



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut

MIKROVÕRGU ENERGIASALVESTI ARENDAMINE

DEVELOPMENT OF ENERGY STORAGE SYSTEM FOR MICROGRID

MAGISTRITÖÖ

Üliõpilane: Jaan Reinok
Üliõpilaskood: 144041AAAM
Juhendaja: Elmo Pettai

Tallinn, 2017.a.

AUTORIDEKLARATSIOON

Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Lõputöö alusel ei ole varem kutse- või teaduskraadi või inseneridiplomit taotletud. Kõik töö koostamisel kasutatud teiste autorite tööd, olulised seisukohad, kirjandusallikatest ja mujalt pärinevad andmed on viidatud.

“.....” 201.....

Autor:

/ allkiri /

Töö vastab bakalaureusetöö/magistritööle esitatud nõuetele

“.....” 201.....

Juhendaja:

/ allkiri /

Kaitsmisele lubatud

“.....”201... .

Kaitsmiskomisjoni esimees

1) / nimi ja allkiri /

2)

Lõputöö kokkuvõte

<i>Autor:</i> Jaan Reinnok	<i>Lõputöö liik:</i> Magistritöö
<i>Töö pealkiri:</i> Mikrovõrgu energiasalvesti arendamine	
<i>Kuupäev:</i> 24.05.2017	110 lk
<i>Ülikool:</i> Tallinna Tehnikaülikool	
<i>Teaduskond:</i> Inseneriteaduskond	
<i>Instituut:</i> Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituut	
<i>Töö juhendaja(d):</i> dotsent Elmo Pettai	
<i>Töö konsultant (konsultandid):</i> Kristjan Peterson	
<i>Sisu kirjeldus:</i> <p>Lõputöö on 110 lehel, sisaldab 44 tabelit ja 51 joonist.</p> <p>Lõputöö eesmärgiks on arendada mikrovõrgu tüüpi elektripaigaldise energiasalvestit, uuskasutades elektriautolt Nissan Leaf demonteeritud Li-ioon akupapatareisid. Töös antakse ülevaade kirjanduse uurimisel ja analüüsil saadud tehnilisest infost, kirjeldatakse arenduse kestel avaldunud olulisi tehnilisi piiranguid ja ületatud takistusi. Lõputöös saadud praktilised tulemused rikastavad olulisel määral sarnaste süsteemide arendamise metoodikat. Projekteeritava prototüüp energiasalvesti tehnilise teostatavuse uurimine võimaldas paremini mõista selles vajalikke koostisosade funktsioone ja hinnata nende maksumust. Uuskasutusse võetavate elektriauto Li-ioon akupatareide rakendamine statsionaarsetes energiasalvestites võib teatud tingimustel osutada majanduslikult mõttekamaks võrreldes täiesti uute Li-ioon akude kasutamisega. Elektriautode akupatareide uuskasutusega statsionaarsetes energiasalvestites luuakse uut vara selle omanikele. Lisaväärtus avaldub mikrovõrgu energiasalvesti elutsükli kestel.</p> <p>Perioodil 2016 a. oktoober kuni 2017. a. mai õnnestus arendusega jõudsalt edasi liikuda. Laboratoorsed katsed teostati Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi elektriajamite ja robotitehnika laboratooriumis. Energiasalvesti praktilise käivitamiseni lõputöös mainitud põhjustel siiski ei jõutud.</p> <p>Töö põhilisteks tulemusteks on: akupatarei CAN andmeside käivitamiseks vajaliku info leidmine, ARDUINO mikrokontrolleri ja Siemens PLC vahelise kommunikatsiooni arendamine, Siemens PLC-l jooksva visuaalse kasutajaliidese loomine, energiasalvesti kaitsefunktsioonide arendamine ja uurimine, katseteks vajalike elektriskeemide projekteerimine ja koostamine, uue välise vooluanduri süsteemi integreerimine, juhtalgoritmide koostamine ja nende alusel mikrokontrolleri programmeerimine. Saavutuseks võib pidada ka osavõttu lõputöö algusperioodil toimunud üritusest TehnoHack 2016.</p>	
<i>Märksõnad:</i> projekteerimine, jõupaigaldis, mikrovõrk, maandus, aku, energia salvesti, liitium ioon aku, elektriauto aku, uuskasutus, mikrokontroller, asjade internet.	

Summary of the Diploma Work

<i>Author:</i> Jaan Reinok	<i>Type of the work:</i> Master Thesis
<i>Title:</i> Development of energy storage system for microgrid	
<i>Date:</i> 24.05.2017	110 pages
<i>University:</i> Tallinn University of Technology School of Engineering	
<i>Department:</i> Department of Electrical Power Engineering and Mechatronics	
<i>Tutor(s) of the work:</i> Associate Professor Elmo Pettai <i>Consultant(s):</i> Kristjan Peterson	
<p><i>Abstract:</i></p> <p>Master thesis is on 108 pages, contains 44 tables and 51 figure.</p> <p>The goal of thesis is to develop an energy storage unit for microgrid type electrical installation based on reuse of Nissan Leaf Li-ion batteries. The overview and analysis of from literature about technical information, serious issues in development phase and solved obstacles is described in this thesis work. The results gained in practical work enrich in significant amount methods of development of similar systems. The prototype of energy storage unit, what is being designed and study of its realization gave an overview of functionality of components and will help to find their approximate cost. Reuse of electric vehicle batteries in stationary energy storage applications in certain conditions can possibly be economically viable than use of new lithium ion batteries. Reuse of electrical vehicle battery packs can create new asset. Additional value is created in the cycle of life of energy storage system of microgrid.</p> <p>During the period 2016 October until 2017 May the considerable progress was made in development. Laboratory experiments were made in Electrical Power Engineering and Mechatronics institute electrical drives and robotics laboratory room. The target of launching of practical energy storage unit for microgrid was not reached due to circumstances mentioned in thesis.</p> <p>The main results of thesis work are: finding of the critical information for starting battery CAN communication, development of communication between ARDUINO microcontroller and Siemens PLC, creation and running visual user interface on Siemens PLC, electrical design and assembly of electrical diagrams needed for laboratory tests, development and writing programs of control algorithms. The participation in Tehnohack 2016 event in early stages of starting thesis work can be considered as achievement.</p>	
<i>Keywords:</i> Design, power installation, microgrid, grounding, battery, energy storage, lithium ion battery, electric vehicle, reuse, microcontroller, internet of things.	

Sisukord

Lõputöö ülesanne.....	8
Teema põhjendus:	8
Töö eesmärk:.....	8
Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:.....	8
Lähteandmed:.....	9
Lõputöö konsultandid:	10
Eessõna	11
Akronüümide nimekiri	12
Sissejuhatus.....	13
1. Lühülevaate elektriautode akude kasutamisest energiasalvestite ehitamisel.....	14
1.1. GM ja ABB Chevrolet Volt aku taaskasutus.....	14
2. Li-ion akudega energiasalvestite lahenduste omavaheline võrdlemine ja majandusliku tasuvuse hindamine	17
2.1. ANL USABC korduvkasutatud akude uuring	18
2.1.1. Koormuse järgimise katsed.....	18
2.1.2. Sagedusregulatsioon ja avariitootmine	19
2.1.3. Töö nominaalparameetritest väljas ja selle mõju aku elueale	19
2.1.4. ANL USABC uuringu kokkuvõte	19
2.2. Elektriauto võrku ehk V2G.....	19
2.3. Elektriauto aku postmobiilne kasutus statsionaarses energiasalvesti rakenduses	20
3. Arendatava energiasalvesti põhimõtteline lahendus ja selle rakendus mikrovõrgus	23
3.1. Mikrovõrgu ülesehituse tasemed	25
3.2. <i>Internet of Things</i> või Asjade Internet põhimõte.....	26
3.2.1. <i>Tajurite ja täiturite tase</i>	27
3.2.2. <i>Võrgu tasand</i>	27
3.2.3. <i>Rakenduse tasand</i>	27
3.3. Takrvõrgu ja IEC 61850 lähenemine	28
3.4. HESA alajaama mikrovõrgu prototüüpstend ja selle arengusuunad	29
3.5. Salvesti põhimõtteline ehitus.....	31
4. Galvaanilise eraldamise, maandamise ja potentsiaaliühtlustuse ning muud ohutuse küsimused katseseadmest.....	33
4.1. Salvesti ohutus ja galvaaniline eraldamine.....	33
4.2. Mikrovõrgu maandussüsteem.....	34
5. Nissan Leaf akupakk.....	36
5.1. Akupaki spetsifikatsioon	36
5.2. Akupaki mooduli mõõdtmed.....	37
5.3. Akupaki elementide spetsifikatsioon.....	37
5.4. Akupaki ehitus.....	38
5.5. Akupaki skeemid.....	40
5.6. Akupaki eluea hindamine ja selle maksimeerimise tingimused	43
5.6.1. <i>Nissan-i taaskasutus poliitika</i>	44
5.7. Nissan Leaf akupaki CAN teave	44
5.7.1. <i>Skaneeritav teave</i>	44

5.7.2.	<i>Päritav teave</i>	44
6.	Energiasalvesti elektriliste skeemide arendamine ja koostamine	49
6.1.	Ühe akupakiga energiasalvesti skeemide kirjeldamine	49
6.2.	Kahe järjestikuse akupakiga energiasalvesti kirjeldamine	54
6.3.	Elektriseadmete valik	55
6.3.1.	<i>Ühe akupakiga katselise energiasalvesti seadmed</i>	56
6.3.2.	<i>Kahe akupakiga katselise energiasalvesti</i>	56
6.4.	Elektrooniliste seadmete (moodulite) valik katseseadmesse ja valiku põhjendamine	57
6.4.1.	<i>Mikrokontroller</i>	57
6.4.2.	<i>Vooluandur Isabellenhuette IVT-S</i>	58
7.	Energiasalvesti juhtimisfunktsioonide teostamiseks vajalike andmete ja info kirjeldamine	63
7.1.	Kasutaja nõuete spetsifikatsioon	63
7.2.	Energiasalvesti salvestus- ja tühjendamisprotsessi energiavoogude juhtimiseks vajalike põhifunktsioonide kirjeldus.....	64
7.2.1.	<i>Programm</i>	64
7.2.2.	<i>Juhtalgoritm ühe akupakiga energiasalvestile</i>	66
7.2.3.	<i>Juhtalgoritm kahe jadatühenduses akupakiga energiasalvestile</i>	66
7.3.	Kontrollerile vajaliku tarkvara arendusplatvormi valik.....	68
7.3.1.	<i>ARDUINO IDE</i>	68
7.3.2.	<i>SIEMENS TIA portal</i>	68
8.	Arendusprotsessi kava	70
8.1.	Katselise energiasalvesti katsete kava	70
9.	Kasutatud toite- ja mõõteseadmete kirjeldus	72
9.1.	CAN side analüüsimise tarkvara	72
9.2.	Multimeeter	72
9.3.	Toiteplokk	73
10.	Aredusettapide kirjeldus	76
10.1.	TehnoHack 2016	76
10.1.1.	<i>ARDUINO programm</i>	77
10.1.2.	<i>Veebiserver ja S7-1200 programm</i>	77
10.1.3.	<i>TehnoHack 2016 kokkuvõte</i>	79
10.2.	CAN teave pakettide leidmine.....	80
10.2.1.	<i>CAN fuzzing</i>	80
10.2.2.	<i>Visuaalne süsteemide korrelatsioon äratuntavate mustrite järgi</i>	80
10.3.	CAN kommunikatsiooni töökindlus.....	80
10.3.1.	<i>Probleemid 2 grupi andmete päringuga</i>	81
10.3.2.	<i>2011 aasta mudeli aku CAN jälg</i>	82
10.4.	Voolu mõõtmine.....	82
10.4.1.	<i>Isabellenhuette IVT-S CAN kommunikatsiooni seadistamise lühiülevaade</i>	83
10.5.	SOC arvutamine	85
10.5.1.	<i>Voolu väärtuse integreerimine ehk kulonite lugemine</i>	87
10.6.	Šunteerimise teave määramine	88
11.	Võrguinverter	90
11.1.	Võrguinverteri valik	90
11.1.1.	<i>PVS300-TL-8000W-2 põhiantmed, vastavus standarditele</i>	91
11.2.	ABB PVS300 8 kW ja VACON testimine	93
11.2.1.	<i>Magna Power Electronics päikesejaama emuleerimise tarkvara</i>	94
Kokkuvõte	98	

Tuleviku arendusvõimalused	99
Kasutatud kirjandus	100
Lisad	103
L.1. Lõputööga kaasaantava materjali nimekiri	104
L.2. Nissan Leafi akupaki ühenduspistikute skeem 2013 hoolduse käsiraamatust	105
L.3. Nissan Leafi akupaki BMS-i ühenduspistikute skeem	106
L.4. index.html sisu	107
L.5. TIA Portal programm	108
L.6. PVS300-TL vastavus eeskirjadele ja standarditele	110

Lõputöö ülesanne

Lõputöö teema: **Mikrovõrgu energiasalvesti arendamine**

Üliõpilane: **Jaan Reinok, 144041AAAM**

Eriala: **Elektriajamid ja jõuelektroonika**

Lõputöö liik: magistritöö

Lõputöö juhendaja: **Elmo Pettai**

Lõputöö ülesande kehtivusaeg:

Lõputöö esitamise tähtaeg: **25.05.2017**

Üliõpilane (allkiri)

Juhendaja (allkiri)

Instituudi direktor (allkiri)

Teema põhjendus:

Magistritöö teema on aktuaalne seoses nüüdisaegse hajaenergieetika, täpsemalt mikroelektrivõrkude, arenguga ning tarbijate elektrivarustuse töökindluse edasise tõstmisega.

Töö eesmärk:

Ehitada elektriauto kasutatud akude baasil katseline energiasalvesti moodul, arendada selle Li-ioon akupatareide ja juhtimissüsteemi kontrollerite vahelist andmesidet ning katsetada energiasalvesti käivituse, kaitse, laadimise ja tühjendamise funktsioone.

Lahendamisele kuuluvate küsimuste loetelu:

Lahendada elektrienergia salvesti arendamisega seotud küsimused järgmises mahus:

1. Lühiülevaate koostamine elektriautode akude kasutamisest energiasalvestite ehitamisel;
2. Li-ioon akudega energiasalvestite tehniliste lahenduste ja nende majandusliku tasuvuse omavaheline võrdlemine;
3. Ohutuse tagamise küsimused energiasalvesti katseseadmetes (näiteks ühe ja kahe Li-ioon akupatareiga energiasalvesti rakenduse galvaanilise eraldamise, maandamise ja potentsiaaliühtlustuse probleemide analüüs ning ohutute lahenduste väljapakkumine).
4. Energiasalvesti ohutuks katsetamiseks ja tööks vajalike kaitsefunktsioonide analüüs. Laboratoorses katsetes kasutatavate kaitsefunktsioonide arendus ja kirjeldamine (kaitsefunktsioonide algoritmid).

5. Energiasalvesti elektriliste skeemide arendamine ja koostamine. Ühe ja kahe järjestikuse Li-ioon akupatareiga energiasalvesti jõuskeemide kirjeldamine. Elektriseadmete valik katselisse energiasalvestisse ja võimalusel edasiseks integreerimiseks mikrovõrku.
6. Energiasalvesti salvestus- ja tühjendamisprotsessis energiavoogude juhtimiseks vajalike põhifunktsioonide kirjeldamine. Energiasalvesti juhtimisfunktsioonide teostamiseks vajalike andmete ja info kirjeldamine.
7. Elektrooniliste seadmete (moodulite) valik katseseadmesse ja valiku põhjendamine. Energiasalvesti juhtimissüsteemi struktuuri ja moodulite vaheliste seoste kirjeldamine. Põhiliste skeemide koostamine. Juhtimisseadmete ja materjalide spetsifikatsiooni koostamine.
8. Energiasalvesti laboratoorses katsetes vajalike toite- ja mõõteseadmete kirjeldamine.
9. Olemasoleva Li-ioon akupatarei BMS, vooluanduri ja kontrolleri teostatavate funktsioonide kirjeldamine. Kontrolleri vajaliku tarkvara arendusplatvormi valik. Energiasalvestusprotsessis teostatavad ülesanded, energiaedastustööd ja nende tegevused (laboratoorse energiasalvesti struktureeritud katsetes vajalikud struktureeritud algoritmid).
10. Ühe li-ioon akupatareiga katselise energiasalvesti katsetuste kava (Katsete ülesanded).
11. Ühe li-ioon akupatareiga katselise energiasalvesti juhtimissüsteemi käivitamise ja seiskamise uurimine. Energia varustus ja andmete salvestamine. Esialgsete tulemuste analüüs.
12. Ühe akupatareiga salvesti peakontaktori kaitsefunktsioonide uurimine (Piirid CCL, DCL).
13. Koormusvoolu katkestamine Arduino I/O releede abil (akupatarei oma kontaktorid välja)
14. Ühe ja kahe järjestikuse akupatareiga katselise energiasalvesti juhtimisfunktsioonide variantide analüüs ja arendamine. Salvesti erinevate funktsioonide jaotus vooluanduri (Isabellenhütte), energiasalvesti kontrolleri (Arduino) ja mikrovõrgu kontrolleri (S1200) vahel.
15. Laboratoorsed katsetused akupatareiga. Esialgse andmehõive käivitamine akupatarei BMS-st ja Isabellenhütte vooluandurist energiasalvesti Arduino kontrollerrisse. Tulemuste analüüs.
16. Arduino kontrollerrist laboratoorses katsete käigus kogutavate ja operaatorile edastatavate andmete (info) visualiseerimine. Katseteks vajaliku kasutajaliidese loomine.
17. Ühe (ja võimalusel kahe järjestikuse) Li-ioon akupatareiga energiasalvesti laadimise ja tühjendamise katsed laboris (Magna Power ja reostaat). Tsüklilise laadimise ja koormamise tulemuste esitamine magistritöös. (3 erinevat laadimise-tühjendamise ringtsüklit, võimsusega: 2 kW, 4 kW ja 6 kW).

Töö tulemuste kokkuvõte ja järeldused..

Lähteandmed:

1. TTÜ laboris oleva Li-ioon akudega mikrovõrgu energiasalvesti tehniline dokumentatsioon;
2. Energiasalvesti koostises ja katsetamiseks vajalike elektroonikaseadmete, elektritoite, koormusseadmete ja mõõtevahendite tehniline dokumentatsioon;
3. Energiasalvestite alane tehniline kirjandus raamatukogus ja veebis;
4. Energiasalvesti potentsiaalse tellija nõudmised ja soovid.
5. Juhendaja soovitusel.

Lõputöö konsultandid:

Konsultant Kristjan Peterson
(allkiri, kuupäev)

Eessõna

Käesoleva lõputöö teema valikul oli abiks hr. Elmo Pettai elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudist, kes juhendas autorit ka bakalaureuse töö kirjutamisel. Sammuti ajendas antud teema valikul autorit selle aktuaalsus ja isiklik huvi sardsüsteemide arenduse vastu.

Teema kujunes Tartus tegutseva taksofirma koostöö huvist Tallina Tehnikaülikooliga arendada ja ehitada mikrovõrk tüüpi elektripaigaldis Euroopa Liidu projekti raames jagatava toetusega selleks, et saada juurde kiirlaadimise punkte, mida sellel perioodil Tartus nappis. Selle raames toodi elektriajamite ja robotitehnika laboratooriumi 2016 aasta alguses katseteks kõlblik elektriauto Nissan Leaf 2013 aasta mudeli aku. Ettevõtte korraldas hanke, kus osalesid autorile teadaolevalt AS Harju Elekter Teletehnika koostöös TTÜ- ga ja EATON GROUP BALTIC OÜ. 2016 suvel võitis hanke Eaton. Kliendi kaotus ei põhjustanud TTÜ-l elektriauto akubaasil energiasalvesti arendushuvi kadu.

Aktiivsed katsed Nissan Leafi akuga 2016 sügisel oktoobri alguses. Lõppeesmärgiks on arendada elektriauto akude baasil energiasalvestus süsteem, mis sobiks varasemal perioodil 2014. kuni mai 2015. Tallina Tehnikaülikooli koostöös ettevõttega AS Harju Elekter Teletehnika arendatud mikrovõrgu prototüüpstendi.

Töö koostamine toimus Kohilas ja Tallinnas, laboratoorsed katsed viidi läbi Tallinna Tehnikaülikooli elektriajamite ja robotitehnika laboratooriumis. Autorit aitasid Insener Taavi Möller, doktorant Kristjan Peterson ja magistrant Martin Grosberg.

Töö autor Jaan Reinok töötab ABB AS Madalpingesüsteemide tehases projekti inserenina. Email on jaanreinok@gmail.com, telefoninumber 56247720. Aadress on Kohila Lepaluku 5, 79805.

Akronüümide nimekiri

BMS	<i>Battery management system.</i> Akuhaldussüsteem
CAN	<i>Controller Area Network.</i> CAN bus. Kommunikatsiooniprotokoll
CES	<i>Community Energy Storage.</i> Komuuni energiasalvesti
DG	<i>Distributed generation.</i> Jaotatud genereerimine
DoD	<i>Depth of Discharge.</i> Tühjenemise sügavus
ESS	<i>Energy Storage Systems.</i> Energiasalvestussüsteemid
GUI	<i>Graphical User Interface.</i> Graafiline kasutajaliides
IDE	<i>Integrated Development Environment.</i> Integreeritud arenduskeskkond
IED	<i>Intelligent electronic device.</i> Intelligente elektrooniline seade
IoT	<i>Internet of Things.</i> Asjade internet
Li-ioon	Liitiumioon aku
M2M	<i>Machine to Machine.</i> Masin masinaga
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer.</i> Seadme originaalvalmistaja
P2P	<i>Peer to peer</i>
PHEV	<i>A plug-in hybrid electric vehicle.</i> Pistikhübriidauto
SOC	<i>State Of Charge.</i> Laetuse tase
SoS	<i>System of Systems</i> Süsteem süsteemidest
SPI	<i>Serial Peripheral Interface Bus.</i> Sünkroone jadaliides
TTÜ	Tallinna Tehnika ülikool
UPS	<i>Uninterruptable Power Supply.</i> Katkematu toitehallikas
V AC	Volti vahelduvpinge.
V DC	Volti alalispinge.
V2G	<i>Vehicle To Grid.</i> Elektriauto võrku. Auto küljes oleva kõrgepinge aku kasutamine võrgu rakendustes

Sissejuhatus

Tarbijate nõudlus elektrienergia järgi suureneb jätkuvalt. Taastuvenergia allikate, nagu tuulegeneraatorid ja pärikeselektri jaamad, laiem kasutuselevõtmine ja nende võimsuse varieeruvus on toonud endaga kaasa elektrienergia toomise osas veel rohkem ebakindlust. Edastatavate energiakoguste kasv ja tipuvõimsuse silumise vajadus elektrivõrgu olulistest kohtades nõuab olemasoleva energeetilise infrastruktuuri uuendamist. Nõudlus energiasalvestite järgi suureneb nii elektri jaotusvõrkudes kui kodudes.

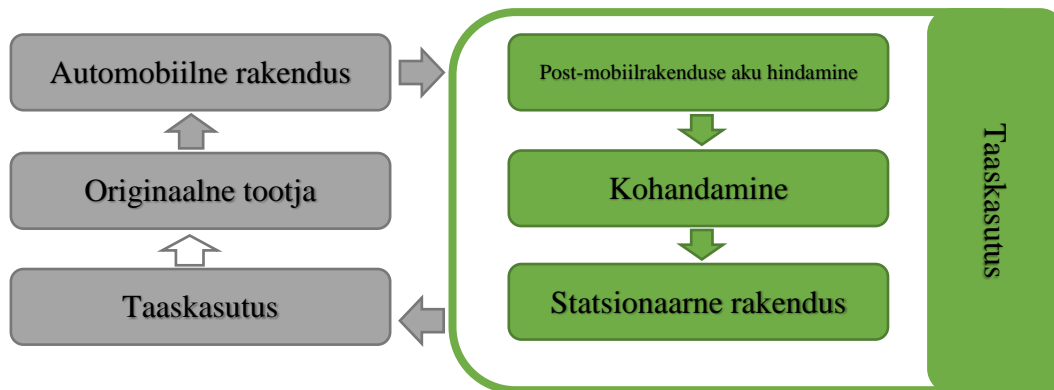
Tallinna Tehnikaülikooli emeriitdtsendi, Rein Oidrami, uuringust on selgunud seos Eestis tuuleenergia arendamisel ja põlevkivielektri ja -soojuse tootmisest tõusnud CO₂ gaasi eralduse 11 % võrra perioodil 2007- 2012 iga toodetud GWh kohta. Selle põhjuseks on kokkuvõtlikult tuulikute stohhastiline tootmise iseloom, mida peavad kompenseerima põlevkivi plokid nihutades oma tööpunkti ja sellega langetades kasutegurit. Sisuliselt muudab TTÜ emeriitprofessori uuringu tulemus arvutused, kus tuuleenergia paigaldamisest väheneb CO₂ emissioonide hulk ebausaldatavaks. [1]

Energiasalvesti kujutab endast ühe võimalikest variantidest leevendada ebakindlust toomise osas. Ajalooliselt on energia salvestid olnud liiga kallid, et oma nominaalkasutusajal teha tasa oma kapitali investeeringud. Hiljuti on uurimis- ja arendustööde tulemused toonud alla elektriakude hinnad ja parandanud nende jõudlust. Kui akud jätkavad oma arengut ja muutuvad aina kättesaadavamaks, hakkavad fossiilkütustel sõitvad autod aina rohkem asenduma elektri autoga. Lõpuks mobiilses kasutuses olnud akud degradeeruvad teatud tasemeni ja muutuvad majanduslikult ebatõhusaks autorakendustes. Selle asemel, et akud taaskasutamiseks lammutada võivad nad olla kohandatud teise rakenduse jaoks nagu näiteks komuuni energiasalvestiks parandamiseks jaotusvõrgu jõudlust.

Selle lõputöö raames käsitletakse elektri auto aku baasil energiasalvesti arendust. Energiasalvesti peab lõppfaasis ühenduma AS Harju Elekter Teletehnika ja TTÜ-ga koostöös arendatud ja valminud mikrovõrgu tüüpi lahendusega. Keskseks uurimis ja arendusobjektiks energiasalvesti loomisel on Elektritakso Tartu OÜ 2016 aasta alguses TTÜ-sse toodud 2013 aasta Nissan Leafi akupakk. Alguses tutvustatakse olemasolevate elektri auto baasil ehitatud energiasalvestiteid, hinnatakse ja uuritakse nende tasuvust. Järgneb maandamise ja elektromagneteisse ühilduvuse tagamine, põhimõtteliste skeemide koostamine ja infotehnoloogiliste algoritmide ja tööpõhimõtete fikseerimine. Lõpus on kirjeldatud tehtud katseid ja nendes kasutatavaid seadmeid.

1. Lühiülevaate elektriautode akude kasutamisest energiasalvestite ehitamisel

Elektriautode Li-ioon akude kasutamine statsionaarsetes energiasalvestisüsteemides on paljulubav tehnoloogia, mis võimaldaks parandada elektritootmis-, tarbimis- ja jaotusvõrgu kvaliteeti. Joonisel 1.1 on kujutatud aku elutsükkel. Peale automobiilset kasutust on vaja hinnata aku seisukorda. Sellele järgneb kohandamine sekundaarrakenduse jaoks. Ümberpaigutamine teise rakendusse annab lisaväärtust ja võib-olla aitab ületada Li-ioon maksumuse barjääre, mis takistavad elektriauto akude ja võrguenergiasalvestite arengut.



Joonis 1.1 Elektriauto aku elutsükkel statsionaarse rakendusega

Aku post-mobiilsest kasutusest lisafunktsionaalsuse ja majanduslikku kasu saamine annab väärtust kogu elutsüklile. Aku ostmise kulu võib olla jagatud primaar ja sekundaarkasutajate vahel. Selline kasutus strateegia ei vähenda ainult sõltuvust fossiilkütustest vaid väheneb ka kasvuhoonegaaside emissiooni. Lisaks tõstab energiasalvestite lisamine jaotusvõrku selle töökindlust, tõhusust ja teeb seda keskkonnasõbralikumaks.

Uuskasutuses elektri-, hübriid- ja *plug-in* hübriidautode akud pakuvad endas suurepärast, kulutõhusat võimalust energiasalvesti rakenduste loomiseks, mis võib aidata ehitada targa võrgu tehnoloogiaid nagu arvutil baseeruv kaugjuhtimine, automatiseerimine ja infohaldus, et parandada töökindlust, tõhusust ja ökoloogilisust elektritootmisel ja selle jaotusel. Sellised tehnoloogiad võivad pakkuda majanduslikku ja ökoloogilist kasu võrguettevõtetele ja koduomanikele läbi kompleksete süsteemide süsteemi (SoS), mis vastab energianõudluste ja tootmise kõikumisele läbi detsentraliseeritud energiasalvestite jaotades klientidele energiat. Energiasalvestid vaadeldakse kriitilise elemendina targa võrgu arenduses, sest nad võimaldavad koormuse jälgimist ja ühtlustamist madala nõudlusega perioodidelt kõrge nõudlustega perioodidele seega aidates võrdsustada nõudluse ja tootmise varieerumist ja seega nad võivad säästa kulusid energia pakujatele kui tarbijatele.

1.1. GM ja ABB Chevrolet Volt aku taaskasutus.

General Motors ja ABB näitasid San Franciscos 2012 aasta novembris elektriauto aku taaskasutamise rakendust. Ühte modulaarsesse kesta ümberpakitud 5 Chevrolet Volti akut võimaldasid varustada kaks tundi elektriga kolme kuni viite keskmist Ameerika kodu.

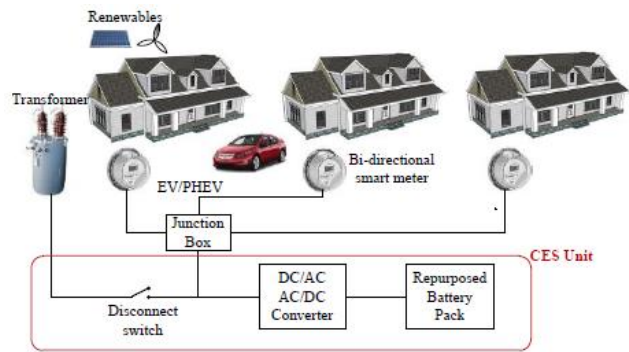
GM-i elektrifitseerimise katses ehitatud rakendus oli katkematu toitehallika (UPS) ja võrgutoidet balansseeriva süsteemi kooste. Prototüüp seade varustas 25 kW võimsuse ja 50 kWh energiaga kodude kogu valgustust ja audiovisuaalset seadmestiku, mis oli elektrivõrgust välja lülitatud (*off-grid* struktuuris).

Väidetavalt oli tegu esimese nüüdisaegne elektriauto aku kasutusega eramute energiasalvesti rakenduses. GM-i vanem mäenedžer, Pablo Valencia, väitel kuulub aku elutsükklisse ka taaskasutus statsionaarses lahenduses. Lisaks arvab ta, et mobiilses rakendusest välja jäävas akus on piisavalt ressursi, et kasutada see teistes rakendustes nagu mikrovõrgu struktuuri toitmiseks enne kui aku võetakse ringlusest maha.

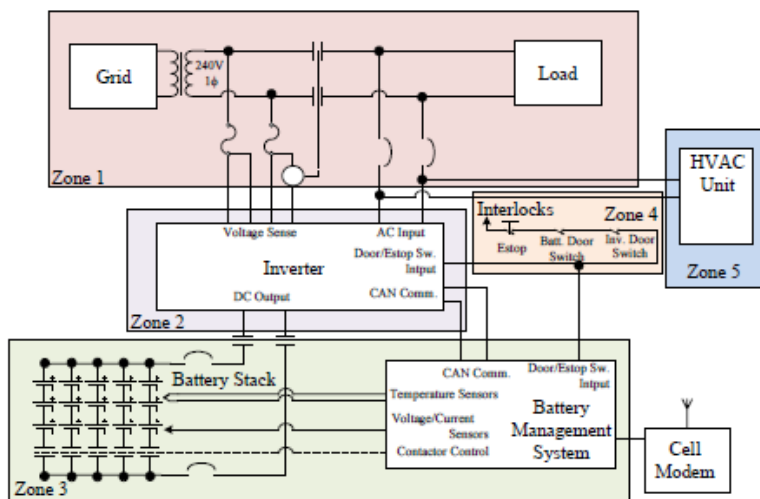
Katset viis läbi Oak Ridge National Laboratory, toetasid General Motors Company ja ABB. Katses osales ABB AS-ist Karl Pärn, kes aitas Ameerika kolleege komplektalajaama koostega. [2]

Rakendus on komuuni energiasalvesti (CES) ühenduses mitme eramuga ja võrgutrafoga. Põhimõttelise konfiguratsiooni võib leida jooniselt 1.2.

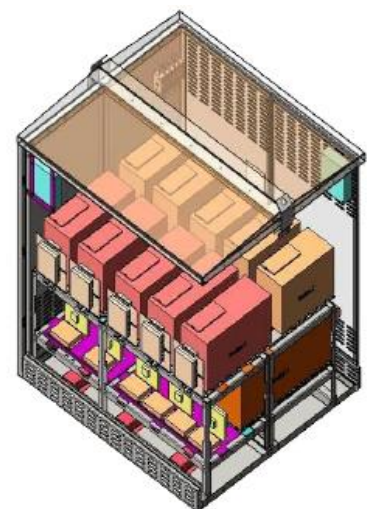
Süsteemis vaadeldakse eramuid kui prosumereid kes on ühe fiidri kaudu seotud mikrovõrgu, milles on energiasalvesti. Energiasalvesti käitub nagu buffer mis reageerib potentsiaalsetele muutustele energiasüsteemis. Muutused on põhjustatud taastuenergiaallikatest või suurte koormuste poolt nagu elektriautod või hübriidelektriautod (PHEV). Nagu on näha süsteem omab saarestumislülit, mis võimaldab akudel katseliselt säilitada elektrivarustust eramutele lülikesteks perioodideks, näiteks võrgurikke stsenaariumi käivitumisel. Joonisel 1.3, millel on kujutatud kooste elektriskeemil võib näha, et see on jaotatud erinevateks tsoonideks. Tsoonis 1 on ühefaasiline vahelduvvoolulüli, mis tagab koormuse ühenduse võrguga. Inverter asub tsoonis 2, mis on ühendatud tsoon 3-ga, kus on akud ja nende juhtimissüsteem. Koostel on veel tsoon 4, kus on erinevad blokeeringuahelad ja tsoon 5 kus on kütte ja ventilatsiooniseade. Akupank on varustatud modemiga. Komplektalajaamaga integreeritud energiasalvesti moodul on kuvatud joonisel 1.4. [3]



Joonis 1.2 CES ühendatud kolme eramuga



Joonis 1.3 CES skeem



Joonis 1.4 Integreeritud akupank

Reaalne kooste nägi välja nagu laboratoorne katseseade, kus kasutati uurimisasutuse katusel olevaid päikesepaneele, 24 kW võimsusega juhitavat aku- ja koormuspanka, 37.5 kVA võimsuse ja 480V/240 V pingega eraldustafot süsteemi elektrivõrku liitmiseks, ABB

inverterit, mis oli ühendatud läbi RS-485 liidese laboris oleva arvutiga (kasutades andmesideks modbus kommunikatsiooniprotokolli).

Katsetatud kooste põhiomadused:

Varustuskindlus. Energiatagavarga CES kooste on võimeline varustama mitme tuuni jooksul elektrienergiaga mitut eramut võrgukatkestuse ja sellega kaasneva saartalitluse juhul.

Taastuvallikate tootmise trimmimine ja nihutamine. CES kooste on võimeline käituma nagu puhver võrgu ja taastuenergiaallikate vahel salvestades üleliigset energiat ja väljastades selle energiapuudujäägi perioodidel. Lisaks on kooste võimeline eemaldama võrgust kõrgsageduslikke häireid.

Kõrvalteenuse rakendus. Energiasalvestisüsteem võib toetada kohalikku võrku ja koormust käitumisega, mis näib nagu kõrvalteenus, võimaldades võrgusageduse reguleerimist ja võrgus operatiivset energiaservit.

Jaotusvõimsuse puudujäägi kõrvaldamine. Piirkonniti võib jaotusvõrk jääda tarbijate nõudmistele lahjaks. Näiteks elektertranspordi teke ja sellega kaasnev edastusvõimsuse kohalik puudujääk. CES on võimeline piikkoormuseid kompenseerima.

Toitepinge stabiliseerimine. Inverter võib võrgus kompenseerida võimsustegurit ja teostada pinge stabiliseerimise funktsiooni.

Süsteemi juhiti LabVIEW tarkvara abil, millega oli seotud MATLAB-i liides. Läbi selle olid realiseeritud kogu kommunikatsioon, andmete logimine ja veatöötlus. MATLAB-is loodud graafiline kasutajaliides võimaldas operaatoril kaugjuhtida inverterit, saates käske manuaalselt üksusele või aktiveerides ühe mitmest automaatsüsteemidest. MATLAB omab liidest standardse modbus protokolli jaoks, millega juhitakse inverterit.

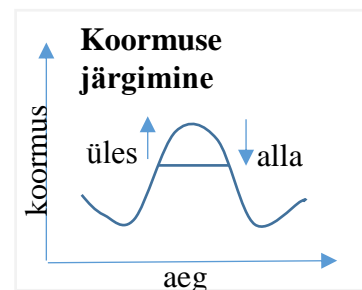
Kokkuvõtteks demonstreeriti, et taaskasutatud akude baasil energiasalvestussüsteemid võivad täita samu funktsioone nagu süsteemid uute akudega kuid seda potentsiaalselt madalamate kuludega. Vaadeldud uurimustöös arendati algoritme teostamiseks erinevad salvesti funktsioone ja saadi mõõdetud tulemused. Tulevane uurimus hakkab olema suunatud eri funktsionaalsusega salvestitele, mis loovad lisaväärtust energiasalvestussüsteemidele.

