämpi keskeytys on kWh-mittarin pulssilaskennan keskeytys. Tässä keskeytyksessä kasvatetaan pulssilaskurimuuttujaa yhdellä. Jos pulsseja on tullut kilowattitunnin verran, sarjaporttiin kirjoitetaan kilowattituntia vastaavaa komento, jonka jälkeen pulssilaskurimuuttuja nollataan. Ohjelman alussa määritellään se, montako pulssia vaaditaan kilowattituntiin. Määrittelyä muuttamalla saadaan eri laitevalmistajien pulssit laskettua oikein. kWh-keskeytysrutiinin lohkokkaavio on esitelty kuvassa 31.

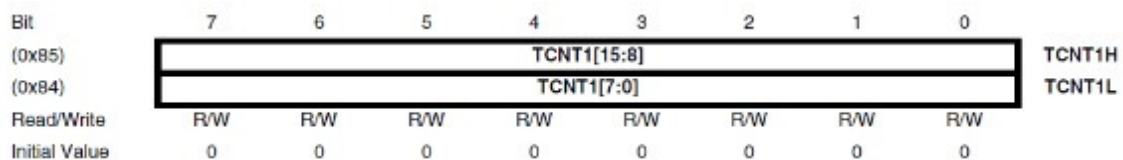


KUVA 31. kWh-pulssin keskeytysfunktio

Painonappi generoi keskeytyksen, joka on prioriteetiltaan vähiten tärkein keskeytysohjelmassa. Keskeytysrutiinissa laitetaan taustavaloa ohjaavan pinnin tilaksi 1 ja nollataan laskuri, jonka mukaan taustavalon sammutus toimii. Laskuria kasvatetaan ajastimessa ja taustavalon sammutus tapahtuu, kun laskurin arvo on tarpeeksi suuri.

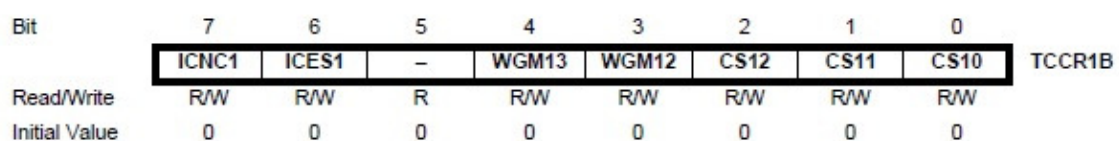
## 6.2 Ajastin

Ohjelmassa käytetään 16-bittistä ajastinta (Timer1) ylivuotokeskeytysperiaatteella. Kuvassa 32 näkyy ajastimen 1 TCNT1-rekisteri. Se on jaettu kahteen osaan, koska mikrokontrollerin väylänleveys on 8 bittiä eikä 16-bittistä tietoa voida käsitellä kerralla. Ajastin kasvattaa tämän rekisterin arvoa yhdellä jokaisella ajastimen kellojaksolla. Ajastimen kellotaajuus määräytyy mikrokontrollerin kellon ja esijakajan arvoista. Tässä työssä käytetään mikrokontrollerin kellotaajuutena 8 MHz ja ajastimen esijakajana lukua 64. Laittamalla rekisterin aloitusarvoksi heksaluku 0BCDh ajastin saavuttaa ylivuodon 0,5 s:n kuluttua ja tämä aiheuttaa keskeytyksen. 16-bittinen aloitusarvo pitää asettaa kahdessa osassa rekisteriin, ensin TCNT1H-rekisteriin heksaluku 0Bh ja heti seuraavana komentona heksaluku DCh TCNT1L-rekisteriin.



KUVA 32. 16-bittinen TCNT1-rekisteri (5, s. 114)

Ajastin lähtee käyntiin, kun sille määritetään esijakajan arvo rekisteriin TCCR1B (kuva 33). Biteillä CS10, CS11 ja CS12 määritetään esijakajan arvo taulukon 8 mukaan. Esijakajaksi tässä työssä määritettiin luku 64, eli bitit CS11 ja CS10 asetetaan 1-tilaan ja bitti CS12 0-tilaan.



