



IoT-virtamittari virtamuuntajilla

Juuso Sandberg

OPINNÄYTETYÖ
Toukokuu 2019

Tieto- ja viestintäteknikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tieto- ja viestintätekniikka
Tietoliikennetekniikka ja tietoverkot

SANDBERG, JUUSO:
IoT-virtamittari virtamuuntajilla

Opinnäytetyö 25 sivua, joista liitteitä 0 sivua
Toukokuu 2019

Opinnäytetyössä tutkittiin, miten toteutetaan yritykselle virtamittari, jonka mittamia arvoja voidaan käyttää muiden tuotteiden kanssa ja jota voidaan muunnella myöhemmin eri tarkoituksiin. Työn lähtökohtana oli yrityksen antamat vaatimukset laitteelle, joiden perusteella tehtiin valintoja komponenteista ja käytettävistä tekniikoista.

Työssä keskitytään virtamittarin sisältämien aktiivisten komponenttien toimintaan sekä aktiivisissa komponenteissa käytettyjen tekniikoiden käyttötarkoitusta, toimintaa ja sovellutusta.

Suunnitellulla virtamittarilla saatiin mitattua virtaa tarpeeksi tarkasti, kun referenssinä virran mittaukselle käytettiin kaupallista yleismittaria. Pieniä virheitä tuloksiin tulee analogia/digitaalimuuntimesta, joita voidaan korjata ohjelman avulla, jos virhe on toistuvaa ja tapahtuu joka muunnoksessa. Työn luottamuksellisista syistä, työssä on käsitelty vain tekniikoita ja niiden soveltamista, mutta työn tarkemmat tulokset ovat salaisia.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in ICT Engineering
Telecommunication Technology and Information Networks

SANDBERG JUUSO:
IoT Ammeter with Current Transformers

Bachelor's thesis 25 pages, appendices 0 pages
May 2019

The purpose of this thesis was to investigate how to design and implement an ammeter for a company in a way that the values measured by the ammeter could be used for other products and the ammeter could be modified for different purposes. The premise for the ammeter was the specifications given by the company for the ammeter. Decisions for the active components and technologies were made based on the company's given specification.

In this thesis the focus is on the operations of the ammeters active components and on the technologies used by the active components. The accuracy of the designed ammeter was accurate enough to be used as an ammeter when the reference for the measured current was a commercial ammeter. Small errors occurred in the measurements which originate from the analog-to-digital converter. Some of these errors can be fixed with software if the errors are repeating and are happening in every conversion. Because of the confidential nature of this thesis, only the used technologies and the application of these technologies is covered, the more detailed results are confidential.

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	MAGNEETTIKENTTÄ JA INDUKTIO.....	6
	2.1 Muuntaja	6
	2.2 Virtamuuntaja.....	7
3	TEHOLLISARVO	10
4	ANALOGIA/DIGITAALI-MUUNNIN	11
5	VÄYLÄPIIRI	13
6	VIESTIPROTOKOLLA	16
	6.1 Aihe.....	16
	6.2 Julkaisu	16
	6.3 Tilaus	17
7	VIRTAMITTARIN KOKONAISUUS.....	18
8	POHDINTA	23
9	LÄHTEET.....	25

1 JOHDANTO

Opinnäytetyössä selvitetään millä tekniikoilla ja tavoilla voidaan mitata virtaa jännitteellisestä johtimesta käyttämällä hyödyksi induktiota virtamuuntajan avulla, miten mitatun virran arvoa käsitellään, että sitä voidaan käyttää muiden tuotteiden kanssa ja toteutetaan kyseinen virtamittari.

Työssä keskitytään virtamittarin sisältämien aktiivisten komponenttien toimintaan sekä aktiivisissa komponenteissa käytettyjen tekniikoiden käyttötarkoitusta, toimintaa ja sovellutusta.

Työn tavoite on suunnitella ja tuottaa yritykselle IoT-virtamittari, jossa käytetään virtamuuntajia vaihtovirran mittaamiseen. Tarkoituksena on ohjelmoida A/D-muunnin ja Wi-Fi mikrosiru, selvittää mitä komponentteja tarvitaan- ja suunnitella kokonaisuus virtamittariin.

Työ suoritetaan Jidoka Technologies Oy:lle, joka on IoT- ja Digital Signage-tuotteita tuottava yritys. Virtamittarin on tarkoitus olla käytössä muiden tuotteiden kanssa, jotka voivat hyödyntää virtamittarin tuloksia.

2 MAGNEETTIENTÄ JA INDUKTIO

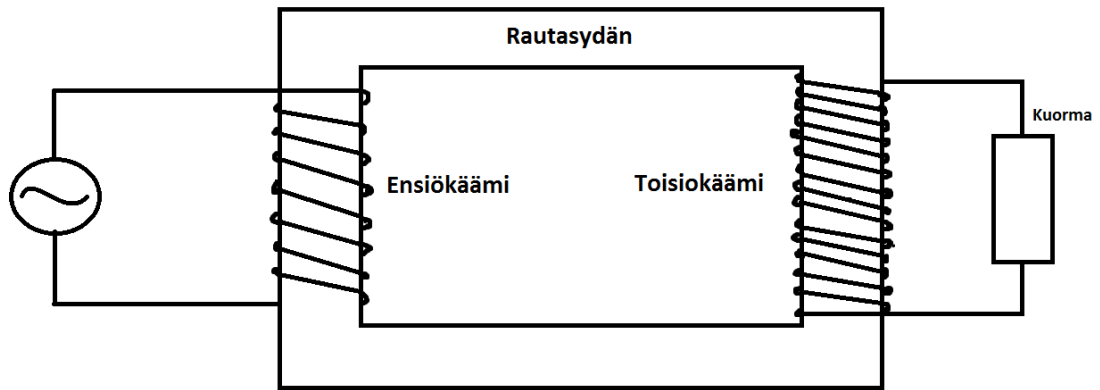
Levossa oleva sähkövaraus luo ympärilleen sähkökentän. Varautuneen hiukkasen ympäröivä sähkökenttä vaikuttaa voimalla kaikkiin muihin ympäröiviin varautuneisiin hiukkasiin. (Young, Freedman 2012,885) Vaikuttava voima positiiviseen varaukseen on kentän suuntainen ja negatiiviselle varaukselle vaikuttava voima on kentän suunnalle vastakkainen. (Inkinen, Manninen & Tuohi 2002, 16)

Johtimessa kulkeva etenevä liike sähkövirtana saa aikaan ympärilleen sähkökentän lisäksi myös magneettikentän. Kaikki johtimet, joissa kulkee virta luovat ympärilleen sähkökentän ja magneettikentän. (Inkinen, Manninen & Tuohi 2002, 119)