2. Li-ion akudega energiasalvestite lahenduste omavaheline võrdlemine ja majandusliku tasuvuse hindamine

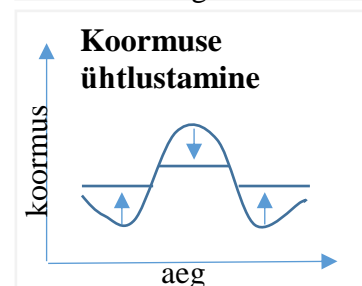
Uuskasutuses elektriauto akupakk võib olla kasulik mitmetes olemasolevas ja tekkivas rakenduses. Näiteks taastuenergia nagu päikese- ja tuuletehnoloogiate areng ja nende tung turule nõuab energia salvestamist, et leevendada mõju mis on tingitud nende katkendliku tootmise iseloomust. Uued trendid nagu elektrivõrgu tippkoormuse vähendamine, energia tõhusus ja koormuse haldamine nõuavad energia salvestust. Tarkvõrgud mille omadusteks on võrgu stabiliseerimine, nullenergiamaajad ja nende sisevõrgu tõrkekindluse suurendamine nõuavad ka energiasalvesteid. Elektriautode akude kasutust postmobiilses rakenduses salvestitena tasub uurida võimalike kasutusvaldkondade, elujõulisuse ja majandusliku kasulikkuse seisukohast.

Elektriauto akude kasutusviisid salvestina sekundaarses rakenduses võivad olla järgmised:

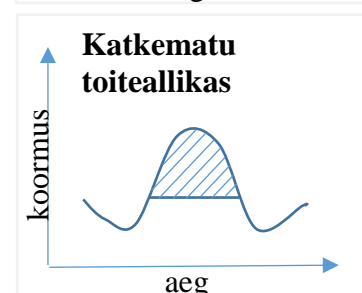
- **Koormuse järgimine** (i.k. *load following*). Lisaenergia jaotusvõrku andmine vastavalt hetkenõudlusele samal ajal jagades teavet kõrgema astme genereerimisüksustele, et vältida ületootmist või alatootmist. Salvestit kasutatakse nõudluse ja toomise vahe korvamiseks. [4]



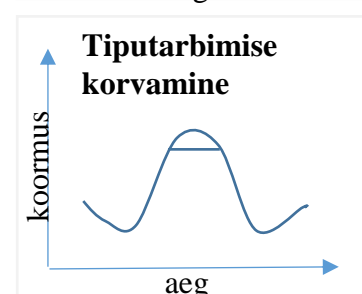
- **Koormuse ühtlustamine** (i.k. *load leveling*). Kaasab salvestit võrguenergia salvestamisel, kui tarbimist on vähe ja kasutab salvestatud energiat tippkoormuse ajal selle vähendamiseks. [4]



- **Katkematu toiteallikas**. Tagavarasüsteemid, mis omavad energiasalvestuslemente, et pakkuda tuge genereerimisüsteemidele ja kõrge prioriteediga tarbijatele.



- **Tiputarbimisel energia puudujäägi korvamine**. Salvesti võimaldab kasutada talletatud energiat tipptarbimise perioodil. Sellega säästes, sest tavaliselt on just siis elektrienergia hinnad kõige kõrgemad. Lisaks võimaldaks selline salvesti rakendus vähendada kapitalikuluseid tootmisvõimsuse suurendamiseks. Sarnaneb koormuse järgimisele kuid salvestit kasutatakse ainult tippkoormuse ajal.



- **Energiaülekande stabiliseerimine, kvaliteedi tõstmine**. Energiaülekande kvaliteedi tagamisega seotud teenused aitavad stabiliseerida võrku peale

rikke teket. Neid teenuseid on palju- nendest põhilised on pinge hoidmine, reaktiivvõimsuse kompenseerimine, sageduse reguleerimine.

- **Avariitootmine või varutootmine.** Reserv energiatoomises, mis kompenseeriks toomise puudujäägi ja ülekande häired kiireloomuliselt. Akubaasil energiasalvestid võivad hakata varustama võrgu tarbijaid siinuse ühe perioodi või isegi poolperioodi vältel.
- **Taastuenergiavõimsuse energiavõimsuse silumine.** Salvesti pakub väljundi energia allikate, nagu näiteks päikesepaneelid, poolt arendatava võimsuse kõikumisele. See on oluline juhul kui parajasti sellise energiatootmisjaama väljundvõimsus järsult kukub. Salvesti peab reageerima kiiresti sest näiteks päikesepaneelide genereeritava energiavoog väheneb järsult pilvisuse tõttu.

2.1. ANL USABC korduvkasutatud akude uuring

Perioodil september 1996 kuni august 1997 viidi asutuses *Argonne National Laboratory* läbi uuring *United States Advanced Battery Consortium* (USABC) jaoks. Uuriti elektriauto nikkel – metallhüdriidakude uuskasutust. Kasutati *Eight Ovonic Battery Company* (OBC) ettevõtte NiMH akusid, mis olid läbinud rohkem kui 500 dünaamilise stressi testi. Koormustsüklite seeria teostamisega simuleeriti elektriauto elutsükklit. Peale testide teostamist uuriti akusid post-mobiilse rakenduses. Testi tulemusi võrreldi pliiakude tulemsute või nende tootjate poolt spetsifitseeritud testi tulemusega. Peale dünaamilise stressi testi kategoriseeriti iga moodul kaheksast vastavalt USABC protseduuridele, et määrata järgijäänud mahtuvuse ja võimsuse näitajad. Toetudes nendele testide tulemustele võis väita, et NiMH akude energiatihedus vähenes 30 Wh/kg või isegi 45 Wh/kg võrra, mis tähendab, et nüüd oli energiatihendus võrdne standartsete turul olevate pliiakudega. Akud kategoriseeriti uuesti nende uue mahtuvuse järgi ja hakati testima neljas töörežiimis: 1) genereerimise tugi; 2) jaotusvõrgu sageduse regulatsioon; 3) avarii- või varutootmine; 4) töö nominaalparameetritest väljas ja selle mõju aku elueale. [5]

2.1.1. Koormuse järgimise katsed

Kaks akumoodulit energiatihedusega 30 Wh/kg või 45 Wh/kg testiti koormuse järgimine režiimis, mis oli arendatud Pacific Gas & Electric (PG&E) poolt ja loodud jäljendama PM250, 250 kWh ja 167 kWh üksust, mis koosnes 384 pliiakuelemendist. PG&E testis akut siinuslaine kujulise koormusgraafiku järgi 3 tunni jooksul. Tiputippkoormus oli 86 kW kuni aku laetuse tase katse lõpuks oli 0 %. Iga koormustsüklile järgnes laadmistsükkel kuni 100 %-ni. Iga järgneva kümne koormamisetsükli järel võeti akupaki maksimaalsest energiamahust väärtusest maha 1 kWh. Sellist katsete tsükli korrati kuni akujada pingelanges alla lubatava taseme 0 % laetuse taseme juures. ANL skaleeris katsetes määratud võimsuse ühe NiMH mooduli kohaseks.

Pliiakudega PM250 süsteem oli võimeline täitma ainult 33 täistsükli. Siinuselaine kujulise koormusgraafik, mis kujutas siinuse poolperioodi maksimaalse tipuvõimsusega 80 kW ligikaudu kahe tunni ulatuses, millele järgnes 20 kW laadimine konstantse vooluga kuni täisnivooni. Sarnase koormusgraafiku kasutamisel langes pingel allapoole ootusi 150 täistsükli järel. Kokku tegi aku 72 täistsükli enne kui aku eluiga lõppes.

NiMH akude eesmärk oli saavutada 250 tsükli enne minimaalse pingetasemeni jõudmist, mis tähendaks akude elutsükli lõppu. NiMH energiatihedusega 30 Wh/kg moodul oli võimeline täitma 294 koormamisetsükli enne kui testimine lõpetati. Sesjuures ei jõudnud akud oma elutsükli lõppu. NiMH energiatihedusega 45 Wh/kg moodul suutis täita 133 siinuslaine koormustsükli ja kokku 162 täistsükli enne kuni jõudis oma elutsükli lõppu. [5]

2.1.2. Sagedusregulatsioon ja avariitootmine

Kaks moodulit olid projekteeritud ja üles seatud katseteks koormusprofiilis, et simuleerida sagedusregulatsiooni ja avariitootmist. *Utility Energy Storage* (UES) katseprofiil, mis oli arendatud *Sandia National Laboratories* (SNL) poolt, on toetus tegelikele koormusele mis oli saadud *Puerto Rico Electric Power Authority* (PREPA) akudega energia salvestus objektil. Iga UES tsükkel sisaldas kolme 160 minuti pikkust sagedusregulatsiooniga tsükli, mis koosnesid 32 asümmeetrilise kujuga 5 minutilistest segmentidest kolme erineva võimsusega. Iga sellisele koormusessioonile järgnes laadimise periood. Iga kolme laadimisperioodi pärast järgnes avariitootmise režiim. See koosnes 15 minutilisest konstantse võimsusega koormisest, millele järgnes 15 minutiline ramp kuni 0 võimsuseni. Aku laeti 100 %-ni enne uues UES täistsükli algust. Võimsuse tasemed NiMH moodulitel olid skaleeritud väiksemaks sarnanemaks PM250 testidega. UES katsed sooritati kahe erineva mooduliga vastavalt: 30 Wh/kg ja 45 Wh/kg.

Mõlemad OBS moodulid läbisid kõik 16 planeeritud UES täistsükli jõudmata pinge miinimumtasemeni. 45 Wh/kg degradeeritud moodul kaotas ligikaudu 1 % oma mahtuvusest ja 30 Wh/kg mooduli mahtuvuse kadu oli määramatult väike. Kaheteistkümne C&D Technologies pliiaakuakuga seadmed samades (võrreldavates) katsetes näitasid 8,5 % mahtuvuse kadu peale 13 UES täistsükli. See võrdlus näitab suurepäraselt tulemust NiMH moodulitele. [5]

2.1.3. Töö nominaalparameetritest väljas ja selle mõju aku elueale

Üks NiMH moodul paigaldati 40 °C temperatuuriga keskkonda, et kiirendada korrosiooni reaktsiooni ja võimalikke rikke mehhanisme. Aku jäeti kõrgendatud temperatuuri keskkonnas 144 päevaks, millest 96 olid katserežiimis. Koormamisel C/3 karakteristikuga aku mahtuvus vähenes testiperioodi jooksul 13,2 % ja tippvõimus degradeerus 20 % võrra. Võrdluseks ei tehtud katseid teise akutüüpi jõudluse vahe selgitamiseks. [5]

2.1.4. ANL USABC uuringu kokkuvõte

Üldine testide tulemus näitas, et OBC NiMH akud, mis olid laboritingimustes varem koormatud elektriauto elutsükli järgi näitavad vähemalt sama häid tulemusi kui uued pliiaakud statsionaarsetes energiasalvesti lahendustes. Mõnedel tingimustel kasutatud elektriauto moodulid näitavad paremaid tulemusi täites samu funktsioone, mis uued pliiaakud aga pikema elutsükliga. Uuring näitas, et NiMH elektriauto kasutatud moodulite paigaldamine sekundaarsesse rakendusse võib olla tehniliselt teostatav aku jõudluse aspektist. Kui NiMH tehnoloogiale baseeruvad akupakid peale kasutust automobiilses rakenduses sobivad statsionaarsesse energiasalvestusrakendusse, siis sobivad ka Li-ioon akud sest nad on paremate omadustega välja arvatud töötemperaatori vahemik, mis on Li-ioon akudel 20 °C võrra väiksem.

2.2. Elektriauto võrku ehk V2G

Üks võimalikest energiasalvestite tehnoloogiast on elektriauto liitmine elektrivõrku ehk V2G. Uurijad on eelnevalt uurinud seda tehnoloogiat, mis kasutab elektriauto küljes olevat kõrgepingelist akut, teostamaks võrgurakendusi nagu energia salvestamine. Selles konfiguratsioonis olev aku annab energiat välja elektrivõrku. Selle tehnoloogia konkurentsivõime tagamisega on mitu probleemi. Esiteks on elektriauto aku väärtuslik osa. V2G rakendus suurendaks laadimistsükli arvu, mis omakorda vähendaks aku eluiga, vähendaks kiiremini maksimaalset auto läbisõitu. Lisaks teeks see aku elutsükli kulud

suuremaks. Teiseks aku kasutus salvestina võrgurakenduses oleks keelatud seadme originaal valmistaja poolt ja tõenäoliselt rikuks seadme garantiid. Kolmandaks võrgu stabiilsuse tagamine V2G tehnoloogia võib olla triviaalsetel põhjustel keeruline. [6]

Kuigi tehnoloogia tundub esmapilgul paljulubav on sellel võrgu energiasalvesti rakenduses tõsised puudused. Põhiliselt on vastuoluline selle tehnoloogia algselt mobiilne ehitus ja siis järgnev statsionaarne kasutus, mis teeb selle kallimaks. Üldiselt peetakse uute Li-ioon akude baasil statsionaarset energiasalvestit kalliks. Võib järeldada, et vaadeldava tehnoloogia majanduslikult mõistlikuks muutumine juhtub tulevikus, kui akude hinnad langevad.

2.3. Elektriauto aku postmobiilne kasutus statsionaarses energiasalvesti rakenduses

Elektriautolt maha võetud kõrgepingeline aku (edaspidi lihtsalt aku või akupakk) võib pakkuda erinevalt V2G tehnoloogiast ööpäevaringset energiasalvestusvõimalust. Ka aku eluiga pikeneb, mis tähendab, et aku teeb rohkem kasulikku tööd esmaseks tootmiseks kulunud energia, materjali ja tööjõule kulutatud kapitali kohta. See tähendab, et aku elutsüklile tekib lisaväärtus. Kõrge Li-ioon akude hind on kõige suurem takistus energiasalvestite ehitusel.

Kasutatud akude kohandamist statsionaarsesse rakendusse võib liigitada kahte gruppi. Esimene võimalus on luua suured akupakkide jadad suurele rakendusele nagu näiteks tuule või päikesepargid. Teise võimalusena kasutame akupakke tippkoormuse vähendamiseks, energia tipptarbimise nihutamiseks väikestes rakendustes nagu eramukompleksid, väikesed kontorid ja väiksemad jaekauplused. Nende kahe variandi põhilised erinevused on kasutatud akupakkide arv ja potentsiaalsete klientide arv. Näiteks tuuleenergia portaali 2017 jaanuari andmete järgi on Eestis kasutusel 32 tuuleparki 139 tuulikuga koguvõimsusega 309 MW, mis on arendatud 13 erineva tootja poolt. Olles mereriik on Eestil palju tasapinnalist maad, mis on avatud merele. Seega Eestil on suur tuuleenergia potentsiaal. Samas häid, vähe investeringuid nõudvaid, geoloogilisi eeldusi reservuaar tüüpi energiasalvestite ehitamisel Eestil pole. Suur rakendus nõuab mitmekümne- kui mitte mitmesajakordselt rohkem akupakke. Sellise rakenduse puhul oleks omanikel vajalik ka personal, mis vastutaks tehnoloogia turvalisuse eest ja annaks selles valdkonnas kogemuse. Sammuti motiveeritud varaste arendajate olemasolu aitaks sellele turule tungida ka teistel investoritel. [7]

Kahjuks suurtel kasutatud autoakupakkide baasil ehitatud süsteemidel on majanduslikke kui ka ohutusega seotud puudujääke. Mida suurem on akupakkide jada, seda keerulisemaks muutub selle juhtsüsteem, temperatuuri haldamine ja vajaminev infrastruktuur. Samamoodi nagu kasvab süsteemi keerukuse aste kasvab ka vea tekkimise võimalus, mis võib mõjutada paljude kodanike elu ja nende ärisid. Kui eeldada, et elektriauto on kasutuses keskmiselt 8 aastat, siis on ebatõenäoline, et selle ajaga on piisavalt akusid turul selliste süsteemide ehitamiseks. Loomuliult on see aja küsimus, sest elektriautode müük kasvab. Lisaks võimalikule akupakkide puudujäägile suure energiasalvestisüsteemi ehitamiseks on Li-ioon akude kasutamisel oht tulekahjule ja plahvatusetele. Seega, mida rohkem on süsteemis akusid on selle võrra ka suurem risk. [6]

Heymans Catherine ja Sean B. Walker analüüsisid kasutatud elektriautode akupakkide kasutust eramute salvestitena koormuse ühtlustamise rakenduses. Analüüsis osteti elektrit öise tariifi hinnaga ja kasutati ära päeval, kui elekter maksis rohkem. Nende eelduseks oli küllaltki kõrge päevase tariifi elektri hind - 13 USD senti kWh eest ja öine 6 USD senti. Päeva elektri hind oli rohkem kui poole suurem öisest. Sammuti uuringus ei arvestatud potentsiaalsete lisakuludega nagu hooldus ja lisakaod salvestussüsteemis. Analüüsis vaadeldi 10 aastast perioodi, kus arvutati teoreetiliselt, kas ja kui suur sääst elektrienergia pealt saavutatakse motiveerimaks

Ohaio osariigi kodanike ostma vaadeldud süsteemi. Tarbimis ja koormusprofiil oli võetud *IEA Energy in Buildings and Communities* Programmist, kus oli kolme aasta keskmine kõrge ja madal tarbimine. Uuringus selgitati ja arvestati laadimise ja koormamise ajal tõhususeks (kasuteguriks) 80 %, seega terve tsükli kasutegur oli 64 % ja DOD 80 %. [6] [8]

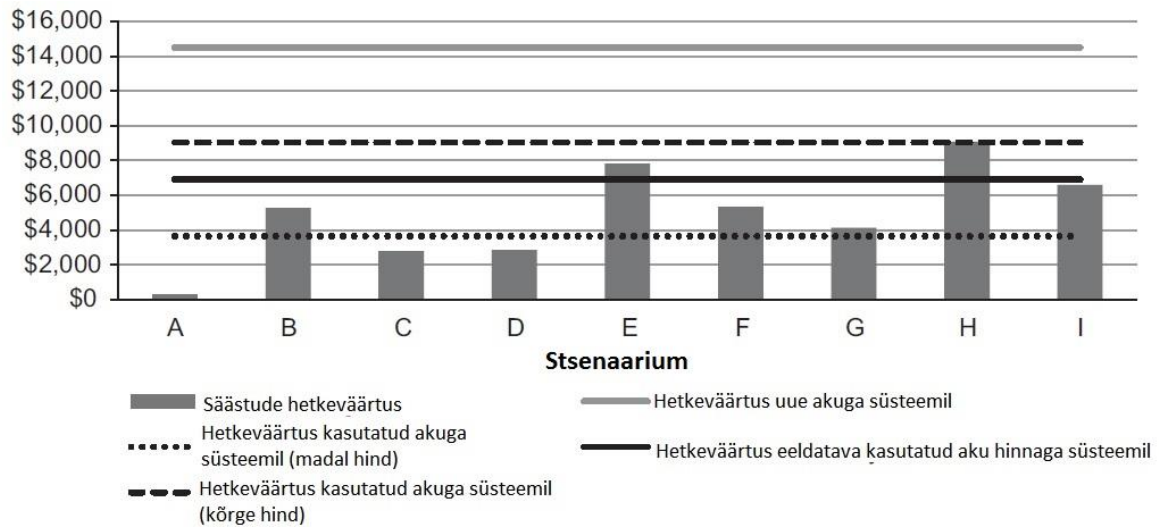
Tabel 2.1 Säästu nüüdisväärtus (ja investeeingu tasuvusaeg) kasutatud elektriautode baasil salvesti kasutamisel 10 aasta ulatuses

Stsenaarium		Säästu nüüdisväärtus ¹	(ROI) % uusi akusid kasutades	(ROI) % kasutatud akut kasutades
A	Tavaline lahendus	\$293	2	4
B	Ilma võrgukuludeta	\$5262	36	76
C	50 % võrgukuludest kaetud	\$2783	19	40
D	50 % elektriinnaalandus	\$2846	20	40
E	50 % elektriinnaalandus ja ilma võrgukuludeta	\$7815	54	113
F	50 % elektriinnaalandus ja 50 % võrgukulualandus	\$5366	37	77
G	75 % elektriinnaalandus	\$4122	28	60
H	75 % elektriinnaalandus ja ilma võrgukuludeta	\$9092	63	132
I	75 % elektriinnaalandus ja 50 % võrgukulualandus	\$6602	46	96

Tabelis 2.1 on välja toodud uuringu tulemused näitavad, et ilma toetusteta ei ole süsteem majanduslikult õigustatud tingimustel, kus kasutame süsteemi ainult koormuse ühtlustamise rakenduses. Eestis 2017 aasta Märtsi elektri hind.ee portaali andmete järgi on elektri hind päeval 5,51 senti / kWh ja öösel 4,18 senti / kWh. Arvestades seda, et meil on võrgukulud protsentuaalselt ligikaudu võrdsed uuringu piirkonnaga on meie tingimustes see süsteem eramute salvestitena tarbimise nihutamise rakenduses 10 aasta perioodis majanduslikult kahjulik määramata ulatuses.

Näeme, et kõige suurem faktor uuringus on võrgutasud ja sellele järgneb elektri hinna alandus. Erinevate soodustuste kehtimisel muutuv ka suuresti investeeingu tasuvus. Kõige suurem kui kehtiks elektri hinnast 75 % soodustus ja sinna ei lisanduks võrguteenuste tasu. Ka ainult võrguteenuste tasu puudumisel madalama kasutatud elektriauto hinna puhul võib olla süsteem majanduslikult tasuv. Joonisel 2.1 on toodud välja graafiliselt investeeingu tasuvuse määr eri stsenaariumite puhul, mis on kirjeldatud tabelis 2.1. Akupakkide eeldatavad hinnad on võetud Neubauer ja Pasaran 2012 aasta uuringust. [8]

¹ Nüüdisväärtusega, ehk säästuga mis on taandatud nüüdishetkele



Joonis 2.1 Investeeringu tulu nüüdisväärtus (hetkeväärtus graafikul) tuginedes tabelis 2.1 toodud andmetele

3. Arendatava energiasalvesti põhimõtteline lahendus ja selle rakendus mikrovõrgus

Mikrovõrk on üks jaotusvõrgu osadest, millel on juhtimisvõimekus ja mis on võimeline töötama autonoomselt. Hajaenergeetika populaarsuse kasvuga, kasvab ka mikrovõrgu tehnoloogia tähtsus. See on suund, kuhu turg liigub ja trend, millega tasub kaasas olla. Mikrovõrgu üks põhikomponentidest on energiasalvesti, mis täitab mitmeid kriitilisi funktsioone nagu kvaliteedi tagamine, mis sisaldab sagedus- ja pingeregulatsiooni, taastuenergiaallikate väljundi silumist, tagavara toide ja lisaks mängib olulist rolli kulude optimeerimisel. Kuigi energiat on võimalik salvestada elektri-, rõhu-, gravitatsiooni-, hooratta- ja temperatuuritehnoloogiatega on antud töös vaadeldud ja võetud arendusse elektrilist meetodit.

Energia salvesti on ka kõige kallim komponent süsteemis. Selle probleemi lahendusena on vaadeldud elektriautode ja pistikhübriidautode akupakkide uuskasutust baseerudes eeldustele:

- Elektriautode akupakid jõuavad oma eluea lõppu kaotades oma mahtuvuses 20- 30 %. Baseerudes nõudele, et auto töötab võrdlemisi samamoodi eluea lõpus nagu alguses;
- Eluea lõpus on aku võimeline hoidma mõõdukalt energiat teise rakenduse jaoks nagu statsionaarne kasutus;
- Sobib peatükis 3.4 kirjeldatud lahendusse;
- Ei ole vaja akupakke lahti võtta, et süsteemis kasutada;
- Sekundaarkasutust (enamasti NiMH tehnoloogiat) on vähe uuritud uuritud viidatates;
 - 1997 ANL uuringule, mis oli sponsoreeritud USABC poolt. Kirjeldatud peatükis 2.1.4;
 - 2002 Sentech uuring sponsoreeritud SNL/DOE (Sandia National Laboratories / Department of Energy) poolt;
- Piiratud elektriauto turumahu pärast ei ole sekundaar- või taaskasutusprogramme tegelikkuses rakendatud;
 - Teadmata on degradatsiooni taseme tundlikkus taaskasutuses;
 - Autoaku kõrge integreerimise kulu sekundaarrakenduse süsteemi;
 - Puuduolevad turumehhanismid ja regulatsioonid;
 - Madal alternatiivsete energiasalvestite hind. [9]

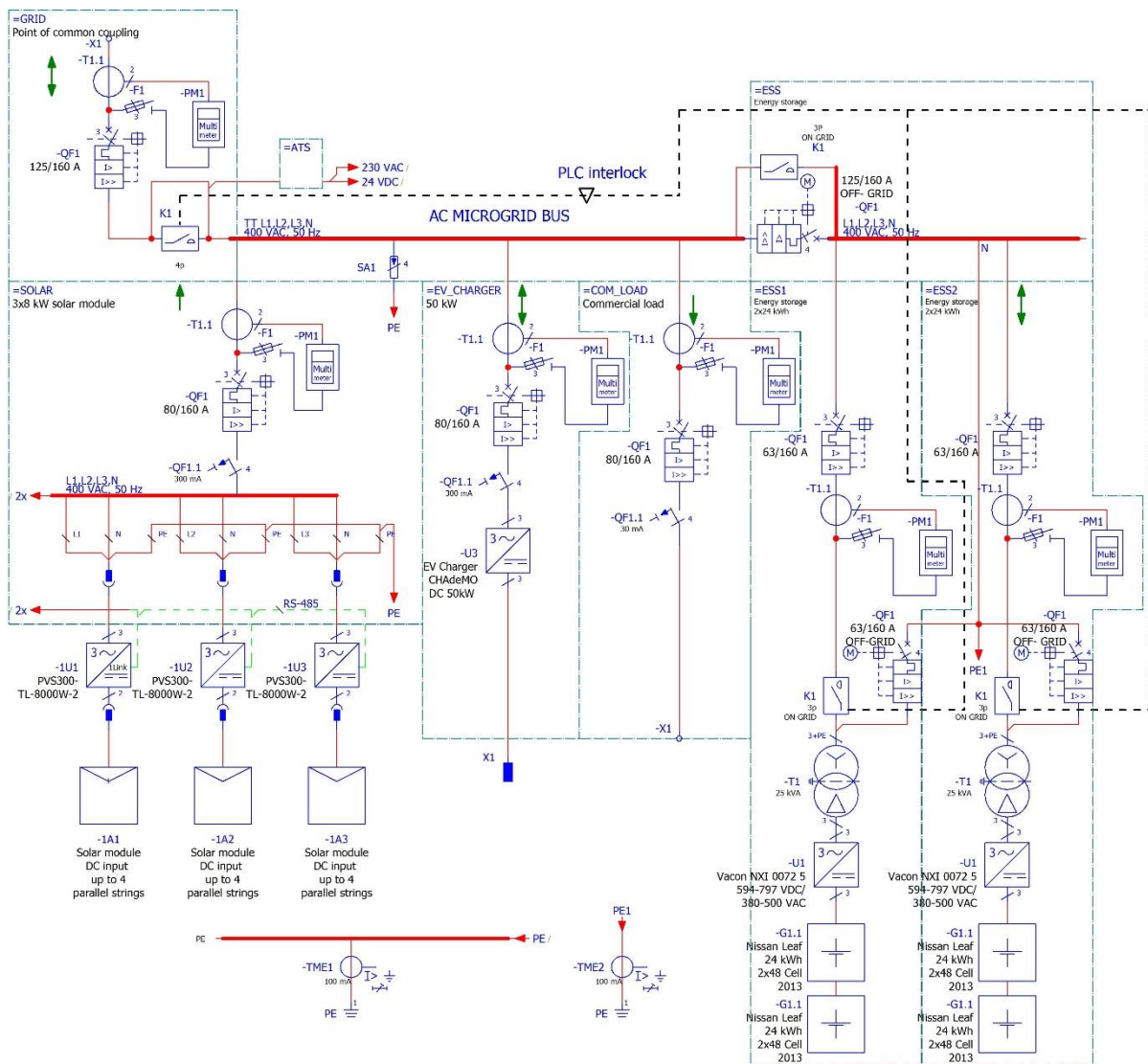
Uuringuid ja arendustöid soodustavad hiljuti tekkinud trendid ja muutused:

- Hiljutine elektriautode populaarsuse tõus, et vähendada CO2 emissioone, suurendada energia sõltumatust ja kõrge fossiilkütuse hind;
- Paremad Li-Ioon akude karakteristikud, kuid siiski küllalt kõrge hind;
- Kasvav taastuenergia tootmise turuosa suurenemine, mis saab kasu salvestustehnoloogiatest,
- Uued jaotusvõrgu arengu trendid vähendamaks tippkoormust, energia tõhusust ja koormuse juhtimist;
- Tarkvõrgud, võrgu stabiliseerimine ja ligi null energia majad vajavad energia salvesteid;
- Investeeringute kasv akutehnoloogiasse;
- Akude algse maksumuse vähendamine sekundaarrakendusest saadud väärtuse kaudu. [9]

Joonisel 3.1 on kujutatud mikrovõrgu prototüüp. Selle all on välja toodud täpsemad struktuuride seletused. Energia salvestus süsteem – ESS koosneb kahest salvesti moodulist ESS1 ja ESS2, mis omakorda on kokku pandud kahest jadaühenduses olevast Nissan Leafi 24 kWh akupakist. Jadaühendus on vajalik selleks, et sobitada pinged Vaconi muunduriga NXI 0072 5.

Tehnoloogiline keerukus, mis kaasneb kahe akupaki jadaühendusest on kompenseeritud Vaconi muunduri tõhususega mikrovõrgu konfiguratsioonis, mis on ära tehtud peatükis 3.4. kirjeldatud süsteemis. Kasutatud elektriauto akupakkidel baseeruva salvesti arenduse üks eeldus oli see, et ta sobiks olemas oleva TTÜ laboratoorses ruumides asuva mikrovõrgu prototüübiga, mille energiasalvesti fiider baseerub Vaconi muunduril.

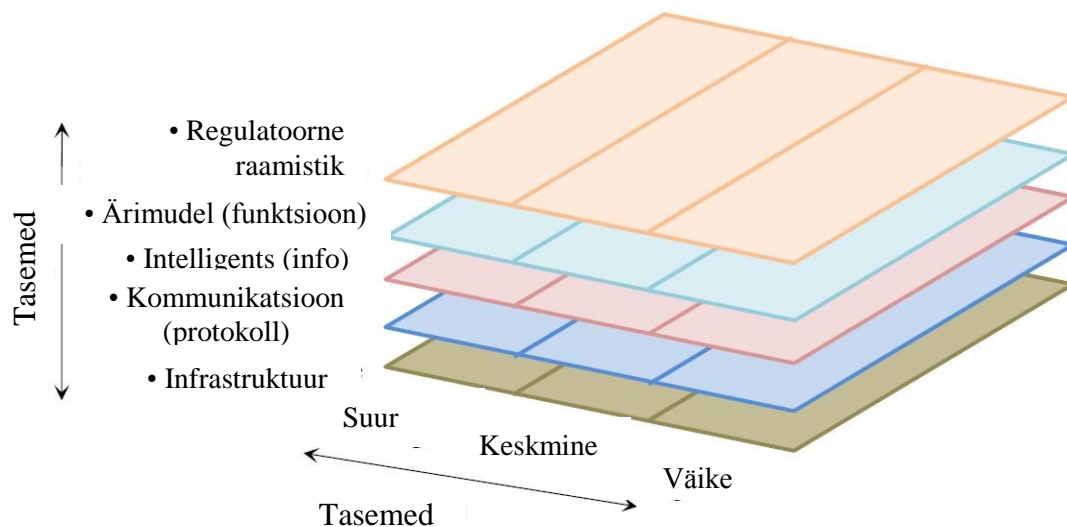
Kahe mooduli ehitus võimaldab lihtsasti salvesteid hooldada ilma süsteemi täisvõimekust ja pidevalt toimuvat energiaedastustööd peatamata. Salvesti moodul on eraldatud kontaktoriga. Kusjuures maanduse funktsionaalsuse tagamiseks on salvesti eraldustrafo primaarmähise Y nullpunkt eraldi lahutatud ja maandatud eraldi elektroodiga. Maandusest täpsemalt on kirjutatud peatükis 4 – Galvaanilise eraldamise, maandamise ja potentsiaaliühtlustuse ning muud ohutuse küsimused katseseadmes.



Joonis 3.1 Prototüüp mikrovõrgu näide. Struktuur GRID on jaotusvõrgu ühenduspunkt, SOLAR päikesejaam, EV_CHARGER fiider mõeldud elektriauto laadiale, COM_LOAD on kommertsühenduspunkt, ESS on salvesti struktuur, mis koosneb kahest salvesti modulist ESS1 ja ESS2.

3.1. Mikrovõrgu ülesehituse tasemed

Mikrovõrk on lokaliseeritud elektriallikate ja tarbijate grupeering, mis normaalselt opereerides on ühendatud ja sünkronis traditsioonilise tsentraliseeritud elektrijaotusvõrguga. Vajadusel on mikrovõrgul võimekus võrgust lahti ühenduda ja funktsioneerida autonoomselt nagu füüsilised ja majanduslikud tingimuse dikteerivad. See on ka viis kuidas ühendada tõhusalt erinevaid jaotatud genereerimise (DG) allikaid eriti taastuvallikaid. Samuti on mikrovõrk tehniline rakendus, mis pakub selle kasutajale komplekslahendust, täpsemalt võimaldab energiat hädaolukorras, olles võimeline vahetama töörežiimi saarestumise ja võrguühenduse vahel. Juhtimise ja kaitse tagamine selles võrgu konfiguratsioonis esitab suuri väljakutseid arendajatele, mida tavaliselt lahendatakse hierarhilise juhtimisega.



Joonis 3.2 Jaotusvõrguga seotud mikrovõrgu mudeli ülesehituse erinevad tasemed

Joonisel 3.2 on kujutatud mikrovõrgu mitme tasandiline mudel. Loogilised (süsteemi erinevaid kvaliteete kirjeldavad) tasandid võimaldavad selget funktsioonide eraldust. Vertikaalselt altpoolt vaadeldes on esimesel tasemel infrastruktuur, kus peaksid hajutatult asetsema kõik füüsiliste omadustega elemendid - koormused, energiaallikad, salvestid. Energeetilisi protsesse teostavaid füüsilisi elemente saab (jõululitite abil) seostada elektrivõrku. Kõik elemendid peavad olema *plug and play* funktsionaalsusega, et nende ühendamiseks (seostamiseks süsteemi) ei oleks halduspersonalil vaja elektrivõrku (sh saarestunud mikrovõrku) käsitsi ümber konfigurereida. Selle tõttu on sellel tasemel palju jõuelektroonika seadmeid, mis võimaldab protsessides lihtsalt (automaatselt) juhtida energia kahesuunalist liikumist.

Kommunikatsiooni tasemel kirjeldatakse (ja liiguvad) kogu infrastruktuuri andmed sealhulgas edasi ka kõrgemale tasemele, kus on suurema võimekusega arvutite info töötlemise funktsioonid, mis grupeerivad ja töötlevad edastatud andmeid, et see esitleda intelligentsi tasemel juba struktureeritud kujul. Kommunikatsiooni (protokolli) tasandi kaudu liiguvad kõik masinkäsud, mis pärinevad info tasandilt, kus tehakse (automaatsed) juhtimise alased otsused mikrovõrgus.

Ärimudeli tasemel tegeletakse kavandatud äri teostamisega. Tuginedes allikale [10], mis tegeles mikrovõrkude kirjanduse analüüsiga on selles tasemes veel palju ebaselgusi alustades sellest, kes peaks olema omanik, kes peaks vastutama energia juhtimise eest. Üldiselt arvatakse, et piirkondades nagu Euroopa ja Põhja – Ameerika peaks olema võrgu omanik jaotusvõrgu operaator, kellel peaks olema kõige suurem motivatsioon oma kasumlikusse suurendamiseks ja seega äriliste eesmärkide saavutamiseks. Operaatoriks võib olla ka energiaühistu. Puudused on

suur investeeringu vajadus, mis tulevikus võib avaldada negatiivset mõju energia hinnale vähese kasutuse tõttu. Populaarsemad strateegiad (rollid) CERTS järgi on mikrotootjate kontroller, energia haldur, kaitse koordinaator. Euroopa järgi on parimad strateegiad: mikrotootjate kontroller, koormuse kontroller, tsentraalne kontroller. [10]

Horisontaalsed tasemed (tasapinnad visuaalses mudelis) vastutavad tippnõudluse kompenseerimise ja koormuse nihutamise eest. Paremal pool on väikesed võrgud, mis rakendavad energia juhtimis algoritme eramutel, kus on väikesed koormused ja mis võivad omada väikese mahtuvusega lokaalset salvestit nagu näiteks UPS. Haldusjuhtimine nende seadmete üle hakkab kuuluma teenusepakkujale. Sellel tasemel üldiselt ei toimu energia genereerimist. [10]

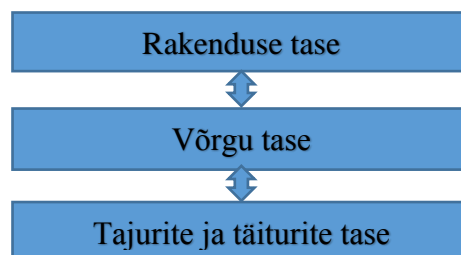
Keskmine ala horisontaalsetel tasemetel kontrollib oma suurusjärgu koormusi ja väikseid. Erinevalt eelmisest alast toimub siin genereerimine. Keskmised mikrovõrgud mitte ainult ei kasuta tipunõudluse kompenseerimise ja koormuse nihutamise algoritme, et juhtida oma koormuseid, vaid ka maksimeerivad jaotatud taastuvenergiaallikate kasutust. Keskmise ala vertikaalsed tasandid kirjeldavad (võivad juhtida) hooneautomaatikat, et teostada oma teenuseid. [10]

Mikrovõrkude hierarhias (kõrgematel tasanditel) toimub suurte genereerimise protsesside juhtimine nagu biomassist tehtaval gaasil töötavad boilerid, tuulepargid, kombiküttejaamad ja teised. Need võrgud võivad olla ühendatud vähemalt ühe punktiga jaotusvõrguga või ühendatud teise mikrovõrguga. Jaotusvõrkude ülesandeks on taastuvenergiaallikate integratsiooni suurendamine, mikrovõrgu nõutud töövõime tagamine. Selles võrgus on mikrovõrgu juhtimise süsteem, mis vastutab ohutuse ja funktsioonide töö eest ja teine nn ärisüsteem, mis on seotud omaniku soovitatavate majanduslike vahetustega pakkumaks tõhusalt saadaolevat energiat. [10]

3.2. *Internet of Things* või *Asjade Internet* põhimõte

Toimumas on tehnoloogiline läbimurre elektroonika ja arvutivõrkude alal, mis võimaldab ühendada neid aina intelligentsematesse süsteemidesse. Nendel integreeritud süsteemidel on võimekus suurendada majanduskasvu, informatsiooni ja kommunikatsiooni kasutamise teel, urbaniseeritud piirkondades ja pakkuda uusi teenuseid, mis tõstaksid heaolu taset kogukonna indiviididel. Tarkvararakendused disainitakse nii, et luua nendes automaatne masin-masinaga suhtlus (M2M) ja seega emuleerida kogu asjade interneti keskkonda. Tarkvõrk, mis on täiendus praegusele energia jaotusvõrgule peaks kasutada seda arendatud kommunikatsioonivõrgustiku.