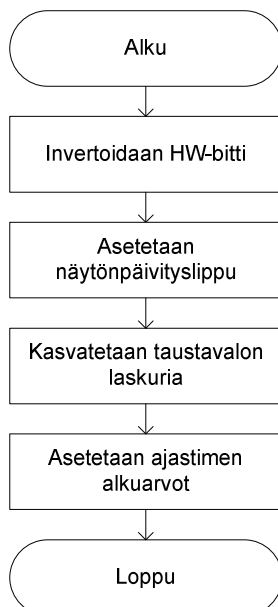
KUVA 33. TCCR1B-rekisteri (5, s. 113)



TAULUKKO 8. Ajastimen esijakajan arvot

CS12	CS11	CS10	Kuvaus
0	0	0	Ajastin pysäytetty
0	0	1	clk/1 esijakaja
0	1	0	clk/8 esijakaja
0	1	1	clk/64 esijakaja
1	0	0	clk/256 esijakaja
1	0	1	clk/1024 esijakaja
1	1	0	Ulkoinen kellotulo T1 pinniin. Laskeva reuna
1	1	1	Ulkoinen kellotulo T1 pinniin. Nouseva reuna

Ajastimen keskeytysrutiinin vuokaavio on esitelty kuvassa 34. Keskeytyksessä tehdään neljä kohtaa. Ensimmäisenä invertoidaan HW-bitti, jolla ilmaistaan näytöllä laitteen toiminta. Tämän jälkeen asetetaan näytönpäivityslipun tilaksi 1. Näytönpäivityslippu kertoo pääohjelmalle, milloin on tarvetta päivittää näyttö. Kolmantena kohtana keskeytyksessä kasvatetaan taustavalonlaskuria yhdellä. Pääohjelma huolehtii laskurin nollaamisen ja sen mukaan myös taustavalon sammuttamisen. Viimeisenä kohtana suoritetaan ajastimen alkuarvojen uudelleenasetus. Arvot asetetaan samalla tavalla kuin alustuksessakin.