Kun johdin viedään magneettikentän läheisyyteen, magneettikentän magneettivuon liike aiheuttaa johtimeen sähkömotorista voimaa. Jos johtimella on luotu suljettu virtapiiri, sähkömotorinen voima aiheuttaa sähkövirran virtaamaan piirissä eli johtimeen indusoituu virta sähkömagneettisesta kentästä. (Bird 2003, 287-288)

2.1 Muuntaja

Induktiota käytetään hyödyksi esimerkiksi muuntajien toteuttamiseen. Muuntaja muodostuu ensiökäämistä ja toisiökäämistä (Kuvio 1). Käämit on kiedottu saman eristetyistä ferromagneettisesta materiaalista valmistetun rautasydämen ympärille kuvion 1 mukaisesti, jolloin ne eivät ole sähköisesti kosketuksissa toisiinsa. (Inkinen, Manninen & Tuohi 2002, 215)



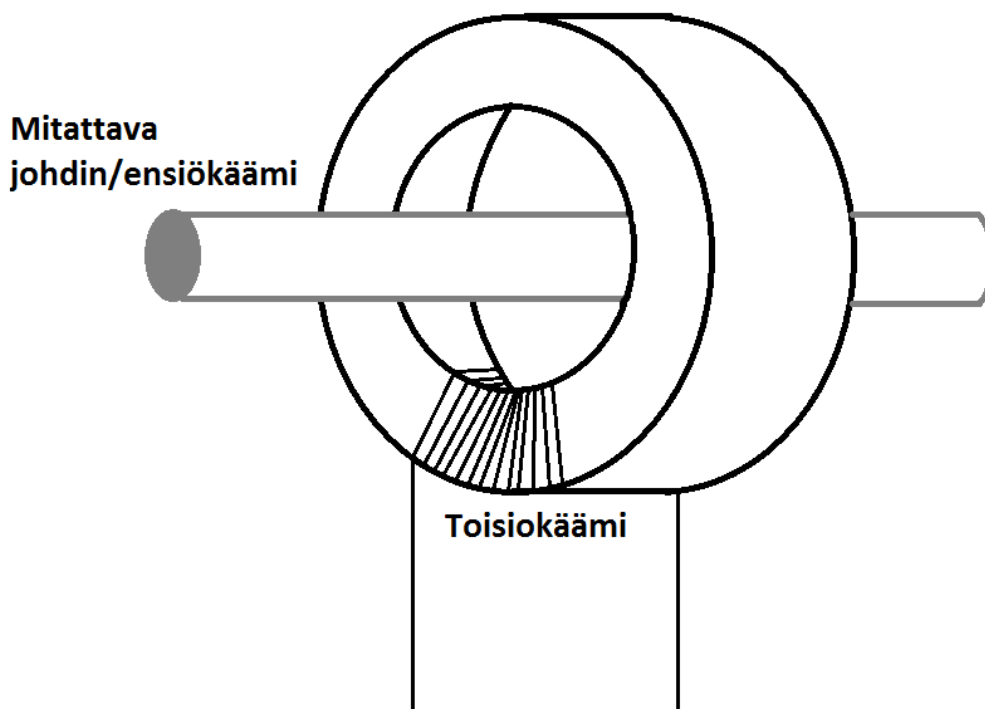
Kuvio 1 Muuntajan rakenne

Ensiökäämiksi kutsutaan käämiä, johon tulee muunnettava vaihtojännite tai virta, jolloin käämin sähkövirta vaihtelee. Sähkövirran vaihtelu aiheuttaa magneettivuon muuttumisen, joka indusoi ensiökäämiin lähdejännitteen. Toisiökäämi on käämi, johon magneettivuon muutos indusoi jännitteen. (Inkinen, Manninen & Tuohi 2002, 215)

Muuntajan jännitteen tai virran muunnos perustuu ensiö- ja toisiökäämin johdinkierroksiin rautasydämen ympärillä. (Inkinen, Manninen & Tuohi 2002, 216)

2.2 Virtamuuntaja

Virtamuuntaja on elektroninen laite, joka on yksinkertaisimmillaan johdinta kierrätettynä monia kertoja eristetyn magneettisen ytimen ympärille. (Kuvio 2) Virtamuuntajalla voidaan skaalata suurta virtaa pienemmäksi virraksi, jolloin muunnettua virtaa voidaan käsitellä helpommin. (Zocholl 2004, 1) Elektroniikassa komponenttien virrankesto saattaa olla hyvin pieni, jolloin on pakko saada virta suhteutettua pienemmäksi.



Kuvio 2 Toroidin muotoisen virtamuuntajan rakenne

Kuten muuntajan tavoin virtamuuntaja käyttää ensiökäämin luomaa magneettista kenttää, joka indusoi toisiokäämiin virran. Kuvio 2 tavoin, virtamuuntajasta tulee muuntaja vasta, kun se on asetettu ensiökäämin ympärille. (Elkor Technologies)

Virtamuuntajan ensiökääminä toimii johdin, jossa kulkee virta ja toisiokääminä ytimen päälle kiedottu johdin. Toisiokäämiin indusoitu virran amplitudi määritetään toisiokäämin johtimen kierroksien ja ensiökäämin kierroksien suhteella (Elkor Technologies)

Yleisesti virtamuuntajien ytimen materiaalina käytetään piitä, terästä, nikkeli-seosta tai ferriittiä. Ytimen materiaalilla on selkeä merkitys virtamuuntajan tarkkuuteen virran skaalauksessa. (Elkor Technologies)

Virtamuuntajien ytimiä valmistetaan yleisesti kahdenlaisina, suljettuina ytiminä eli yhtenä kiinteänä kappaleena ja avoimina ytiminä eli ydin on katkaistu. Käytettävyyden kannalta katkaistua ydintä on helpompi käyttää, koska sitä käyttäessä ei tarvitse kytkeä irti mitattavaa johdinta. Katkaistu ydin on myös epätarkempi kuin kiinteä ydin. (Elkor Technologies)

Virtamuuntajasta ulos tuleva muunnettu virta saadaan jännitteeksi lisäämällä muuntajan kanssa sarjaan kuorma vastus. Vaihtovirrassa impedanssin kuorma vastuksen määrittämiseen käytetään Ohmin lakia, josta vaihtovirralla impedanssi voidaan laskea kaavalla

$$U = IZ \quad (1)$$

jossa U on jännite, I on virta ja Z on impedanssi (Mäkelä, Soininen, Tuomola, Öistämö 2005, 126).