Asjade interneti põhimõtteid on uuritud juba pikemat aega, kuid siiani ei ole sellel tekkinud väljakujunenud struktuuri. Vaatamata ühisele kokku leppimatusele vaadeldakse selles töös siiski hästituntud kolme tasandi põhimõtteid. Asjade interneti ülesehituse mudel koosneb vastavalt teostumise kvaliteedi kasvule tajurite ja täiturite, võrgu ja rakenduse tasemest. Seda võib näha graafiliselt kujutatuna joonisel 3.3. [11]



Joonis 3.3 Kolmekihiline asjade interneti struktuur (arhitektuur)

3.2.1. Tajurite ja täiturite tase

Selle taseme objektid omavad tajuvaid või täitur omadusi. Tajurite ehk andurite ja täiturite taseme põhiülesanne on mõõta asjade füüsilisi omadusi nagu temperatuur, asukoht, kiirus ja nii edasi. Erinevate andurseadmete signaalid muudetakse digitaalseteks andmeteks, milliseid võib lihtsasti saata läbi digitaalse kommunikatsioonivõrgu ja siis salvestada. Täitur on seade, mis võib saada eelnevalt programmeeritud ülesandeid ja sooritada käske spetsiifilistel aegadel. [11]

Selle tasandi füüsilisteks seadmeteks on:

- Andurid, mis tajuvad asjade füüsilisi omadusi ja muudavad mõõtetulemused digitaalseteks;
- Täituriid, mis võtavad vastu signaale ja täidavad vastavaid käske spetsiifilistel aegadel;
- Lõppseadmed, mis on tehnoloogilisi operatsioone teostavad mehhanismid, sageli integreeritud mikrokontrolleritega, millised on võimelised anduritest saadud signaale töötleva, juhtima täitureid ja teostama andmesidet võrgu tasemega.

3.2.2. Võrgu tasand

Rakenduse tasandi seadmed salvestavad, töötlevad ja analüüsivad teavet, mis on saadud võrgu tasandist. Rakenduse tasand seob võrku ühendatud seadmed kasutajale vajalikuks (toimivaks) tervikuks. See tase sisaldab lõppkasutaja erinevaid rakendusprogramme mis osutavad näiteks hooneautomaatika, asukohal baseeruvaid teenuseid, isikute autentimist, energiamajandust ja nii edasi. See tasand pakub võimaluse automaatselt lahendada kõiki inimese tehnoloogilisi probleeme. Uued rakendused edendavad asjade interneti ja just sellepärast see tasand mängib väga olulist rolli IoT levikus. [11]

Asjade internet hakkab olema tohutu võrk, mis mitte ainult ei ühildu miljardite asjadega vaid ka sisaldab endas heterogeenseid võrke.

Tasandi kirjelduskoosneb:

- Kommunikatsiooni protokollidest, kasutusel lõppseadmetes;
- M2M serveritest, transleerivad lõppseadmete teave saadetavale kujule;
- *Gateway* seadmed, mis suunavad info lõppseadmetest internetti;
- Operatsioonisüsteemidest lõppseadmetes;
- Teekidest, mis on rakendatud serverites ja juhtimisseadmetes, et varustada neid sõnumite süsteemiga uuenduste jaoks.

3.2.3. Rakenduse tasand

Rakenduse tasandis salvestab, töötleb ja analüüsib teavet saadud võrgu tasandist. Rakenduse tasand seob võrku ühendatud seadmed kasutajale vajalikuks (toimivaks) tervikuks. See tase sisaldab lõppkasutaja erinevaid rakendusi nagu hooneautomaatika, asukohal baseeruvaid teenuseid, isikute autentimist, energiamajandust ja nii edasi. See tasand pakub võimaluse lahendada kõiki inimese tehnoloogilisi probleeme. Uued rakendused edendavad asjade interneti ja just sellepärast see tasand mängib väga olulist rolli IoT levikus. [11]

Tasand koosneb:

- IoT pilve platvormist, mis salvestavad lõppseadmetest teavet ja pakuvad visuaalset liidest lõppkasutajatele tabelite ja numbrite kujul;
- Tarkvararakendustest nutitelefonidele, tahvel-, laua-, ja sülearvutitele, mis mis omakorda esitavad graafilise liidest kasutajale (GUI), mille abil saab seadmete parameetrite väärtusi monitoorida ja füüsilisi seadmeid juhtida.

3.3. Takrvõrgu ja IEC 61850 lähenemine

Jaotusvõrk võib olla uuendatud kasutades valmis komponente asjade internetist. Samas tuleb tarkvõrgus arvestada rangemate turvalisuse ja töökindluse nõuetega. Andurid, kommunikatsioon, arvutusvõimekus ja juhtimine võib optimeerida üldist funktsionaalsust energia jaotuses. Osaliselt automatiseeritud jaotusvõrgud, kus on kasutusel SCADA põhimõtted, olenevad inimesest, operaatoritest. Selleks, et optimeerida protsesse ja saavutada reaalsajas energia nõudluse ja tootmise kokkusobitamine peab olema inimfaktor (selle rutiinsed funktsioonid) asendatud tühiselt väikese viitega M2M kommunikatsiooniga ja automaatselt toimivate tarkvarafunktsioonidega.

Tarkvõrk on arenenud energiasüsteem, mis suurendab produktiivust elektri kasutuse perspektiivist. Tarkvõrgu arendamine ja projekteerimine lahendab viit põhifunktsiooni, mis peaks olema osa tuleviku jaotusvõrgust. Needviis põhifunktsiooni on:

- Energiasüsteemi visualiseerimine reaalsajas;
- Süsteemi võimekuse suurenemine. Ülekande võrgustiku suurendamine, täienduste tegemine andmete infrastruktuuris, juhtkeskuste uuendamine ja kaitseskeemide täiendamine;
- Süsteemis tekkinud „pudelikaela“ tuvastamine;
- Isetaastumisvõimekuse olemasolu tagamine. Võrgustiku suurendamine ja varustamine juhitavate kaitseautomaatidega. Sellisel moel saavad tekkida uued teed energia edastamiseks ahela mingi osa vea korral;
- Klientidele täiustatud ühendussüsteemi loomine. Kommunikatsioonisüsteemi loomine, mis võimaldab ühendust lõppkliendiga. See täiendus loob uusi võimalusi, mis on seotud otse elektritootja teenustega nagu arveldusteave, elektri hinnad, kodu turvalisus, tarbija (ja tulevikus prosumeri) rakenduse jälgimine.

IEC 61850 ja GOOSE

IEC 61850 on standard elektrialajaama automaatika infomudelite ja andmeedastuse disainile. See defineerib ehk määratleb standardiseeritud kommunikatsiooni intelligentsete elektrooniliste seadmetega (edaspidi IED), mis asuvad mitte ainult elektritettevõtete sees nagu elektrijaamas ja alajaamas aga ka väljaspool neid nagu salvestussüsteemid ja erinevad arvestid. IEC 61850 on ka tuvastatud *National Institute of Standards and Technology* (NIST) poolt nagu „nurgakivi“ tehnoloogia. See neutraalse iseloomuga standard on aluseks elektrivõrgu seadmete vahelisele kommunikatsioonile ja üldiselt erinevate tootjate seadmete andmeobjektide modelleerimisel. [12]

IEC 61850 defineerib punktist-punkti (*peer to peer* p2p) kommunikatsiooni mehhanismid IEDs kasutades alajaamades üldisi objekt orienteeritud sündmuse sõnumeid (edaspidi GOOSE), mis edastatakse üle Etherneti. IED-es kasutusel olevad GOOSE sõnumite edastamine vähendab vaskjuhtmete kasutust alajaamades viies märgatava ehituskulu vähendamiseni, veel kompaktsema alajaama ehituse ja paindlikuma automatiseeritud süsteemini. [12]

GOOSE on üks kõige olulisematest ja kasulikematest osadest IEC 61850 standardis. See on mudel, et saata andmete väärtuste valimid kiiresti paljudele kasutaja seadmetele kasutades *multicasti* protokollid. GOOSE sõnumid on disainitud, et kasutada kiiret Ethernet võrku. Kiirused on võrdsed või kiiremad kui juhtmetega juhtimissüsteemis. GOOSE on ideaalne sõnumi süsteem tarkvõrgule, sest ta on ülikiire ja nad defineerivad andmepakette, mis sisaldavad elektriseadmete teavet. Neid sõnumeid saab kapseldada praeguse Interneti rakenduse tasandi protokollides. [12]

Faasimõõtur ehk PMU – *Phasor Measurement Unit* on GPS kella abil ajaliselt sünkrooniseeritud mõõteseade, mis on võimeline edastama pingeväärtusi GOOSE sõnumitega.

GOOSE Gateway seade mis ühendab katsealune mikrovõrgu stendi elektrialajaamaga emuleerimaks teatud targa võrgu funktsioone.

3.4. HESA alajaama mirkrovõrgu prototüüpstend ja selle arengusuunad

Perioodil 2014. kuni mai 2015. arendas TTÜ Elektrotehnika instituut koostöös ettevõttega AS Harju Elekter Teletehnika prototüüpstendi, mille välimus on esitatud joonisel 3.4. Vasakul pool on kujutatud mikrovõrgu prototüüp laboris ja paremal on seesama seade Elfack näitusel Rootsis, Gothenburgis, 5-8 mai 2015.



Joonis 3.4 Vasakul TTÜ ja AS Harju Elekter Teletehnika koostöös arendatud mikrovõrgu prototüüp ja paremal seesama prototüüp Elfack näitusel Rootsis, Gothenburgis, 5-8 mai 2015.

Allpool on esitatud arendatud mikrovõrgu stendi põhiaandmed:

- Nominaalpinge vahelduvpinge siinil 3x400 V;
 - 4 vahelduvpinge fiidrit, mille funktsioonid on järgmised:
 - Jaotusvõrgu fiider;
 - Päikesejaama fiider;
 - Li-Ion akupanga fiider;
 - Vahelduvpinge tarbijate fiider;
 - Nominaalne võimsus Li-Ion akupanga aktiivalaldiga muunduril on 150 kW, nimivahelduvvool muunduril on 261 A, nimialalisvool muunduril on 308 A;
- Mikrovõrgu juhtsüsteem toetab IEC 61850 standardit ja on baseerub Broderseni PLC-le RTU 32;
- Li-Ion akupank on võimeline talletama 25 kWh energiat. Koosneb 216-st jadaühenduses elemendist, mis on hallatud Orioni kontrolleri poolt. Akupanga nominaalpinge on 720 V.

Tulevased Tallinna Tehnika ülikooli plaanid koostöös AS Harju Elekter Teletehnika mikrovõrgu stendi arenduses:

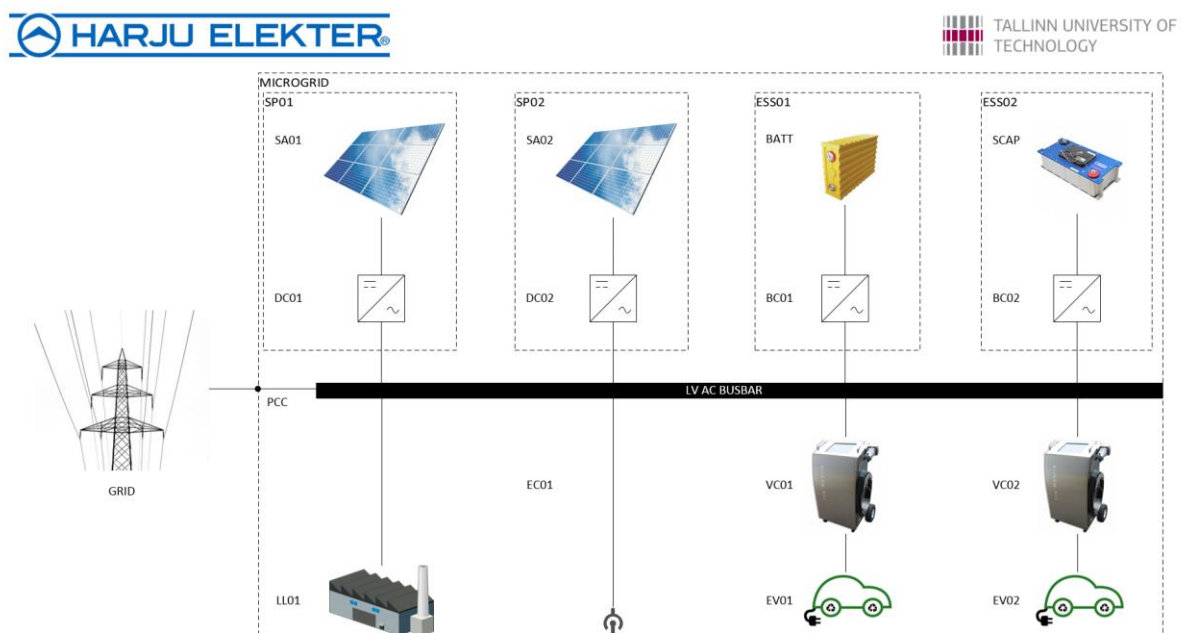
- Lisatakse akupank nimimahtuvusega 150 kWh ja nimivõimsusega 150 kW. Projekteeritav akupank peaks koosnema 216st 300 Ah moodulist;
- Mikrovõrgu paigaldis ühendatakse reaalse päikesejaamaga Eestis niivõimsusega 100 – 120 kW;
- Ülikondensaatritel baseeruva salvestus mooduli paigaldamine. Koosneks 260-st elemendist iga üks 3000 F, U = 2,7 V lisaks 150 kW aktiivse alaldiga muundur, millele lisaks ülikondensaatrite haldussüsteem.

Üldised disaini ideed katsesendil edasiarendamiseks Horizon 2020 projekti raames.

Horizon 2020 on üks EU suuremaid uuringu ja innovatsiooni programme eelarvega 7 aasta jooksul (2014 kuni 2020) peaaegu 80 miljardi euro ulatuses. Lisanduvad erainvesteeringud. Programm lubab rohkem uusi läbimurdeid, avastusi ja “maailma esimesi” aidates tõsiselt head ideed laborist turule. [13]

Mikrovõrgu prototüüp (arendatud ja testitud vastavalt projekti eesmärkidele) sisaldab:

- Mikrovõrgu seadmeid ja ühendust jaotusvõrgu alajaamaga (ka jaotusvõrgu SCADA);
- Kahesuunaline energia ja võimsusvoo juhtimist ja haldust mikrovõrgus olevate prosumerite poolt vastavalt Horizon 2020 projektis pakutule ja defineeritud eesmärkidele;
- Mikrovõrguga alajaama vahelduvpinge fiider on ühendatud välise päikesejaamaga nimivõimsusega 100 kW;
- Mikrovõrgu alajaam vahelduvpinge fiider on ühendatud Li-Ion akupangaga nimivõimsusega 150 kW ja mahtuvusega 150 kWh;
- Mikrovõrgu alajaama vahelduvpinge fiider on ühendatud superkondensaatorite salvestus pangaga;
- Mikrovõrgu alajaam vahelduvpinge fiider on ühendatud kahe elektriauto kiirlaadijaga, millest iga üks nominaalvõimsusega 50 kW. Kiirlaadija on omakorda ühendatud elektriautoga, mis võimaldab kahesuunalist energivoogu vastavalt seatud eesmärkidele.



Joonis 3.5 Tööstuslik mikrovõrk integreeritud elektriautode laadijatega.

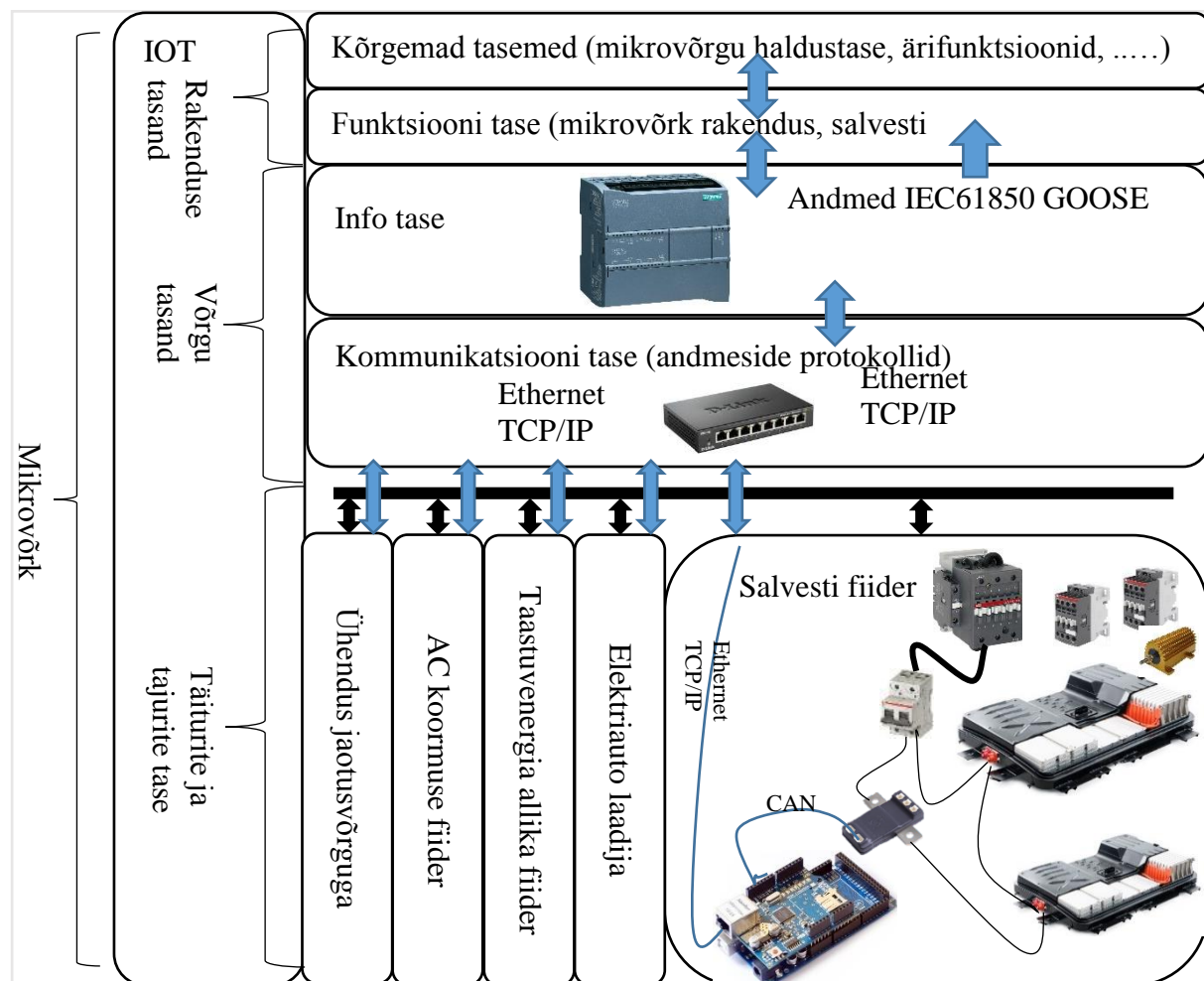
Joonisel 3.5 on kujutatud mikrovõrgu lihtsustatud põhimõtteline skeem. Mikrovõrk on ühendatud kohaliku elektri jaotusvõrguga liitumispunkti (PCC) kaudu. SP01 ja SP02 on päikesejaamad, ESS01 akudele baseeruv energia salvesti süsteem ja ESS02 superkondensaatoritele baseeruv energia salvesti süsteem. All on kujutatud kohalikud tarbijad LL01, elektriautode intelligentset laadijad VC01 ja VC02, kus EV-ga on tähistatud elektriautod. Lisaks on veel välise ühenduse võimalus. See kõik moodustabki mikrovõrgu.

Energiasalvestussüsteem (ESS) võimaldab teostada mitut mikrovõrgu juhtimise tehnikat, mis võivad olla väga tulusad kõikidele sellega ühendatud prosumeritele. Mõned perspektiivsed

rakenduse funktsioonid on näiteks diiseldiiselaatorite (DG) väljundi kõikumiste vähendamine ja energiatootmise nihutamine. ESS hoiustaks liigselt genereeritud energia tippaotuse tundide ajal ja väljastaks selle tarbijatele, elektrienergia madala tootlusega aegadel, kui tarbimine seda nõuab. PCC väljundvõimsuse saab võrdsustada varem tehtud prognoosidega. Intelligentsete elektriauto laadijate kasutamine pakub häid võimalusi edasiseks mikrovõrgu juhtimise rakendustele – eriti hädaolukordade ajal.

3.5. Salvesti põhimõtteline ehitus

Nissan Leafi akupatareil põhineva salvesti arendusel on lähtunud sellest, et akupaki integreerimiseks süsteemi poleks vaja seda demonteerida. Võimalusel kasutada maksimaalselt selles olemasolevast funktsionaalsust. Punktis 5.5 on kirjeldatud akus olevaid komponente. Tingituna kahe akupaki ühendamisele lisandub süsteemi mõningaid lisakomponente. Samuti esinesid varem läbiviidud arendustöös, mis on kirjeldatud peatükis 8, mõned puudujäägid. Täpse voolu ja pinge väärtuse mõõtmiseks tuli süsteemi lisada uus digitaalne vooluandur ja akupatareide jadaühenduse tõttu tuli süsteemi lisaks kaks kontakorit, mis tasakaalustavad energiatasemeid kahes eri akupakis koormustakistite lülitamise abil.



Joonis 3.6 Arendatava mikrovõrgu salvesti struktuur ja arhitektuur

Arendatava salvesti struktuurskeem on esitatud joonisel 3.6. Arvesse on võetud alapeatükis 3.1 ja 3.2 kirjeldatud mikrovõrgu tasemete põhimõtted ja ka asjade interneti lähenemine võrgus olevatele seadmetele. Kogu materiaalne seadmeistik asub alumisel tõrurite ja täiturite tasemel. Talle järgneb masin-masinaga ehk M2M kommunikatsiooni tase. Selgelt eraldatud tasemed

näitavad, kus liiguvad andmed masinsuhtluse jaoks erinevate protokollidega ja kus on nad jõudnud juba kõrgemale ehk infotasandile. Seal on nad restruktureeritud IEC61850 standardi alusel GOOSE sõnumiteks. Rakenduse tasemel, mis on siinkirjeldatud mikrovõrgus jaotatud omakorda kaheks alatasemeks, toimub ka äri loogika teostus. Veel kõrgemal tasemel on regulatoorne raamistik ja teostatakse selle funktsioonid.

Salvesti moodul koosneb kahest jadaühenduses olevast Nissan Leafi akupatareist, mis on omakorda edasi järjestikku firma Isabellenhuette IVT-S seeria šundil baseeruva vooluanduriga, S800 seeria katiseautomaadi ja kontaktoriga. Kuna jadaühenduses akude pinged liituvad peab kogu seadmestik vastama vähemalt 800 V alalispingele. ABB S800PV – S seeria nimipinge on kuni 1200 VDC ja 1s lühisvool võib olla kuni 5 kA. Automaatkaitse lüliti elektromagnetiline vabasti rakendub töösse 6 kordse nimivoolu juures. Kontaktor on valitud ABB GA 75 seeriast, mis on mõeldud 1000 VDC lülitamiseks. Kontaktor on seadmes kriitiline element, sest see on üks kahest juhitavatest astmelise kaitse lülidest. Liigkoormuse kaitse, mis on Li-ioon akude ohutusel tagamisel esikohal, teostatakse jõumuunduri abil. Jõumuunduri rikke korral järgmine aktiivkaitse seade on kontaktor, mida juhitakse ARDUINO platvormil mikrokorrolleri poolt, mis saab perioodilist teavet voolu hetkeväärtuse kohta vooluandurilt. Andurist andmete edastamiseks kontrollerrisse kasutatakse CAN siini. Kolmandaks seadmeks jõuahelas on kaitseautomaat. Katselise salvesti viimast elektriskeemi on esitatud joonisel 6.4. Komponentide spetsifikatsioon on tabelis 6.1. Komponentide valikupõhimõtetest on kirjeldatud peatükis 6.3.

4. Galvaanilise eraldamise, maandamise ja potentsiaaliühtlustuse ning muud ohutuse küsimused katseseadmes

Viidates EVS HD 60364-5-542.1 võib maandussüsteeme kasutada koos või eraldi kaitse- ja talituseesmärgil vastavalt elektripaigaldise nõuetele. Kaitse eesmärkidest tulemevad nõuded peavad olema alati esikohal. Sellest lähtuvalt tuleb salvesti katsepaigaldises ja projekteeritavates salvestites arvestada alati eelkõige ohutusega ja siis vajaliku funktsionaalsuse tagamisega.

Kõrgema taseme süsteem, mikrovõrgu paigaldis, kuhu ühendatakse tulevane salvesti on maandatud süsteem. Elektriseadmeid ühendatakse maaga ehk maandatakse mitmel põhjusel. Elektriyaotusvõrguga ühenduses olev seadmestiku väline korpus on ühendatud maa potentsiaaliga, et kasutajal ei oleks võimalik puutuda kokku ohtlike pingelaste osadega. Elektriyaotussüsteemis on kaitsemaandusjuht kohustuslik osa elektriõhutuse tagamiseks. Kaitsemaandusjuht võimaldab elektriseadme kaitseaparatuuridel rakenduda. Ühendus maaga piirab ka elektrostaatilise laengu kogunemist, mis võib olla ohtlik tuleohtlikes ruumides ja elektrostaatikat kartvate seadmete läheduses.

Salvesti katseseadmed (akupatareid) ja ka projekteeritav salvesti (ehk salvestusprotsessi teostav seade) mikrovõrgu rakenduses on maast isoleeritud ja nõuab erinevalt maandatud süsteemist hoopis teistsugust lähenemist paigaldise kaitse tagamisele.

4.1. Salvesti ohutus ja galvaaniline eraldamine

Salvesti katselises ja arendataval salvesti rakenduse projekteerimisel lähtutakse eelkõige seadme ohutusest. Kasutusel on nii aktiivne kui passiivne liigvoolukaitse. Lisaks sellele on süsteemis pidev isolatsioonitakistuse kontroll, mis kohe teatab veast salvesti esmase rikke korral, mis ei tekita kohest elektrilist mõju. Salvesti kõik alalispingelised elemendid on korpusest galvaaniliselt eraldatud, et kõrvaldada eksivoolude (uitvoolude) tekkimise võimalust ja rikke korral ei tekitaks liigset kahju.

Maandussüsteem. Arendatav salvesti omab IT maandussüsteemi, kus mõlemad juhid – negatiivne ja positiivne on maast eraldatud. EVS HD 60364-1:2008 väljaandes erinevalt 2003 osast on see lubatud alapeatükis 312.2.4.5.

Liigvoolukaitse. IT isoleeritud juhtidega süsteemi liigvoolukaitse rakendub ainult kui toimub akupatarei katoodi ja anoodi vahelise elektrilise kontakti puhul, mis põhjustab piisava voolu. Juhul kui üks kahest juhust läheb kontakti kestaga ei juhtu midagi. Esimese juhu korral kui viga tekib joonisel 4.1 välknoolega 1 märgitud kohas, ehk aku sees, siis kaitseb kontuuri akupaki sees olev sulavkaitse, mida võib leida joonisel 5.4 ühe suure ja kahe väiksema akuelementide jadade vahel hooduspistikuga – *SERVICE PLUG* all. Samuti kaitseb soovimatu ühenduse korral akupaki sisene kaitse kui peaks mõlemad elektroodid minema vastu korpust. Teisel (joonisel välknool 2) juhul, kui toimub lühis või ülekoormus kontaktori K1 elektri ahelas, siis rakendub aktiivkaitse funktsiooni omav kontaktor K1, mida võib leida joonisel 6.6. ja passiivkaitsena ABB S800PV seeria QF1 automaatkaitse

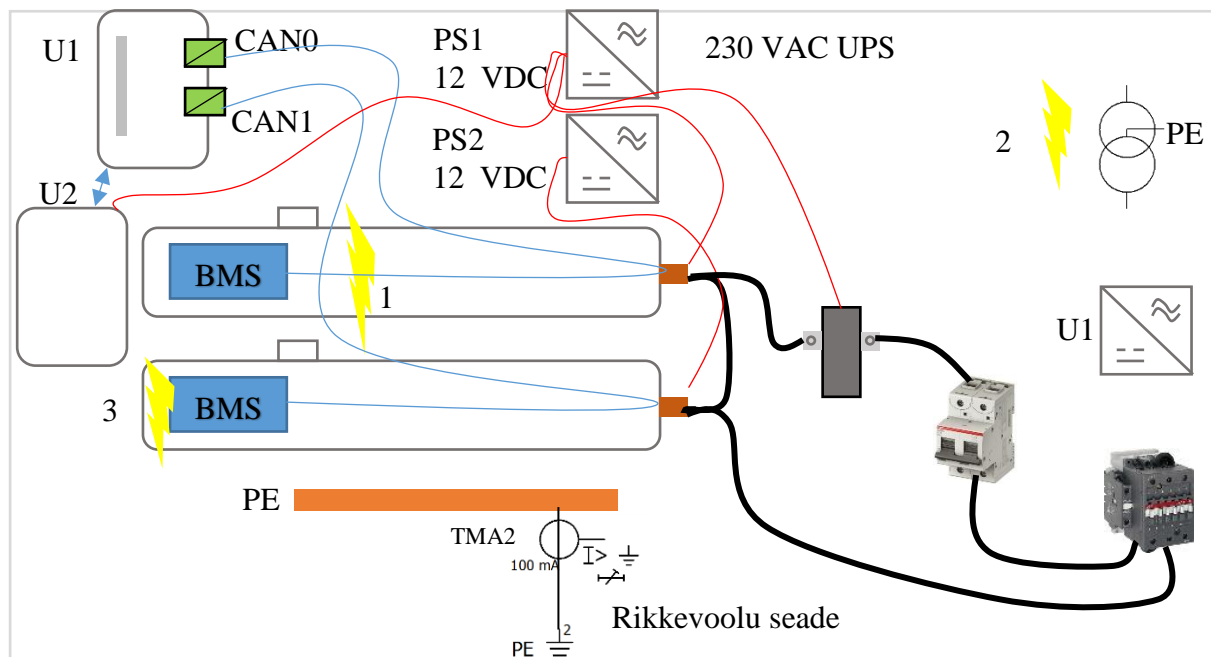
Muud ohutust tagavad funktsioonid. Isolatsiooni kontroll toimub akupakkides riistvaraliselt. Andmed akupatarei sisese isolatsiooni seisundist saadetakse regulaarselt CAN siinile. Isolatsiooni takistuse kontroll toimub U2 mikrokontrolleris, kus rikke korral avatakse kohe kontaktor K1.

Li-ioon elemendid on temperatuuritundlikud temperatuurile. Seega on temperatuuri kontrollimine tähtsal kohal. Kontroll toimub mikrokontrolleris U2. Temperatuuri mõõdetakse akupaki sees olevate temperatuuri anduritega ja sisendandmed U2 kontrollerrisse tulevad akupaki CAN siinilt.

Galvaaniline eraldus on elektrilise süsteemi funktsionaalsete osade isoleerimine, et takistada eksivoolude teket. Otsest juhtivust osade vahel ei tohi olla. Energia väärtusi puudutavad andmed kantakse üle aku eri sektsoonide vahel teiste meetoditega nagu mahtuvus, induktsioon või elektromagnetlained või optiliste, akustiliste või mehaaniliste viisidega.

Galvaaniline isolatsioon on kasutatud seal, kus kahe või rohkema elektriühela juhtimiseseadmed peavad oma vahel kommuniqueeruma, kuid nende juhtimiseseadmete niinimetatud „maad“ võivad olla erinevate potentsiaalidega (pinge väärtustega). Galvaaniline isolatsioon on tõhus viis, et lahutada maaühelaid piirates eksivoole, mis võivad olla väga ohtlikud, tekitada häireid ja samuti põhjustada korrosiooni.

Joonisel 4.1 on kujutatud kahe jadaühenduses akupaki ja nende juhtahelate eralduse põhimõtteid. Maksimaalse eralduse tagamiseks on akupakkidel eraldi toiteplokid PS1 ja PS2 galvaanilise isolatsiooniga vahelduvvoolu poolel. Akupakkide kontakteid juhitakse vastavalt PS1 ja PS2 toiteploki. Katselisel teel on määratud kindlaks, et kontaktori mähiste maad on täielikult akupaki kontuuridest eraldatud. Sellest lähemalt on kirjutatud peatükis 8. Samuti on kasutatav CAN moodul sisemise galvaanilise isolatsiooniga. Valikupõhimõtetest võib lugeda lähemalt alapeatükis 6.3.



Joonis 4.1 Salvesti maandamine ja juhtahelate galvaaniline eraldamine.

4.2. Mikrovõrgu maandussüsteem

Joonisel 3.1 kujutatud mikrovõrgu maandussüsteem on valitud TT vastavalt standardi EVS-HD 60364-1 peatükile 312.2.2.2, kus kirjeldatakse mitmeallikalistele süsteemidele kehtestatud nõudeid.

Mikrovõrgu energiaallikateks on vähemalt kaks energiasalvesti moodulit ja päikeseelektri jaam. Paigaldise toitmiseks mitmeallikalisest TT süsteemist soovitatakse eri allikate tähtpunktid

elektromagnetilise ühilduvuse kaalutlusel omavahel ühendada ning ainult ühes punktis tsentraalselt maandada. Joonisel 3.1 on selle nõudega tekkimas vastuolu siis, kui toimub üleminek OFF-GRID režiimile. Nimelt jaotusvõrgu elektrilajaama trafo neutraalpunkt on ühendatud otse maaga. Alajaama neutraalpunkti ei tõsteta ümber väiksema süsteemi PEN süsteemi ega vastupidi ei ehitata ümber alajaama, et mikrovõrgu PEN kaablit liita.

Isoleeritud süsteemis kui pole ühendust peajaotusvõrguga (OFF-GRID režiim) peavad olema toiteallikate neutraalpunktid tingimata maandatud ohutustehnilistel tingimustel (rikkevoolu esinemisel tekib siis kaitsme rakendumist võimaldav kohalik voolukontuur toiteallikaga).

Selgituseks standardist:

- Trafode neutraalpunkte ega generaatorite tähtpunktide otsene ühendamine maaga ei ole lubatud;
- Trafode neutraalpunkte või generaatorite tähtpunkte ühendav juht peab olema isoleeritud. Selle juhi ülesanne vastab PEN juhi omale ja seda võib vastavalt märgistada, kuid seda ei tohi ühendada elektritarvititega ja sellekohane hoiatussilt tuleb kinnitada sellele juhile või selle lähedusse;
- Allikate neutraaljuhtide ja N-juhi vahel tuleb ette näha üksainus ühenduspunkt. See ühendus peab paiknema paigaldise pealülitikoostes.

Lisatingimused

Toiteallika allika PEN- või neutraaljuhte ei tohi faasijuhtidest eraldi katkestada, sest vastasel juhul võib tarbija rikke korral langeda tarbijale faasipinge.

Süsteemi igasugusel laiendusel tuleb tagada kasutatavate kaitsemeetmete tõhus toimivus.

Kaitsejuht (PE) peab olema tähistatud vastavalt standardile EN 60446.

TT maandussüsteemi tugevad küljed:

- Madalad kulud PE juhile;
- Ei ole katkestatud neutraaljuhi riski;
- Kõige parem maandussüsteem elektromagneetiliste häiringute osas;
- Ohutu ja töökindel;

TT maandussüsteemi puudused:

- Kõrge näivtakistus võrgutoitepunktiga nõuab rikkevoolukaitse kasutust;
- Vaja maanduselektroodi paigaldisele. Materiaalne kulu. Ei ole ühilduvuse mõttes puudus.

5. Nissan Leaf akupakk

Jaapani rahvusvaheline autotootja Nissan tutvustas eelnevalt USA-s ja Jaapanis ja siis 2011 aastal Euroopas ja Kanadas Leafi nimelist seeriatootmis elektriautot. September 2016 seisuga on mudel müünud ligikaudu 240000 autot alates 2010.aastast Need numbrid teevad Leafi maailma läbimüüdumaks maantee võimekusega seeriatootmises elektriautoks.

Varasemad, kuni 2016, aasta Leafid on varustatud 24 kWh elektriauto akuga, mis koosnes 48 moodulist, mis omakorda koosnevad 192 elemendist. Igas moodulis on 4 elementi, millest on 2 jadamisi – seega on 96 mõõdetavat moodulit. Nende valmistaja on *Automotive Energy Supply Corporation* (AESC) – ühisettevõtte NEC ja NEC Energy Devies, mis asub Jaapanis Zamas. Aku oma sisemise akuhaldussüsteemiga kaalub 294 kg ja sisaldab energiat 140 Wh/kg. [14]

Kõige raskem auto element aku on projekteeritud istmete alla sellega viies raskuskeset madalamale, mis parandab juhitavust ja tõstes üldiselt auto struktuurset jäikust võrreldes tavalise sõiduautoga. [15]



Joonis 5.1 Üleval vasakul lamineeritud aku element. Üleval paremal aku moodul, mis koosneb 4-st elemendist. All on Nissan Leafi akupakk, mis on kooste 48ksast moodulist. [16]

5.1. Akupaki spetsifikatsioon

Akupaki andmed struktureeritud kujul on esitatud tabelis 5.1. Akupakk on kujutatud joonisel 5.1.