KUVA 34. Ajastimen keskeytysrutiini

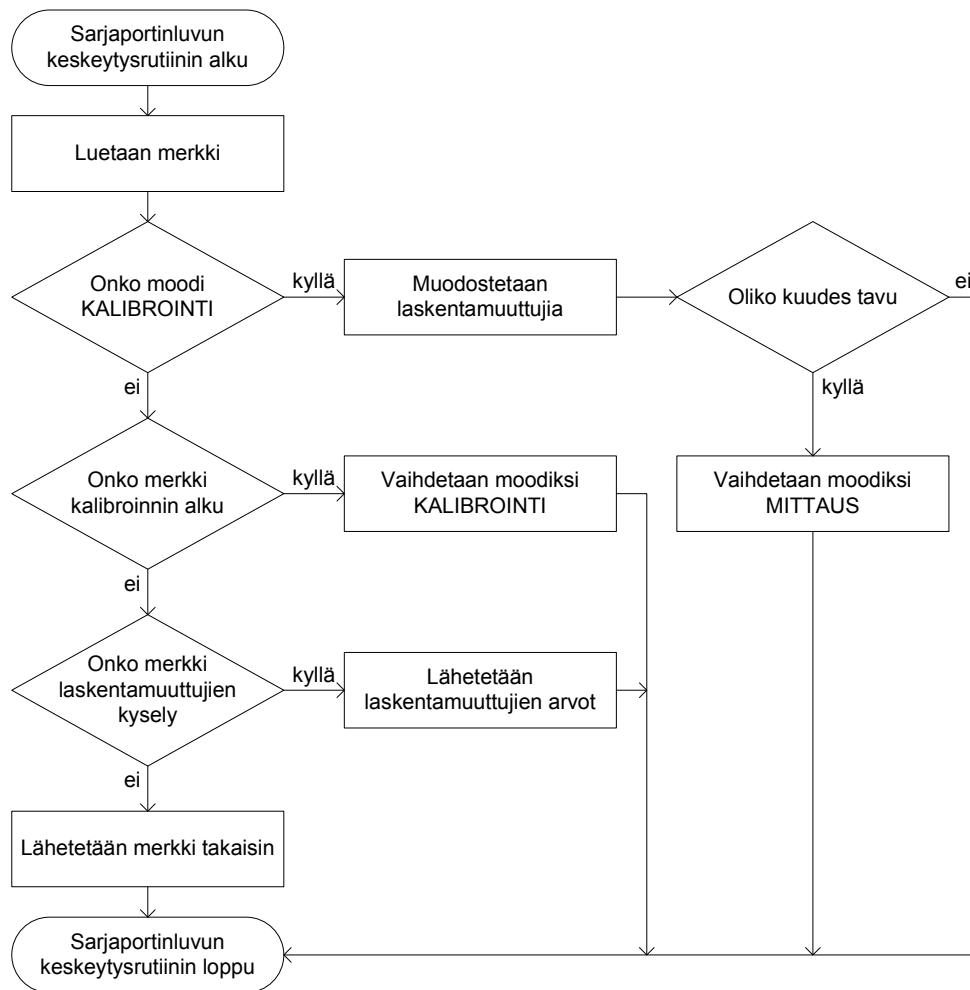
### 6.3 Sarjaliikenteen tulkinta

MikroC-kehitysympäristössä on sarjaliikenteelle valmis kirjasto. Sarjaliikenne otetaan käyttöön komennolla UART1\_Init(BAUDRATE), missä BAUDRATE on määritelty 19 200 integer-tyyppiseksi luvuksi. Sarjaliikenteen nopeudeksi siis valittiin 19 200 bittiä sekunnissa. Saapuvan sarjaliikenteen keskeytyksen sallimiseksi UCSRB-rekisteriin (kuva 35) asetettiin RXCIE-bitti 1-tilaan.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	RXCIE	TXCIE	UDRIE	RXEN	TXEN	UCSZ2	RXB8	TXB8	UCSRB
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

KUVA 35. UCSRB-rekisteri (1, s. 165)

Tulevan sarjaliikenteen keskeytysrutiinin toimintaa on kuvattu lohkokaaaviona kuvassa 36. Lohkokaaaviossa ei ole eritelty virta- ja jännitekalibrointia, koska ne toimivat keskenään samalla tavalla. Kalibroinnissa käytetään kuutta tavua kummallekin kalibroinnille ja tavun vastaanottaminen generoi aina lohkokaaavion mukaisen keskeytysrutiinin.



KUVA 36. Vastaanotetunsarjaliikenteen keskeytysrutiinin lohkokaavio

Mikrokontrollerissa on puskuri tulevalle sarjaliikenteelle. Kun puskuriin tulee 8 bittiä, siitä muodostuu keskeytys. Keskeytysrutiinissa luetaan ensin 8-bittinen merkki sarjaliikenteen puskurimuistista. Kun merkki on luettu puskurista, ohjelmassa tutkitaan, onko virran- tai jännitteenkalibrointi käynnissä. Jos kalibrointi ei ole käynnissä, tutkitaan, halutaanko tulleella merkillä laittaa kalibrointi päälle. Merkillä voidaan myös laittaa ohjelma lähettämään sarjaporttiin virran tai jännitteen laskentaan tarvittavat kulmakertoimen ja vakiotermin. Jos merkki ei ole mikään näistä, se lähetetään takaisin sarjaporttiin virhetilan merkiksi.

Ohjelman ollessa virran- tai jännitteenkalibrointimoodissa saatu tavu tulkitaan yhdeksi kuudesta kalibrointitavusta. Keskeytysrutiinissa muodostetaan kuudesta peräkkäisestä tavusta uusi kulmakerroin ja vakiotermi virran- tai jännitteenlaskentaan, sen mukaan kumpi moodi on aikaisemmin valittu. Kun kuusi tavua

on luettu sarjaportista, keskeytysrutiini muuttaa automaattisesti pääohjelman normaaliin mittaustilaan.

## 6.4 AD-muunnos

Mikrokontrollerin päätehtävä on tehdä AD-muunnoksia virta-antureiden jännite-tiedosta ja laskea niistä virtaa vastaavat arvot. AD-muunnosten käsittely tapahtuu pääohjelmassa ja AD-muunnosarvojen lukeminen ja tallentaminen tapahtuu keskeytysrutiinissa. AD-muunnos on alustettu FreeRun-moodiin, joka tarkoittaa sitä, että AD-muunnoksia tehdään automaattisesti peräkkäin, kunnes se estetään erikseen. FreeRun-moodi saadaan päälle asettamalla ADATE-bitti 1:ksi ADCSRA-rekisterissä (kuva 37) ja rekisterin SFIOR (kuva 38) bitti ADTS0, ADTS1 ja ADTS2 0:ksi. Asettamalla ADCSRA-rekisterin ADIE-bitti 1:ksi saadaan keskeytys käyttöön. Keskeytys tapahtuu jokaisen AD-muunnoksen jälkeen.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0	ADCSRA
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

KUVA 37. ADCSRA-rekisteri (5, s. 219)

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	ADTS2	ADTS1	ADTS0	–	ACME	PUD	PSR2	PSR10	SFIOR
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