3 TEHOLLISARVO

Vaihtovirrassa jännitettä ja virtaa kuvastetaan tehollisarvona. Tehollisarvo on vaihtovirrassa käytetty luku, joka kertoo kuinka suurella virralla vaihtovirrassa saadaan yhtä suuri teho, kuin tasavirralla, koska vaihtovirrassa jännite ja virta vaihtuu ajan funktiona positiiviseen huippuarvoon ja negatiiviseen huippuarvoon määritetyllä taajuudella (Inkinen, Manninen & Tuohi 2002, 215).

Tehollisarvon määritelmä on hetkellisen virran neliön keskiarvon neliöjuuri (Herman 2011, 27-28). Esimerkiksi puolikkaan jakson virrasta tai jännitteestä otetaan näytteitä virran tai jännitteen itseisarvon suuruudesta, korotetaan näytteet toiseen potenssiin, otetaan näytteistä keskiarvo ja keskiarvosta neliöjuuri.

Jos vaihtovirta on siniaaltoa, voidaan virran tehollisarvo vaihtovirrassa laskea kaavalla

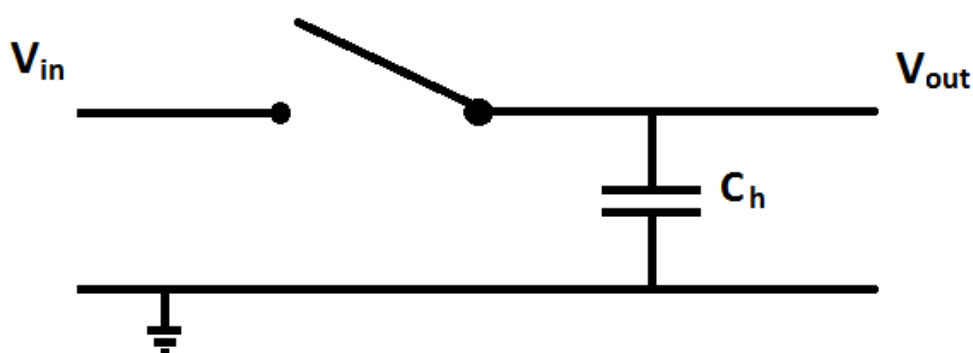
$$I_{rms} = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \quad (2)$$

Jossa I_{rms} on virran tehollisarvo ja \hat{i} on virran huippuarvo (Mäkelä, Soininen, Tuomola, Öistämö 2005, 126).

Siniaallossa keskiarvoisesta luvusta voidaan laskea tehollisarvo käyttämällä muotokerrointa, joka on siniaallossa suuruudeltaan 1,1. Funktion muotokerroin saadaan jakamalla funktion tehollisarvo funktion keskiarvolla. Siniaallon tapauksessa funktion tehollisarvo on 0,707 ja keskiarvo on 0,637, josta tulee 1,1 jaettuna. (Herman 2011, 28)

4 ANALOGIA/DIGITAALI-MUUNNIN

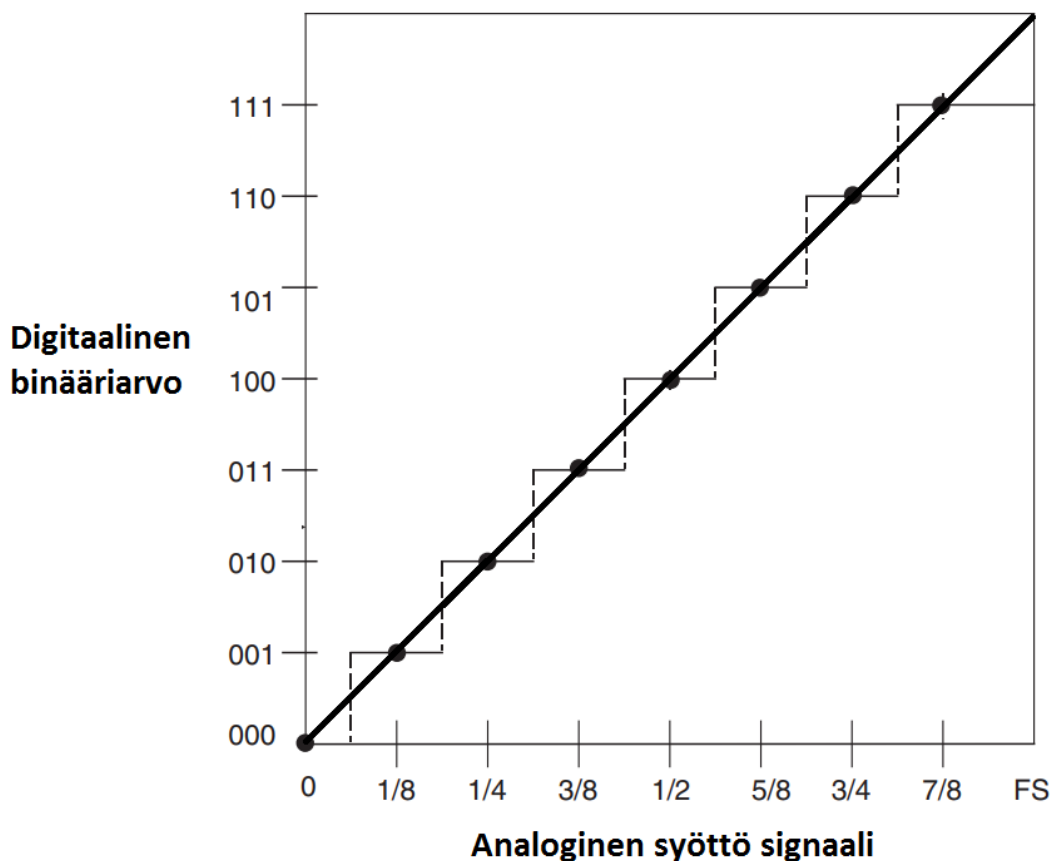
Analogia/digitaali-muuntimella eli A/D-muuntimella muunnetaan analogisesta signaalista digitaaliseen muotoon. Muuntamiseen on tehty monia ratkaisuja, mutta yksi yleisimmistä ratkaisuista on ”sample and hold” eli näytteenotto- ja pitopiiri (Kuvio 3).