Tabel 5.1 Akupaki andmed tabeli kujul [17]

Tüüp	Lamineeritud liitium-ioon
Pinge	403.2 V
Nominaalpinge	380V
Mahtuvus	24 kWh (16 kWh kätte saadav, 67% DoD (inglise keeles - <i>Depth of discharge</i>), 21 kWh deklareeritud)
Võimus	üle 90 kW
Energia tihedus	140 Wh/kg

Võimsuse tihedus	2.5 kW/kg
Mõõdud	61.8 x 46.8 x 10.4 in. (1570.5 x 1188 x 264.9 mm)
Kaal	275 kg
Moodulite arv	48, igas neli elementi, millest 2 on jadamisi (kokku 192 elementi, 96 neist mõõdetavad)
Patareipaki sisu:	<ul style="list-style-type: none"> • Positiivne elektrood: Liitium Mangaan • Negatiivne elektrood: süsinik • Elemendid • Moodulid • Kooste osad
Laadimisaeg:	<ul style="list-style-type: none"> • Kiirlaadija DC50kW (0 kuni 80%): umbes. 30 min (3. taseme laadimine) • Kodu AC240V laadimisplakk (0-100%): 8 h (2. taseme laadimine)
Patareipaki paiknemine autos	Istme ja põranda all

5.2. Akupaki mooduli mõõtmed

Akupaki mooduli mõõtmed võib leida tabelist 5.2. Akupakist moodul on joonisel 5.1 üleval paremal.

Tabel 5.2 Akupaki mooduli mõõtmed. [18]

Konstruksioon	4 elementi konfiguratsioonis 2 jada paari rööbiti
Pikkus	303 mm (11,9291")
Laius	223 mm (8,7795")
Paksus	35 mm1 (0,3779")
Kaal	3,8 kgs8 (0,3775 lbs)
Väljund klemm	M6 polt
Pinge mõõtmise klemm	M4 polt
Mooduli fikseerimise ava diameeter	9,1 mm (0,3582")

5.3. Akupaki elementide spetsifikatsioon

Akupaki elementide teave asub tabelis 5.3. Akupakist element on joonisel 5.1 üleval vasakul.

Tabel 5.3 Akupaki elementide spetsifikatsioon. [18]

Elemendi tüüp	Lamineeritud tüüp
Katoodi materjal	LiMn ₂ O ₄ kaas LiNiO ₂
Anoodi materjal	Grafiit
Nimimahtuvus (0.3C)	33.1 Ah
Keskmine pinge	3.8 V
Pikkus	290 mm (11,417")
Laius	216 mm (8,504")
Paksus	7.1 mm (0,2795")
Kaal	799 g (1,7624 lbs)

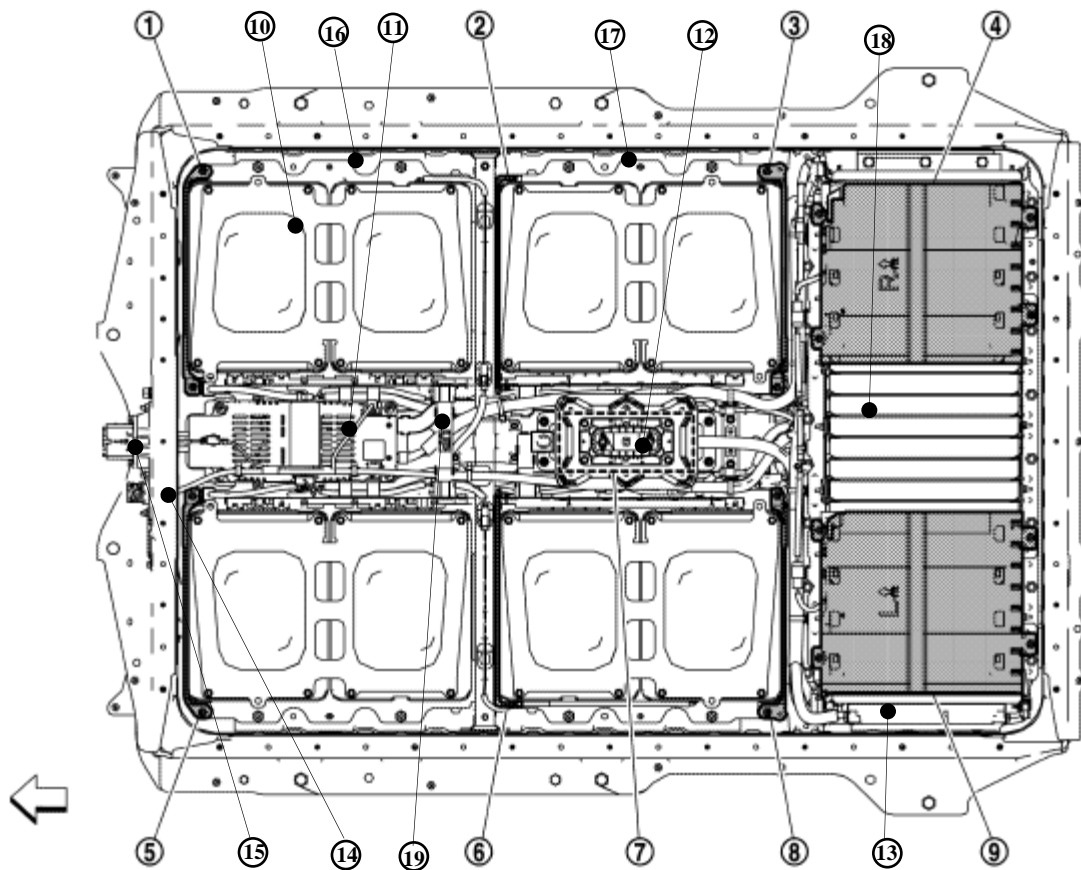
5.4. Akupaki ehitus

Nissan Leafi akupakk kasutab ära maksimaalselt ruumi istmete all, ei oma jahutust ja elemendid on kukkur tüüpi ehitusega. Suuremad autotootjad on võtnud eri lähenemised. Näiteks Ameerika Ühendriikide autotootja Tesla aku elemendid on prismaatilise ehitusega ja sarnanevad AA tüüpi patarei elementidele. Väikesed elemendi mõõtmed tagavad kompaktsema aku koostu. Nende akupakid asuvad tasapinnalasel auto alla jättes maksimaalselt salongiruumi. Samas selline konstruktsioon, mis koosneb tahketest elementidest ja meenutab rula on rohkem avatud välistele vigastustele. Teine suur USA autotootja Chevrolet on oma elektriautos Volt kasutatud sundjahutusega akut, kus on prismaatilised elemendid. Eriline on aku T – kuju, mis tagab maksimaalse kaitse kuid vähendab salongiruumi.

Prismaatilise või kukkur – tüüpi elemendi valik akuehitusel on veel ebaselge ja uuringud on veel käivad. Kukkur tüüpi akud peaksid tulema pikas perspektiivis odavamad kuid see pole kindel.

Prismaatilise ehitusega akude puhul on lihtne seada palju elemente rööbiti sellega tagades piisavalt pinget, et vähendada vaseskadusid. Kõige tähtsam on rööpühenduses puhul kõrgem töökindlus. Kui element peaks riknema ei mõjuta see suuresti akupaki tööd. Suure rööpühenduses elementide hulga miinus on kõikide elementide tõhusa töö garanteerimine.

Leafi ja Volti elemendid on segaühenduses, mille eeliseks on kõikide elementide kõrge tööpunkt kuid madalam töökindlus. Aeg on näidanud, et aku töökindlusega pole vähemalt Nissanil probleeme, sest 2016 aprillis nende väite alusel vahetatakse ainult 5 akut garantiikorras, mis teeb kokku kõigest 0,012 %. [19]



Joonis 5.2 1-6, 8, ja 9 on küttekehad, 7 on hoolduspistiku allkütte rele üksus, 10 on üks 48 akumoodulist, 11 on kontaktori moodul, 12 hoolduspistik, 13 akuhaldussüsteem, 14 juhtpistik, 15 jõupistik, 16- 18 temperatuuriandurid ja 19 vooluandur.

Nissan Leafi 2013 aasta mudeli akut ülevaade on esitatud joonisel 5.2. Kooste koosneb 48-st moodulist (10), millest 24 asub tagaistme all vertikaalasendis. Ülejäänud moodulid on horisontaalselt taga istuja jalgade all ja juhi ja kõrvalistme all.

Pildil 5.3 on kujutatud 2013 aasta akupakki, mille kesta on üritatud ametlikus esinduses remontida asendades uue kestaga. Uus kest jääb servadest väikseks. See akupakk toodi Tallinna Tehnikaülikooli testimiseks ja arendustöök. [18]



Joonis 5.3 Nissan Leaf akupakk lahti võetud kujul. Katsete algaas.

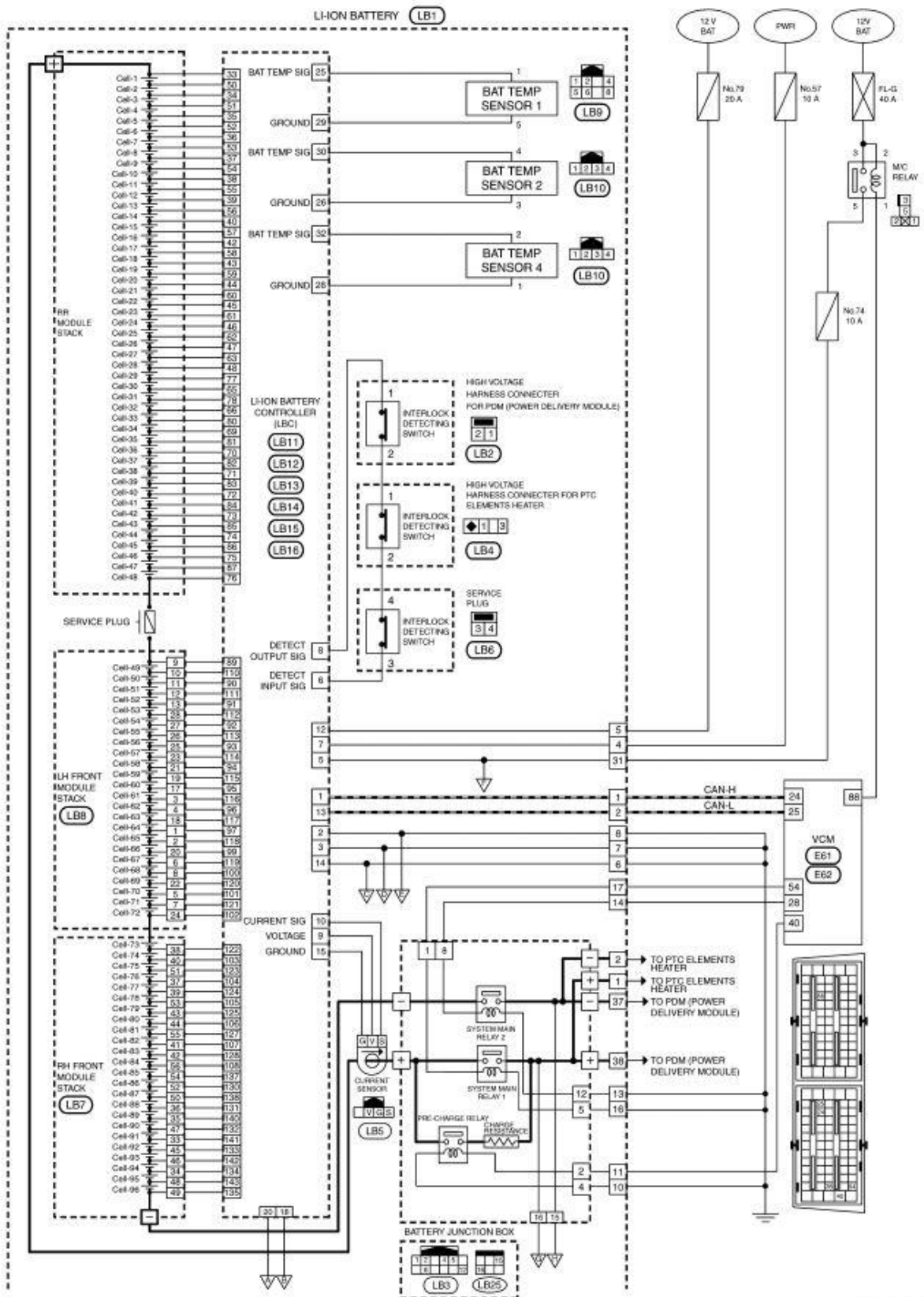
5.5. Akupaki skeemid

Akupaki skeemid on võetud Nissan Leafi 2013. a. mudeli hoolduseks avaldatud käsiraamatust. Joonisel 5.4 on kujutatud akupaki koost on jaotatud katkendjoonega eri struktuuridesse (osadesse). Paremaks kirjelduseks on selles peatükis esitatud skeemidel välja toodud komponentide paiknemine märgitud sulgudes oleva (positsiooni)numbriga, millele vastava osa paiknemist akupakis saab vaadata joonisel 5.2. Kõik akupaki koosted on ühendatud pistikutega, mille vahelised ühendused leiab (ühendus)skeemidel, mis on toodud magistritöö lisades L.2 ja L.3. [20]

Elektriskeemi lehel 1, mis on kujutatud joonisel 5.4 paremal tähisega RR MODULE STACK, LH FRONT MODULE STACK ja RH FRONT MODULE STACK on eristatavad akumoodulite struktuurid, üleval, RR, on suur 48-st moodulist koost ja all kaks väiksemat koostu, mis asuvad ees vaskakul (10) ja paremal. Vahepeal on paigaldatud hooldusepistik (12) LB6, mis on varustatud sulavkaitsmega. Parem moodulite pakk on BMS-iga ühendatud pistikuga LB7 ja vasak LB8. Joonise keskel on akuhaldussüsteemi elektroonikablokk (BMS). Üleval on toodud välja ühendused temperatuurianduritega temperatuuriandurid (16-18) on ühendatud pistikutega LB9, LB10. Joonise keskel on esitatud ka blokeerigu osa (Interlock), kus on pistikud LB2, LB4, LB6 ja vastavalt ka jõupistiku ühendus, küttereleemoodul ja hoolduspistik. Skeemi allpoolses osas on kirjeldatud kontaktorite moodulit (11), mis koosneb kolmest eraldi kontaktorist. Eellaadimise kontaktor kasutatakse jõumuunduri alalisvoolupoole kondensaatorite laadimiseks enne auto käivitust. Eellaadimine läbi takisti hoiab ära kõrgeid siirdevoolud akus ja inverteeri jõuahela kondensaatorites enne kui aku kahte põhiahela (elektrilise jõuahela) kontaktorit sisse lülitatakse. Neid kontakteid juhib elektriautos auto

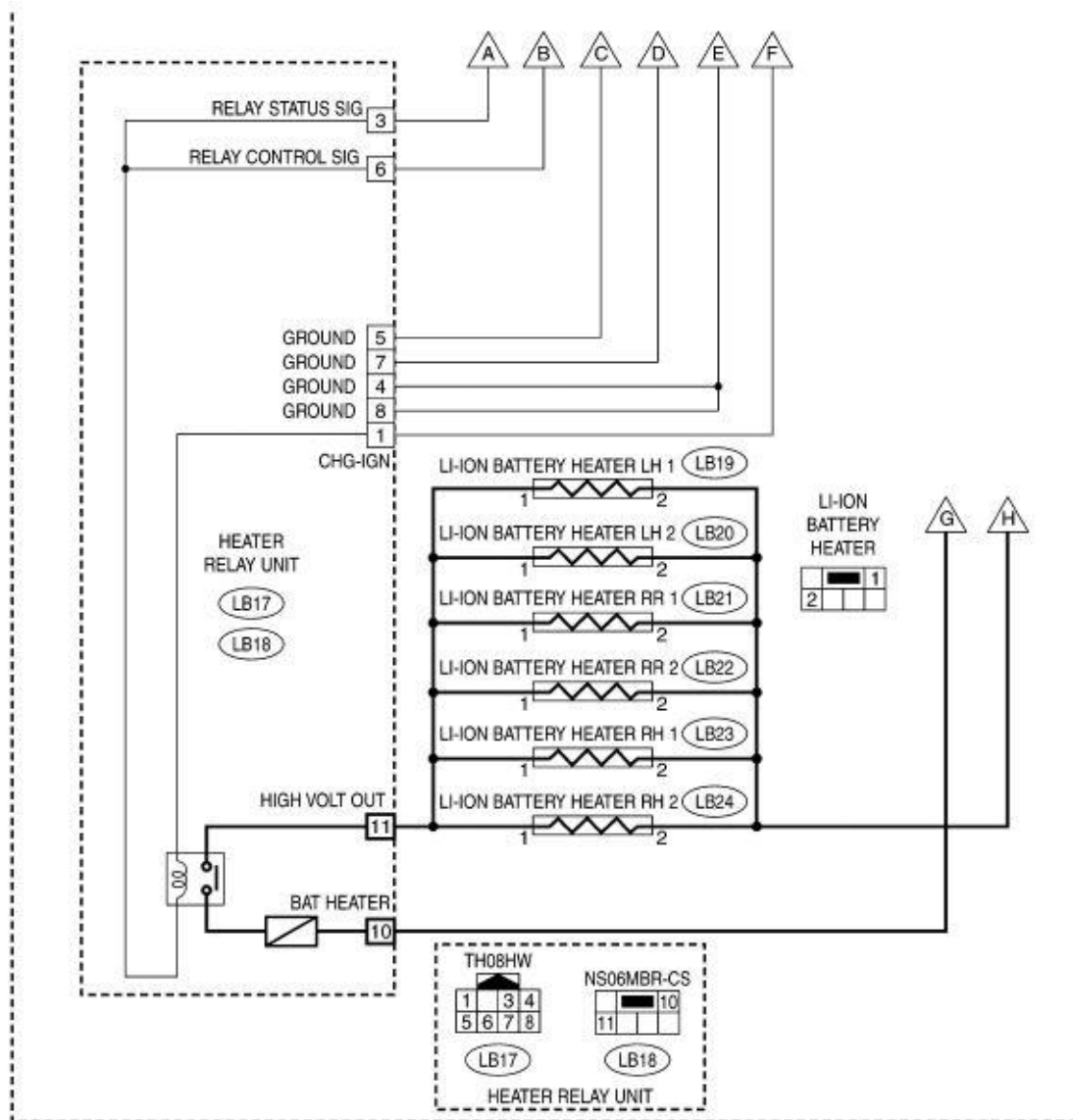
juhtimisarvuti ehk auto kontrollmoodul (VCM), mis teostab ka kaitsefunktsioone kontaktorite lahtiühendamise näol isolatsioonirikke või liigkoormuse korral. Salvesti rakenduses asendab auto juhtarvuti teostatavaid funktsioone mikroõrgu ja salvesti (protsessitasandi) kontrollid. Kahest põhiahela kontaktorist liigub läbi laadimis-, elektriakumulaatori energia ja kaasaarvatud selle elektriakumulaatori regeneratiivne osa. Kontaktorite moodul on ühendatud BMS-iga läbi pistikute LB3 ja LB25. Vooluandur (19), mis asub skeemil kontaktorite mooduli (11) kõrval on ühendatud BMS-iga pistiku LB5 abil. Joonisel 5.5 on 5.4 joonisel oleva elektriskeemi jätk, kus on kujutatud kütterelee moodul (7) ka kuus küttekeha pistikud (1-6, 8, 9). LB16 ja LB17 ühendavad kütterelee BMS-iga.

Akupaki pistikute asukoha skeem on välja toodud lisas L.2 ja BMS mooduli pistikute skeem lisas L.3.



JSCIA0805GB

Joonis 5.4 Nissan Leaf 2013 akupaki skeem leht 1 / 2-st.



JSC1A0795GB

Joonis 5.5 Nissan Leaf 2013 akupaki skeem leht 2 / 2-st

5.6. Akupaki eluea hindamine ja selle maksimeerimise tingimused

2011 aasta mudelite omanikele on Nissan soovitanud sooritada järgnevaid ennetavaid tegusid, et maksimeerida aku kasulikku tööiga ja selle võimet hoida laengut: [21]

- Vältida hoiustamist üle 49 °C üle 24 tunni;
- Vältida hoiustamise temperatuure alla -25 °C üle seitsme päeva;
- Vältida üle 70 kuni 80 % laetuse taset kui kasutada kiirlaadimist üle ühe korra nädalas;
- Enne laadimist lasta laetuse taset alla 80 %;
- Vältida üle 14 päevast seisakut kui akupaki laetuse tase on null või selle lähedane.

Olenevalt kasutamisest eeldatakse 10 aastase elutsükli järel akupakilt 70-80% selle originaalmahtuvusest. Suuresti oleneb see sellest, kui tihti on kasutatud kiirlaadimist 480 V DC, tegelikust sõidumustrist ja ka keskkonnafaktoritest. Nissani väitel kaotab aku oma mahtuvuse järk-järgult aga on eeldada vähemalt 10 aastast eluiga normaaltingimustes kasutamise puhul. 2011 – 2012 Nissan Leafi aku oli algupäraselt 8 aastase või 160000 km garantiiga USA. [19]

Lisaks põhiakule on Leafil pardal ka abiahelate jaoks 12 V pliihappe autoaku, mis varustab auto juhtmoodulit (juhtarvutit) ja abiahelaid nagu meediakeskus, turvasüsteem, kojamehed, tuled. USA mudelite tagaspoiler on varustatud päikesepaneeliga, mis aitab laadida 12 V akut.

Sellest soovitusel lähtuvalt peab arendatavas salvesti rakenduses vältima vastavalt miinimum ja maksimumtemperatuure ja pikemat madalat laetuse taset pikemaks perioodiks.

5.6.1. Nissan-i taaskasutus poliitika

Aprill 2016 avaldas Nissan, et vähem kui 5 akut vahetatakse aastas välja garantiikorras, mis teeb 0,012 % alates turustamisest. Nissan taaskasutab 15-20 akut aastas. See tähendab, et 2016 on veel liiga vara, et hakata akusid kasutama statsionaarsetes rakendustes. Nissan plaanib pakkuda taaskasutatud akusid 4,2 kW kodusalvestusrakendustes 2016 aasta lõpuks koostöös Eatoniga. Lahenduse nimeks saab xStorage. Statsionaarse energiasalvestuslahenduse müügiprognosis ulatuvad 100 tuhandeni. Väidetavalt kõige hinnatõhusam lahendus projekteeriti Inglismaal. Toode on eeltellimusele saadaval septembri kuust aastal 2016. 4,2 kWh lahendus koos inverteriga, tarvikute ja väljaõpetatud professionaali paigaldusega maksab alates 4000 €. [19] [22]

5.7. Nissan Leaf akupaki CAN teave

Akuhaldussüsteemist ehk BMS on lisaks töö autorile eri kommuunist ja taustaga isikud saanud kätte spetsiifilisi andmed kasutades skaneerimistöõriistu. Kokkuvõtlikud tabelid on välja toodud alapeatükkides 5.7.1 ja 5.7.2. Lisaks on kirjeldatud, kuidas ja kust on võimalik CAN infot lugeda või pärida. Peatükis 10.2 on kirjeldatud CAN siini info leidmise meetodid kasutatavaid meetodeid.

Enne info kasutamist tasub arvestada sellega, et CAN sõnumite saatmine Leafi akupakki võrreldes passiivse kuulamisega võib põhjustada akupaki töö tõrkeid. Ent enamus kirjutatavast teabest on tavaliselt kaitstud lisa kontrollsummadega.

Infovoog lugemiseks piisab lihtsalt skaneerida CAN siini. See protseduur võrreldes pärimisega on palju ohutum ja sellest on ka CAN teave hankimisel alustatud.

5.7.1. Skaneeritav teave

Akupaki õigete juhtpistikute pingestamisel hakkab akupakk reaalselt saatma erinevaid 8 baidiseid sõnumeid. Neid saadab välja akuhaldussüsteem ja teeb seda eri intervallidega, mis on 10, 100, ja 500 ms. Sõnumid, mis pärinevad akupakist, omavad järgmisi indekseid 1DB, 1 DC, 5BB, 5BC. Vastavalt esimese indeksiga sõnumid sisaldavad akupakki voolu ja pinget. Kolmandas on akupaki laetuse astme väärtus ehk SOC ja neljandas aku energiamahut Nissani konstantides, mida nimetatakse GIDideks. Konstandi väärtus kõigub 0 ja 281 vahel ja ühks ühiks vastab ligikaudselt 1 Wh. Kogutud ja katsetatud teave on struktureeritud tabelis 5.5.

5.7.2. Päritav teave

Andmed saadakse spetsiifiliste päringu saatmise küsides sellega akupakist teavet gruppide kujul. Kõik akusse saadetud sõnumite CAN ID-ga 0x79b saavad vastuse 0x7bb. Kõik paketid on 8 baidilised kuigi vahel kõik 8 ei ole kasutatud. Allpool kirjeldatud info on struktureeritud tabelis 5.4.

On leitud 6 erinevat gruppi andmeid:

- Grupp 1 omab 6 rida andmeid, milles on täpne *State of Health*, Ah mahtuvus ja *State of Health*
- Grupp 2 omab 29 rida andmeid, mis sisaldab kõiki 96 elemendi pingeid.
- Grupp 3 omab 5 rida, milles on aku kõrgema ja madalaima potentsiaali elementide pinged.
- Grupp 4 omab 3 rida, mis sisaldavad 4 pakis oleva temperatuurianduri andmeid.
- Grupp 5 omab 11 rida. Sisu ei ole selge.
- Grupp 6 omab 4 rida andmeid ja sisaldab balansseerimistakisti šuntide staatuse andmeid.

Kui tahta lugeda andmete gruppi peab esiteks saatma initsialiseeriva käsu ID-le 0x79b: 0x02, 0x21 ja viimased bitid on 0xff või 0x00. Emba – kumba ei ole vahet.

Näiteks, et pärida paki temperatuuri peab alustama järgnevalt.

0x79b: 0x02, 0x21, 0x04, 0, 0, 0, 0, 0

Mis peaks tagastama midagi sarnast:

0x7bb: 0x10, 0x10, 0x61, 0x04, 0x01, 0xfb, 0x15, 0x01

Esimene bait on indeks, mis suureneb järgnevate ridadega, teine bait on kirjeldab grupi suurust. Kolmas bait on 0x61, vastus 0x21-le, ja 4 bait on grupi number. Tegelik teave algab 5ndast baidist.

Järgnevalt on esitatud veel üks näide. Selles näites esimene temperatuur on 3 baidine väärtus. 16 bitine töötlemata A/D ja 8 bitine temperatuuri väärtus. 0x01fb ja 0x15 tähendab 21 kraadi Celsiuse järgi ja töötlemata 10 bitt A/D NTC termistori väärtus 0x01fb või 507 detsimaalsel kujul. Teise temperatuuri algus on viimasest sõnumi baidist.

Et pärida järgnevaid andmegruppe peab järgmine päring saadetud sekund hiljem esimesest. Arendatava rakenduse tüüpiline grupi päring on selline, kus teine päring saadetakse kohe peale esimest. Igat järgnevaid hakatakse pärima umbes 16 -20 ms tagant.

Järgmise rea päringu käsk oleks järgmine:

0x79b: 0x30, 0x01, 0x00, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff

Iga järgnev rida omab indeksit esimeses baidis 2 kui kõige suurima kaaluga bit ja madala kaaluga bit, 4 bitti, nagu indeks. Ülejäänud 7 baiti on andmed. Nagu näiteks:

0x7bb: 0x21, 0xf8, 0x15, 0x02, 0x06, 0x13, 0x02, 0x0d

Selles andmegrupi alguses on 2/3 temp2, kogu temp3 ja esimesed kaks temp5 baiti.

Selleks, et vastu võtta viimast rida veel üks päring 0x30, 0x01, 0x00 algusega peab olema saadetud ja sellele näitele saame vastuseks midagi sarnast:

0x7bb: 0x22, 0x13, 0x13, 0x00, 0xff, 0xff, 0xff, 0xff

0x13 on viimane temperatuuri bait, mille detsimaalne väärtus oleks 19. 3- ja 4-nda baidi sisu pole teada. Võimalik, et kontrollsumma.

Suuremas grupis, elementide pinged ehk grupp 2, indeks bait jätkus 0x23, 0x24, 0x25 jne. Paketid algavad 0x2f tagasi kuni 0x20.

Teises grupis olevad pinged algavad 5ndast baidi esimeses reast nagu temperatuuridki. Esimesed kaks elementide pinget on esimeses reas ning järgnevad read sisaldavad järgnevad 3 ja pool elementide pinget igas reas.

0x7bb: 10, C6, 61, 02, 0F, D8, 0F, D4

0x7bb: 21, 0F, D0, 0F, D9, 0F, D0, 0F

0x7bb: 22, CC, 0F, D3, 0F, D0, 0F, D0

Pärides rohkem kui kirjeldatud vastust ei tule.

Päringutega grupist 3 tagastavad Vmin ja Vmax. Päringute saatmine 4 Hz sagedusega, mis teeb ligikaudu 16 ms ei tekitanud probleeme. Poole kiiremini päringute saatmine põhjustab tõrkeid. Isegi 16 ms ei jõua 100 % andmetest kohale kuid suuresti on see optimaalne pärimise kiirus. 0x77 sõnumid on CAN liinil madala prioriteediga kuid siiski ei ole mõtet liini üle koormata.

Esimeses grupis on „Real SOC“, erinevalt 0x55b sõnumist, seal esindatud palju kõrgema täpsusega. Need andmed asuvad viiendas rea viimases 3 baidis.

Aku elementide arvutuslik mahtuvus Ah on esitatud in 3, 4, 6 viimase 6-nda rea baitides. Näiteks 0x0110DD on 69,853 Ah.

State of Health väärtus (protsentides) asub 5ndas reas baitides 2 ja 3. Näiteks 0x1DD4 on 76,36.

6-ndas grupis on elementide balansseerimise teave 24 baidi kujul. Madalamad 4 biti väärtused igas baidis on vastavad šunteerimistakisti numbrile, mida on hetkel kasutatud, et tasakaalustada akupaki elementide potentsiaale.

1. elemendi šunt on esimese baidi 3-ndas bitis,
2. elemendi šunt on esimese baidi 2-ses bitis,
3. elemendi šunt on esimese baidi 1-ses bitis,
4. elemendi šunt on esimese baidi 0-ndas bitis,
5. elemendi šunt on teise baidi 3-ndas bitis,
6. elemendi šunt on teise baidi 2-ses bitis jne.

Tabel 5.4 Indeks 79b päringute vastused indeksiga 7bb

Indeks	Grupp 1	Grupp 2	Grupp 3	Grupp 4	Grupp 5	Grupp 6
0 - 10		D1:D3 - teadmata D4:D5 - element 1 D6:D7 - element 2 Element 1 = D4 << D5 Element 2 = D6 << D7		D4:D5 - töötlemata temp1 D6 - temp1 (C) D7 - töötlemata temp2		Šuntide teave iga baidi viimases 4-s bitis. Teave algab esimese indeksiga sõnumi neljandas bitis.
1 - 21		D1:D2 - element3 D3:D4 - element4 D5:D6 - element5 D7 - 1/2 element6 Element 3 = D1 << D2 Ja nii edasi Element7 = D1 << D2...	D7 1/2 elemendi MIN pinge Vmax = D7 << 8...	D1 - töötlemata temp2 D2 - temp2 (C) D3:D4 - töötlemata temp3 D5 - temp3 (C) D6:D7 - töötlemata temp4		
2 - 22		D1 - 1/2 element6 D2:D3 - element7 D4:D6 - element8 D6:D7 - element9 Element7 = D1 Ja nii edasi	D1 1/2 elemendi MIN pinge Vmax = D1 D2:D3 elemendi MAX pinge Vmin = D2 << 8 D3	D1 - temp4 (C)		

3 - 23	D3:D4 : täpne V / 1024	D1:D2 - element10 D3:D4 - element11 D5:D6 - element12 D7 - 1/2 element13		NA		
4 - 24	D2:D3 : Hfactor*100 (%) D5:D7 : SOC*10000 (%) Hfactor = D2 << 8 D3 SOC32 = D5 << 8 D6 << 8 D7	D1 - 1/2 element13 D2:D3 - element14 D4:D6 - element15 D6:D7 - element16				NA
5 - 25	D2:D4 : Mahtuvus*10000 (Ah) Mahtuvus = D2 << 8 D3 << 8 D4	Jätkub	NA			
6 - 26	NA	D1:D2 - element94 D3:D4 - element95 D5:D6 - element96 D7 - ?			11-26...NA	
26 - 2A						
27 - 2B						
28 - 2C						

Tabel 5.5 Aku online CAN sõnumid.

msgID	sõnumite intervall	Bait	Seletus	Väärtuse modulatsioon	Kirjeldus / tüüpilised väärtused.	Võimalik signaali ajendid
IDB	10 ms	D0	akupaki voolu signaal	D0. bait << 3 D1 bait >> 5	11 bitti; 1 LSB = 0.5A	akupakk
		D1				
		D2	akupaki pinge signaal	D2 bait << 2 D3 bait >> 6	10 bitti; 1 LSB = 0.5V	
		D3				
		D4			0	
		D5			0	
		D6	võib olla indikaator (mux)baidile 7 (võib-olla CRC)		00..03 uniform	
		D7	võib-olla CRC bait?		00..ff	
IDC	10 ms	D0	olemasolev kõrgepinge aku võimsus; 1kW/bit		6e=110kW, väiksem LBW juures, 31=51kW turtle režiimi juures	akupakk
		D1	maksimaalne laadimisvool?		01..11	
		D2			[0-f]f	
		D3	muutub kiirloomise ajal		fd	
		D4			01,05,08,0c uniform	
		D5			08,38,c0,dc uniform	
		D6			c6,cb,cd,dc uniform	
		D7	CRC		00..ff; ei ole aktiivne sõidu ajal. Muutub alguses.	
55B	100 ms	D0	SOC- Laetuse tase	D0 bait << 2 D1 bait >> 6	59..8c	akupakk
		D1			[0,4,8,c]0	

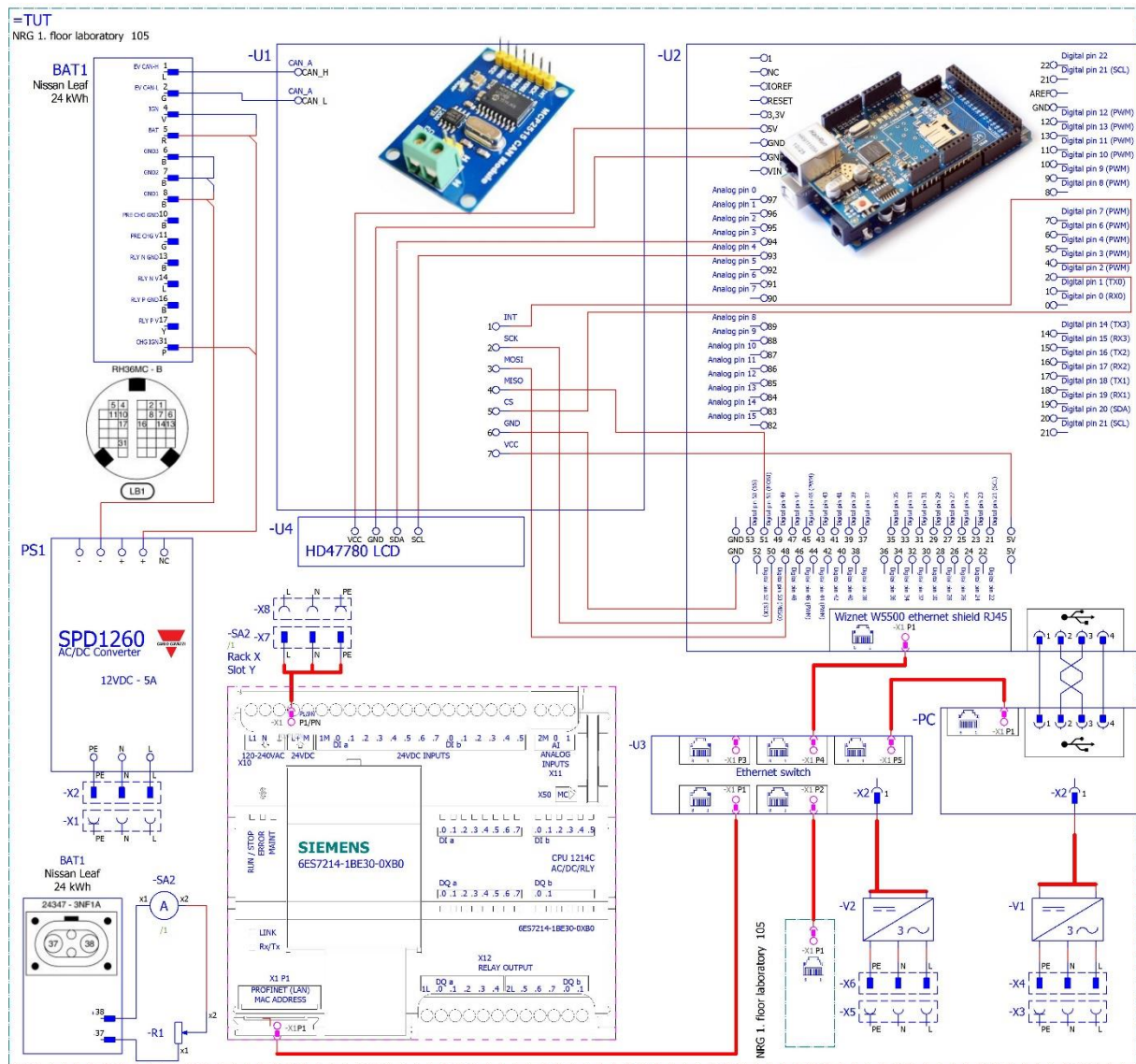
		D2			55,aa	
		D3			0	
		D4			c8..ff	
		D5			[0,4,8,c]0	
		D6			1[0..3]	
		D7	CRC		00..ff	
SBC	500 ms	D0	Olemasoleva lanegutase (ka "gids")	D0 bait << 2 D1 bait >> 6	14..21;10 bitti, 0-281; 1 LSB = 65-85WH	akupakk
		D1			000..003	
		D2			04,05,06,07,0c,25,[2,4,6,8,a,c,e][6,7,c]	
		D3	Väärtus temperatuurimoodi		4f,8c-90	
		D4				
		D5	mux?		04..06	
		D6			1f..24,40..43	
		D7			[0,1..f][0,2..e],ff	

6. Energiasalvesti elektriliste skeemide arendamine ja koostamine

Kasutatud elektriautode akupakkide baasil elektrisalvesti arendusprotsessis on teostatud palju erinevaid katseid, mis on kirjeldatud peatükis 8. Käesolevas töös on ka projekteeritud tulevaste katsete skeeme, mida ei ole jõutud töö trükkimise ajaks veel sooritada kuid, mis on tulevikus plaanis koostada. Peatükk on jaotatud kahte suuremase alapeatükki, mille põhimõtteline erinevus seisneb akupakkide ühenduses. Ühe akupakiga elektriliste skeemide kohaselt on akupatareid katsetatud. Nende elektri- ja juhtimisskeemide baasil on joonistatud, kuid veel katsetamata kahe jadaühenduses akupakiga skeemid.