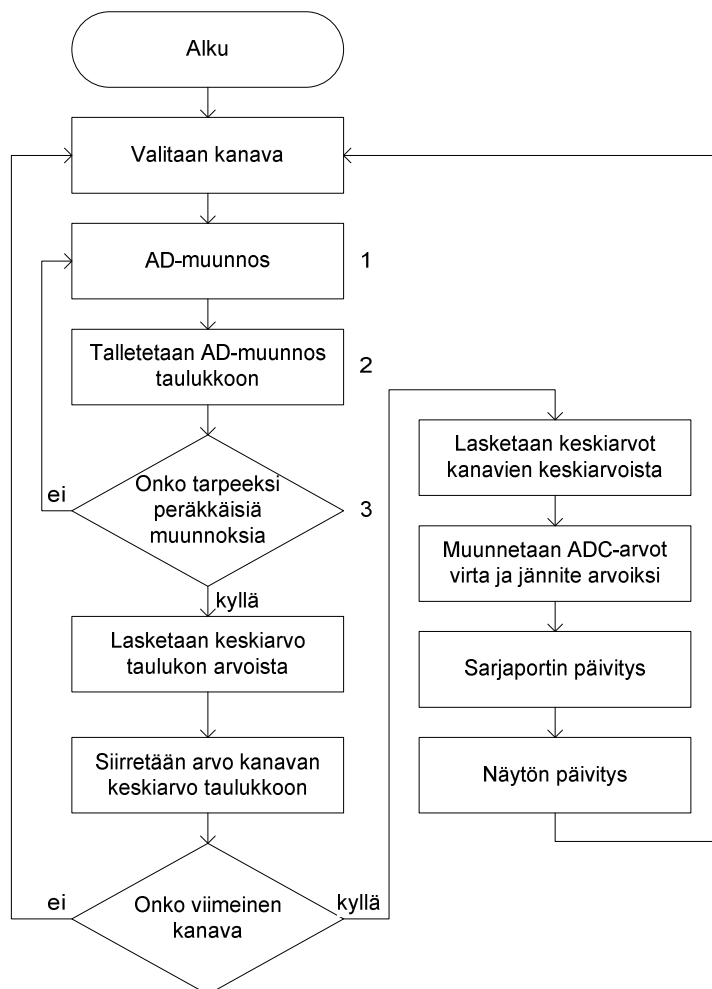
KUVA 38. SFIOR-rekisteri (5, s.221)

Asettamalla rekisterin ADMUX (kuva 39) REFS1- ja REFS0-bitit 0:ksi saadaan referenssijännitteeksi määriteltyä ulkoinen jännite. ADMUX-rekisterissä biteillä MUX0–MUX4 määritellään, mistä kanavasta muunnokset tehdään.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0	
	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0	ADMUX
Read/Write	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	R/W	
Initial Value	0	0	0	0	0	0	0	0	

KUVA 39. ADMUX-rekisteri (5, s. 217)

AD-muunnoksen keskeytysrutiinissa luetaan 10-bittinen munnosarvo rekisteristä ADCL ja ADCH, tallennetaan arvo taulukkoon ja pidetään kirjaa peräkkäisten muunnosten määrästä. Kun muunnoksia on tarpeeksi, FreeRun-moodi pysäytetään pääohjelmassa kanavan vaihdon ajaksi asettamalla ADATE-bitti 0:ksi. Neljän kanavan jälkeen suoritetaan tarvittavat laskennat, näytön päivitys ja muut toimenpiteet AD-muunnoksen ollessa pysäytettynä. Pääohjelman lohko-kaavio on esitelty kuvassa 40. Pääohjelman lohko-kaavion kohdat 1–3 kuvaavat AD-muunnoksen keskeytysrutiinia.



KUVA 40. Pääohjelman lohko-kaavio

AD-muunnoksista lasketaan keskiarvot kahdessa vaiheessa. Ensimmäisenä suoritetaan useampi mittaus samasta kanavasta. AD-muunnosarvoista lasketaan keskiarvo jokaiselle kanavalle varattuun taulukkoon. Keskiarvotaulukko sisältää nykyisen ja muutaman edellisen keskiarvon ADC-muodossa. Keskiarvotaulukko toimii siten, että taulukon tullessa täyteen aloitetaan arvojen täyttämi-

nen uudestaan alusta. Ohjelma on kirjoitettu siten, että taulukkojen koko on helppo muuttaa sopivaksi. Keskiarvotaulukosta lasketaan keskiarvo ja tulos muutetaan vastaamaan virtaa tai jännitettä, riippuen siitä, mikä kanava on kyseessä. Laskenta suoritetaan, kunnes kaikista kanavista on saatu uusi arvo.

## **7 TESTAUS**

### **7.1 Elektroniikan testaus**

Elektroniikan toimintaa testattiin samalla, kun prototyyppiä koottiin. Kun yksi osa-alue mittarilevyllä saatiin kasattua, se testattiin toimivaksi. Esimerkiksi käyttöjännitetulon suojauskomponenttien toiminta testattiin heti, kun siihen kuuluvat komponentit olivat juotettu levyille. Tällä tavalla voitiin helposti testata osa-alueen toiminta. Jos toiminta ei ollut suunnitelman mukainen, vian kohta voitiin helposti rajata tietylle alueelle.