Kuvio 3 Yksinkertainen näytteenotto- ja pitopiiri

Näytteenotto- ja pitopiirissä on nimensä mukaisesti kaksi vaihetta, näytteenotto- ja pitovaihe. Näytteenottovaiheessa kuviossa 3 oleva kytkin suljetaan ja piirissä kulkee virta. Maahan kytketty kondensaattori latautuu samaan jännitteeseen, kuin syöttö jännite. Kytkin avataan ja syöttöjännite katkeaa, jonka jälkeen kondensaattori pitää jännitettä yllä eli alkaa pitovaihe. Pitovaiheessa voidaan lukea tasainen jännite. (Pelgrom 2010, 155)

Jännitteen lukemisen tarkkuuteen vaikuttaa muuntimen bittien määrä. Yksi luku bitteinä tarkoittaa yhtä jännitetasoa. Esimerkiksi 3 bitin muuntimella saadaan 8 eri jännite tasoa, jolloin muunnin lukee tasaisen jännitteen siihen tasoon missä jännite on lähimpänä. (Kuvio 4)



Kuvio 4 Ideaalisen 3-bittisen A/D-muuntajan muunnos (Kester)(muokattu)

A/D-muuntimessa korkein taso, kuviossa 4 oleva *FS* eli full scale jää aina muunnoksen ulkopuolelle, koska muuntimessa olevat luvut alkavat nolasta. 3 bitin muuntimen tapauksessa luvut 0-7 on huomioitu, jolloin viimeiselle tasolle ei jää tilaa.

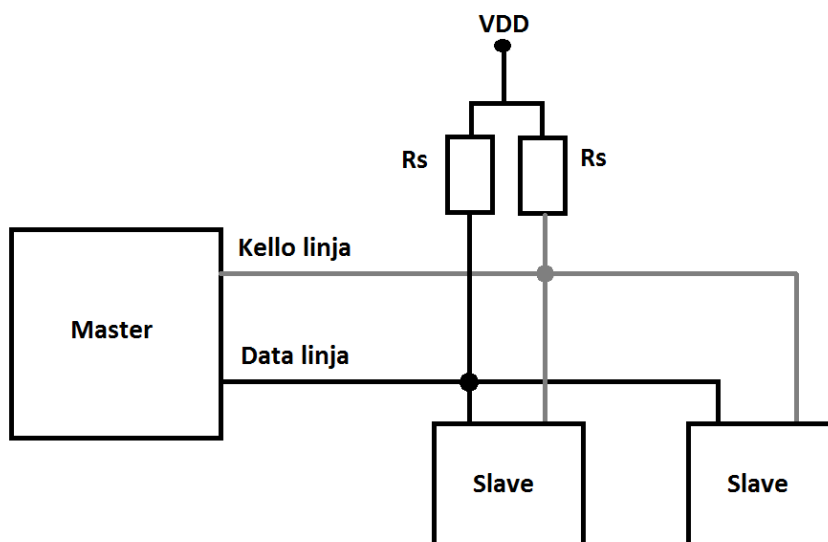
Muuntaja tarvitsee referenssijännitteen, johon muuntaja vertaa sisään tulevaa analogista signaalia. Jännitetasot jaetaan tasaisesti nolasta referenssijännitteeseen saakka.

A/D-muuntimen taajuudella on suuri merkitys muunnoksen tarkkuuteen. Nyquistin teoreeman mukaan signaalista tulee ottaa vähintään kahden kertaisella taajuudella näytteitä kuin alkuperäisen signaalin suurin taajuus on. Jos näytteitä otetaan alle kahden kertaisella taajuudella, osa informaatiosta saatetaan menettää. (Kester 2005, 76)

5 VÄYLÄPIIRI

Inter-integrated circuit eli I²C on NXP Semiconductorsin kehittämä yksinkertainen kaksisuuntainen kahden johtimen väylä, jolla mikropiirit voivat keskustella. I²C väylässä ainoana kahtena johtimena käytetään datalinjaa ja kellolinjaa. (NXP Semiconductors)

Väylän linjoissa on käytettävä ylösveto vastuksia käyttöjännitteeseen virran rajoittamista varten kuvio 5 tavoin. I²C väylän ollessa toimeton, datalinjassa ja kellolinjassa on looginen korkea signaali. Tämän takia väylässä olevien laitteiden tulee toimia väylässä "open-drain" tai "open-collector", riippuen käytetäänkö laitteessa kanavatransistoria vai transistoria. (NXP Semiconductors)



Kuvio 5 I²C väylän yleinen kytkentäkaavio

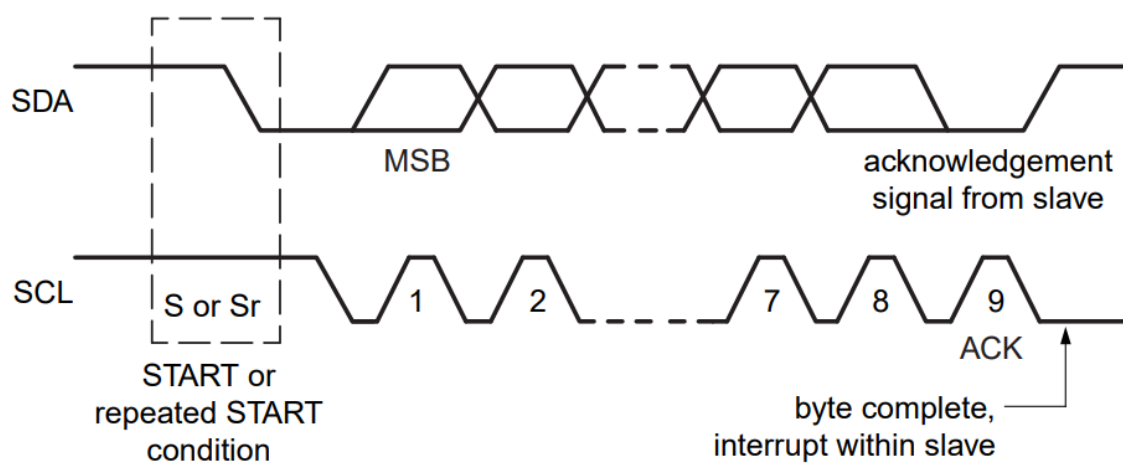
I²C väylässä käytetään master/slave mallia keskustelussa. Ainoastaan master voi aloittaa keskustelun, joko pyytämällä dataa tai lähettämällä dataa ja slave voi ainoastaan vastata. Väylässä voi olla useampia master tai slave laitteita samanaikaisesti. Slave laitteet toimivat väylässä osoitteilla, joka tulee määrittää uniikkina laitteelle. (NXP Semiconductors)

Väylässä keskusteluun käytetään viestejä, jotka ovat 8 bitin eli yhden tavun kokoisia ja viestejä voidaan lähettää kahden laitteen välillä yhden keskustelun aikana niin paljon kuin on tarve. Datalinjalla vaihto loogisesta tasosta tulee tehdä, kun kellolinjalla signaali on loogisena nollana. (NXP Semiconductors)