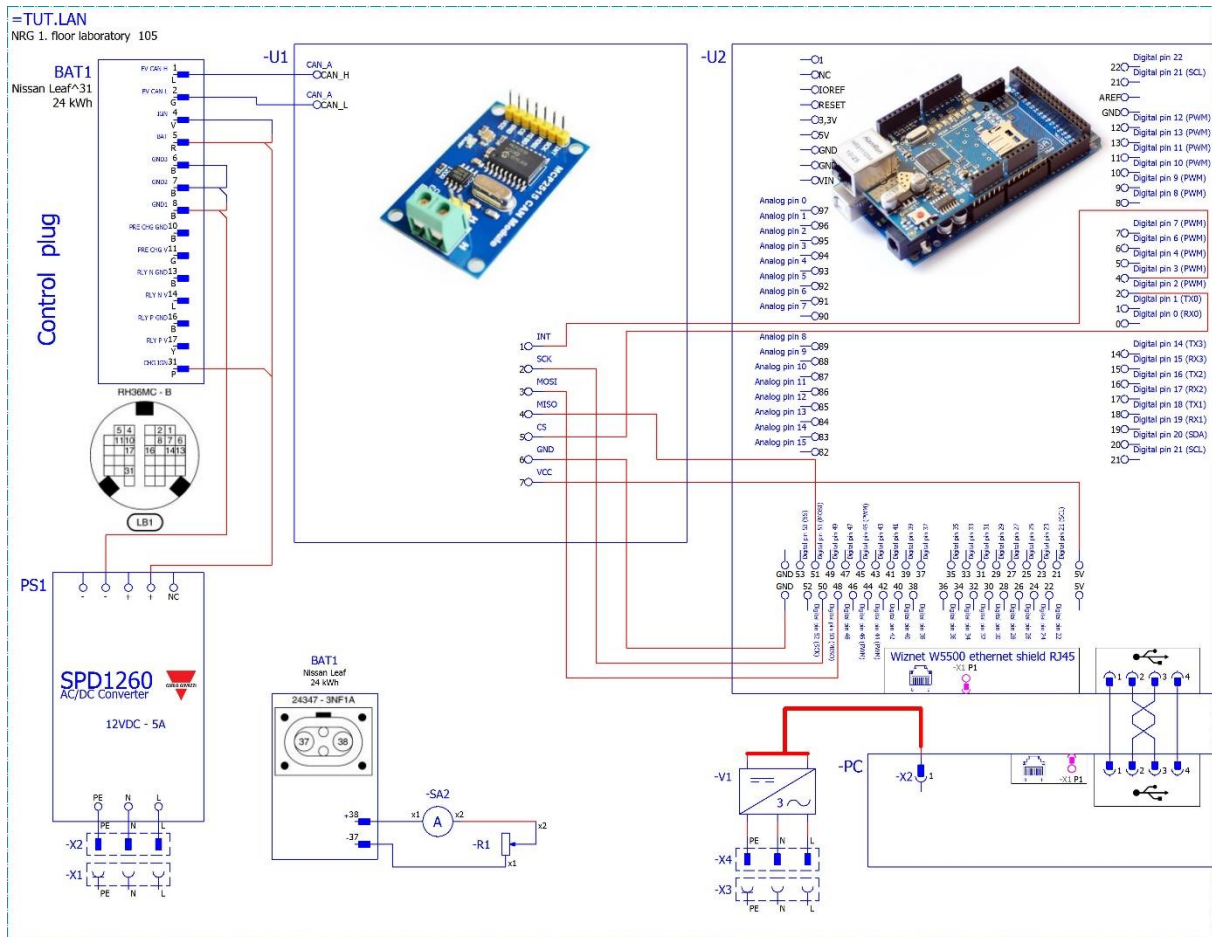
Esitatud skeemid on joonestatud ilma raamita ja sisaldavad maksimaalselt infot selleks, et nad sobiksid tekstidokumendi. Lõpplahenduse skeemid joonestakse struktuurselt eraldatuna, klemmliistu joonistega ja spetsifikatsiooniga raamjootesse.

6.1. Ühe akupakiga energiasalvesti skeemide kirjeldamine



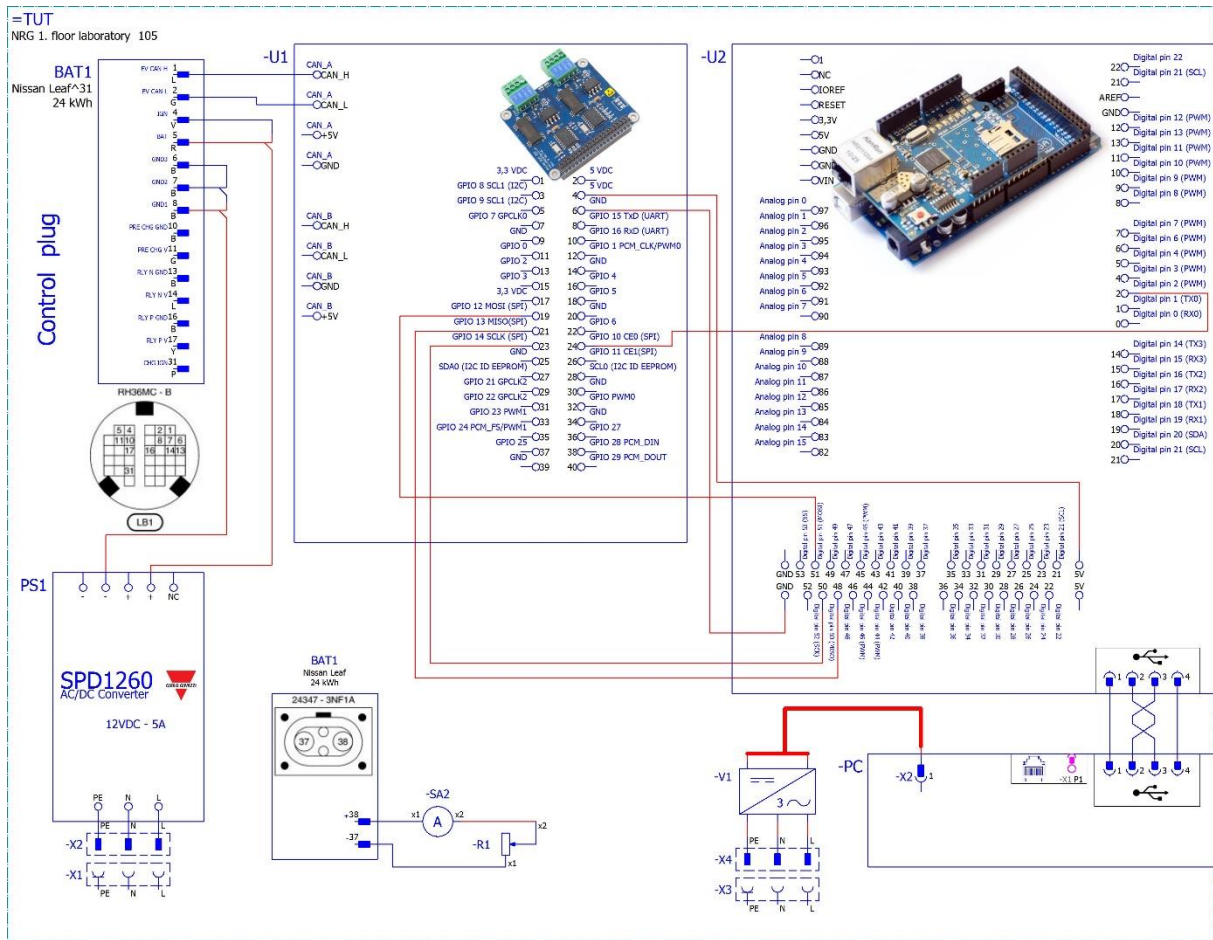
Joonis 6.1 Katseskeem 1. Tehnohackil koostatud.

Joonisel 6.1 on kujutatud katseskeemi 1, mis oli koostatud Skeemipesa MTÜ poolt korraldatud üritusel Tehnohack 2016. Sellest lähemalt on kirjeldatud peatükis 10.1 TehnoHack 2016. Sekkm arendati ja koostati perioodil 21. – 23. oktoober. Skeemis kasutatud seadme spetsifikatsiooni võib leida tabelis 6.1.



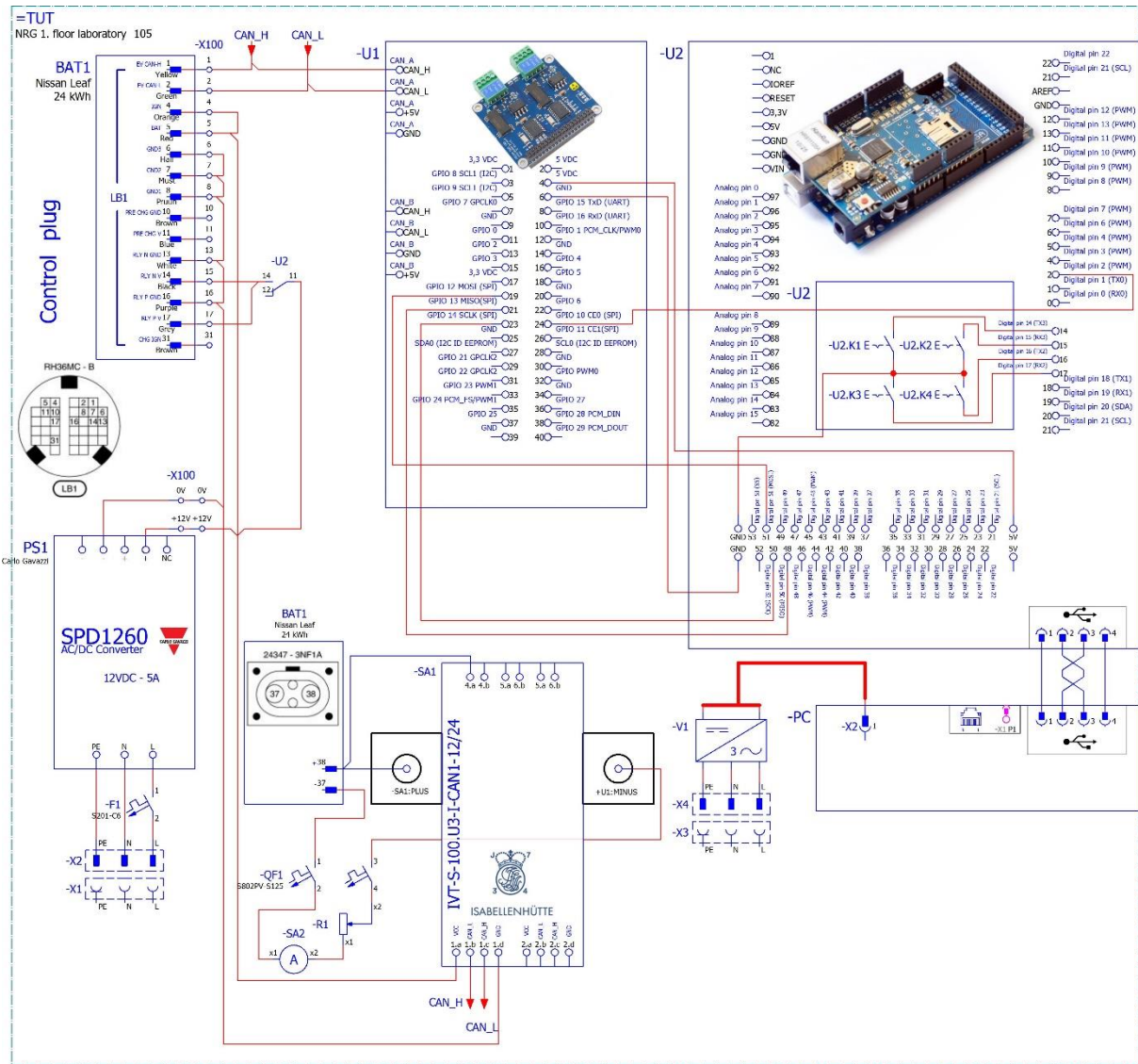
Joonis 6.2 Katseskeem 2

Joonisel 6.2 on kujutatud katseskeem 2, mis on lihtsustatud mudel eelmisest katseskeemist. Skeemi eesmärk oli uurida CAN siinilt päritavat infot. Ära on võetud kogu Ethernet TCP/IP kommunikatsiooni võimekus, sest selle funktsionaalsus sai testitud ja oli rahuldava võimekusega. Sekkmi kasutati perioodil 23 oktoober kuni 30 detsember. Komponentide spetsifikatsioon on tabelis 6.1. Katsetuste kava ja sisu võib leida peatükist 8.



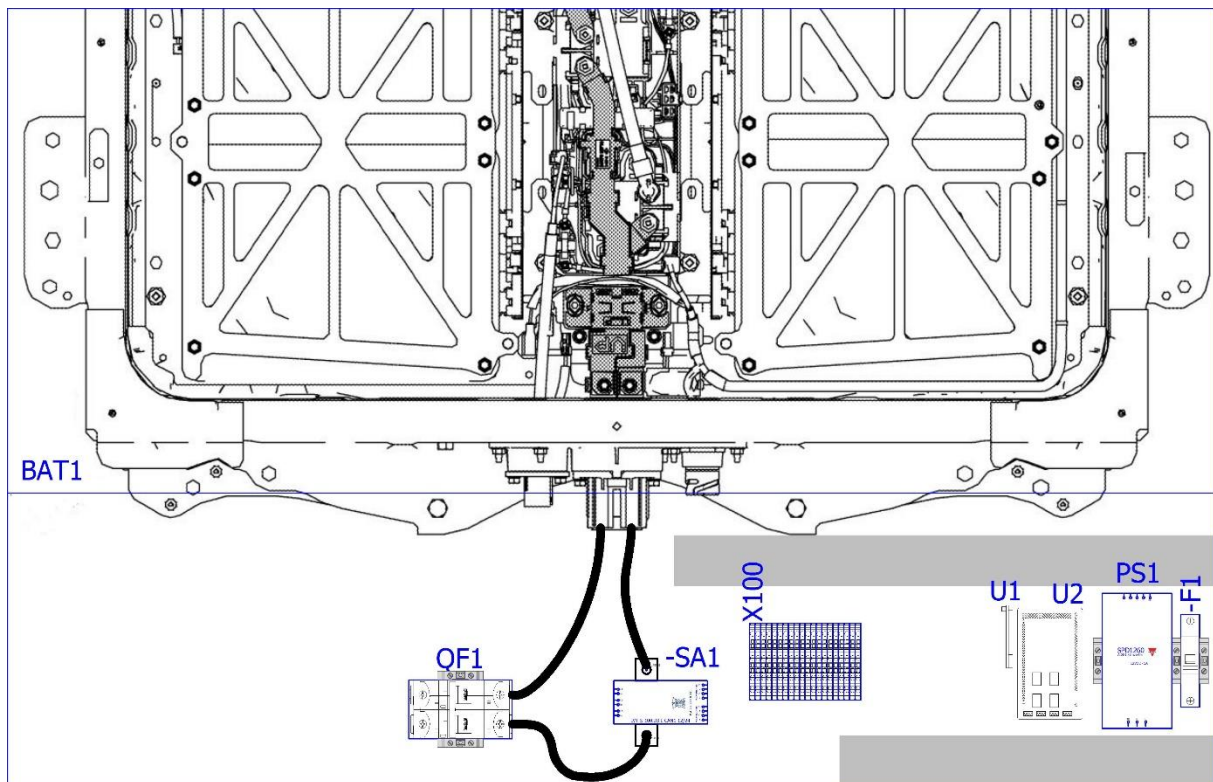
Joonis 6.3 Katseskeem 3

Joonisel 6.3 on kujutatud katseskeemi 3 ainukese erinevusega eelmisest on vahetunud U1, mis on CAN moodul Hiinas tootetud plaadilt SKpang electronics PiCAN2 Duo Isolated CAN-Bus Board for Raspberry Pi 2/3 vastu. Skeem kosutati ja arenati perioodil 30. detsember kuni 26. veebruar. Komponentide spetsifikatsioon on tabelis 6.1. Katsetuste kava ja sisu kirjeldust võib leida peatükist 8.



Joonis 6.4 katseskeem 4

Joonisel 6.4 on kujutatud katseskeemi 4, mis on eelmise skeemi täiendus. Lisandunud on SA1, ISAScale Isabellenhütte IVT-S-100.U3-I-CAN1-12/24 alalisvoolu ja pinge mõõtmiseks andur CAN 2.0 sidevõimalusega. Koormus ühendatakse otse QF1 aparadi klemmidele. Skeemi kasutati ja arendati katsetes perioodil 26. veebruar kuni märts 2. aprill. Komponentide spetsifikatsioon on tabelis 6.1. Katsetuste kava ja sisu kirjeldust võib leida peatükist 8. Katseskeemi komponentide paigutus on kujutatud joonisel 6.5.



Joonis 6.5 Katseskooste 1

Joonisel 6.5 on kujutatud viimane katseskeemi 4 järgi ehitatud katsesestend.

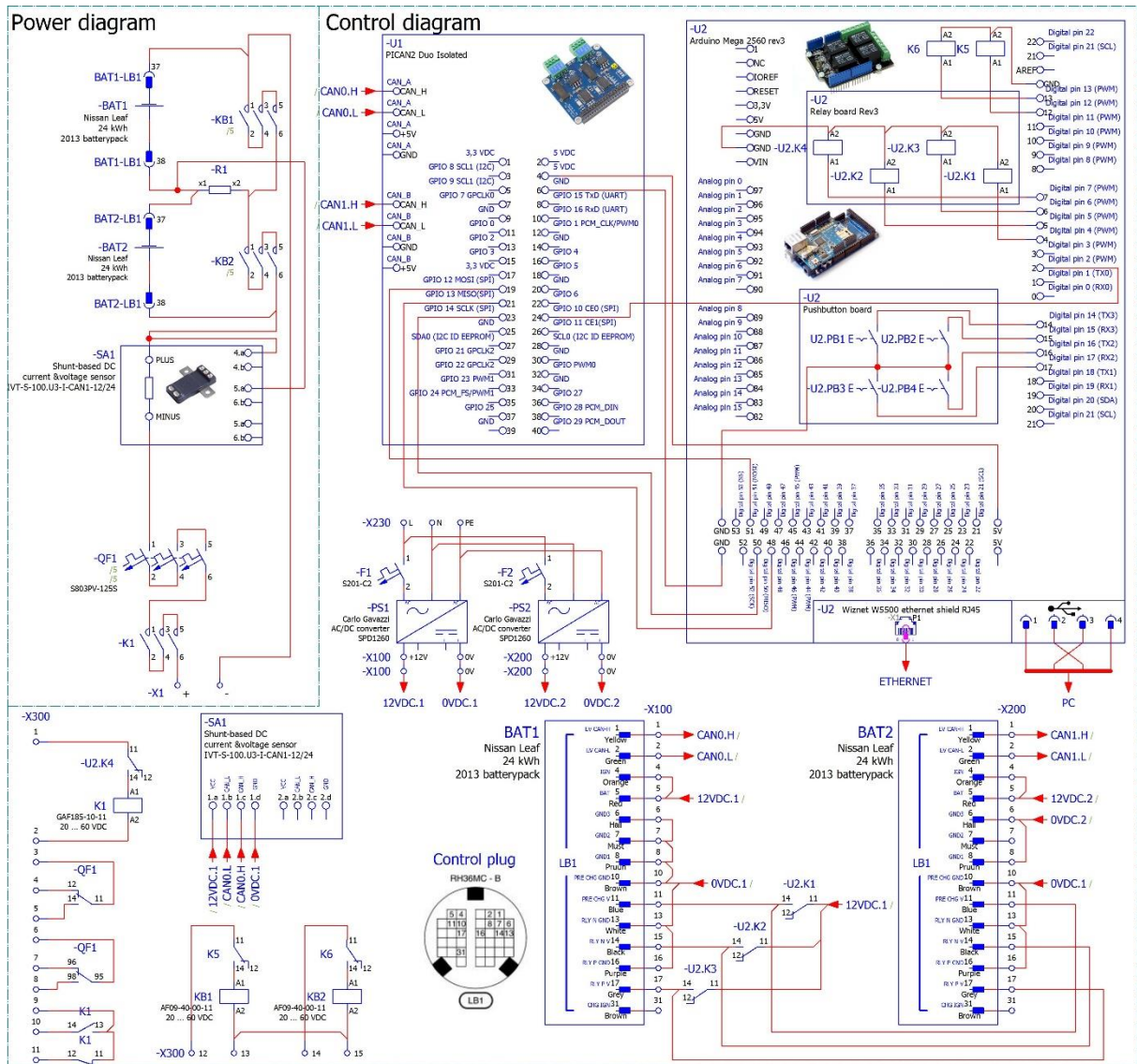
Ühe akupakiga energiasalvesti skeemide spetsifikatsioon võib leia all olevas tabelis 6.1

Tabel 6.1 Ühe akupakiga katseskeemides kasutatud komponendid

Tähis	Kirjeldus
A1	Siemens PLC SIMATIC S7-1200, CPU 1214C, AC/DC/RLY, I/O: 14 DI 24V DC; 10 DO Relee 2A; 2 AI 0-10V DC, Toide: AC 85-264V AC 47-63 HZ, Programmi mälu: 50 KB
BAT1	Katsealune Nissan Leaf 2013 akupakk. Detailsemalt peatükis 5.
F1	S201-C6 moodulkaitseautomaat S200 seeria ABB
PC	Windowsi baasil töötab arvuti
PS1	Carlo Gavazzi alalistoitteplokk SPD1260
QF1	ABB S802PV-S125 kaitseautomaat 2P 125 A 600 VDC
R1	Reostaatpakk. Nõukogudeaegne sünkroonmasinate ergutuse reostaat.
SA1	ISAScale Isabellenhütte IVT-S-100.U3-I-CAN1-12/24 alalisvoolu ja pinge mõõtmiseks andur. CAN 2.0 sidevõimalus.
SA2	Šunteeritud ampermeeter voolu indikeerimiseks
U1	(Katseskeemid 6.16.2) MCP2515 baasil Hiinas toodetud CAN moodul. Taktisagedus 16 Mhz (ülejoonetud kristall ossilaator- muidu 8 MHz), Ei oma galvaanilist isolatsiooni. SPI liides. (Katseskeemid 6.3 6.4 6.6) PiCAN2 Duo Isolated CAN-Bus Board for Raspberry Pi 2/3, 2 galvaaniliselt isoleeritud CAN kanalit, SPI liides.
U2	(Kõik katseskeemid) Arduino Mega2560 Rev3 (Katseskeem 6.1) Arduino Ethernet Shield 2 (Katseskeemid 6.4 6.6) Arduino Relay Shield v3.0
U3	DES-105 Ethernet võrgu jaotur 5 pesaga
U4	Hitachi HD47780 driveriga LCD kuvar 16 tähemärki 2 rida. Toide 5 VDC
V1-V2	Seadmeteoitteplokkid. Ei ole spetsifitseeritud.

X100	14 tk. Tunnelkelmmid ZS4-D2 SNK seeria ABB Entrecle
X300	
X200	14 tk. Tunnelkelmmid ZS4-D2 SNK seeria ABB Entrecle
X1-X8	Pistikud ja pistikupesad, F tüüpi

6.2. Kahe järjestikuse akupakiga energiasalvesti kirjeldamine



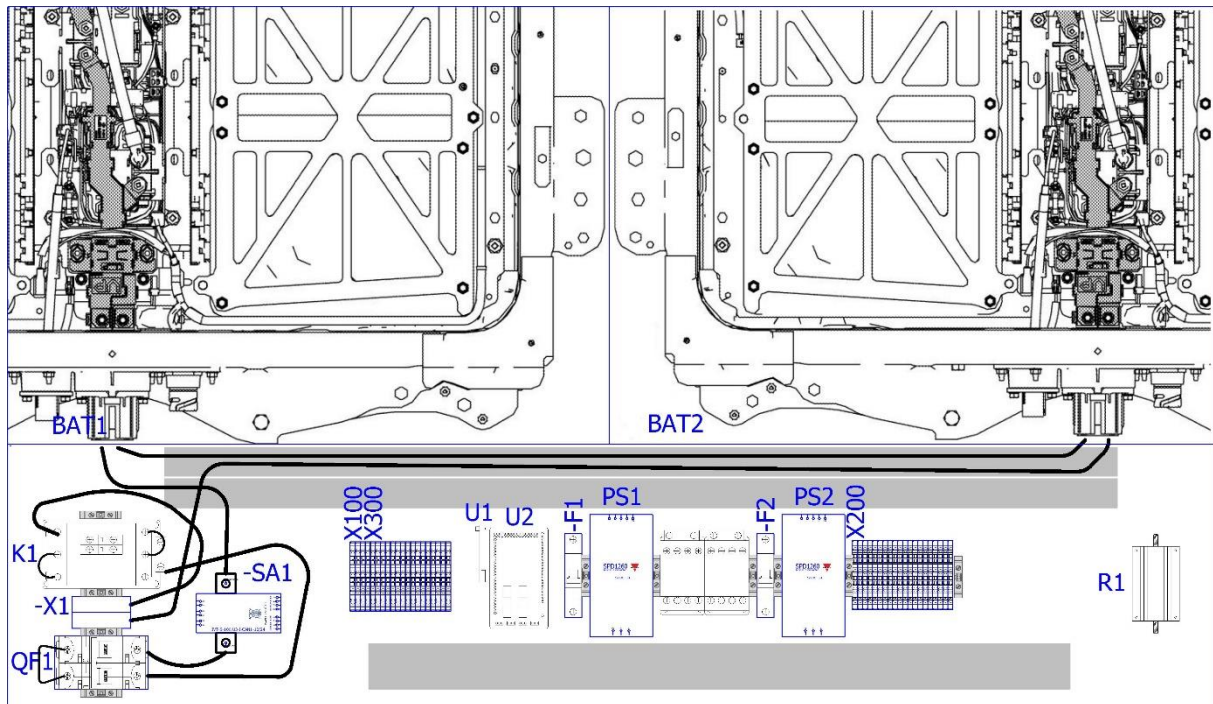
Joonis 6.6 Kahe järjestikuse akupakiga salvesti skeem

Kahe järjestikuse akupakiga energiasalvesti skeemide spetsifikatsioon on toodud välja tabelis 6.2.

Tabel 6.2 Kahe järjestikuse akupakiga katseskeemides kasutatud komponendid

Tähis	Kirjeldus
BAT1	Katsealune Nissan Leaf 2013 akupakk. Detailsemalt peatükis 5.
BAT2	Nissan Leaf 2011 akupakk.
F1, F2	S201-C2 moodulkaitseautomaat S200 seeria ABB
K1	Kontaktor ABB 3p GA75-10-00-81
KB1, KB2	Kontaktor ABB 4p AF09-40-00-11 1SBL137201R1100

PC	Windowsi baasil töötab arvuti
PS1, PS2	Carlo Gavazzi alalisvoiteplokk SPD1260
QF1	ABB S804PV-S125 kaitseautomaat 8P 125 A 1200 VDC
R1	Koormustakisti 1 k Ω , 1 kW. TE series
SA1	ISAScale Isabellenhütte IVT-S-100.U3-I-CAN1-12/24 alalisvoolu ja pinge mõõtmiseks andur. CAN 2.0 sidevõimalus.
U1	PiCAN2 Duo Isolated CAN-Bus Board for Raspberry Pi 2/3, 2 galvaaniliselt isoleeritud CAN kanalit, SPI liides.
U2	Arduino Mega2560 Rev3 Arduino Ethernet Shield 2 Arduino Relay Shield v3.0 Arduino Relay Shield Custom K5, K6
X1	2 tk. Kruviklemmid ZS35 SNK seeria ABB Entrelec 1SNK516010R0000
X100,X300	14 tk. Kruviklemmid ZS4-D2 SNK seeria ABB Entrelec 1SNK505210R0000
X200	14 tk. Kruviklemmid ZS4-D2 SNK seeria ABB Entrelec 1SNK505210R0000
X230	1 tk. Kruviklemmid ZS4 SNK seeria ABB Entrelec 1SNK505010R0000
X230	1 tk. Kruviklemmid ZS4-BL SNK seeria ABB Entrelec 1SNK505020R0000
X230	1 tk. Kruviklemmid ZS4-PE SNK seeria ABB Entrelec 1SNK505150R0000



Joonis 6.7 Katse kooste kahe akupakiga jadaühenduses

Joonisel 6.7 on kujutatud kahe järjestikuse akupaki skeemi järgi projekteeritud katsestendi paigutus.

6.3. Elektriseadmete valik

Katselistes skeemides kasutatud komponendid on välja toodud tabelis 6.1. Nendest olulisemate valikut on põhjendatud alapeatükis.

6.3.1. Ühe akupakiga katselise energiasalvesti seadmed

Toiteplokk. Toiteploki PS1 funktsioon on võimaldada 12 VDC, et toita U2 – mikrokontrollerit ja releemoodulit U2.K1, SA1 – vooluandurit, lülitada BAT1 ja BAT2 akupakke. U2, mikrokontrolleri maksimaalne tarbimine on 1 W ja releemoodulil alla 1 W, SA1 tarbib 0,25 W ja akupaki kontaktorite hoidevool on 1 A akupaki kohta. See teeb kokku ligikaudu 2,2 A. Valitud on Carlo Gavazzi aladiga toiteplokk SPD1260, mille nimivool on 6 A. [23]

Kontaktor. Ühe akupakiga salvestites ei olnud otstarbekas kasutada väliseid kontaktoreid, sest nagu võib näha joonisel 5.4 kujutatud skeemil, et Nissan Leafi akupakis on nad juba sisse ehitatud. Üks kolmest kontaktorist on kasutatud inverteri kondensaatorite eellaadimiseks.

Kaitseautomaat. Valiku kriteeriumiks oli akupaki võimsus, mis oli spetsifitseeritud tabelis 5.1 kuni 90 kW. Nominaalpinge juures oleks voolu väärtus 236 A. Valitud on ABB S802PV-S125 seeria automaat, mille terminaalrakendus toimub 1.05 kuni 1.3 nominaalvoolu vahel, mis on 125 A. Selle nimivoolu juures, mis on ligikaudu pool akupaki maksimaalsest voolust, on tagatud kaitseautomaatlahutus ühe akupakiga ühenduses nii lühises kui ka ülekoormuse juures. S800PV-S testitud lahutusvõime 1 sekundi lühise puhul on 5 kA. 2 pooluselise tüübi nimipinge on 600 V DC.

Isoleerimata süsteemi juhul ei pea olema ühendus teostatud läbi kõikide kaitseautomaadi pooluste, vaid neutraal võib olla ühendatud teise poolusega. [24]

6.3.2. Kahe akupakiga katselise energiasalvesti

Enamus komponente jäid samaks, mis kasutati katselistes ühe pakiga energiasalvestis. Need komponendid, mis lisandusid või muutusid on eraldi kirjeldatud kahes lõigus all. Kahe järjestikuse akupakiga katselise salvesti komponentide spetsifikatsioon on välja toodud tabelis 6.2.

Kaitseautomaat. Eelmises peatükis on kaitseautomaadi valikut põhjendatud ühe akupakiga süsteemi. Akupakkide jadaühenduses võib olla alalispinge maksimaalselt 800 VDC. Seega kahe pooluseline automaat jõuahelasse enam ei sobi. ABB S803PV-S125 seeria automaat kolme pooluse ühenduse puhul lahutab kuni 1000 VDC. Valitud nimivool 125 A, mis on ligikaudu pool ühe akupaki maksimaalsest voolust seega jadaühenduse juures, kus pinged liituvad. Kuna ühe akupaki makisaalvõimsust ei tohi ületada on 125 A sobiv vool kaitselahutuseks nii lühise kui ülekoormuse puhul. [24]

Kontaktor K1. Akupaki siseseid kontaktoreid ei ole mõttekas kasutada kahe akupaki jadaühenduse juures, sest nende lahutusvõime (koormuvoolu lahutamine) 800 V pinge juures on teadmata ja väga tõenäoliselt on akupaki sees olevatele kontaktoritele lubatud pinge palju väiksem. Akupaki kontaktoreid saab kasutada ainult erandkorras, varukaitsena, mis avanevad ajaviitega peale peakontaktorit K1 jõukontaktide lahutamist. Kontaktori K1 võib leida joonisel 6.4 kujutatud katseskeemil. Lähtuvalt tehnilisest ülesandest number 16, mis on kirjeldatud kasutaja nõuete spetsifikatsioonis tabelis 7.1, peab akupakk väljastama 25 kW võimsust, mis on teeb vooluks 600 – 800 VDC juures keskmiselt ligikaudu 35 A. ABB alalisvoolu kontaktor GA75 on võimeline DC-1 režiimis lülitama täpselt 35 A pingel 1000 V. Võib eeldada, et pingel kuni 800 V on kontaktori lahutusvõime suurem. Valitud GA75-10-00-81 on kontaktor juhtpingega 24 VDC. [23]

Koormustakisti R1 on süsteemis energiatasemete tasakaalustamiseks. Juhul kui ühe akupaki enegriatase muutub mingi hulga võrra suuremaks on süsteemil funktsionaalsus üleolev energia viia akupakist välja läbi koormustakisti. Valiku kriteeriumiks on takisti suur võimsus ja kõrge

takistus, et koormusvoolu oleks alla poole ampri. Valitud on 1 k Ω , 1 kW TE seeria koormustakisti.

Kontaktorid KB1, KB2 on süsteemi integreeritud eelmises lõigus kirjeldatud koormustakisti lülitamiseks. Valiku kriteeriumiteks oli kõrge alalistpinge, mis võis ulatuda ühe akupaki rüüpühenduses 400 V DC. Koormustakisti kõrge takistuse tõttu, et lähe vool üle poole ampri. [23] allika alusel on valitud AF09-40-00-11. Mähis pingele 20 – 60 V DC. 4 poolusega AF09 kontaktor kasutades kõiki 4 poolust DC-1 režiimis lülitada kuni 10 A pingel kuni 440 V DC.

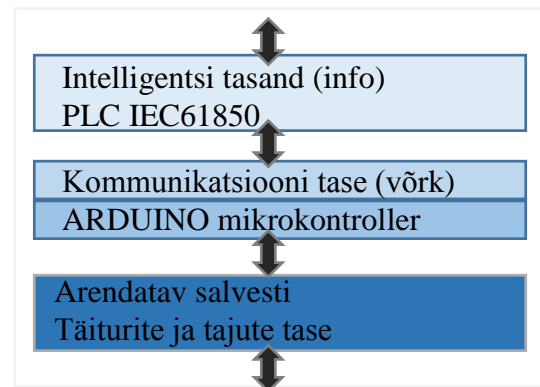
6.4. Elektrooniliste seadmete (moodulite) valik katseseadmesse ja valiku põhjendamine

Arendatavat mikroõrgu salvestit, mis koosneb kahest uuskasutuses olevast Nissan Leafi akupakist on vaja juhtida, seirata ja kaitsta. Arendusprotsessi edukuse ja ajamahu defineerib kesksete elektrooniste juhtseadmete või moodulite valik. Kui vaadata protsessi majanduslikust küljest, siis ei tohi unustada arendatava süsteemi komponentide rahalist väärtus. Süsteemi kõrge maksumus mõjutab negatiivselt investeringu tasuvust ehk *ROI*. Energiasalvestite maksumuse optimeerimine uuskasutuses akude integreerimisel on ka üks arenduse põhieesmärke kuid põhirõhk on vajaliku funktsionaalsuse saavutamine ja prototüübi testimine, mille käigus selgub täpsem maksumus ja kompetents turul.

Keerulisemate elektroonikaseadmete valikupõhimõtted ja kirjeldused on välja toodud järgnevatel alapeatükkides.

6.4.1. Mikrokontroller

Salvesti juhtseadme valikul jälgiti peatükis 3 kirjeldatud kirjanduses kajastuvat asjade interneti ja mikroõrgu struktuurset ehitust. Mikroõrgu kui rakendusetasandi juhtimise funktsioonide teostamiseks kasutatava PLC abil pole mõistlik teha veel ka salvesti (ehk natuke madalama protsessitasandi) andmete lugemist ja kaitsefunktsioone. Mikroõrku saab edaspidi liita (siduda) mitmeid erinevaid protsesse. Nende kõikide funktsioonide teostamine oleks olnud ebatõhus ja keeruline rakendustasandi PLC arvutusjõudlust silmas pidades. Protsessitasandil, täpsemalt öeldes täiturite ja tajute tasemel (vahe)juhtseade on vajalik lisada süsteemi. See juhtseade on odav ja suudab töödelda kiiresti CAN siinilt tulenevat infot ning realiseerida kaitsefunktsioone. Lisaks valitud mikrokontroller, milleks on ARDUINO Mega 2560, omab lihtsat ja mugavat arenduskeskkonda lihtsustades sellega katsete läbiviimist. Joonisel 6.8 on kujutatud astmeline juhtstruktuur, kus ARDUINO mikrokontrolleriga lõpeb täiturite ja tajurite tase ja algab võrgu tase. ARDUINO Mega 2560 Rev 3 tehniline spetsifikatsioon on tabelis 6.3.