Mittarilevyille juotettiin ensin ensimmäisen vaiheen virran mittaamiseen tarvittavat komponentit, jonka jälkeen sille suoritettiin perusteelliset mittaukset toiminnan varmistamiseksi. Mittaukset suoritettiin vertaamalla prototyypin virtaa Fluke 435 -mittarin näyttämään virtaan. Kun toiminta oli varmistettu käytännössä toimivaksi, toisen ja kolmannen vaiheen komponentit juotettiin levyille ja testattiin toimivaksi samalla tavalla.

### **7.2 Antureiden testaus**

Antureiden testaus toteutettiin siten, että jokaisen virranmittausanturin läpi kulki sama johto, johon pystyttiin muuttamaan virtaa. Antureiden lähdöstä mitattiin jännitettä oskilloskoopilla. Ensimmäinen testaus suoritettiin 0 A:n virralla. Oskilloskooppi näytti kaikille antureille saman ulostulojännitteen 6 VDC eli puolet käyttöjännitteestä. Virtaa kasvatettiin portaittain mitattavassa johtimessa. Näin voitiin testata antureista saatavan jännitteen aaltomuoto ja jännitetasot. Kaikista antureista saatiin keskenään identtinen vaihtojännite mitattua oskilloskoopilla. Tästä voitiin todeta, että anturit toimivat niille spesifioidulla tavalla.

### **7.3 Virranmittauksen testaus**

Virranmittauksen testaus toteutettiin kaikille kolmelle vaiheelle yhtä aikaa, mitattavan johtimen kulkiessa kaikkien kolmen anturin läpi. Testaus aloitettiin laittamalla prototyyppi kalibrointitilaan. Ensimmäisenä otettiin 0 A:n virran vastaavat

ADC-arvot talteen. Tämän jälkeen nostettiin mitattavan johdon virraksi 10 A:a, josta otettiin myös talteen ADC-arvot. ADC-arvoista laskettiin kulmakerroin ja vakiotermi, jotka tässä vaiheessa syötettiin kiinteästi mikrokontrollerin koodiin. Varsinainen virranmittaus voitiin aloittaa tämän jälkeen laittamalla prototyyppi virranmittausmoodiin.

Prototyypin ollessa virranmittausmoodissa mitattavan virtajohtimen virtaa muutettiin 0–10 A:iin yhden ampeerin välein. Samalla virta mitattiin Fluke 435 -virtamittarilla. Näytöllä olevia virta-arvoja verrattiin keskenään ja Fluke-virtamittarin kanssa. Virta-arvot täsmäsivät Fluken kanssa ja keskinäistä eroa antureiden välillä ei ollut.

Testikytkentää muutettiin seuraavassa vaiheessa siten, että mittaukset suoritettiin vaihekohtaisesti virtajohtimen mennessä kolmesti virta-anturin läpi. Fluken mitta-anturi mittasi myös virran samalla tavalla. Mittaustulokset olivat identtiset keskenään. Ainoastaan virran ollessa lähellä ääripäitä (0 A:a ja 25 A:a) syntyi pientä eroa Flukesta saadun virta-arvon kanssa. Fluken näyttäessä 0,1 A virtamittari prototyyppi näytti 0,6 A:a. Suurella virralla Fluken näkymä oli 25 A, kun taas prototyyppi näytti 24,3 A:a.

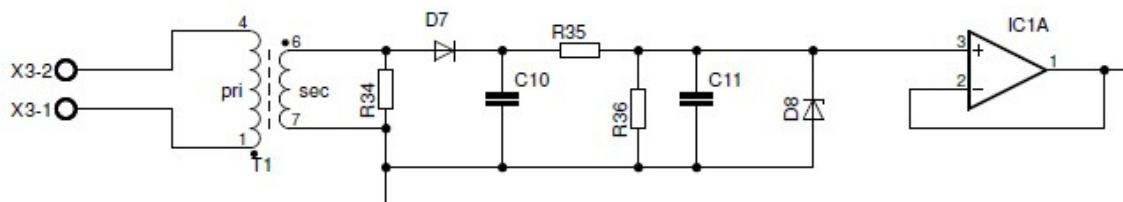
Mitatut erot olivat aluksi suuremmat. Kalibroimalla uudestaan 3 A:n ja 21 A:n referenssivirroilla saatiin edellä mainitut tulokset. Virranmittauksen epälineaarisuus ääripäissä korjattiin ohjelmallisesti mikrokontrollerille. Lopulliseksi tarkkuudeksi saatiin  $\pm 0,1$  A:n mittausalueen keskellä noin 3 A:sta 21 A:iin. Mittausalueen ääripäissä päästään  $\pm 0,5$  ampeeriin.