Väylässä keskustelu aloitetaan aina aloitussignaaliin ja päätetään lopetus signaaliin, jotka ainoastaan master laite voi lähettää. Määrittäminen signaalin aloitukselle on, kun datalinjalle annetaan looginen nollasignaali, kun kellolinjalla on looginen korkea signaali. Lopetussignaalin määrittäminen on, kun datalinjalle annetaan looginen korkea signaali, kun kellolinjalla on looginen korkea signaali. (NXP Semiconductors)

Jokaisen tavun jälkeen vastaanottava laite lähettää kiittauksen. Lähettävä laite vapauttaa datalinjan, jolloin datalinjalla on looginen korkea signaali. Tämän aikana vastaanottava laite lähettää loogisen nollasignaalin ja pitää signaalin alhaalla yhden kellojakson ajan. Jos tavun jälkeen vastaanottava laite ei lähetä kiittaussignaalia, master laite lähettää lopetussignaalin ja keskustelu päättyy. (NXP Semiconductors)

Keskustelun alkaessa master laite lähettää väylään yhden tavun, josta 7 bittiä on slave laitteen osoite ja viimeinen bitti on Read/Write bitti eli haluaako master laite vastaanottaa- vai lähettää dataa. Master laite odottaa slave laitteelta kiittausta viestiin. Kiittäminen lähetetään aina jokaisen tavun jälkeen. Tämän jälkeen joko master- tai slave laite lähettävät tavun sisältäen dataa sen mukaan haluaako master laite vastaanottaa vai lähettää. Lopuksi lähetetään lopetussignaali, jolla ilmoitetaan, että keskustelu päättyy kuvio 6 mukaisesti. (NXP Semiconductors)



Kuvio 6 I²C-väylän keskustelu bittitasolla (NXP Semiconductors)

6 VIESTIPROTOKOLLA

Message queuing telemetry transport eli MQTT on viestintäprotokolla, joka toimii julkaisu/tilaus mallilla. MQTT-protokollassa on palvelimia ja asiakkaita. Palvelimet käsittelevät tulevan datan ja lähettää asiakkaiden haluamaa dataa. Asiakas lähettää dataa palvelimelle ja vastaanottaa haluamaansa dataa palvelimelta. (Oasis)

6.1 Aihe

Aihe eli topic MQTT- protokollassa on kanava, johon tieto julkaistaan ja jota asiakkaat tilaavat. Aiheen avulla saadaan jaoteltua palvelimen puolella eri aiheiset datat toisistaan ja sallitaan asiakkaalle helpompi tilaus ilman, että saa dataa, jolla asiakas ei tee yhtään mitään. (Oasis)

6.2 Julkaisu

Julkaisulla MQTT-protokollassa tarkoitetaan asiakkaan datan lähetystä palvelimelle tai palvelimelta ohjausviestejä. Julkaisu viestin ensimmäinen tavu koostuu ohjaus-, DUP-, palvelun laatu-, ja retain osista kuvion 7 mukaisesti.

Bit	7	6	5	4	3	2	1	0
byte 1	MQTT Control Packet type (3)				DUP flag	QoS level		RETAIN
	0	0	1	1	X	X	X	X
byte 2...	Remaining Length							

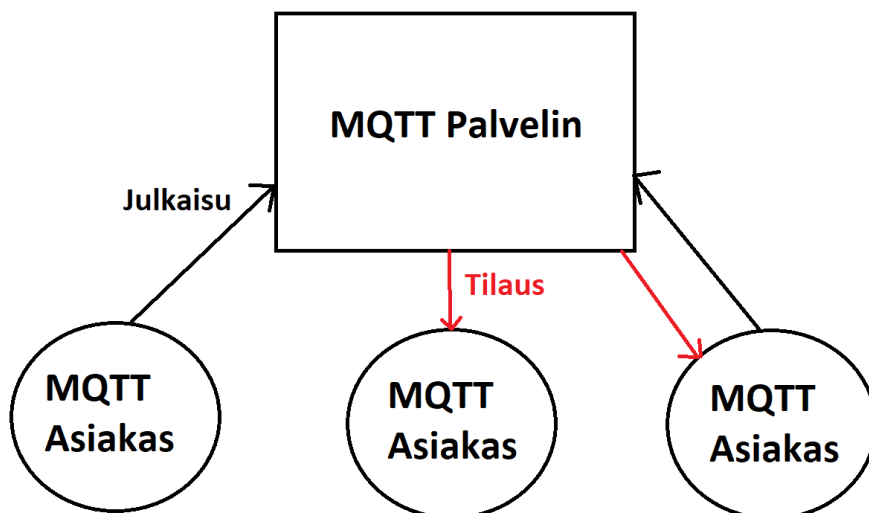
Kuvio 7 MQTT julkaisu viestin koostumus (Oasis)

Ohjaus osiossa kerrotaan viestin tyyppi kuten yhdistäminen, kuittaus, tilaus ja julkaisu. DUP lippu kertoo, onko viesti lähetetty aiemmin vai onko kyseinen viesti ensimmäinen. Palvelun laatu kertoo palvelimelle viestin prioriteetista ja retain kertoo palvelimelle, tuleeko viesti tallentaa palvelimelle, jotta viesti voidaan myöhemmin lähettää tuleville tilaajille (Oasis). Seuraavilla tavuilla on lähetettävä data. Lähetysten maksimi tavumäärä on 65536, eli perus viestintäprotokollalla käytännössä loputon.

6.3 Tilaus

Asiakas tilaa palvelimelta tietyn aiheen dataa. Kaikki kyseisen aiheen alla oleva data siis lähetetään asiakkaille, jotka ovat kyseisen aiheen tilanneet itselleen. Asiakas voi tilata palvelimelta niin monesta aiheesta kuin haluaa. Tilausviestin ensimmäisessä tavussa on ainoastaan ohjausosa ja seuraavissa tavuissa itse data. (Oasis)

Asiakkaat voivat MQTT-protokollassa julkaista ja tilata dataa tai ainoastaan julkaista tai tilata.

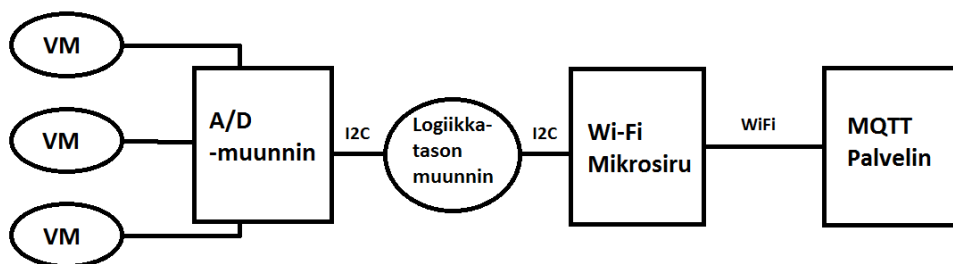


Kuvio 8 MQTT-protokollan lohkokaavio

Kuvion 8 mukaisesti MQTT-protokollassa asiakkaat voivat julkaista ja tilata dataa tai ainoastaan julkaista tai tilata.