Joonis 6.8 Astmeline juhtstruktuur

Võrreldes teiste ARUINO arendusplaatidega on MEGA kõige võimekam just Settimino teegi kasutamise pärast, mis hõivab palju mälu. Sekundaarses valikus olev Arduino, millel 2 kB SRAM-i, mida jääb arendatava süsteemi kohta väheks. Settimino teegi kasutuses kasutusest on kirjutatud lähemalt peatükis 10.1.1.

Tabel 6.3 ARDUINO Mega 2560 Rev 3 tehniline spetsifikatsioon

mikrokontroller	ATmega2560
Nominaalpinge	5V
Soovitatav toitepinge	7-12V
min- max toitepinge	6-20V
diditaalsed I/O pistikud	54 (of which 15 provide PWM output)
Analoog sisendi pistikud	16
Max. alalisvool I/O pistiku kohta	20 mA
Max. alalisvool alisvool 3.3V pistiku kohta	50 mA
Flash mälu	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Taktsagedus	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Pikkus	101.52 mm
Laius	53.3 mm
Kaal	37 g

CAN moodul. Algsed katsed (skeem 1 ja 2) teostati Microchip MCP2515 kiibil baseerual Hiinas toodetud plaadil. Skeem töötas 8 MHz sagedusega. Teise, kahekanalise CAN mooduli, millega on ka teostatud suurem osa ühe akupaki katseskeeme on kirjeldatud järgnevalt.

Kirjeldatud Microchip MCP2515 kiibiga moodul ei võimaldanud kommunikeerida kahe eri kanaliga, mida oli vaja kahe jadaüheduses akupaki jaoks. Põhimõtteliselt võib akupakid ühendada ühe CAN siini peale kuid sellel juhul ei ole võimalik andmetest aru saada, sest kumbki akupakk saadab samu signaale. Valiku kriteeriumid oli kasutada kahekanalises CAN moodulis sama kiipi, sest suured edusammud arendustöös olid juba tehtud ja valitud kiibi baasil töötas hästi nii raudvara kui ka tarkvara. Lisaks oli veel EMC ühilduvuse ohutuse tagamiseks otsustatud, et andmesidemoodul ja selle eri kanalid peavad olema galvaaniliselt isoleeritud. Valiti PiCAN2 Duo Isolated CAN-Bus Board for Raspberry Pi 2/3, mis on toodetud SKpang electronics-i poolt, omab kahte galvaaniliselt isoleeritud CAN 2.0 kanalit ja omab SPI kommprotokollit, et ühendada mikrokontrolleriga. Taktisagedus 8 MHz. Kahjuks ei ole tegu ARDUINO mikrokontrollerile füüsiliselt sobivalt (istuva) plaadiga. Ühendused tuli teha pistikühenduses olevate juhtmetega.

Ethernet plaat. Selleks, et realiseerida TCP/IP ühendus ARDUINO mikrokontrolleri ja PLC vahel valiti Arduino Ethernet Shield 2. Valiku põhimõtted on triviaalsed - plaat pidi sobima mikrokontrolleri plaadiga

Relee plaat. Valitud Arduino Relay Shield v3.0. Valiku põhimõtted - plaat pidi sobima mikrokontrolleri plaadiga.

6.4.2. Vooluandur Isabellenhütte IVT-S

Vooluanduri valiku vajadusest on kirjutatud peatükis 10.4. ja selle seadistamisest punktis 10.4.1.

IVT-S mõõtetehnoloogia vastab Isabellenhütte turu nõudmistele, mis nüüd soosib spetsiifilisi funktsioonide voolu mõõtmiste süsteemides. Põhirõhk on pandud dielektrilisele tugevusele, mis on kõige kõrgem selles seerias mõeldud rakendustele. Kõrge dielektriline tugevus peab olema garanteeritud akutoitega autodes näiteks. Mõõtesüsteemi maksimaalne dielektriline tugevus on 1000 V DC. Selle funktsionaalne võimekus sisaldab voolu ja pinge mõõtmist. Isabellenhütte

vastab sellega turu nõudmistele stantsionaarsete energiasalvestus või mobiilsetele veojõu rakendustele. Li-ioon akud on kõrge energiasisaldusega, mis kõrgema pinge juures võib vähendada vasekulu sellega tehes süsteemi kergemaks ja odavamaks. Selle pärast anduri dielektriline tugevus peab olema vastavalt suur – võtme kvaliteedi funktsioon, mis eristab IVT-S konkurentide toodetest. Kiirloomimisesüsteemide puhul on see funktsionaalsus eriti oluline. [25]

Alalisvoolu šundil baseeruv mõõtemeetod kasutab 16-bitilist analoog – digitaal muundurit, et muuta koormusvoolust tingitud šundi pingelang digitaalseks signaaliks. Andur IVT-S sisaldab sisse ehitatud mikroarvutit. Kommunikatsioon baseerub CAN 2.0a protokollil.

Kogu peatükis kasutatud info pärineb mai 2017 seisuga esialgsele andmelehel [26].

Anduri ligikaudne maksumus on 250 eurot koos käibemaksuga.

Vaadeldava vooluanduri põhiomadused:

- Juhtimisosa isolatsioon võimaldab galvaanilist eraldust jõuosa kõrge elektrilise potentsiaali eest kuni $\pm 1,2$ kV DC;
- Sisseehitatud liigvoolu tuvastus;
- Kolm kanalit pinge mõõtmiseks;
- Kolm pingemõõtmise ulatust.

Anduri korrasolekut seirab anduri mikrokontroller sisemiselt. Juhul kui peaks tekkima rike, siis muudetakse anduri rikkeoleku bitt kõrgeks ja genereeritakse OCS-liigvoolu signaal. Samuti käivitamisel on OCS aktiivne. Mõõdetav elektrivool võib olla kahe-suunaline ehk kahepolaarne. (voolu suund + või –).

IVT-S annab välja järgmisi mõõdetud ja arvatud digitaalseid signaale:

- Vool A;
- Pinge 1 V;
- Pinge 2 V;
- Pinge 3 V;
- Temperatuur °C;
- Võimsus W;
- Vooluloendur As;
- Energia loendur Wh.

Võimsuse mõõtmine baseerub alati kanali Pinge 1 mõõtmisel saadud tulemil. Voolu mõõtmine on kõige kõrgema prioriteediga tsükkel. Järgnevalt kirjeldatakse veel anduri teisi omadusi ja töörežiime.

Välja lülitatud- anduri konkreetne mõõtekanal on välja lülitatud. Kanal ei reageeri tarkvara käskudele.

Päästiku režiim- moodul saadab mõõtetulemi sõnumi vastuseks eelnevalt saadud päästik käsule. Käsk on tarkvaraline sõnum..

Tsükkliline režiim- moodul saadab mõõdu tulemi peale eelnevalt konfigureeritud tsükliiega. Näiteks voolu kanali tsükli aeg 10 ms. Iga 10 ms tagant saadab moodul CAN siinile informatsiooni voolu kanali mõõtetulemist.

Andur omab logimise funktsionaalsust. Kõik andmed on jooksvalt salvestatud intervalliga 15 minutit. Kui andur taaskäivitub, siis viimased logitud andmed on kättesaadavad. On võimalik lähtestada kogu logi kui ka individuaalseid andmeid, mis jäävad 15 minuti vahemikku. Tabelis 6.4 on välja toodud 29 parameetrit, mille väärtus 6 baidised.

Tabel 6.4 IVT-S logitavate parameetrite kirjeldus

Nr.	Parameeter	Ühik	Miinum	Maksimum
1.	Ampertunni loendur üldine (ainult siis kui on aktiveeritud)	As	$-72*10^{12}$	$72*10^{12}$
2.	Ampertunni loendur laadimine (ainult siis kui on aktiveeritud)	As	0	$144*10^{12}$
3.	Ampertunni loendur tühjenemine (ainult siis kui on aktiveeritud)	As	0	$144*10^{12}$
4.	Energia loendur üldine (ainult siis kui on aktiveeritud)	Wh	$-72*10^{12}$	$144*10^{12}$
5.	Energia loendur laadimisel (ainult siis kui on aktiveeritud)	Wh	0	$3*10^9$
6.	Energia loendur tühjenemisel (ainult siis kui on aktiveeritud)	Wh	0	$3*10^9$
7.	Tööaeg üldine	s	0	$3*10^9$
8.	Tööajal vool piirangutes	s	0	$3*10^9$
9.	Tööajal vool piirangutest väljas	s	0	$3*10^9$
10.	Tööajal pinge 1 piirangutes	s	0	$3*10^9$
11.	Tööajal pinge 1 piirangutest väljas	s	0	$3*10^9$
12.	Tööajal pinge 2 piirangutes	s	0	$3*10^9$
13.	Tööajal pinge 2 piirangutest väljas	s	0	$3*10^9$
14.	Tööajal pinge 3 piirangutes	s	0	$3*10^9$
15.	Tööajal pinge 3 piirangutest väljas	s	0	$3*10^9$
16.	Tööajal temperatuur piirangutes	s	0	$3*10^9$
17.	Tööajal temperatuur piirangutes väljas	s	0	$3*10^9$
18.	Tööalal RC- liigvoolu bitt kõrge	s	0	$3*10^9$
19.	Tööalal RC- liigvoolu bitt madal	s	0	$3*10^9$
20.	Vool maksimum	A	$-32*10^3$	$32*10^3$
21.	Vool miinum	A	$-32*10^3$	$32*10^3$
22.	U1 maksimum	V	$-32*10^3$	$32*10^3$
23.	U1 miinum	V	$-32*10^3$	$32*10^3$
24.	U2 maksimum	V	$-32*10^3$	$32*10^3$
25.	U2 miinum	V	$-32*10^3$	$32*10^3$
26.	U3 maksimum	V	$-32*10^3$	$32*10^3$
27.	U3 miinum	V	$-32*10^3$	$32*10^3$
28.	Temperatuur maksimum	1/10 °C	-500	2000
29.	Temperatuur miinum	1/10 °C	-500	2000

Isolatsioon. Anduri funktsionaalsus on disainitud suhteliselt kõrge pingega rakendusteste jaoks. Isoleeritud mudel võib olla kasutatud toitepinge tasemetega (12 ja 24 V DC). Mitteisoleeritud mudel võimaldab tööd ainult 12 V DC abipingega.

Isolatsiooni pinge DIN EN 60664-1:2008-01 deklaratsioon kehtib 2000 m üle merepinna, mille kohaselt on järgnevad parameetrid:

- Maksimaalne isolatsiooni tööpinge

- CATI-II 600 V RMS
- CATI-III 300 V RMS
- Üldine DC isolatsioon 1000 V tipp
- Tugevdatud isolatsiooni DC pinge 600 V tipp
- Kõrgeim lubatav siirepinge 6000 V (1 s)
- Minimaalne õhkvaheemik >40 mm
- Roomevaheemik >50 mm
- Minimaalne sisemine õhkvaheemik 8 mm

Tehniline teave

Tabel 6.5 IVT-S ±100 Töötingimused

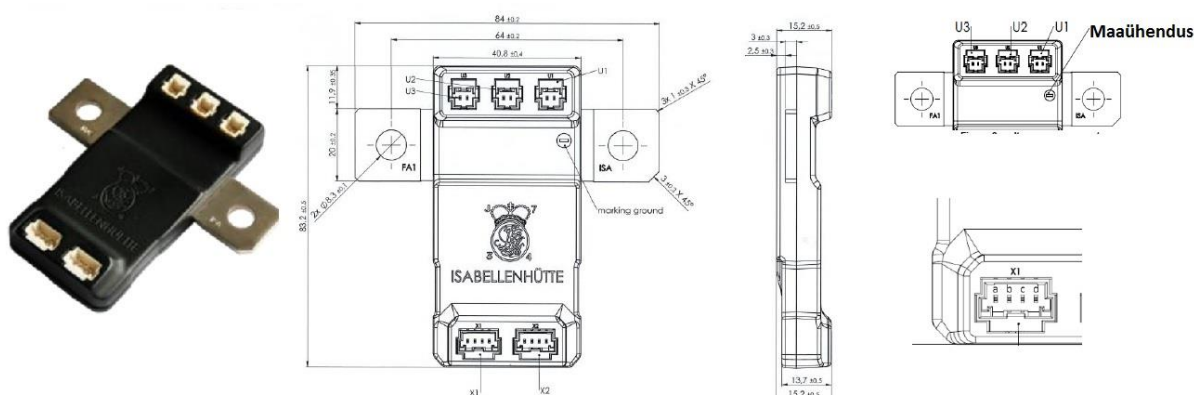
Parameeter	Minimaalne	Tüüpiline	Maksimaalne (maks. hinnanguline)	Ühik
Töötemperatuur	-40		105	°C
Hoidetemperatuur	-40		125	°C
Toitepinge	5,5	12	40 (45)	V
Voolutarve isolatsiooniga moodulil	teadmata	teadmata	teadmata	mA
Taaskäivitusae		350	400	ms
Ooteaeg sisse/välja	2			ms

Tabel 6.6 IVT-S ±100 Voolu mõõtmine

Parameeter	Väärtus	Ühik
Nominaalne mõõtepiirkond (Oleneb šundist)	±100	A
Võimsusekadu	<3	W
Liigvoolu mõõtepiirkond	±800	A
Ülekoormuse maksimaalne aeg		
5 min	±120	A
30 s	±200	A
10 s	±300	A
1 s	±900	A
200 ms	±2000	A
Esialgne täpsus	±0,1	% lugemise viga
Totaalne täpsus	±0,4	% lugemise viga
Kõrvalekalle	8	mA
Lineaarsus	0,01	% mõõtepiirkonnast
Müra	5	mA (rms)
Resolutsioon (tundlikus)	3	mA
Täpsus mõõtepiirkonnast väljas	±3	% lugemise viga
Kõrvalekalle mõõtepiirkonnast väljas	60	mA
Lineaarsus mõõtepiirkonnast väljas	0,1	% mõõtepiirkonnast
Müra mõõtepiirkonnast väljas	40	mA (rms)
Resolutsioon (tundlikus) mõõtepiirkonnast väljas	24	mA

Tabel 6.7 IVT-S ±100. Pinge mõõtmine

Parameeter	Väärtus	Ühik
Nominaalne mõõtepiirkond	±1000	V
Laiendatud ulatus (mittelineaarne)	±1200	V
Esialgne täpsus	0,1	% lugemise viga
Totaalne täpsus	0,5	% lugemise viga
Kõrvalekalle	100	mV
Linearsus	0,01	% mõõtepiirkonnast
Müra	60	mV (rms)
Resolutsioon (tundlikus)	1	mV



Joonis 6.9 Vasakul IVT-S välimus ja paremal mehaanilised mõõtmed.

Gabariidid ja terminalid. Joonisel 6.9 on välja toodud vaadeldava paremalt vasakule vastavalt anduri välimus, gabariidid ja pistik-tüüpi klemmühenduste skeem.

Tabel 6.8 IVT-MOD ±100 isol .pistik-tüüp klemmide kirjeldav tabel

X1 POWER IN/ CAN IN	U1	U2	U3
a. Vcc	a. Pinge 1 ²	a. Pinge 2 ¹	a. Pinge 3 ¹
b. CAN L	b. Pinge 1 ¹	b. Pinge 2 ¹	b. Pinge 3 ¹
c. CAN H			
d. GND			

² Klemmid on sisemisest ühendatud

7. Energiasalvesti juhtimisfunktsioonide teostamiseks vajalike andmete ja info kirjeldamine

Toote arenduses ja optimeerimise protsessis klientidelt saadud ja nende vajaduste kohased füüsilised või funktsionaalsed nõuded on dokumenteeritud. füüsiline või funktsioonale vajadus kindlale tootekujundusele, tootele või protsessile, mida peab kujundusealune objekt olema võimeline teostama. See on avaldus, mis dokument identifitseerib vajalikku tarviku terviku, võimekuse, selle karakteristik omadusi või süsteemi kvaliteeti. Toode, mis peaks pakkuma väärtust teenuseostjale, kliendile, organisatsioonile, sisemisele kasutajale või aktsionärile. Nõuete spetsifikatsioon on selgelt väljendatud nõuete kogum, millele peab vastama materjali, kindla toote disaini, toote enda või teenusega. [27]

7.1. Kasutaja nõuete spetsifikatsioon

Inglise keeles *user requirement specification* (URS) on tavaliselt dokument mida kasutatakse tarkvara arenduses ja äris. See kirjeldab, mida suudab tarkvara realiseerida. Kui vajalik teave on dokumendis fikseeritud siis klient ei saa eelneva nõusolekuta enam nõuda uusi funktsioone ja arendaja ei saa väita, et töö on valmis kuni kõik dokumendis kehtestatud funktsioonid on realiseeritud.

Tihti kasutab URS prioriteetide hindamissüsteemi, millega saab iga esitatud nõuet kaaluda.

- M – Kohustuslik nõue (*Mandatory*). See funktsioon peab olema süsteemis sees
- D – Soovitatav nõue (*Desirable*). See funktsioon peaks olema realiseeritud kui maksumus ei lähe liiga kõrgeks
- O – Valikuline (*Optional*). See funktsioon võib olla sisse ehitatud süsteemi.
- E – Võimalik (*Possible*). Tulevane lisa. See funktsioon võib olla kasutatud lõppsüsteemis kuid klient tahab põhiraakendust.

Tabelis 7.1 on kirjeldatud kasutaja nõuete spetsifikatsiooni arendatavale mikrovõrgu salvestile.

Tabel 7.1 Arendatava mikrovõrgu elektrisalvesti kasutaja nõuete spetsifikatsioon

Nõude nr.	Kirjeldus	Prioriteet
1.	Akupaki pinge hetkeväärtus	M
2.	Akupaki voolu hetkeväärtus	M
3.	Akupaki elemendi miinimum ja maksimum pinge	M
4.	Akupaki iga elemendi pinge ja sealt filtreerida miinimum ja maksimum	D
5.	SOC %	M
6.	Akupakis olev energia kWh	M
7.	SOC % dünaamiliselt muutuv	D
8.	Akupakis olev energia kWh dünaamiliselt muutuv	D
9.	Isolatsioonitakistuse mõõtmise	D
10.	Akupaki temperatuuriandurite väärtused	D
11.	Šhunteerimise teave	D
12.	Mikrokontrolleris realiseeritud elementide liigpinge, ülekoormuse, lühise kaitse.	M

13.	Kommunikatsiooni võimalus Ethernet TCP/IP protokolliga Siemens S-1200 seeria PLC-ga.	M
14.	Mikrokontrolleriga kaitsefunktsioonide teostus	M
15.	Power over Ethernet (PoE) toide mikrokontrollerile	O
16.	Nominaalvõimsus 25 kW	D

7.2. Energiasalvesti salvestus- ja tühjendamisprotsessi energiavoogude juhtimiseks vajalike põhifunktsioonide kirjeldus

Uuskasutuses olevate Nissan Leafi akupakkide baasil arendatava mikrovõrgu energiasalvesti juhtimiseks on vaja defineerida selle põhifunktsioonid. Energiasalvesti peafunktsioon on talletama energia ülejäägi perioodil ja väljastama energiat kui on süsteemi vaja lisaenergiat. mikrovõrgus salvesti juhtimis ja laadimistaktikat selle töö raames ei vaadelda. Kriitiline on teada kui palju on salvestis energiat ja mida salvesti parasjagu teeb. Tabelis 7.1 on kirjeldatud kriitilisi parameetreid, mida vajab salvesti tööks. Selles peatükis on kirjeldatud arendatava energiasalvesti juhtalgoritmi süsteemi komponentide ja andmete salvestamise ajalise seose vaatenurgast.

7.2.1. Programm

Mikrokontrolleri programmi ei analüüsita selle töö raames. Kirjeldatakse ainult üldist põhimõtet ja mikrokontrolleris salvestatud andmeid. Tabelis 7.2 on kajastatud kõige tähtsamad muutujad mis on aktiivselt kasutatud viimases versioonis. Selles peatükis viidatud programm on lisas L.1 nimega „clean_LEAF_CAN_listener_v0.9“.

Tabel 7.2 Programmis kasutatud muutjad

Parameetri nimi	Parameetri tüüp	Kirjeldus
m_PackVolts	uint16_t	CAN siinilt loetav muutuja. Pinge
m_PackAmps	int16_t	CAN siinilt loetav muutuja. Vool
m_SOC	uint16_t	CAN siinilt loetav muutuja. SOC
m_Gids	uint16_t	CAN siinilt loetav muutuja. SOC
m_W	int32_t	Arvutatud muutuja $m_PackVolts * m_PackAmps$
m_Wh	int32_t	Arvutatud muutuja. $gids * KW_FACTOR$
Vmin	uint16_t	Päritav muutuja. Minimaalse pingega elemendi pinge (mV)
Vmax	uint16_t	Päritav muutuja .Maksimaalse pingega elemendi pinge (mV)
PackHealth	int32_t	Päritav muutuja. <i>health</i> (% * 100)
SOC32	int32_t	Päritav muutuja. SOC (% * 10000)
PackCap	int32_t	Päritav muutuja. Mahtuvus (Ah * 10000)
temp1	uint8_t	Akupaki temperatuuri muutuja (°C)
temp3	uint8_t	Akupaki temperatuuri muutuja (°C)
temp3	uint8_t	Akupaki temperatuuri muutuja (°C)
temp4	uint8_t	Akupaki temperatuuri muutuja (°C)
cellVolts[96]	uint16_t	Akupaki elementide pingete massiiv.
cellNr	uint8_t	Elemendi number.
Umin	uint16_t	Arvutatud muutuja cellVolts[96] massivist

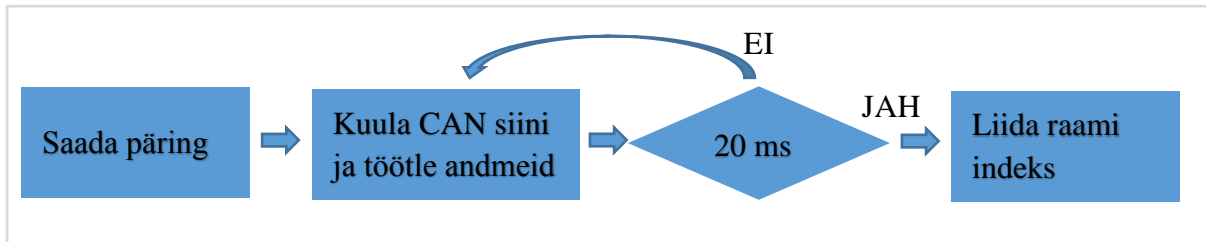
Umin	uint16_t	Arvutatud muutuja cellVolts[96] massivist
n2itaSeriali	bool	Testimise muutuja
group	uint8_t	Grupi pärimiseks abimuutuja
raamIdx	uint8_t	Grupi pärimiseks abimuutuja
tempData1[8]	byte	1 grupi päringu initsialiseeriv sõnum
voltData1[8]	byte	2 grupi päringu initsialiseeriv sõnum
cellData1[8]	byte	3 grupi päringu initsialiseeriv sõnum
socData1[8]	byte	4 grupi päringu initsialiseeriv sõnum
shuntData1[8]	byte	5 grupi päringu initsialiseeriv sõnum
nextDataReq[8]	byte	6 grupi päringu initsialiseeriv sõnum
rxId	long unsigned int	MCP2515 <mcp_can.h> teegi abimuutujad
len	unsigned char	MCP2515 <mcp_can.h> teegi abimuutujad
rxBuf[8]	char	MCP2515 <mcp_can.h> teegi abimuutujad
msgString[128]	char	MCP2515 <mcp_can.h> teegi abimuutujad
aegserial	unsigned long	Siseste timerite muutujad
aegserialprint	unsigned long	Siseste timerite muutujad
Last7BBreqTime	unsigned long	Siseste timerite muutujad
prevMillis	unsigned long	Siseste timerite muutujad
Elapsed	unsigned long	Protsessi ajaaruvuts abimuutuja
Vool	long	Isabellenhuette IVT-S anduri muutuja
Pinge	long	Isabellenhuette IVT-S anduri muutuja
As	long	Isabellenhuette IVT-S anduri muutuja
Wh	long	Isabellenhuette IVT-S anduri muutuja
triggered	bool	Isabellenhuette IVT-S anduri muutuja
CalculatedSoC	long	Isabellenhuette IVT-S anduri muutuja
CalculatedSoC2	long	Isabellenhuette IVT-S anduri muutuja
shunt[96]	uint8_t	Grupi 6 abimuutujad.
shuntNr	uint8_t	Grupi 6 abimuutujad.

Tabelis 7.3 on programmis kasutatud globaalselt defineeritud muutujate nimed ja väärtused.

Tabel 7.3 Globaalsed definitsioonid programmis.

Nimi	Väärtus	Kirjeldus
CAN0_INT	3	MCP2515 <mcp_can.h> <mcp_can.h> teegi seade. Interrupt
CAN0_MODE	9	MCP2515 <mcp_can.h> teegi seade.
REQ_INTERVAL_7BB	20	Päringute vahepealne aeg
RELEE7	7	Relee seade
RELEE6	6	Relee seade
RELEE5	5	Relee seade
RELEE4	4	Relee seade
KW_FACTOR	7473L	Abimuutuja GIDsi SOCi arvutamisel
MAX_SOC	281.0F	Abimuutuja akupaki online SOC muutujast
MAXPINGE	4500	Kontrollmeetodi kriteeriumid
MINPINGE	2200	Kontrollmeetodi kriteeriumid
MAXVOOL	5000	Kontrollmeetodi kriteeriumid
SWITCH15	15	Nuppude seade
SWITCH16	16	Nuppude seade

Programm on üles ehitatud aegtsüklitele, mille vahepeal muudetakse abimuutujaid, et jätkata päringutega. Seoses vajadusega saata CAN siinile päringuid muutus programmi struktuur. Tuli seada prioriteedid eri etappidele. Kuna aku ohutu töö on kõige tähtsam, siis kõrgeima prioriteediga on töödelda vooluga seotud andmeid. Elementide pinged ja üleüldse akupaki pinge ei tohiks kiiresti kõikuda. Mõõtetulemuste saamine on lahendatud ARDUINO programmis jadakommunikatsiooniga, mis on ajamahukas protsess ja võtab programmitsüklis aega olenevalt seatud boodikiirusest. Joonisel 7.1 on kujutatud programmi põhimõtteline eskiis. Raami indeks tähendab peatükis 5.7.2 on kirjeldatud arendatava mikrovõrgu salvesti CAN siinile saadetavate sõnumite 7-nda kaaluga baiti väiksema poolt arvestades, mis defineerib, missugune teave saadetakse päringule akupakkide BMS-st vastu.



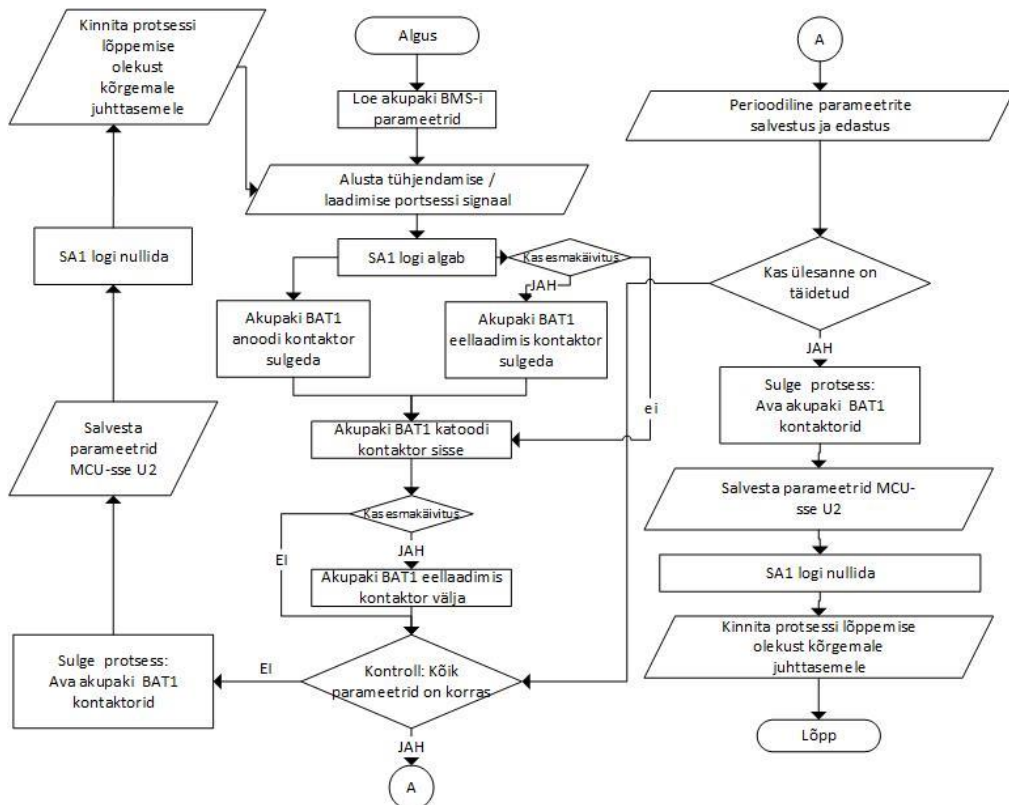
Joonis 7.1 ARDUINO programmi põhimõtteline eskiis.

7.2.2. Juhtalgoritm ühe akupakiga energiasalvestile

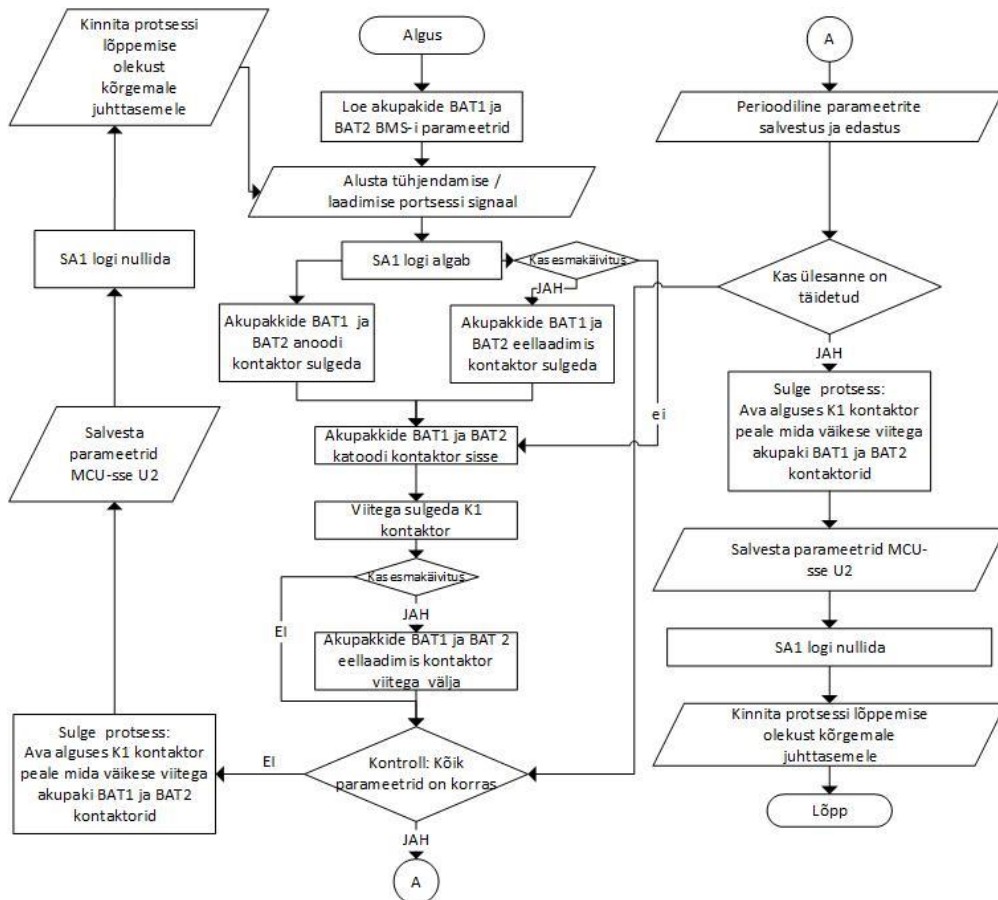
Joonisel 7.2 on kujutatud ühe akupakiga salvesti juhtalgoritm. Selles on arvestatud esmakäivitus, avarii, laadimis- ja tühjendusprotsessi stsenaariumitega. Energiavoogude juhtimise puhul ei ole vaja väliseid ühendusi peale isoleeriva kaitseautomaadi QF1 ja vooluanduri SA1, mida võib leida joonisel 6.4 olevalt skeemilt 4 ja katsekooste seadmete paigutust kirjeldaval joonisel, mis on kujutatud joonisel 6.5. Skeemil 4 on koormuseks lülitatud TTÜ 1 korruse jõuelektroonika ja ajamite laboris asuv asünkroonmootori käivitusreostaat (magasin). Algoritm on väljatöötatud nii, et sobiks ükskõik missugusele koormusele, kaasa arvatud inverterid, millel on sisendi poolel suure mahtuvusega silumisfiltrid. Silumisfiltrid põhjustavad esmapingestusel suuri siirdevoole. Seda vältimaks on esmakäivitusel ja pika pausi järel vaja sulgeda teatud ajaperioodiks eellaadimis kontaktor (ajaliselt enne katoodi kontaktorit). Kui esmakäivituse tingimust ei ole, siis peaksid akupaki anoodi ja katoodi kontaktorid sulguma üheaegselt. Protsessi lõpetamine sarnaneb avariiolukorras väljalülitusele. Esmalt avatakse kontaktorid ja siis fikseeritakse andmed, millele järgneb sõnum kõrgemale juhttasemele protsessi olekust. Protsessi täitmise ajal salvesti salvestab andmeid ja perioodiliselt edastab nad kõrgemale juhttasemele.

7.2.3. Juhtalgoritm kahe jadaühenduses akupakiga energiasalvestile

Joonisel 7.3 on kujutatud kahe jadaühenduses akupaki juhtalgoritm. Ühe akupakiga energiasalvesti algoritmist põhimõtteline erinevus on kontaktor K1 lisandumine juhtimisprotsessi. Oluline on märkida, et akupakkide jadaühenduses on võimalik akupaki sisekontaktoreid kasutada ainult juhul kui pole sisse lülitatud koormust. Algoritm on selle printsiibiga arvestatud kontaktor K1 suletakse viimasena ja avatakse esimesena koos vastavate viidetega.



Joonis 7.2 Ühe akupakiga energiasalvesti algoritm.



Joonis 7.3 Kahe jadamisi akupakiga energiasalvesti algoritm

7.3. Kontrollerile vajaliku tarkvara arendusplatvormi valik

Arendatava projekti nõuete täitmiseks, mis on osati kirjeldatud tabelis 7.1. on vaja valida sobiv arenduskeskkond. Valikust oleneb suuresti arendusvõimaluste piirangud, kiirus ja maksumus. Üldised nõuded arenduskeskkonnale on järgmised:

- Peab olema odav sealhulgas raudvara
- Lihtsasti omandatav
- Kergelt loetav
- Populaarne

7.3.1. ARDUINO IDE

ARDUINO on avatud platvorm, mida kasutatakse elektroonikaprojektide ehitamiseks. ARDUINO koosneb nii füüsilisest programmeeritava kontrolleriga trükkplaadist, mida tavaliselt kutsutakse mikrokontrolleriks, ja tarkvarast – IDE (inglise keelest *Integrated Development Environment*), mis jookseb kasutaja arvutil. Arendustarkvaras loodud programm kompileeritakse ja selle kaudu programmeeritakse mikrokontroller.

ARDUINO IDE on kirjutatud baseerudes Processing teegile, mille ametlik koduleht on <https://processing.org/>

ARDUINO tugevad küljed:

- Üks populaarsemaid arenduskeskkondi;
- Väga odav;
- Lihtne ja kiire konfiguratsioon väljundeid ja sisendeid;
- Lihtne õppida.

ARDUINO nõrgad küljed

- Koodi *debugimine* on keeruline, sest ARDUINO IDE-l pole debuggeri funktsionaalsust.
- Pole arendajapoolset garantiid.

7.3.2. SIEMENS TIA portal

TIA portal on tervik pakett automatiseerimise valdkonnas optimeerides projekteerimise protsessi. Pakett integreerib endas põhilisi tarkvara pakette nagu STEP 7, WinCC, SINAMICS Startdrive, SIMOCODE ES and SIMOTION SCOUT TIA aga ka uus funktsionaalsus multikasutaja ja energiakasutuse ohjamine ühes kasutajaliideses.

TIA portaali tugevad küljed:

- Tunnustatud tööstuslahenduste projekteerimise tarkvara.
- Väga paindlik riistvara valik
- Tootjapoolne garantiid



Joonis 7.4 ARDUINO logo



Joonis 7.5 TIA portal ikoon

TIA portaali nõrgad küljed:

- Kallis tarkvara. Instituudil on litsents olemas, mida ei või kommertseesmärkidel kasutada;
- Kallis riistvara;
- Keeruline programmeerimiskeskond;
- Sobib pigem kõrgemale juhttasemele nagu näiteks mikroõrgu (rakenduse) tase.

8. Arendusprotsessi kava

Tulenevalt Tartus tegutseva taksofirma koostöö huvist toodi Tallina Tehnikaülikooli siis veel Elektriajamite ja jõuelektronika instituudi esimese korruse laborisse 2016 aasta alguses peatükis 5. kirjeldatud Nissan Leafi akupakk. Toodud akupaki eksemplariga ei õnnestunud töökojas kestavahetus- vanema aku sisu ei mahtunud nurkadest uuema generatsiooni aku kesta. Katsealuse akupaki pilt on esitatud eelmises peatükis joonisel 5.3.