#### **7.4 Jännitteenmittauksen testaus**

Prototyyppilevyn liittimeen X3 (kuva 41) kytkettiin 230 VAC:n jännite ja mittari asetettiin kalibroitimoodiin. Sarjaportista luettiin jännitettä vastaava ADC-arvo. Jännitteen todellinen arvo mitattiin X3-liittimen navoista yleismittarilla. Koska testauksessa ei ollut mahdollista käyttää säädettävää testaus jännitelähdettä, toiseksi kalibroitintiarvoksi valittiin 0 VAC, jonka vastaava ADC-arvo on 0. Näistä laskettiin teoreettinen suoranyhtälö. Yhtälön kulmakerroin ja vakiotermi koodattiin prototyypin mikroprosessorille. Testauksessa huomattiin kytkennän jännite-



jakoon käytettyjen vastusten R35 ja R36 arvon olevan liian suuri toimiakseen. Vastusarvoja pienennettiin, mutta pienentynyt vastusarvo aiheutti muun kytkennän suuremman virrankulutuksen. Suurempi virrankulutus näkyi siinä, että kondensaattori C11 ei pystynyt vakavoimaan jännitettä tarpeeksi.



KUVA 41. Jännitteen mittausta

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tarkoituksena oli valmistaa prototyyppi kolmivaihevirran mittaukseen. Ennen prototyypin suunnittelua tutkittiin usean virranmittausanturin soveltuvuutta tähän työhön. Antureista valittiin neljä parhaiten soveltuvaa anturia, joille tehtiin testauksia. Testausten perusteella valittiin yksi antureista, jota käytettiin prototyypissä.

Prototyypin valmistus aloitettiin piirikaavioiden suunnittelulla. Suunnittelu toteutettiin pienemmissä osa-alueissa. Piirikaavion suunnittelussa käytettiin Eagle-ohjelmistoa. Joitakin kytkennän osia simuloitiin Cadence Orcad-ohjelmistolla. Valmiiden piirikaavioiden pohjalta suunniteltiin piirilevyt Eagle-ohjelmistolla. Prototyypin valmistuttua alettiin kirjoittaa ohjelmaa mikrokontrollerille. Ohjelman kehitysympäristönä käytettiin mikroC-ohjelmaa.

Lopputulokseksi saatiin tavoitteen täyttävä virranmittausprototyyppi. Ainoaksi puutteeksi jäi jännitteen mittauksen toiminta. Virtamittari pystyy mittaamaan virtaa 0 A:sta 25 A:iin. Kytkenä suunniteltiin siten, että se voidaan helposti muuttaa mittaamaan 35 A:iin saakka.

Ensimmäiseksi prototyyppiksi laite oli onnistunut ja sitä voidaan kehittää kaupalliseksi tuotteeksi. Prototyypissä virranmittaus oli tärkein kehitettävä kohde ja se saatiin toteutettua hyvin. Jännitteen mittaukseen jäi kehitettävää. Ongelmakohta on tiedossa ja se voidaan helposti muuttaa myöhempiin versioihin.

## LÄHTEET

1. Shunt (electrical). 2013. Saatavissa: [https://en.wikipedia.org/wiki/Shunt\\_%28electrical%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Shunt_%28electrical%29). Hakupäivä 7.5.2013.
2. Current transformer. 2013. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Current\\_transformer](http://en.wikipedia.org/wiki/Current_transformer). Hakupäivä 7.5.2013.
3. Hall effect. 2013. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Hall\\_effect](http://en.wikipedia.org/wiki/Hall_effect). Hakupäivä 7.5.2013.
4. Modulaariliitin, suojattu, 8, 8/8RJ45, RJHSE-5381. 2013. Saatavissa: [https://www.elfaelektronikka.fi/elfa3~fi\\_fi/elfa/init.do?item=42-483-32&toc=0&q=RJHS](https://www.elfaelektronikka.fi/elfa3~fi_fi/elfa/init.do?item=42-483-32&toc=0&q=RJHS). Hakupäivä 7.5.2013.
5. ATmega16. 2013. Saatavissa: <http://www.atmel.com/Images/doc2466.pdf>. Hakupäivä 21.4.2013.
6. Full Wave Rectifier Circuit with Averaging Filter. 2011. Saatavissa: <http://circuitdiagram-schematic.com/745/full-wave-rectifier-circuit-with-averaging-filter/>. Hakupäivä 21.4.2013.
7. Sallen-Key topology. 2013. Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Sallen%E2%80%93Key\\_topology](http://en.wikipedia.org/wiki/Sallen%E2%80%93Key_topology). Hakupäivä 21.4.2013.
8. mikroC PRO for AVR user's manual. MikroElektronika. 2011.
9. Fluke 434/435 Kolmivaiheinen sähkönlaatuanalysointilaite. 2006. Saatavissa: [http://www.yeint.fi/files/products/434\\_435\\_K\\_ytt\\_ohje.pdf](http://www.yeint.fi/files/products/434_435_K_ytt_ohje.pdf). Hakupäivä 25.4.2013.
10. OWON HDS1022M User's Manual. 2011. Saatavissa: <http://www.gme.cz/dokumentace/720/720-067/orn.720-067.1.pdf>. Hakupäivä 25.4.2013.