7 VIRTAMITTARIN KOKONAISUUS

Virtamittari kokonaisuudessaan aktiivisten komponenttien osalta alkaa virtamuuntajista ja päättyy MQTT palvelimeen kuvion 9 mukaisesti.



Kuvio 9 Virtamittarin lohkoakaavio aktiivisista komponenteista

Virtamuuntajista tuleva virta A/D-muuntimeen on suoraan verrannollinen mitattavan johtimen virtaan. Muunnetusta virrasta saadaan A/D-muuntimen sisääntuloon sopiva jännite lisäämällä virtamuuntajan ulostulon kanssa sarjaan kuorma vastuksen.

Jos A/D-muuntimen sisääntuloon tulevan signaalin maksimipotentiaali on +5 V ja virtamuuntajan muunnettu virta on 50 mA maksimissaan 100 A mitattavan johtimen virralla tulee ottaa huomioon, että virta tulee muuttua tehollisarvosta huippuarvoksi, koska kuormavastuksen halutaan rajoittavan huippujännitteen A/D-muuntimen sisään tulon maksimi jännitteen mukaisesti. Jolloin 50 mA virran tehollisarvosta voidaan virran huippuarvo johtaa kaavasta 2

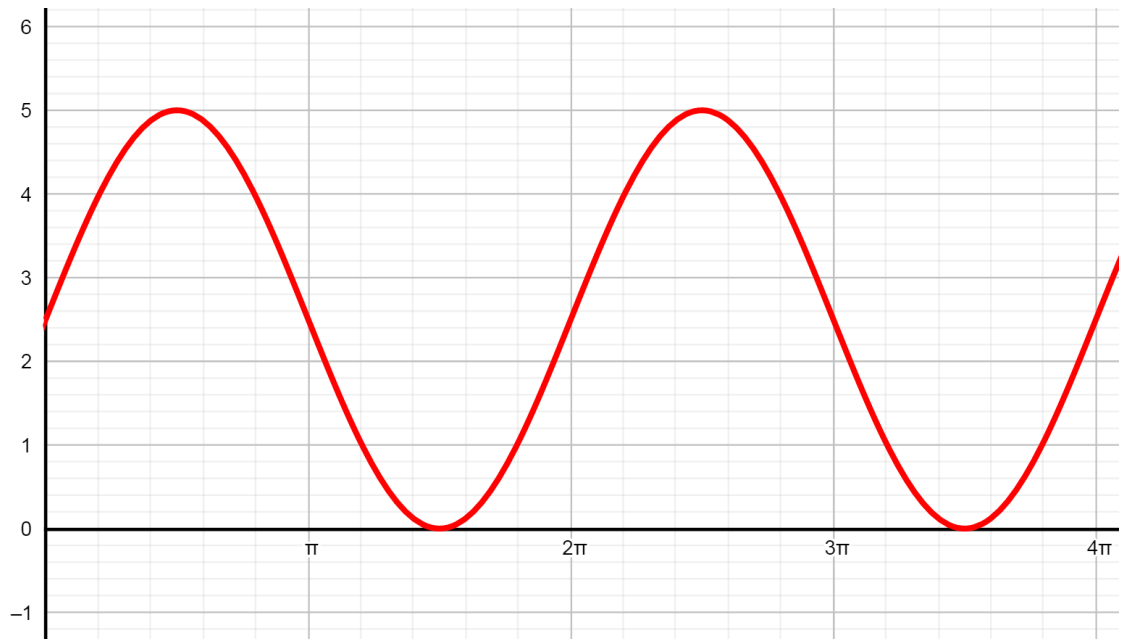
$$\begin{aligned}
 I_{rms} &= \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}} \\
 \hat{i} &= I_{rms} \cdot \sqrt{2} \\
 &= 50 \text{ mA} \cdot \sqrt{2} \\
 &= 0.0707 \text{ A} \\
 &\approx 71 \text{ mA}
 \end{aligned}$$

Jos maksimi A/D-muuntimen sisääntulon maksimipotentiaali on +5 V, mutta negatiivisen jännitteen maksimi on -0,7 V, täytyy sisääntuloon antaa tasavirrallinen offset jännite. Tasavirran offsetjännite määritetään 2,5 V, jolloin vaihtovirran maksimijännite saa olla 0 – 5 V. Virran huippuarvolla voidaan laskea kuormavastuksen impedanssi, kun jännite on 2,5 V, johtamalla impedanssi kaavasta 1

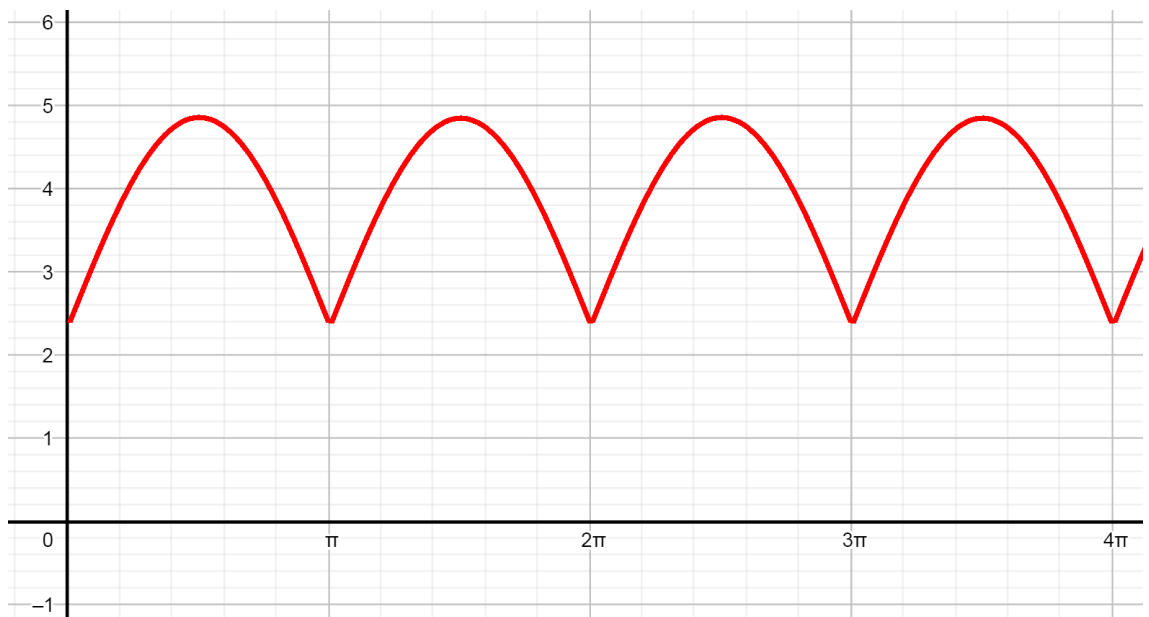
$$\begin{aligned}
 U &= IZ \\
 Z &= \frac{U}{I} \\
 &= \frac{\hat{u}}{\hat{i}} \\
 &= \frac{2,5}{71 \text{ mA}} \\
 &= 35,355 \Omega \\
 &\approx 35,4 \Omega
 \end{aligned}$$