Eraettevõtte huvi arenduse vastu tekkis seos Euroopa Liidu projekti raames jagatavast toetusega. Suuresti oli projekt keskendunud taastuenergiaaladele, mis oleksid pändlikud laiendamise mõttes. Kuna ettevõttel hakkas kiirloomispunkte nappima tekkis neil idee selle projekti raames saada neid juurde. Ettevõtte korraldas hanke, kus osalesid autorile teadaolevalt AS Harju Elekter Teletehnika koostöös TTÜ- ga ja EATON GROUP BALTIC OÜ. 2016 suvel võitis hanke Eaton. Kliendi kaotus ei põhjustanud TTÜ-l elektriauto akubaasil energiasalvesti arendushuvi kadu. Aktiivsed katsed Nissan Leafi akupakiga hakkasid 2016 sügisel oktoobri alguses.

Arendusprotsessi väljundiks peaks olema peatükis 3.4 kirjeldatud TTÜ-ga koostöös AS Harju Elekter Teletehnika koostöös valminud HESA mikrovõrk tüüpi alajaama prototüüpi sobiv energiasalvesti.

8.1. Katselise energiasalvesti katsete kava

Eesmärgiks on arendada uuskasutuses Nissan Leafi akupakkide baasil mikrovõrgu energiasalvesti. Kuna etapp lõppeesmärgi ja demonteeritud akupaki vahel on küllalt keeruline on otsustatud luua kava, mis peaks aitama püsida arendusprotsessis järje peal ja jõuda lõppeesmärgini plaanitud ajal.

Tabelis 8.1 on välja toodud plaanitav katsetuste kava. Kasutaja nõuete spetsifikatsioon, mis on kirjeldatud peatükis 7.1 tabelis 7.1 ja selles tekkinud katselise salvesti funktsioneerimiseks kriitilised parameetrid selgusid plaanitava katsetuste kava tabeli perioodil 21. – 31. oktoober. Katsetuste kava koostamisel lähtuti eesmärgist jõuda kevadel sinnamaani, et kahe akupaki jadaühenduse kontseptsioon on välja töötatud ja katsetatud.

Tabel 8.1 Plaaniitav katsetuste kava

Plaanitav tulemus	Periood
Üldine info kogumine. Ette valmistumine TehnoHack 2016 ürituseks.	1. – 15. oktoober
Koguda akupakist pärinevat teavet mikrokontrollerisse, millest saata see edasi PLC-es, kus peal jookseb visuaalse kasutajaliidesega veebiserver.	21. – 23. oktoober
Dokumenteerida TehnoHack 2016 raames tehtut. Selgunud info põhjal valida edasine strateegia.	21. – 31. oktoober
Uurida ühest akupakist päritavat infot. Kaasaarvatud SOC ja energia hulk.	1. – 30. november
Lahendada staatiliste parameetrite probleem ja veenduda mikrokontrolleri töö korrektsuses.	1. – 31. detsember
Arendada juhtalgoritm ja katseline kõrgema juhttaseme simulatsioon füüsilise kasutajaliidese kujul.	1. – 31. jaanuar
Koormuskatsete ja laadimiskatsete läbiviimine. Veendumine ühe akupaki vajaliku funktsionaalsuse töökindluses.	1. – 28. veebruar
Uurida teist akupakki, mis saabub TTÜ-sse lähitulevikus.	1. – 31. märts
Ühendada kaks akupakki ja teha koormustest	1. – 30. aprill

Tabelis 8.2 on välja toodud katsete ja arendusprotsessi reaalne progress viidetega katsetest kogutud info kasutuskohtadele.

Lahknevus plaaniga tekkis 1. – 31. detsember, mil selgusid probleemid grupp 2 pärimises. Suureks tagasilöögiks oli ka dünaamiliselt mitte muutuvate parameetritega. Probleemi lahendamiseks tuli süsteemi integreerida väline vooluandur. See lisa tekitaks ettenägematuid lisaülesandeid, mis omakorda nihutasid graafikut.

Tabel 8.2 Katsetuste reaalne kava ja sisu tabeli kujul.

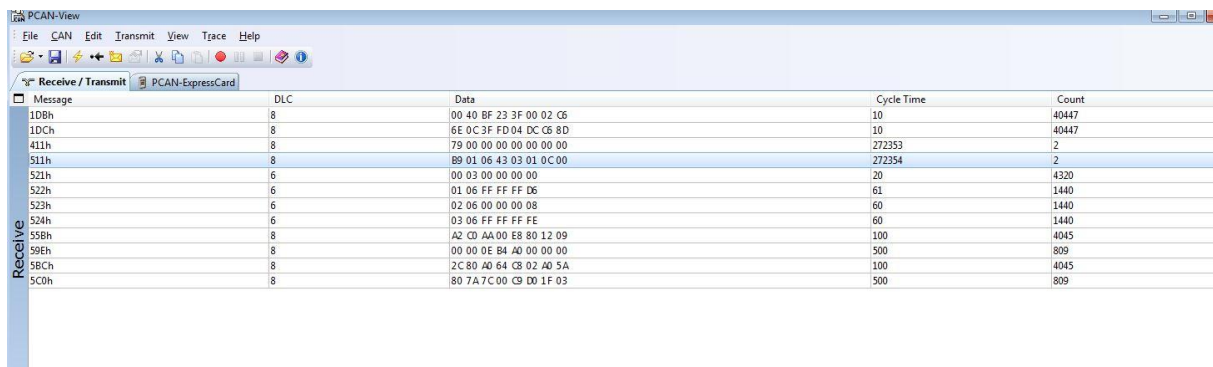
Periood	Laboratoorse töö eesmärgid ja kirjeldus
17. – 20. oktoober	Teemaga tegelemise algus. Ettevalmistused ürituseks TehnoHack 2016
21. – 23. oktoober	TehnoHack 2016. Üritust tutvustav tekst ja progress kirjeldatud peatükis 10.1.
1. – 23. november	Päritava teave leidmine. Grupp 2 pärimine, mis on kirjeldatud tabelis 5.4 teises tulbas. Peatükki 5.7.2 teave leidmine.
23. november	Vanema 2011 aasta Nissan Leafi akupaki CAN side testimine. Lühidalt tabelis 5.4 ja 5.5 leitud teave ei kehti teatud ulatuses.
30. detsember	Selgusid probleemid teise grupi pärimises, mis tekitasid häiringuid ülejäänud gruppide päringutes. Uue CAN mooduli, PiCAN2 Duo Isolated CAN-Bus Board for Raspberry Pi 2/3, liimine süsteemi.
2. – 5. jaanuar	Kliendi nõuete spetsifikatsiooni tabelis 7.1 3. nõude asendamine 3ndast grupist päritud eraldi
30. jaanuar – 14. veebruar	Puhkus
26. veebruar	Vooluanduri integreerimine süsteemi
7. märts	SOC arvutuse katsed.
9. märts	SOC arvutusloogika impelementeerimine.
23 – 25. märts	Lõpliku ühe akupakiga katsekooste monteerimine, mida võib leida jooniselt 6.5, kus kujundatud katse komponentide üldine paigutus. Lisaks alustatud šunteerimise
30 märts – 2. aprill	Šunteerimise implementeerimine. Peatükki 5.7.2 „Päritav teave“ viimase teave kogumine 6nda grupi kohta. 44

9. Kasutatud toite- ja mõõteseadmete kirjeldus

Peatükis on kirjeldatud laboratoorsetes töödes kasutatud toite ja mõõteriistad. Kui võrrelda peatükis kirjeldatud mõõtevahendeid, siis kindlasti on kõige rohkem töötatud PCAN – View tarkvaraga analüüsides programmikoodi tööd. Iga katseskeemi muudatusega kasutati multimeetrit veendumaks, et ahelad vastavad seatud eesmärkidele. Toiteplokk Magna Power TSD800 on väga võimekas tööriist ja sobilik katselise energiasalvesti arenduseks. Kahjuks vaadeldaval perioodil, mis on oktoober 2016 kuni mai 2017 ei jõutud seda kasutada akupaki laadimiseks. Küll aga tehti katsed mõõtmaks inverteerite karakteristikuid, millest on lähemalt kirjutatud peatükis 11.

9.1. CAN side analüüsimise tarkvara

Andmesidet seirati PEAK-System Technik GmbH tarkvarapaketi PCAN – View-ga. Raudvaraline liides, mis oli ühendatud katseseadmete CAN siiniga on sama ettevõtte poolt pakutav PCAN-ExpressCard. Tarkvara graafiline kasutajaliides on kujutatud joonisel 9.1. Tarkvara võimaldab siinil liikuvaid sõnumeid logida .trc laiendiga, mida on võimalik mugavalt töödelda Microsoft office Excel tarkvaradaga. Logidega töötades õnnestus veenduda katseskeemide vastuste vastavuses seatud ülesannetega.



Message	DLC	Data	Cycle Time	Count
10Bh	8	00 40 BF 23 3F 00 02 C6	10	40447
10Ch	8	6E 0C 3F FD 04 DC C6 8D	10	40447
411h	8	79 00 00 00 00 00 00 00	272353	2
511h	8	89 01 06 43 03 01 0C 00	272354	2
521h	6	00 03 00 00 00 00	20	4320
522h	6	01 06 FF FF FF D6	61	1440
523h	6	02 06 00 00 00 08	60	1440
524h	6	03 06 FF FF FF FE	60	1440
55Bh	8	A2 CD AA 00 E8 80 12 09	100	4045
59Eh	8	00 00 0E B4 A0 00 00 00	500	809
5BCh	8	2C 80 A0 64 C8 02 A0 5A	100	4045
5C0h	8	80 7A 7C 00 C9 D0 1F 03	500	809

Joonis 9.1 PCAN-View graafiline kasutajaliides

9.2. Multimeeter

Digitaalne multimeeter on asendamatu tööriist laboratoorsetes töödes, kus on vaja mõõta, indekseerida ja registreerida paljusid elektrilisi parameetreid. Töötades kõrgepingeliste seadmetega on eriti oluline teada, erinevate kontuuride elektrilisi parameetreid. Selle töö raames kasutati Tallinna Tehnika ülikooli 1 korruse Elektriaramite ja jõuelektronika instituudi laboratooriumi digitaalset Saksamaal ettevõtte PeakTech digitaalset multimeetrit 2010 DMM, mille välimust kirjeldab joonisel 9.2 olev pilt. Tabelis 9.1 on välja toodud seadme detailne spetsifikatsioon.



Joonis 9.2 PeakTech 2010 DMM välimust

Tabel 9.1 PeakTeck 2010 DMM spetsifikatsioon

Nimi	Väärtus
Displei	Nelja kohaline number , 3 ½ arvut 28 mm LCD displei
Mõõtekava valik	Käsitsi
Alalispinge	200 mV/2/20/200/1000 V; 100 µV; ± 0,5 % + 3 numbrit
Vahelduvpinge	200 mV/2/20/200/750 V; 100 µV; ± 0,8 % + 5 numbrit
Alalisvool	2/20/200 mA/ 20 A; 1 µA; ± 0,8 % + 3 numbrit
vahelduvvool	2/20/200 mA/ 20 A; 1 µA; ± 1,0 % + 5 numbrit
Takistus	200 Ω/2/20/200 kΩ/2/20/2000 MΩ; 0,1 Ω; ± 0,8 % + 3 numbrit
Mahtuvus	20/200 nF/2/20/200 µF; 10 pF; ± 2,5 % + 20 numbrit
Induktsioon	2/20 mH/2/20 H; 1 µH; ± 2,5 % + 20 numbrit
Sagedus	0 – 10 MHz; 1 Hz; ± 0,5 % + 4 numbrit
Transistori hFE test	Olemas
Diodi test	Olemas
Temperatuuri mõõtmine	- 40 ... + 1000 °C; 1 °C ± 1,0 % + 4 numbrit
Automaatne väljalülitus	Olemas
Toitepatarei tühjenemise indikaator	Olemas
Taustavalgustus	Olemas
Ohutus	CAT II 1000 V
Tööpinge	9 V
Mõõdud (LxKxS)	100 x 190 x 35 mm
Kaal	0.400 kg

9.3. Toiteplokk

Magna Power Electronics on Ameerika Ühendriikide DC toiteallikate ja koormuste tootja. Nad toodavad ja disainivad kõrge võimsusega DC tooteid laiale rakendusvahemikule - tööstusest kuni arenduseni. Tallinna Tehnika ülikoolil omab seadet, mille kõige tähtsamad parameetrid on kirjeldatud tabelis 9.2. Seda seadet saab kasutada ka arendamisel oleva energiasalvesti katsetes.

Tabel 9.2 Alalispinge toiteplokk TSD800-18/380+HS+LXI

Sisened	Nominaalpinge (3 faasi+ PE)	380 VAC
	Sagedus	50 kuni 400 Hz (töövahemik 45- 440 Hz)
	Võimsustegur	suurem kui 0,92 maksimaalkoormusel

Juhtimise spetsifikatsioon	Pinge programmeerimise täpsus	$\pm 0.075\%$ pinge täisskaalast
	Liigpinge programmeerimise täpsus	$\pm 0.075\%$ pinge täisskaalast
	Voolu programmeerimise täpsus	$\pm 0.075\%$ voolu täisskaalast
	Liigvoolu programmeerimise täpsus	$\pm 0.075\%$ voolu täisskaalast
	Pinge sisemõõtmise täpsus	$\pm 0.2\%$ of pinge täisskaalast
	Voolu sisemõõtmise täpsus	$\pm 0.2\%$ of voolu täisskaalast
	Välised analoog programmeerimise ja seiramise väärtused	0 - 10 VDC
	Välise analoog väljundi näivtakistus	väljundpinge seiramine: 100 Ω Väljundvoolu seiramine: 100 Ω +10 VDC viide: 1 Ω
	Välise digitaalse programmeerimise ja seiramise piirangud	Sisend: 0 kuni 5 VDC, 10 k Ω sisend näivtakistus Väljund: 0 kuni 5 VDC, 5 mA juhtmahtuvus (<i>drive capacity</i>)
	Välise tunnetuse piirid	3% maksimaalne pingelang väljundist koormusele
Väljundi spetsifikatsioon	Pulsatsioon	300 mVrms
	Liini regulatsioon	Pinge režiim: $\pm 0.004\%$ täisskaalast Voolu režiim: $\pm 0.02\%$ täisskaalast
	Koormuse regulatsioon	Pinge režiim: $\pm 0.01\%$ täisskaalast Voolu režiim: $\pm 0.04\%$ täisskaalast
	Koormuse transientide reaktsioon	2 ms taastumine $\pm 1\%$ reguleeritud väljundist 50% kuni 100% või 100% kuni 50% sammuline koormuse suurenemine.
	Tõhusus	$\geq 88\%$
	Stabiilsus	$\pm 0.10\%$ 8 tundi peale 30 min. soojenemist
	isolatsioon	Kasutaja sisend ja väljund: seotud maaga Maksimaalne pinge maa suhtes: ± 2500 VAC Maksimaalne väljundpinge maa suhtes: ± 1000 VDC mudelitele alla 1000 VDC
	Maksimaalne pöördenuk	Standardsetel mudelitel: 100 ms väljundpingemuutumisele 0 kuni 63%, 100 ms väljundvoolu muutumisele 0 kuni 63%. (+HS) kõrge pöördenukaga mudelitel: 4 ms väljundpingemuutumisele 0 kuni 63%, 8 ms väljundvoolu muutumisele 0 kuni 63%
	sagedusriba	Standardmudelitel: 3 Hz välisel analoog pinge programmeerimisel, 2 Hz välisel analoog voolu programmeerimisel. (+HS) kõrge pöördenukaga mudelitel: 45 Hz välisel analoog pinge programmeerimisel, 60 Hz välisel analoog voolu programmeerimisel
Kesk kond	Töötemperatuur	0°C kuni 50°C
	Hoiustamise temperatuur	-25°C kuni +85°C
	Ümbritsev temperatuur	0 kuni 50°C

	Temperatuuri koefitsient	0.04%/°C maksimaalsest välnudpingest, 0.06%/°C maksimaalsest väljundvoolust.
	Õhkjahutus	Sissetõmme küljelt, väljapuhe tagant
	Töötemperatuur	0°C kuni 50°C

10. Aredusettapide kirjeldus

Süsteemi arendusprotsess kujutab endast defineeritud ülesandeid või sammud nagu arendusstrateegia-, kontseptsiooni loomine ja uue toote turustamine. See on vahendite tsükkel, milles innovaatiline organisatsioon muundab ideed kaubanduslikult elujõulisteks toodeteks või teenusteks. Antud töös on käsitletud mikrovõrgu energiasalvesti arenduse teemat kitsamas vahemikus – arendusega, mis lõpeb funktsionaalse prototüübi valmimisega.

Eelmises peatükis on välja toodud eri etappidesse ja kronoloogiliselt jaotatud katsetuste plaan tabelis 8.1. Kuna ülesanne oli tehniliselt keeruline ja arendustöös osalenud isikud ei saanud pühenduda täielikult arendustööga, siis lõplik reaalne katsetuste kava, mis on välja toodud tabelis 8.2, hakkas detsembri lõpus graafik nihkuma. Alapeatükis 10.4 kirjeldatud vooluanduri integreerimine oli ettenägematu ajakulu algses graafikus, mille kokku 2017 aasta maiks ei jõutud katselist kahe järjestikuse uuskasutuses oleva akupaki baasil katselist energiasalvestit valmis.

Aredusetappidest ja nendes tekkinud probleemidest on kirjutatud all olevates peatükkides:

- TehnoHack 2016;
- CAN teave pakettide leidmine;
- CAN kommunikatsiooni töökindlus;
- Voolu mõõtmine;
- SOC arvutamine;
- Šunteerimise teave määramine.

10.1. TehnoHack 2016

TehnoHack on Skeemipesa MTÜ poolt organiseeritud Baltimaade suurim *hackatron* tüüpi üritus. Eesmärgiks on ühe nädalavahetusega luua ideest prototüüp ja kokku tuua tehnikahuvilised inimesed. Korraldajad aitavad peale esitlusi tekkinud meeskondi ja lõpus selgitatakse ka parimad eri valdkondades.

Tõsisemat ette valmistust alustas autor umbes poolteist nädalat enne ehk 17 oktoobril. TehnoHack toimus 21 -23 oktoobrini. Töö autor osales koos oma moodustatud meeskonnaga teemaga „Elektriauto aku taaskasutus energiasalvestis“ ja inglise keeles: „*Electric vehicle battery reuse in energy storage*“. Meeskonnas olid Martin Grosberg, Taavi Lepikov, Viktor Reinok, Elmo Pettai ja tiimi mentor oli Taavi Möller.

Ürituse raames õnnestus saada kätte aku poolt CAN siinile saadav info, mis sisaldas akupaki pinget, voolu, võimsust, SOC, GIDS, energiat (kWh). Kätte saadud andmed talletati mikrokontrolleri (ARDUINO Mega) vahemällu ja saadeti TCP/IP protokolliga Siemensi 1200 seeria PLC-sse. Programmeeritaval tööstuskontrolleril õnnestus jooksutada veebiserverit, kust kuvati akupakist saadud andmed.

TehnoHack 2016 üritusel kasutatud katseskeem on esitatud joonisel 6.1. Skeemil on esitatud akupakk (BAT1), mikrokontroller U2, CAN moodul U1, PLC A1, arvuti PC mis ühendatud läbi Ethernet jaoturi U3 ühisesse võrku. ARDUINO Mega U2, millele on paigaldatud täiendavalt Ethernet kilp kuulab BAT1 CAN siinilt tulevat teavet, salvestab selle vahemuutujatesse ja siis edastab selle PLC-sse kasutades arendustarkvara SNAP7 teegi laiendust Settiminot. Komponentide täpsema spetsifikatsiooni leiab tabelist 6.1.

Oluline on ühendada BAT1 auto juhtarvuti signaal juhtpistikuga LB1 IGN (4) süüte signaal CHG IGN (31) ja toite BAT klemm (5) klemm toitepinge allika VDC pluss poolusega ja

miinuspoolus 0V-ga GND1, GND2, GND3 (6,7,8). Süüte klemmil 4 peab olema +12 VDC, et andmevoog CAN kanalis oleks pidev. Kui jätta signaal IGN akupakiga ühendamata, siis aku saadab CAN siinile lühikest aega, alla 1 sekundi, infot ja siis peatub.

10.1.1. ARDUINO programm

ARDUINO MEGA (U2) kood on toodud töö lõputööga kaasapandud andmekandjal kaustas nimega programm ja nimega LEAF_CAN_lisener_s7_1200. Kaasapandud andmete nimekiri on lisas L.1. Osaliselt on see kirjutatud Taavi Mölleri poolt. Üritusel oli eesmärgiks saada maksimaalselt andmeid akupakist neid töödelda ja edastada PLC-esse, et testida mikroarvutil ARDUINO Mega teostatud nn *gateway* tööpõhimõtet. Idee on vaadelda mikrokontrollerit CAN mooduliga kui tervikut, mis on võimeline teostama teatud operatsioone ja edastama neid kõrgemale juhttasemele.

Programm uuendab iga sekundi tagant mikrokontroller ARDUINO Mega ühendatud LCD-l kuvatud infot ja iga kahe tagant kirjutatakse muutujatesse salvestatud CAN teave PLC-s ning pärast loetakse neid muutujaid sealt kontrolliks tagasi.

Selle meetodi puudusteks on eriti viimases tsüklis palju jadaandmevahetust (kommunikatsiooni), mis madalal andmesidekiirusel võtab palju aega.

Arendustarkvara **Snap7 Settimino** avatud lähtekoodiga teek ARDUINO / ESP8266 NodeMCU on liidestamiseks Siemens S7 PLC-dega. CPU-d 1200/1500, LOGO 0BA7 ja S7200 on toetatud.

Tarkvara Snap7 Settiminol ei ole otsest Snap7 koodi teisaldusvõimalust Arduinosse, sest kuna see on mõeldud väikestele arvutiplatadele nagu Raspberry on selle disain (Mitmeplatvormiline 32/64 bitti) liiga nõudlik 8 bitisele plaadile. See on ümberkirjutatud Snap7 micro klient optimeeritud suurusega ARDUINOLE.

Settimino põhiomadused:

- Täielik PLC mälu juurdepääs;
- PDU sõltumatus – andmed, mis saadetakse ühe sõnumiga olenevad ainult ARDUINO mälu jäägist;
- Abifunktsioonid andmete muutmiseks. *Big Endian --> Little endian*;
- Kolm mälumudelit mahu optimeerimiseks;
- Kasutab standardset ARDUINO Ethernet teeki ja võib koos töötada teiste serveri rakendustega;
- 3 ms, et lugeda PDU sisepuhvrust, 24 ms, et lugeda 1024 baiti väljast. [28]

10.1.2. Veebiserver ja S7-1200 programm

Siemens SIMATIC S7-1200 ja S7-1500 on võimeline jooksutama HTML 5 rakendust veebiserveril. See võimaldab seirata ja administreerida CPU-d. Läbi autoriseeritud liidese saavad kasutajad teha diagnostikat, hinnata ja teha modifikatsioone üle pikkade vahemaade. Monitoorimine ja hindamine on võimalik ilma STEP 7 tarkvarata. Kõike mida kasutajal on vaja on veebilehitseja. Jälgida tuleb muidugi võrguturvalisuse reegleid.

Veebiserveri käivitamiseks Siemens 1200 kontrolleris on vaja sisuliselt ainult 1 programmiplokki TIA portal keskkonnas. Selle võib leida lisas L.5 NETWORK 1st, kus on väljavõte programmist. Ülejäänud osa on üsna triviaalne ja mõeldud veebi kasutajaliidese võimaluste testimiseks.

Programm sisaldab taimerit ja väljundeid, mida saab veebist lülitada liidese testimise eesmärgil. Veebiserver kasutab tabelites 10.2 ja 10.1 andmeplokkidesse salvestatud muutujaid läbi

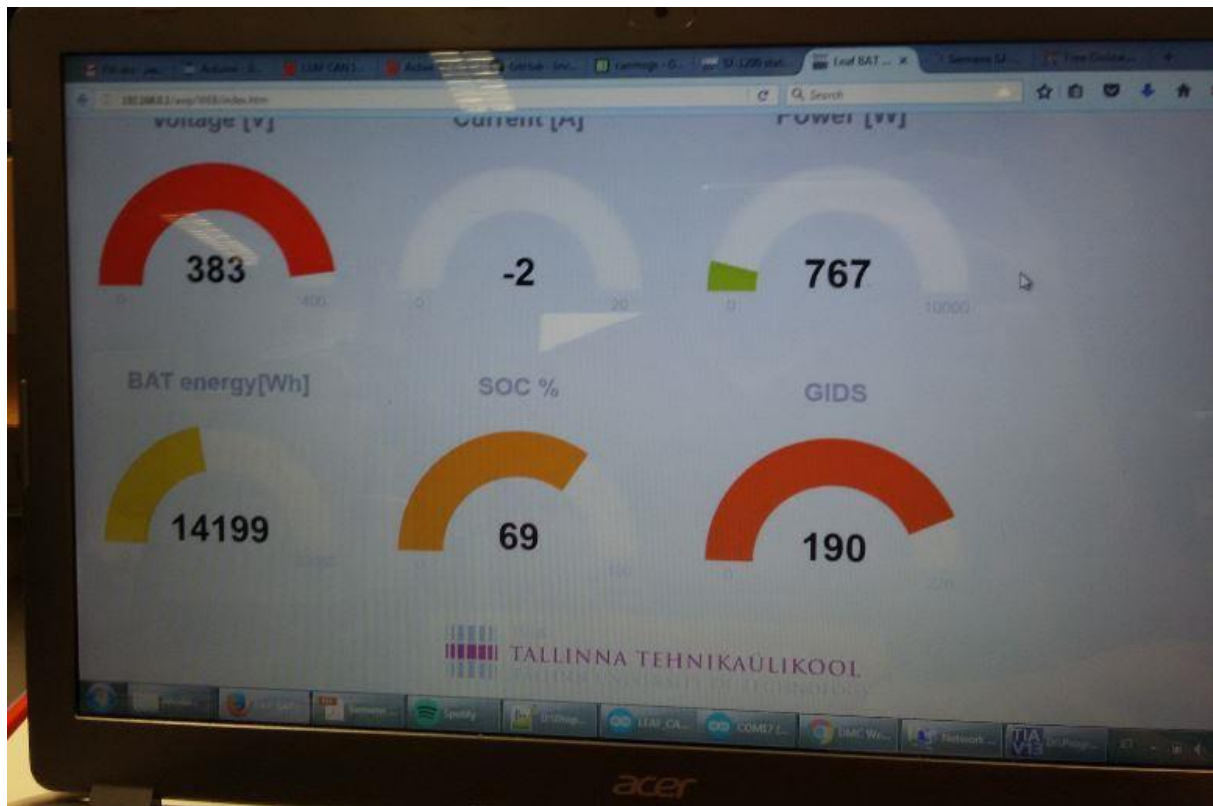
index.html, mis on välja toodud lisas L.4. Veebiserver kasutab teeki jquery-2.0.2.min, raphael.2.1.4.min ja justgage. Viimane on mõeldud spetsiifiliselt seierite kuvamiseks veebikeskkonnas. Seierite teegi tööks oligi lisatud raphael teek. Jooniselt 10.1 võib näha, milline oli veebirakenduse kujundus reaalse katse ajal. Negatiivne vool tähendab seda, et toimus energia väljavõtmine akupatareist.

Tabel 10.1 Webdata andmeplokid TIA Portalist.

Nimi	Andme tüüp	Kõrvalelle	Alguse väärtus	nähtav HMI-le	HMI-le kättesaadav
Output_0	Char	0.0	' '	TRUE	TRUE
Output_1	Char	1.0	' '	TRUE	TRUE
Input_0	Bool	2.0	FALSE	TRUE	TRUE
Input_1	Bool	3.0	FALSE	TRUE	TRUE
bit	Bool	4.0	FALSE	TRUE	TRUE

Tabel 10.2 Leafdata andmeplokid TIA Portalist

Nimi	Andme tüüp	Kõrvalelle	Alguse väärtus	nähtav HMI-le	HMI-le kättesaadav
packVolts	Real	0.0	380.0	TRUE	TRUE
packAmps	Real	4.0	2.2	TRUE	TRUE
SOC	Real	8.0	4.0	TRUE	TRUE
GIDS	Real	12.0	222.0	TRUE	TRUE
Watt	Real	16.0	5.0	TRUE	TRUE
WattHour	Real	20.0	3.0	TRUE	TRUE



Joonis 10.1 Kasutaja arvuti kuvari pilt veebirakenduse tööst reaalse katse ajal.

10.1.3. TehnoHack 2016 kokkuvõte

Perioodil 12. – 23. oktoober oli eesmärgiks alustada tööd katseskeemiga joonisel 6.1. Sooviks oli saada eraldiseisvast Nissan Leafi akupakist maksimaalselt infot, seda töödelda ja edastada see kõrgemale juhttasemele – PLC-le. Tulemuste paremaks visualiseerimiseks oli otsustatud luua HTML rakendus, mida pärast Siemensi S7-1200 PLC-l jooksutada.

Vaadeldavas ajavahemikus õnnestus akupaki andmevoost kätte saada järgmised andmed, mis on esitatud tabelis 10.3. Täpsemalt uuritava akupaki CAN sidest on kirjutatud peatükis 5.7.

Tabel 10.3 Vaadeldaval perioodil saadud andmete tabel.

Parameeter	Address	Täpsus	Kirjeldus
Pinge	CAN ID 0x1DB 2 ja 3 bitt	$\pm 0,5$ V	Täpsus piisav, muutub
Vool	CAN ID 0x1DB 0 ja 1 bitt	$\pm 0,5$ A	Muutub stohhastiliselt $\pm 0,5$ A ulatuses. Andur kalibreeritakse akupaki toitepinge tekkimisel.
SOC	CAN ID 0x55B 0 ja 1 bitt	0,1 %	Jääb staatiliseks kuni IGN ja CHG IGN pole mõneks ajaks pinge maha võetud. Muutub taaspingemisel.
GIDS	CAN ID 0x5BC 0 ja 1 bitt	1 ühik	Jääb staatiliseks kuni IGN ja CHG IGN ahelas pole mõneks ajaks pinge maha võetud. Muutub taas pingestamisel.

Voolu ja pinge mõõdetud väärtusest arvutati akupaki arendatav hetkvõimsus ja GIDS korrutis konstantiga 74,73 andis meile tulemuse kWh.

GIDS on My Nissan Leaf foorumis kasutaja garygid poolt leitud muutuja, mille sisu väärtus liigub auto CAN siinil. Selle muutuja väärtus on 10 bitiline ja kõigub 0-281 vahel. Selle korrutis konstantiga ~80 annab meile tulemuse kWh.

Akupaki energiaga laetuse suhteline tase lühendiga SOC ja GIDS väärtuste muutumist testiti katseliselt koormates akut reostaadiga. Katsetest selgus, et kuigi CAN siinile jõuab pidevalt muutuv teave akupaki pingest ja koormusvoolust ei muutu kahjuks laetuse taseme väärtus ja GIDS väärtused kuni akupakilt ei ole toitepinge maha võetud ja siis jälle taastatud. Katsetes tehti seda toiteploki PS1 stepslit välja tõmmates. Elektriliseks koormamiseks vajalikud ühendused tehti akupaki sees enne selles olevaid kontakteid. See on võimalik ainult sellel juhul kui akupaki kaas on demonteeritud. Arvestatud oli võimalusega ühendada akut turvapistikust, mis oli enne kontakteid (ja lahti ühendada) Lisaks oli turvapistiku ahelas olemas sulavkaitse lühise vastu. Kontakteid saab lülitada ka akupaki juhtpisiku LB1 klemmidest 13, 14 ja 16, 17.

Lisaks selgus katses, et kui akupakilt võtta maha toitepinge samal ajal seda koormates kalibreerib BMS vooluanduri uuesti 12 VDC pingetaseme tagastumisel. Kalibreerimise järel võetakse koormusvoolu nulliks see tegelik koormusvool, mis oli toitepinge tagastumise hetkel.

Selgusid uued probleemid, mis ei võimalda akupakki otse ühendada energiasalvestisse. Kaitsefunktsioonide realiseerimiseks oleks voolu täpsus piisav, kuid energiavoogude mõõtmiseks akupakis on voolu väärtuse stohhastiline kõikumine poole ampri ulatuses sobimatu. Lisaks oli tagasilööki arendajate soovides rohkem infot saada (ajas mitte muutuv SOC ja GIDS).

Üritusele esitatud energiasalvesti idee ei võitnud üheski valdkonnas (kategorias). Heaks tulemuseks võib pidada Tehnohack-ile esitatud idee realiseerimisest saadud tulemustega lõpuettekandele jõudmist ning edasisse arendustööse võtmist.

10.2. CAN teave pakettide leidmine

TehnoHack 2016 raames leitud andmed on esitatud tabelis 10.3. Tabelis 7.1 olev kasutaja nõuete spetsifikatsiooni järgi on vaja leida nõude numbri 3 järgi akupaki elementide vähimat sa suurimat pinget, lisaks uurida, kas pärides on võimalik leida muutvaid SOC-i ja energiahulga väärtusi. Nõude 11 järgi oleks vaja uurida kuidas ja kas töötab akupaki elementide pinge balansseerimise süsteem.

Nissan Leafi akupaki andmete väljastamine toimub CAN pakettidega, mida võib pidada autotööstuses standardiks. Kahjuks triviaalsetel põhjustel tootja, Nissan, ei spetsifitseerinud CAN pakettide auto andmetasandi võrgustikult. Et saada meile vajalik info on võimalik auto CAN siini manipuleerida, et juhtida või seirata autos toimuvaid funktsioone. Selle jaoks on vaja pöörd-projekteerida CAN paketid. Selleks on paar populaarset meetodit, et märgata spetsiifilisi komponente. [29]

Nissan Leafi akupaki CAN kommunikatsiooniga seotud teavet on kirjeldatud peatükis 5.7. Enam – jaolt on peatükis talletatud info saadud internetihallikaid otsides nagu My Nissan Leaf foorum. Kuid on uuritud ka kirjandust ja proovitud leida süsteemi äratuntavate mustrite järgi, mis on kirjeldatud allpool alapeatükis. Selle meetodikaga on leitud nõudele 10 vastavad akupaki temperatuuriandurite asukohad.

10.2.1. CAN fuzzing

Metoodika põhineb sõiduki täituritelt tagasiside saamisel CAN siinile suvaliste või osati sõnumite interaktiivsel saatmisel. Tuginedes sellele, et CAN ID on piiratud on sellel metoodikal mõtet. Nõrkuseks on teadmata täiturite rakendumine, mis võib põhjustada ohtu. Lisaks kasutatakse metoodikat populaarsemalt süsteemi töökindluse testimisel oodates süsteemi avariid, mida saab hiljem analüüsida *debugger* tüüpi tarkvaraga ja mälu analüsaatoritega. Selline tegutsemine muudab tõenäoliselt sõiduki garantii lepingu kehtetuks. [29]

10.2.2. Visuaalne süsteemide korrelatsioon äratuntavate mustrite järgi

Enamus andureid ja täitureid on ühendatud sõiduki CAN siiniga ja saadavad ütksteisele sõnumeid seega võib jälgida pakettide muutumist andurite füüsilisel mõjutamisel. Näiteks aku koormamisel peaks suurenema vool seega peab mingi konkreetne CAN pakett muutuma oma väärtust, mis oli enim staatiline. See on võrdlemisi ohutu meetod, kuna andureid võib isoleerida ja füüsilise mõjutuse piirid saavad olla ette aimatavad seega vajalike suuruste nominaalid ja nende muutumise vahemikud on teada. Seda meetodit kasutatakse selles töös. [29]

10.3. CAN kommunikatsiooni töökindlus

Arendatava süsteemi puhul on oluline töökindlus. Li-ioon akudega süsteemid võivad kiire tühjaklaadimise, mis võib olla lühis, süttida põlema tekkinud vesinikgaasi ja kõrge temperatuuri tõttu. Selleks tuleb veenduda kogu süsteemi andmeside, mis vastutab kaitse- ja teise olulise juhtfunktsioonide eest töötab laitmatult.

Töös kasutatud CAN side analüüsimise tarkvarast on kirjutatud lähemalt punktis 9.1. PCAN – VIEW tarkvaraga on põhi tööriist CAN kommunikatsioonil baseeruva süsteemi arendamisel.

10.3.1. Probleemid 2 grupi andmete päringuga

Aredusperioodil 1. – 31. detsember, mil tegeleti CAN side töökindluse katsetega selgus, et teiste grupi päringud ei õnnestu süsteemis lõpuni pärida. Ühel või teisel juhul, millel ei leitud süstemaatilist seost katkestas akupakk vastamise. Selle probleemiga tegeleti kuni jaanuari lõpuni paralleelselt juhtalgoritmide arendamisega.

Lisas L.1, kus on kirjeldatud tööga kaasa pandud andmed on „trace 2 grupp error“ nimeline Excel fail. Millest võib leida, et initsialiseerivale päringule „079B 8 02 21 02 FF FF FF FF FF“, millele järgnevad sõnumi järelpärimise sõnumid „079B 8 30 01 00 FF FF FF FF FF“ saadab aku BMS vahel vähem sõnumeid kui peaks.

Probleemi uurimise käigus selgus põhimõtteline viga, mis seisnes perioodilise *interruptiga* (tsüklikatkestus funktsioon) andmete kuvamiseks testsüsteemi. Põhjus oli programmi struktuurses põhimõttes. Interrupt käivitus järelpäringute vahel. Viga kõrvaldati testsüsteemi kuvamise tingimuse muutmisel. Testtarkvaras toimus vaheandmete kuvamine perioodiliselt ja ainult siis kui vahetus grupp. See välistas grupisiseste päringute katkestusi, mis võisid tuua väärandmete jäädvustamist mällu.

Joonisel 10.2 on kujutatud CAN side jälg (inglise keeles *trace*). Real 624 on saadetud initsialiseeriv käsk, mis peaks olema välja kutsusutud peale kolmandat gruppi lõppu. Paraku akupakki BMS, mis ohjab CAN sidet jätkab tõenäoliselt eelnevalt 2-se grupi vastuste saatmist.

Programm, millega on viidud läbi andmesidekatsed on lisas L.1 nimega „clean_LEAF_CAN_listener_v0.2“.

Antud katsetuste jaoks teostati 2 ja kolmanda grupi pärimist ja töödeldi CAN siinile akupakist BMS-ist tulevaid sõnumeid. Programmist üldiselt on kirjutatud punktis 7.2.1.