## **LIITTEET**

Liite 1 Fluke 434 -energia-analysaattori

Liite 2 OWON-oskilloskooppi

Liite 3 Hall-anturi (vain toimeksiantajan käyttöön)

Liite 4 Virtamuuntaja (vain toimeksiantajan käyttöön)

Liite 5 Virta-anturi 1 (vain toimeksiantajan käyttöön)

Liite 6 Virta-anturi 2 (vain toimeksiantajan käyttöön)

Liite 7 Mittarilevyn piirikaavio (vain toimeksiantajan käyttöön)

Liite 8 Anturilevyn piirikaavio (vain toimeksiantajan käyttöön)

<b>Volt/Amps/Herz</b>	<b>Mittausalue</b>	<b>Tarkkuus</b>
Vrms (AC + DC)	1 - 1000 V	0,1 % nimellisjännitteestä
Vpk	1 - 1400 V	5 % nimellisjännitteestä
Jännitteen huippukerroin, CF (Crest Factor)	1,0 - >2,8	±5 %
Arms (AC + DC)	0 - 20 kA	±0,5 % ± 5 lukemaa
Apk käyttäen 1mV/A-asetusta	0 - 5500 A	±5 %
Virran huippukerroin (CF)	1 - 10	±5 %
Taajuus		
50 Hz nimellistaajuus	42,50 - 57,50 Hz	±0,01 Hz
60 Hz nimellistaajuus	51,00 - 69,00 Hz	±0,01 Hz

<b>Kuopat ja kohoumat (Dips and swells)</b>	<b>Mittausalue</b>	<b>Tarkkuus</b>
Vrms <sup>1/2</sup> (AC + DC)	0,0 - 200 % nimellisjännitteestä	±0,2 % nimellisjännitteestä
Arms <sup>1/2</sup>	0 - 20 kA	± 1 % ± 5 lukemaa

<b>Harmoniset yliaallot</b>	<b>Mittausalue</b>	<b>Tarkkuus</b>
Harmonisten valinta (n)	DC, 1 - 50 Ryhmitys: Harmonisten ryhmät IEC 61000-4-7 mukaisesti	
Epäharmonisten valinta	Off, 1 - 49 Ryhmitys: Harmonisten ja epäharmonisten alaryhmät IEC 61000-4-7 mukaisesti	
Jännitteen huippukerroin, CF (Crest Factor)	1,0 - >2,8	±5 %
Vrms	0 - 1000 V	±0,05 % nimellisjännitteestä
Arms	0 - 4000 mV x pihdin skaalaus	±5 % ± lukemaa
W	riippuu pihdin ja jännitteen skaalauksesta	±5 % ± n x 2 % ± 10 lukemaa
DC	0 - 1000 V	±0,2 % nimellisjännitteestä
THD	0 - 100 %	±2,5 % V ja A (±5 % W)
Hz	0 - 3500 Hz	±1 Hz
Vaihekulma	-360° - +0°	± n x 1,5°

<b>Teho ja energia</b>	<b>Mittausalue</b>	<b>Tarkkuus</b>
W (VA, VAR)	1,0 - 20,00 MVA	±1 % ± 10 lukemaa
kWh (kVA, kVAR)	0,0 - 200,0 GVAh	±1,5 % ± 10 lukemaa
Tehokerroin (PF)	0 - 1	±0,03
Cos φ (DPF)	0 - 1	±0,03

Välkyntä	Mittausalue	Tarkkuus
Pst (1min), Pst, Plt, PF5 hetkellinen välkyntä	0,00 - 20,00	±5 % taulukon arvoista IEC61000-4-15 mukaisesti
DC%, Dmax% ja aika d(t) ylittää raja-arvot. IEC 61000-3-3 mukaisesti	0,0 - ±100,0 % Dc%:lle ja Dmax%:lle sekä 0,000 - 9,999s ajalle	±1 % Dc%:lle ja Dmax%:lle sekä 20 ms ajalle

Epäsymmetria	Mittausalue	Tarkkuus
Jännite (neg. ja nolla sekvenssi)	0,0 - 5,0 %	±0,5%
Virta (neg. ja nolla sek- venssi)	0,0 - 20 %	±1 %