Ideaalitilanteessa 35,4 Ω olisi paras vastuksen impedanssi, mutta kyseisen suuruksia vastuksia ei ole, jolloin pitää joko laittaa vastuksia sarjaan, rinnan tai suuruudeltaan lähin mahdollinen vastus.

A/D-muuntimelle tulevan signaalin taajuus on 50 Hz, jos mitataan verkkovirtaa. Jos mitattavan signaalin jännite muuttuu esimerkiksi 100 A virrassa 0- 5 V välillä 50 kertaa sekunnissa (Kuvio 10), täytyy A/D-muuntimella ottaa näytteitä jännitteestä riittävästi, jolla saadaan jännitteestä keskiarvo ja keskiarvon kautta tehollisarvo, joka kuvastaa jännitettä vaihtovirrassa paremmin. Tehollisarvon saamiseksi ohjelmoidaan A/D-muunnin invertoimaan kaikki alle 2,5 V arvot positiiviseksi, jolla saadaan luotua virtuaalinen täyden aallon tasasuuntaaja (Kuvio 11).



Kuvio 10 Ideaalinen verkkovirrasta muunnettu signaali $100 A_{rms}$ virralla



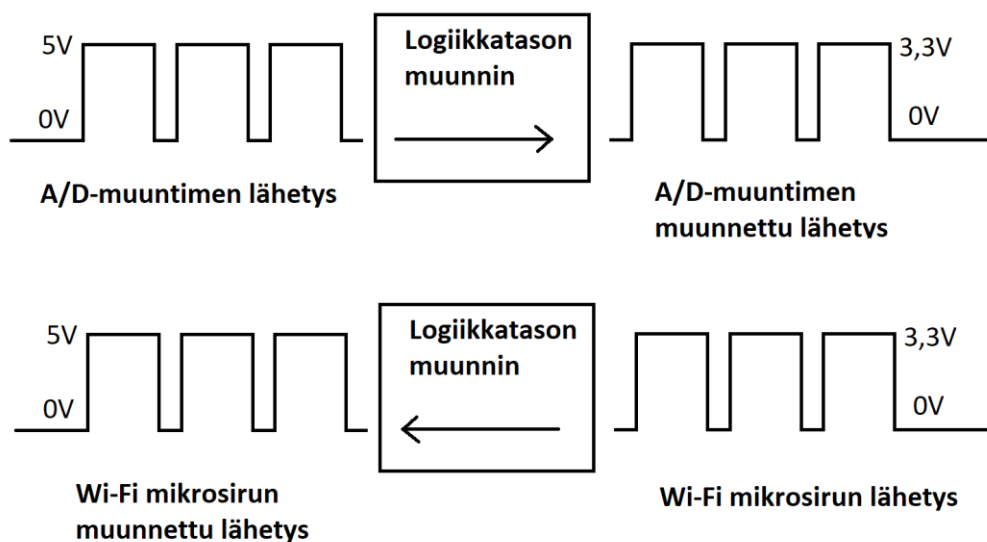
Kuvio 11 Ohjelmalla luotu virtuaalinen täyden aallon tasasuuntaaja

Virtuaalisen täyden aallon tasasuuntaajan avulla saadaan kuvion 10 mukainen signaali muunnettua kuvion 11 mukaiseksi signaaliksi ohjelman sisällä. Virtuaalisen täyden aallon tasasuuntaajalla saadaan jännitteestä keskiarvo ottamalla tarpeeksi näytteitä aallosta ja jakamalla muunnetut jännitteen arvot näytteiden määrällä.

Työssä käytetty A/D-muunnin on 10-bittinen, jolloin jännitetasoja on 1024. Puolet jännitetasoista menee virtuaalisella täyden aallon tasasuuntaajalla ”hukkaan”,

koska vaihtovirralla annetaan tasavirralla 2,5 V offset, jolloin 2,5 V muunnos on muuntimella 0. Tämä pienentää A/D-muuntimen tarkkuutta. Jännitteen keskiarvosta voidaan laskea jännitteen tehollisarvo, joka voidaan suhteuttaa virtamuuntajasta tulevan virran suuruuteen.

Kuviossa 9 oleva logiikkatason muunnin muuntaa A/D-muuntimen ja Wi-Fi mikrosirun välistä jännitetasoa kuvio 12 mukaiseksi. A/D-muunnin toimii 5 V käyttöjännitteellä ja Wi-Fi mikrosiru 3,3 V käyttöjännitteellä. Laitteet vertaavat digitaalisessa lähetyksessä luettua jännitettä omaan käyttöjännitteeseen, jolloin A/D-muunnin ei pakosti onnistuisi lukemaan Wi-Fi mikrosirun lähetystä, koska luulisi loogisen korkean olevan looginen nolla ja Wi-Fi mikrosiru puolestaan ei kestäisi 5 V jännitettä ja menisi rikki. Logiikkatason muuntaja siis muuntaa laitteiden keskustelun toisilleen sopiviksi.



Kuvio 12 Logiikkatason muuntimen toiminta

Wi-Fi mikrosiru on ohjelmoitu kysymään A/D-muuntimelta kaikkien virtamuuntajien virtojen suuruuden arvoa 5 sekunnin välein. Wi-Fi mikrosirun ollessa I²C väylässä master, täytyy Wi-Fi mikrosirun aloittaa aina keskustelu. Keskustelun alkaessa A/D-muuntimen keskeytyslippu nostetaan ylös, jolloin A/D-muunnin keskeyttää sen hetkisen toiminnan ja ajaa I²C väylässä keskusteluun tarkoitettua funktiota. Keskustelussa Wi-Fi mikrosiru lähettää A/D-muuntimelle viestin, jossa on indeksinumero, joka kertoo A/D-muuntimelle, minkä virtamuuntajan virran arvo lähetetään takaisin.

Virran arvo lähetetään kahtena tavuna ja Wi-Fi mikrosirulla ensimmäisen lähetetyn tavun arvot ovat MSB eli merkittävimpiä bittejä, eli niiden arvot ovat desimaaliluvuissa 256 kertaiset kuin mitä luetaan, taulukon 1 mukaisesti, jolloin ensimmäisen tavun arvot tulee kertoa 256. Seuraavan tavun bitit ovat LSB eli vähiten merkittävimpiä ja kyseiset arvot summataan, joista saadaan virran arvo.

Taulukko 1 10-bittisen A/D-muuntajan muunnoksen bitit

Bitti	0	1	2	3	4	5	6	7	(0) 8	(1) 9
Arvo desimaalina	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512
	LSB								MSB	

Wi-Fi mikrosiru toimii samanaikaisesti mikrokontrollerina ja Wi-Fi asiakkaana tai tukiasemana. Wi-Fi mikrosirulla käsitellään dataa vielä ottamalla selkeät virheet pois, jotka ovat joko A/D-muuntimen tai I²C väylän aiheuttamia virheitä. Esimerkiksi, jos I²C väylässä ensimmäisen lähetetyn tavun suuruus on enemmän kuin 2 bittiä, voidaan kyseinen data jättää pois.

Datan käsittelyn jälkeen julkaistaan käsitelty data MQTT-palvelimelle omaan aiheensa alle. Työssä käytetty MQTT-palvelin on RabbitMQ viestin välittäjä palvelin, jossa on MQTT liitännäinen, jolloin se toimii myös MQTT-palvelimena.

8 POHDINTA

Työn tavoitteena oli suunnitella ja tuottaa yritykselle IoT-virtamittari, jossa käytetään virtamuuntajia vaihtovirran mittaamiseen. Tarkoituksena oli ohjelmoida A/D-muunnin ja Wi-Fi mikrosiru, selvittää mitä komponentteja tarvitaan- ja suunnitella kokonaisuus virtamittariin. Työn luottamuksellisista syistä, työssä on käsitelty vain tekniikoita ja niiden soveltamista, mutta työn tulokset ovat salaisia.

Virtamittarilla saadaan mitattua vaihtovirrasta virran tehollisarvo, joka on hyvin lähellä muiden kaupallisten virtamittarien mittaamaa lukemaa. Työhön annettujen vaatimusten perusteella valittujen aktiivisten komponenttien valinnassa piti alkuvaiheessa käydä läpi, mitä yrityksellä on valmiina käytettävissä ja kuinka nämä osat soveltuvat keskenään. Yritykseltä löytyi keskenään sopivat osat ensimmäisen prototyypin tekemiseen. Prototyypin testaamisen jälkeen ilmeni, että A/D-muunninta kannattaa käyttää korkeammalla käyttöjännitteellä, koska pienemällä käyttöjännitteellä saattaa aiheutua oskillaattoriin taajuusmuuntelua ja valmistaja suosittelee käyttämään korkeampaa käyttöjännitettä. Piirilevyn lisättiin logiikkatason muunnin, jolla voidaan käyttää laitteissa eri käyttöjännitettä. Ensimmäisen prototyypin jälkeen piirilevyn kytkentäkaaviosta piirrettiin kunnollinen piirilevy. Kunnollisen prototyypin jälkeen pääsi paremmin keskittymään ohjelmointiin.

Haasteina työssä oli aktiivisten komponenttien ohjelmointi sekä piirilevyn suunnittelu. Piirilevyn suunnittelussa uudeksi asiaksi tuli suurempi kokonaisuus sekä teorian ja käytännön suuret erot, molempiin asioihin sai apua yrityksen laitesuunnittelijalta. Ohjelmoinnissa suurin haaste oli saada I²C väylä toimimaan A/D-muuntimen puolesta niukan tiedon takia sekä ohjelmointikielien vaihtoehtojen takia, vaihtoehtoina oli C tai assembly, joten molemmat kielet ovat hyvin alhaisella tasolla.

Virtamittaria voidaan käyttää sellaisenaan mittaamaan ihan mistä johtimesta, missä kulkee vaihtovirtaa. Yritykselle virtamittarin hyöty tulee myös muihin projekteihin, joissa tarvitaan virran mittausta. Virtamittari on tehty niin yksinkertaiseksi, että sitä on helppo muokata yrityksen eri tarkoituksiin.

Työtä voidaan jatkaa optimoimalla A/D-muunninta saamalla tarkempia tuloksia virran mittauksesta, jolloin ei tarvitsisi luottaa niin paljon sovelluksen tekemään virheen korjaukseen. Miettimällä mikä olisi paras määrä virtamuuntajille, eli kuinka monesta vaiheesta voitaisiin mitata virtaa samanaikaisesti tai vaihtoehtoisesti muutama versio virtamittarista, joissa on eri määrä virtamuuntajien sisään-tuloja. Energianmittauksen tarkkuuteen voisi lisätä näytteenotto verkkovirran jännitteestä, jonka vaihe-eroa verrataan mitattuun virtaan. Ongelmana energian mittauksessa on kapasitiiviset- ja induktiiviset kuormat, jotka aiheuttavat virran ja jännitteen välille vaihe-eroa, jolloin ei voida laskea suoraan kulutettua energiaa, koska virta ja jännite vaihtelevat eri vaiheessa.

9 LÄHTEET

Bird, J. 2003 Science for Engineering. 3. Painos. Oxford: Elsevier Science.

Elkor Technologies Inc. 2006. Introduction to Current Transformers. Luettu 4.3.2019. https://www.elkor.net/pdfs/AN0305-Current_Transformers.pdf

Herman, S. 2011. Alternating Current Fundamentals. 8. Painos. Kanada: Cengage Learning

Inkinen, P., Manninen, R., Tuohi, J. 2002. Momentti 2. 1. painos. Keuruu: Ota-
van Kirjapaino Oy

Kester, W. 2005. Data Conversion Handbook Oxford: Elsevier's Science

Mäkelä, M., Soininen, L., Tuomola, S., Öistämö, J. 2005. Tekniikan Kaavasto. 14.
Painos. Porvoo: Bookwell Oy

NXP Semiconductors. 2014. I2C-bus specification and user manual. Luettu 4.3.2019. <https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>

Oasis. 2019. MQTT Version 5.0. Luettu 10.5.2019. [https://docs.oasis-
open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html](https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v5.0/mqtt-v5.0.html)

Pelgrom, M. 2010. Analog-to-Digital Conversion. Dordrecht: Springer Sci-
ence+Business Media

Young, H., Freedman, R. 2012. University Physics with Modern Physics. 13.
Painos. San Francisco: Pearson Education

Zocholl, S. 2004. Applying and Analyzing Current Transformers. 1. Painos. Yh-
dysvallat: Schweitzer Engineering Laboratories