Piikinmittaus	Mittausalue	Tarkkuus
Jännitteet kursorilukemat rms lu- kemat	± 6000 Vpk 10 - 1000 Vrms	± 15 % kursorilukemasta ± 2,5 % nimellisjännitteestä
Minimi havaitsemisaika	5 µs	
Näytteenottonopeus	200 kS/s	

Käynnistysvirta	Mittausalue	Tarkkuus
Arms (AC + DC)	0,000 - 20,00 kArms	±1 % mittausarvosta ± 5 lukemaa
Käynnistystyksen kesto	mm:ss:mmm välillä 7,5 s - 30 minuteissa valit- tavissa	± 20 ms (nimellistaajuus = 50 Hz)

Verkon signaalijännit- teet	Mittausalue	Tarkkuus
Raja-arvotasot	Raja-arvot ja signaalin kesto aseteltavissa kahdelle toisistaan riippumattomalle taajuudelle	
Signaalin taajuus	60 - 3000 Hz	(ei ilmoitettu)
Suhteellinen V%	0 - 100 %	±0,4 %
Absoluuttinen V3s (3 sekunnin keskiarvo)	0,0 - 1000 V	±5 % nimellisjännitteestä

(9.)

## Sampling

Sampling modes	Normal sampling Peak detection Average value
Sampling rate	100 MS/s

## Input

Input coupling	DC, AC
Input impedance	1 M $\Omega$ $\pm$ 2 % connected in parallel with 20 pF $\pm$ 3 pF
Probe attenuation coefficient	1X, 10X, 100X, 1000X
Max. Input voltage	400 V (peak)
Channel delay time (typical)	150 ps

## Horizontal

Sampling rate range	10 S/s - 100 MS/s
Waveform interpolation	(sin x) / x
Record length	6K points on each channel
Scanning speed range (S/div)	5 ns/div - 5 s/div, stepping in the "1-2,5-5" mode
Sampling rate and relay time accuracy	$\pm$ 100 ppm (any time interval which is equal to or larger than 1ms)
Time interval ( $\Delta T$ ) measurement accuracy (full bandwidth)	Single: $\pm$ (1 sampling interval time + 100 ppm x reading + 0,6 ns) Average 16: $\pm$ (1 sampling interval time + 100 ppm x reading + 0,4 ns)

## Vertical

Analog digital converter (A/D)	With the resolution of 8 bits, make sampling on both channels synchronously
Sensitivity range (V/div)	5 mV/div - 5 V/div (at the input BNC)
Displacement range	$\pm$ 50 V (500 mV - 5 V), $\pm$ 1 V (5 mV - 200 mV)
Analog bandwidth	20 M
Single bandwidth	Full bandwidth
Low frequency response (AC coupling, -3 dB)	$\geq$ 5 Hz (at the BNC)
Rise time (typical on at the BNC)	$\leq$ 17,5 ns
DC gain accuracy	$\pm$ 5 %
DC measurement accuracy (average value sampling mode)	The voltage difference ( $\Delta V$ ) between any two points on the waveform after averaging the captured waveforms more than 16: $\pm$ (5 % reading + 0,05 divisions)

## Trigger

Trigger sensitivity (Edge triggering)	DC coupling	CH1 and CH2: 1 div (DC – full bandwidth)
	AC coupling	Same as the DC coupling when it is equal to or larger than 50 Hz
Triggering lever range	$\pm 6$ divisions from the screen center	
Triggering level accuracy (typical) which is applicable to the signal with rise and fall time equal to or longer than 20 ns	$\pm 0,3$ divisions	
Trigger displacement	655 divisions for pre-triggering and 4 divisions for post-triggering	
Make a 50 % level setting (typical)	Operation with the input signal frequency equal to or larger than 50 Hz	
Trigger sensitivity (video triggering and typical mode)	2 divisions of peak-to-peak value	
Signal system and line/field frequency (video triggering mode)	Support the NTSC, PAL and SECAM broadcasting systems of any field or line frequency	

## Measurement

Cursor measurement	Voltage difference ( $\Delta V$ ) and time difference ( $\Delta T$ ) between cursors
Auto measurement	Peak-to-peak value, average value, root mean square value, frequency and cycle

## Probe

	1X position	10X position
Bandwidth	Up to 6 MHz (DC)	Up to full bandwidth (DC)
Attenuation rate	1 : 1	10 : 1
Compensation range	10 pF - 35 pF	
Input resistance	1 M $\Omega$ $\pm 2$ %	10 M $\Omega$ $\pm 2$ %
Input impedance	85 pF - 115 pF	14,5 pF - 17,5 pF
Input voltage	150 VDC	300 VDC

(10.)