Kokkuvõtteks vältimaks riski valeandmeid saada saadi tabelis 7.1 kujutatud kasutaja nõuete spetsifikatsiooni nõudes 3 süsteemis vaja minevaid elementide maksimum ja miinini pingeid grupist 3, kus polnud vaja saata 28 järjestikust järelpärimise sõnumit. Grupp 3 päringud toimusid alati korrektselt ja näitasid vajaminevat infot. Pealegi nõudes vajaliku info kogumine toimub kiiremine seega kogu tsükkel on kiirem. Kahjuks ei ole võimalik ilma lisa uurimistööta teada kõiki elementide pingeid. Grupist 2 päritud andmeid võib kasutada kõrgematel juhttasemetel ainult seiramise eesmärgil.

616)	2055.4 Rx	079B 8 30 01 00 FF FF FF FF FF
617)	2056.3 Rx	07BB 8 23 0F B9 0F 99 0F 97 0F
618)	2064.5 Rx	01DB 8 00 44 BF 23 0F 00 00 82
619)	2064.7 Rx	01DC 8 6E 08 4F FD 0C CC E0 16
620)	2074.9 Rx	01DB 8 00 44 BF 23 0F 00 01 07
621)	2075.1 Rx	01DC 8 6E 08 4F FD 01 14 C9 70
622)	2075.3 Rx	055B 8 A7 80 AA 00 E3 80 12 71
623)	2075.6 Rx	05BC 8 0A C0 28 64 C8 02 40 28
624)	2077.1 Rx	079B 8 02 21 02 FF FF FF FF FF
625)	2084.5 Rx	01DB 8 00 64 BF 23 0F 00 02 5C
626)	2084.7 Rx	01DC 8 6E 08 4F FD 04 DC C6 4E
627)	2094.5 Rx	01DB 8 00 64 BF 23 0F 00 03 D9
628)	2094.7 Rx	01DC 8 6E 08 4F FD 08 C0 CF 61
629)	2098.4 Rx	079B 8 30 01 00 FF FF FF FF FF
630)	2104.5 Rx	01DB 8 00 64 BF 23 0F 00 00 D3
631)	2104.7 Rx	01DC 8 6E 08 4F FD 0C CC E0 16
632)	2108.3 Rx	07BB 8 24 8C 0F C1 0F B0 0F A7
633)	2114.5 Rx	01DB 8 00 64 BF 23 0F 00 01 56
634)	2114.7 Rx	01DC 8 6E 08 4F FD 01 14 C9 70
635)	2119.9 Rx	079B 8 30 01 00 FF FF FF FF FF
636)	2124.5 Rx	01DB 8 00 64 BF 23 0F 00 02 5C
637)	2124.7 Rx	01DC 8 6E 08 4F FD 04 DC C6 4E
638)	2128.3 Rx	07BB 8 25 0E 93 0F BE 0F 95 0F

Joonis 10.2 CAN side jälg

10.3.2. 2011 aasta mudeli aku CAN jälg

Arendatava rakenduse jaoks on vaja kaks akupakki. Novembri keskepaigus saabus Tallinna Tehnika Ülikooli Eesti ametlikust Nissan Leaf mudelite hooldusettevõttest, Fakto Auto AS, teine akupakk. Tegemist oli esimese mudeliga aastast 2011. Selle töö raames tehti akupakiga ainult CAN side katsetus. Akupaki sisu ei uuritud, sest polnud luba akupakki demonteerida. Populaarne info on see, et akupakil ei ole aeglase laadimise otsikut. Lisaks 2011 aasta akupaki mudeli kaaned ääred olid keevitatud.

Nissan Leaf 2011 mudeli akupaki andmeside erines 2013 omast. Lisas L.1 on nimega „trace 1 - 4 group 2011 leaf battery“ 2011 ja „trace 1 - 4 group 2013 leaf battery“ on 2013 aasta Nissan Leaf mudeli akupaki CAN side jälg. Analüüsid on mõlemas päringus vigu eriti gurgis 2, mida päriti sellel perioodil valesti. Sellest olememata on CAN side mõneti erinev ja sellega tuleks teha täiendavat tööd integreerimiseks.

Katse tulemustest võis järeldada, et CAN side jälg on erinev kuid võrdlemisi sarnane ja lisatööga võib erinevused leida ja viia korrektsioonid tuleviku programmi. 23.11. 2016 otsustati tegeleda edasi katsealuse 2013 aasta Nissan Leaf akupakiga, mis oli sellel ajal eesmärk.

10.4. Voolu mõõtmine

Perioodil 1- 31 detsember oli plaanis tegeleda TehnoHack 2016 ürituse raames läbi viidud katsetest selgunud faktiga, et SOC ja energiahulk akus ei muutu kuni akupaki toite mahavõtmiseni. Lisaks see, et CAN siinile ilmus voolu väärtus on madala täpsusega- miinimum $\pm 0,5$ A. Sellist kõikumist võib võrdsustada ligikaudselt 200 Wh energia kadumisega. Mis teeb arvestades akupaki nimimahtuvust 24 kWh on 8,3 % viga mis mõjutab negatiivselt peatükis 10.5 kirjeldatud kulonite lugemise meetodikat. Selliste tulemustega ei ole võimalik akupakki toite maha võtmata teada usaldusväärset energiakogust ega SOC-i. Akupaki toiteklemmide regulaarne mahavõtmine on mittesoovitav praktika, sest see võib tekitada akuhaldussüsteemis ehk BMS-is häireid.

Lähtudes katsetest saadud tulemustest saab edasi minna kahel erineval viisil:

1. Akupaki lahti võtmine ja elementide kasutamine mõne muu akuhaldussüsteemiga või,
2. Mõõtes akupaki tegelikku voolu ja pinget eraldi anduriga ja arvutades (ligikaudset) SOC-i väärtust mikrokontrolleris.

Majanduslikult on viimane variant tõhusam, sest probleemi lahendamiseks ei ole vaja akupakki demonteerida. Lisaks akupaki sisemine haldussüsteem balansseerib jätkuvalt elementides olevat energiataset ja 12 V toitepinge lähtestamisel arvutab usaldusväärse SOC väärtuse (Nissan firma oma meetodika kohaselt). See tähendab, et perioodiliselt on võimalik leida täpne SOC, mida võtta kulonite lugemisel nullpunktiks. Piisava täpsusega voolu ja pinge parameetrite väärtuste teadmiselega võib hinnata aku tegelikku laetuse taset adekvaatselt lahendades katsetest selgunud probleemi.

Katsetes selgus, et olemasolev halli andur ei sobi sellese rakendusse ebapiisava täpsuse pärast. Selle põhjuseks võib pidada pikka, ligikaudu 4 meetrit, kaablit ja mõõtepiirkonnast tulenevalt signaali väikest tugevust. Lisaks nõudis andur regulaarselt kalibreerimist ja mõõtis voolu ainult ühesuunaliselt. Viimane probleem tulenes mikrokontrolleri liidese puudumisest mõõta negatiivset pinget. Energiasalvesti edasisel kasutamisel ei ole andurite sagedane kalibreerimine tehniliselt võimalik ja majanduslikult mõttekas. Probleemi lahendamiseks otsustati kasutusele

võtta täiesti uus akupaki väline koormusvoolu, akupaki pinge, akupakis oleva energia hindamiseks (mõõtmiseks) vajalik täppis andur.

Täiendavate uuringute tulemusena leiti mitmete valikute seast tulevase energiasalvesti nõudmistele vastav mõõteseade. Tegemist on alles tootmise juurutatava spetsiaalse energiasalvestitele mõeldud kompleksanduriga, millega saab teha piisavalt kiireid ja täpseid mõõtmisi. Valitud anduri parameetrid on kirjeldatud all olevas peatükis 6.4.2.

10.4.1. Isabellenhuette IVT-S CAN kommunikatsiooni seadistamise lühiülevaade

Vaatleme, mis on tehase poolt seadistatud ja mida on vaja muuta, et andur sobiks meie süsteemi.

Vaikimisi seaded ja anduri ID pärimine.

Tabel 10.4 Vaikimisi seaded tehase poolt

Signaal	Režiim	Aeg ms
Vool	tsükliline	20
U1	tsükliline	60
U2	tsükliline	60
U3	tsükliline	60
T	Ei ole aktiivne	100
W	Ei ole aktiivne	30
As	Ei ole aktiivne	30
Wh	Ei ole aktiivne	30

Vaikimisi seadeid on võimalik taastada tabelis 10.5 oleva käsuga. Peale käsu saatmist peaks andur peaks vastama CAN ID ja oma seeria numbrile.

Tabel 10.5 Anduri vaikimisi seadete taastamise CAN käksõnumid ja vastused.

Seade	Kirjeldus	CAN-ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Saatja	STOP käsk	0x411	08	34	00	01	00	00	00	00	00
Andur	STOP vastus	0x511	08	B4	00	01	00	00	00	00	00
Saatja	Taasta vaikimisi seaded käsk	0x411	08	3D	00	00	00	00	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	BF	XX	XX	YY	YY	YY	YY	00

Kus XX on CAN ID ja YY seadme seerianumber. Andutud juhul oleks CAN ID 04 41. Viimane rida saadetakse CAN liinile kui andur pingestatakse või taas käivitatakse.

Kontrolliks, saame pärida seadme ID nagu kirjeldatud tabelis 10.6.

Tabel 10.6 Anduri ID ja muu info pärimise CAN käksõnumid ja vastused.

Seade	Kirjeldus	CAN-ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Saatja	STOP käsk	0x411	08	34	00	01	00	00	00	00	00
Andur	STOP vastus	0x511	08	B4	00	01	00	00	00	00	00
Saatja	Saada seadme – ID	0x411	08	79	00	00	00	00	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	B9	01	12	C3	07	01	0C	00

Saame vastuseks esimesest baidist seadme tüüpi 1. Seadme nominaalne vool pannakse kokku kahest järgnevast baidist, kus esimese baidi väärtus omistatakse voolu muutujale, siis korrutatakse see 16-nega ja pärast seda liidetakse kolmanda baidi 16 jagatise väärtus. Neljas bait

iseloomustab raudvaraliste signaalide ühendust. Antud juhul on olemas kõik signaalid-raudvaraline päästik, OCS, isolatsioon. Viimase andmeid kandva baidi väärtus on 0C, mis tähendab anduri toitepinget 12 V.

Konfiguratsioon etapp.

Meie rakenduses on kõige kõrgema prioriteediga turvalisus. Selleks seame paralleelselt vooluga konfigureeritud OCS signaali, mis on konfigureeritud rakenduma kui voolu väärtus ületab - 10 ja +10 A. Konfigureerimiskäsu kirjeldus negatiivsele voolusuunale on tabelis 10.7 ja positiivsele 10.8.

Tasub tähele panna, et peatasime anduri (STOP), et järgnevaid parameetreid oleks võimalik seadistada

Tabel 10.7 Anduri voolu tarkvaralise positiivse voolupiirangu päästiku ja tsüklilise sõnumi saatmise CAN käksõnumid ja vastused.

Seade	Kirjeldus	CAN-ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Saatja	STOP käsk	0x411	08	34	00	01	00	00	00	00	00
Andur	STOP vastus	0x511	08	B4	00	01	00	00	00	00	00
Saatja	Sea piirväärtus positiivsele voolule	0x411	08	35	00	0A	00	0B	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	B5	00	0A	00	0B	00	00	00

Tabel 10.8 Anduri voolu tarkvaralise negatiivse voolupiirangu päästiku ja tsüklilise sõnumi saatmise CAN käksõnumid ja vastused.

Seade	Kirjeldus	CAN-ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Saatja	Sea piirväärtus negatiivsele voolule	0x411	08	36	00	0A	00	20	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	B6	00	0A	00	20	00	00	00
Saatja	Seame voolu edastust 20 ms 10 ms peale	0x411	08	20	02	0A	00	10	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	A0	00	0A	00	10	00	00	00

Järgnevalt on vaja välja lülitada pinge 2 ja pinge 3 mõõtmine vt. tabel 10.9.

Tabel 10.9 Anduri pinge 2 ja 3 tsüklilise sõnumi saatmise lõpetamise CAN käksõnumid ja vastused.

Seade	Kirjeldus	CAN-ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Saatja	Lülita välja Pinge 2 mõõtmine	0x411	08	22	00	00	00	00	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	A2	00	00	00	00	00	00	00
Saatja	Lülita välja Pinge 3 mõõtmine	0x411	08	23	00	00	00	00	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	A3	00	00	00	00	00	00	00

Lülitame sisse As ja Wh tsüklilise mõõtmise. Konfigureerimiskäsu As ja Wh mõõtmise sisse lülitamiseks parameetrite vastavalt 100 ms ja 100 ms seadmiseks on välja toodud tabelis 10.10.

Tabel 10.10 Anduri tsüklilise AS, Wh sõnumi saatmise CAN käksõnumid ja vastused.

Seade	Kirjeldus	CAN-ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Saatja	Lülita As mõõtmise 100 ms tagant	0x411	08	26	02	00	64	00	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	A6	02	00	64	00	00	00	00
Saatja	Lülita Wh mõõtmise 100 ms tagant	0x411	08	27	02	00	64	00	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	A7	02	00	64	00	00	00	00

Praegu vältides logimisfunktsioonide kasutamist piirdume on – line infoga. Kasutame käsku STORE, et salvestada säilmälusse tehtud seaded. Store käsku vastusega võib leida tabelist 10.11.

Tabel 10.11 Anduri konfiguratsiooni säilmälusse salvestamise CAN käksõnum ja vastused.

Seade	Kirjeldus	CAN-ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Saatja	STORE käsk	0x411	08	32	00	00	00	00	00	00	00
Andur	Vastus	0x511	08	B2	XX	XX	XX	XX	XX	00	00

XX on anduri seerianumber.

Kuna enne parameetrite konfigureerimist peatasime anduri mõõtmisfunktsiooni, siis nüüd kui meile vajalikud parameetrid on vastavalt konfigureeritud käivitame anduri mõõtmise. Kutsume välja START. Vaata tabelit 10.12.

Tabel 10.12 Anduri mõõtmise käivitamiseks START CAN käksõnum ja vastused.

Seade	Kirjeldus	CAN-ID	DLC	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
Saatja	START käsk	0x411	08	34	01	01	00	00	00	00	00
Andur	START vastus	0x511	08	B4	01	01	00	00	00	00	00

10.5. SOC arvutamine

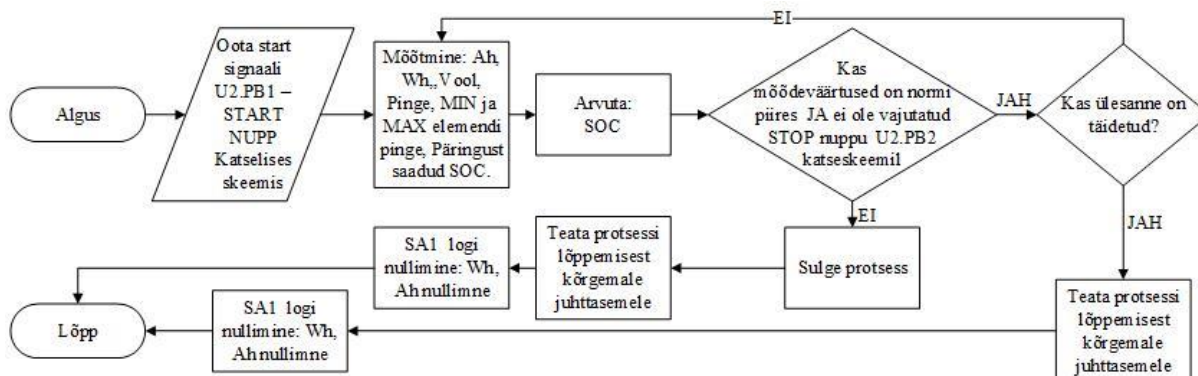
Akupatareis alles oleva energia suhtelise väärtuse teadmine võrreldes täis akupaki energiaga annab kasutajale teavet selle kohta kui kaua akupatarei on võimeline töötama teatud koormuse juures enne kui seda on vaja laadida. See suhteline suurus annab ülevaate (saadaolevast) energiast akus. Täpse energiakoguse teada saamiseks on vaja eelnevalt teada akupatarei nimimahtuvust E_n mida mõõdetakse kWh. Elektriauto aku laetuse taset võib võrrelda tavasõiduauto kütusepaagi näidikuga. See on oluline, et teada kuidas kasutada akuga rakendust.

Kõige populaarsemad meetodid on järgmised:

- Pinge mõõtmine;
- Voolu integreerimine;
- Kombineeritud lähenemine;

Nendest kolmest on kombineeritud metoodika parim akupaki energiataseme leidmiseks. Suurema täpsuse saamiseks kasutatakse keerulisi neuron-algoritme, mis arvestavad paljude parameetritega.

Pinge mõõtmist selle töö raames ei vaadelda, sest selle kõvera leidmine nõuab aku laadimis- ja tühjenemistsükli läbiviimist samal ajal salvestades täpseid pinge lugemid. Tuleb arvestada ka koormusega, sest avatud ahela pinge- on erinev koormatud väärtusest. Kombineeritud SOC arvutuse meetodikaid võib vaadelda tulevikus. Kui on teada alguseks ligikaudne pinge ja SOC väärtuse tabel.



Joonis 10.3 SOC leidmise algoritm.

SOC arvutuse algoritm on kujutatud joonisel 10.3 vooskeemina. Algoritm peab töötama koos akupaki üldiste juhtalgoritmiga, mis on kujutatud vooskeemidega joonistel 7.2 ja 7.3. Osa protsesse nagu jõukomponentide juhtimine ei ole selles vooskeemis kajastatud. Katseskeem 4 on toodud joonisel 6.4 ja komponentide spetsifikatsioon tabelis 6.1. Selles plokkis algoritmi rakendub käivitussignaaliga, mis on katseskeemil 4 tähistatud U2.PB1. Käivituse puhul toimub, kas akupaki laadimine või koormamine. Protsess seisneb mõõtmis, kontroll ja arvutustest. Protsess katkeb kas seatud ülesande täitumisel või peatamise nupu U2.PB2 rakendamisel. Mõlemal juhul Ah ja Wh salvestatud väärtused nullitakse.

Katseskeemiga 4, mis on toodud joonisel 6.4 on läbi viidud reaalsed SOC leidmise katsed, mille tulemusi võib leida tabelis 10.13. Katse kestvus on teadmata ja peale tabelis välja toodud parameetrite ei registreeritud. Katsete põhimõtte seisnes algse SOC fikseerimisega, mis päriti abupaki BAT1 BMS-ist ja peale, mida suleti anoodi ja katodi kontaktorid. Vooluandur SA1 registreeris As, mis arvutati ümber Ah ja Wh. „SOC peale katse lõppu“ leiti peale koormamise lõpetamist CAN päringuga.

Tabelis 10.13 on välja toodud arvutatud SOC väärtused erinesid akupaki BMS-i genereeritud väärtusest umbes 1,5 %. Arvestades, seda, et akupakki BAT1 koormati võrdlemisi vähe, siis on see suur viga. Võib oletada, et suurema energiahulga välja võtmisega läheb täpsus paremaks ehk suure vea põhjus võis seisneda liiga väheses koormamises.

Tabel 10.13

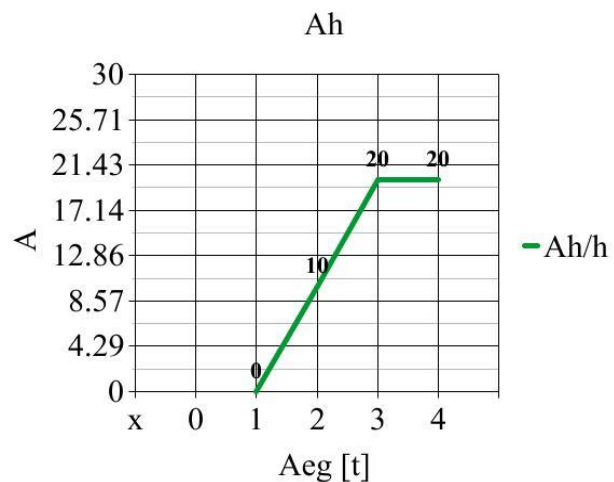
En – Akus olev energia (tehase avaldatud nimiväärtus)	24000	Wh
Qn – Akus olev laeng (tehase avaldatud nimiväärtus)	65	Ah
SOC enne katse algust	62,38	%
Mõõdetud As	1771	As
Teisendatud Ah	0,491944444	Ah
Mõõdetud Wh	180	Wh
Akus olev laengu ja enne katse algust SOC skalaarväärtus	40,547	Ah
Akus olev energia ja enne katse algust SOC skalaarväärtus	14971,2	Wh
Arvutatud SOC läbi akus oleva energia baasil	61,62316	Vahe
		1,49316239
		%

Arvutatud SOC akus oleva energia baasil	61,63	1,5	%
SOC peale katse lõppu	60,13		%

10.5.1. Voolu väärtuse integreerimine ehk kulonite lugemine

Akust siseneva või väljuva voolu integreerimine annab suhtelise väärtuse selle laengust. Täpselt nii nagu seisneva ja väljuva valuuta lugemine pangas annab suhtelise konto väärtuse. Operatiivne sõna siin on „suhteline“: nagu kõik määratud integraalid, „Kulonite lugemine“ vajab võrdluspunkti. Kui algne laetuse tase on teada, siis Kulonite lugemise meetodit võib kasutada, et arvutada aku laetuse taset.

Näiteks kui 10 A voolu akusse kahe tunni jooksul lisab 20 Ah laengut. Kui aku nimimahtuvus on 60 Ah annab see SOC-i võrdeliselt $20 / 60 = 33\%$. See on kolmandiku võrra rohkem algusest (– enne laengu lisamist oli laeng akus 0%). Ilma laetuse taset teadmata ei oleks teada lõpliku SOC-i. Joonisel 10.4 on kujutatud energia nivoo tõusu 20 Ah võrra. Aku laengu elektrilist laetust ei saa siiski determineerida, sest graafikul on võetud laadimise alguspunkt nulltasemest kuigi tegelik laetuse tase võis olla ükskõik, kus 0 ja 40-ne vahel.



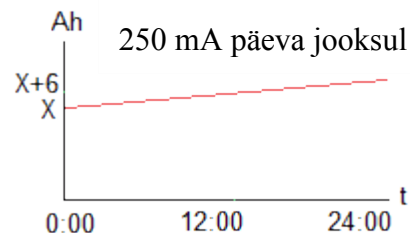
Joonis 10.4 Elektrilise laengu kaudne arvestus.

Olenevalt aku keemilisest koostisest võib kulonite lugemine olla väga täpne tehnika. Meetodika ei tööta pliiakude puhul, sest:

- Tähendatav lekkevool pliiakudes ei läbi aku vooluandurit ja seetõttu ei ole lekkevool arvesse võetud;
- Mitte kõik laengud pliiakus ei ole muundatud kasulikuks tööks: osa muutub soojususeks - efekt, mida kirjeldab Peukerti eksponent.

Kulonite lugemine töötab hästi liitium – ioon akude puhul, kuna lekkevool on väike ja Peukerti eksponent on hea.

Üks piirav tunnusjoon selle meetodi puhul on voolu mõõtmise kõrvalekalle. Voolu väärtuste integreerimisel iga viga summeerub ja põhjustab kõrvalekalde aku elektrilise laengu arvutamisel. Salvestatud väärtuse kõrvalekalle tegelikust, *drift* inglise keeles, võib saada märgatavaks rakendustes, kus kasutatakse pikkade perioodide vältel väikeseid tühjenemis ja laadimisvoolu. Näiteks on joonisel 8.4 esitatud laengu väärtuse kõrvalekaldumine pikema aja jooksul kui koormusvool on 250 mA.



Joonis 10.5 250 mA kõrvalekalle päeva jooksul

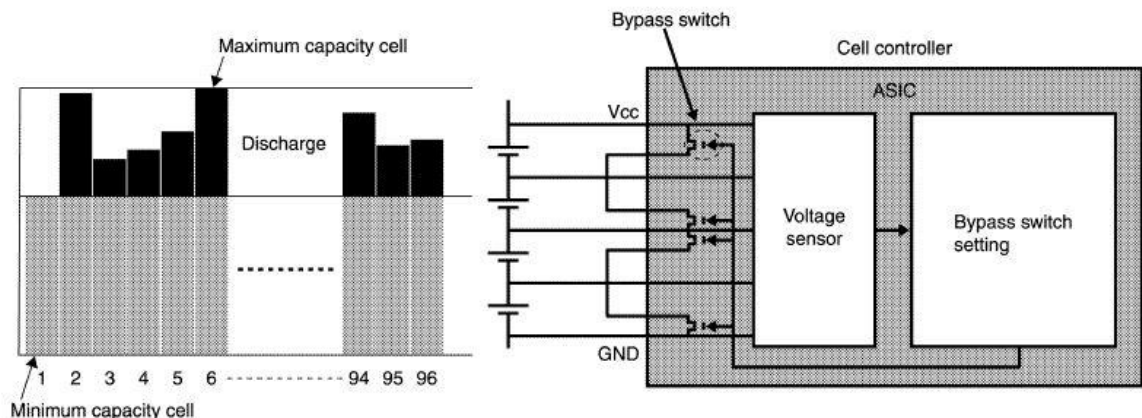
- Ooterežiimis akud.

- Isegi kui aku on tegelikult täis võib väike kõrvalekalle vooluanduris põhjustada SOC kõrvalekalde ja viia selle aku salvestatud väärtuse (näidu) kuni nullini.
- Hübridautoakud
 - Ooterežiimis akud.
 - Auto kasutab energiat akust siis kui tarvis. Hoides elektrilise energia nivood üle poole.
 - Pika aja jooksul anduri kõrvalekalde tõttu kõigub SOC üles ja alla kuniks jõuab miinimumi või maksimumini.

Kokkuvõtteks võib kulonite lugemist kasutada, et arvesta SOC-i liitium-ion akus, kui on vahetevahel võimalus selle meetodiga saadud laengu väärtuse kalibreerimiseks. Meie süsteemis on võimalik akupaki BMS-ist pärida SOC väärtust.

10.6. Šunteerimise teave määramine

Elektrokeemilistel energia salvestil, mis on koosnevad mitmest elemendist on oluline garanteerida võimalikult võrdne energiatase erinevate elementide vahel. Võrde tase tagab maksimaalse salvesti mahtuvuse. Akupakkide laadimisel peab protsess peatuma kui esimene elemendi pinge on maksimaalsel lubataval tasemel. Koormamisel peab sammuti protsess peatuma kui esimene element on jõudnud miinimumpingeni. Vastasel juhul võib akupaki eluiga väheneda pöördumatult kiireminini või kõige hullemal juhul võib akupakk ülelaadimise tulemusel süttida põlema.



JPCIA0094GB

Joonis 10.6 Väljavõte Nissan Leaf 2013 hooldusraamtuist elemendi energiataseme võrdsustamise osas.

Joonisel 10.6 on väljalõige Nissan Leaf 2013 hoolduse käsiraamatust [18]. Nissan Leafi akupaki BMS mõõdab iga elemendi pingeid võttes aluseks avatud ahela pingeid. Süsteemi käivitumisel hakatakse mahtuvused võrdsustama, et nad oleks ettenähtud tasemel. Mõõdaviik lülid ehk *bypass* transistorid lühistavad elemendi, milles on liigselt laengut rööbiti suure väärtusega takistiga. See tekitab vooluringi, milles elemendis olev energia hajub takistil. Nissan akuhaldussüsteemis ehk BMS-is on šunteerimisvoolud väikesed ehk alla 200 mA. Selline strateegia võimaldab kasutada akus kõiki elemente maksimaalselt.

Perioodil 30. märts kuni 2. aprill integreeriti süsteemi šundi olekute indikatsiooni. Sooritati koormuskatsed kuid šuntide olekud ei muutunud. Sooritatud katsetega ei suudetud vajalikus ulatuses veenduda laengu tasakaalustamise süsteemi funktsioneerimises. Tõenäoliselt šunteerimine rakendub akupaki laadimisel kui esimene elemendi pinge on jõudnud teatud vaheni teistest elementidest. Põhjuseks oli tõenäoliselt liiga lühiajaline katse iseloom.

Kuna indikatsiooni meetod on implementeeritud saab süsteemi töös veenduda tulevastes laadimis katsetes. Šunteerimise teave peitub 6-das grupis, mille kohta on täpsemalt kirjutatud punktis 5.7. Lisas L.1 on „clean_LEAF_CAN_listener_v0.9“, mis on viimane programm, kus on implementeeritud šuntide oleku seiramise meetod.

11. Võrguinverter

2016 kevadel olid mõneti teised eesmärgid seoses Elektritakso Tartu OÜ 2016 huvi koostööst TTÜ-ga, millest on lähemalt kirjutatud peatükis 8. Kuna olid läbi viidud küllalt mahukad ja tulemuslikud laboratoorsed katsed ABB ühefaasilise ja VACON kolmefaasiliste päikesepaneelide inverteriga. Kuna katse tulemusi võidakse kasutada tulevases salvesti arenduses on nad dokumenteeritud selle töö raames.

Inverter on päikseelektrijaama koostises võtmeelement. Populaarsed lahendused sisaldavad, kas tsentraliseeritud võrguinverterit või mikroinvertereid ja tööpunkti optimisaatorid. Viimased kaks neist sobivad moodulitest koosnevasse lahendusesse, kus paneelid on üksteisest erinval kaugusel ja varieeruva nurga all. Sellises konfiguratsioonis tõstavad optimisaatorid ja mikroinverterid süsteemi kasutegurit kuid kogu süsteemi hind tõuseb.

Näiteks on reaalne võimalus, et 50 kW nimivõimsusega päikesepaneelide komplekti abil toodetavat energiat on vaja muundada elektrisüsteemi sobilikule kujule. Päikeseelektrijaamade inverterid muundavad paneelides genereeritava alalispinge vahelduvpingeks, mida võib juhtida kommertsvõrku või kasutada olemasolevas kohalikus süsteemis.

Üldiselt enamus võrguinverterid ei paku varutoidet jaotusvõrgu pinge kadumisel või selle häiretel. See nõue on oluline elektriliinil ja alajaamas töötavate inimeste ohutuse tagamiseks.

Normaalselt, kui koormus ja tootlikus on täpselt võrdsed - nii nimetatud tasakaalutingimustes, on jaotusvõrgu rikke tulemuseks ka paar lisaks genereeritud häiresignaali. Rikkehetkel toimub mõningane liinipinge langemine, mis toimib potentsiaalse veasignaalina. Ent sellised pingekõikumised võivad olla põhjustatud ka normaaltalituses, nagu suure induktiivkoormuse lülitamine.

Meetodeid, mis tuvastavad jaotusvõrgu kadumist ilma suure hulga valehäireid andmata peetakse märkimisväärseks teaduseks. Igal meetodil on oma lävend, mis peab olema ületatud, et tingimust arvestada kui signaali jaotusvõrgu katkemisest. Näiteks selline liinipinge langemine, mis viib tundetuse tsoonist välja (*non-detection zone*) või pingevahemik, kus tegelik võrguhäire filtreeritakse etteantud tingimuste kohaselt välja. Selliseid meetodikaid peab kasutama soovimatu saarestumise vältimiseks. [30]

Saarestumine on nähtus, kus päikepaneelidest tulenev energia jääb toitma võrku, mis ühel või teisel põhjusel oma etteantud töörežiimist väljas. Soovimatus saarestumine võib olla ohtlik eelkõige võrgutöölisele, kuna neil puudub teave, et ahelad on uuesti pingestatud. Samuti võib nähtus segada süsteemide normaalsele tööle ennistamist.

Seda võrguinverteri omadust peab elektrisüsteemi projekteerimisel silmas pidama. Projektis on eesmärgiks juhtida energia voogusid salvesti akupatarei ja mikroinverteriga seotud muude seadmete vahel.

11.1. Võrguinverteri valik

Võrguinverterite valik turul on väga lai. Põhilised valiku parameetrid on tüüp, faaside arv ja võimsus. Turul valitsevast suurest valikust tingituna on hinnad madalad ja langevas trendis. Valikul peetakse väga oluliseks süsteemi hinda, sest see mõjutab oluliselt investeeringu tasuvust (*ROI*).

Selle projekti raames on otsustatud kasutada ABB AS poolt Tallinna Tehnika Ülikooli Energeetika instituudile üle antud PVS300 seeria 8 kW võrguinvertereid. Juba vananevad seadmed paigaldatakse katseobjektile. Sellega tagatakse projekti realiseerumisel osaline

kuuluvus ülikoolile, millest võib tulevikus saada uurimisobjekt. Sellisest lahendusest võib olla kasu nii ülikoolile kui ka ABB AS-ile. Kõige suurem otsuse eelis on projekti hinna alandamine. Joonisel 11.1 on kujutatud inverter PVS300.

11.1.1. PVS300-TL-8000W-2 põhiandmed, vastavus standarditele

ABB võrguinverterid muundavad kulutõhusalt päikesepaneelide poolt genereeritud alalisvoolu kõrgekvaliteediliseks vahelduvvooluks, millega saab toita jaotusvõrku. Muundur on disainitud nii, et see vastaks osaliste nõuetele – alustades süsteemi integreerijatest ja paigaldajatest kuni lõppkasutajateni. Need trafota, ühefaasilised inverterid sobivad väikesele ja kuni keskmise suurusega päikeseelektrijaamale, süsteemidele, mis on ühendatud jaotusvõrguga. Inverteritel on palju võimekaid tunnusoone ja eeliseid, mis teevad seeria tõhusaks, produktiivseks, kompaktselt ja kergesti kasutatavaks. Inverterite valikus on mudelid võimsusega 3,3 kuni 8 kW. [31]

Põhiomadused:

- Kõrge kogu tõhusus;
- Sissehitatud jälgitavad kaitseseadmed;
- Kõrge sisendpinge;
- Suur DC sisendpinge ulatus;
- Eemaldatav juhtpaneel graafilise kuvariga;
- Integreeritud tootlikuse andmete monitooring;
- IP55 kaitseaste lisa ohtutuselementidega;
- Jaotusvõrku toetavad funktsioonid. [31]



Joonis 11.1 ABB PVS300 8 kW võrguinverter

Võrguinverteri DC sisendi info ja nõuded, millest lähtuda paneelide jada valimisel on toodud tabelis 11.1. AC väljundi poolsed andmed on toodud tabelis 11.2.

Tabel 11.1 DC sisendi info ja päiksepaneelide jada nõudmised

Nominaalne paneelide jada võimsus	8300 W
Maksimaalne paneelide jada võimsus	8900 W
Operatiivne pingevahemik, MPPT	335 -800 V
Maksimaalne paneelide jada klemmiping	900 V
Nominaalne tööpinge	480V
Vajalik pingeline võrgutoiteks	370 V ,millal tegelik võrgupinge on nominaalväärtuse juures. Stardipinge varieerub võrgupingest sõltuvalt.
Maksimaalne päikesepaneelide jada lühisvool	25,4 A
Maksimaalne inverteri tagasivool paneelide jadasse	25,4 A piiratud sulavkaitsmetega
MPP tracker	1
Paralleelühenduste arv	4
Ühenduse tüüp	Kiirühendus 30 A Multicontact MC4 tüübid PV-KBT4/6 (DC+) ja PV-KST4/6 (DC-)
Vastandpolaarsuse kaitse tüüp	Lühise diodid, jälgitavad
Isolatsiooni jälgimine	Näivtakistuse mõõtmine maa ja DC klemmide vahel

Liigepinge kaitse	Liigpingepiirik kõikide DC klemmide ja maa vahel
Liigpingepiirik	ABB, OVR PV 40 1000 P TS või Phoenix Contact, Tüüp VAL-MS 1000DC/2+V-FM-UD
Paneelide jada lühiskaitse	Päiksepaneelide sular 10x38 mm, 1000 VDC Kõik klemmid, jälgitavad
Testitud ja heakskiidetud sularite tüübid	Cooper Bussmann, PV-1...20A10F, 1000 VDC ja Ferraz Shawmut, PV Fuse HP10M1...20A, 1000 VDC
Sulari nominalvool	Oleneb paneelide jadast Tehases paigaldatud: Cooper Bussmann PV-12A10F
Sulari maksimaalnimivool	20 A
DC lüliti koormuse lülitusvõime	25 A, 1000 VDC (DC21B)
Ülepinge kategooria	OVC II

[32]

Tabel 11.2 AC väljundi teave ja nõudmised jaotusvõrgule

Nominaalvõimsus	8000 W
Nominaalvool	34,8 A
Maksimaalne vool	37,7 A
Nominaalne võrgu ühendus	1/N/PE AC 230 V 50/60 Hz
Toetatavad maandussüsteemid	TN-S, TN-C, TN-CS ja TT
Tööpinge vahemik	180- 276 V Vahemik seadistatav olenevalt riigi valikust
Töösageduse vahemik	47- 63 Hz Vahemik seadistatav olenevalt riigi valikust
Võrgu voolu harmoonilised moondused	<3%
Võimsustegur	1
Liigpingekategooria	OVC III
Öine tarbimine	<1 W
Trafo tüüp	N/A. pole trafot
Võrgu jälgimine	Automaatsed võrgureled, DC ja AC tundlikud rikkevoolu jälgimise üksused, anti-saarestumise funktsioonid vastavalt IEC ja VDE standarditele
AC liidese tüüp	Fikseeritud pistik, 3 poolust+PE, Phoenix Contact Variocon Power
AC liidese maksimumväärtused	Ristlõige 16mm ² , vool 70 A, pinge 690 V
Soovitav välise automaatkaitselüliti rakendamise tunnusjoon	B
Miinumum/ (maksimum) lubatavad välise automaatkaitselüliti nominaalväärtused	50 / (63) A
Siirdevool	0 A Inverter moduleerib ja sünkroniseerib faasi enne võrku ühendumist
Maksimaalne rikkevool	87 A tipp, 3 tsükli RMS <9,5 A

[32]

PVS300 seeria inverterid vastavad võrgueeskirjale ja standarditele. Lisas L.6 olevas tabelis toodud välja dokumendid ja nende nimed, mis tõestavad kehtivust ja vastavust. Tabelis on ka välja toodud, et toode vastab saarestumise vastastele eeskirjadele DIN VDE 0126-1-1, IEC 61727:2004 [2]

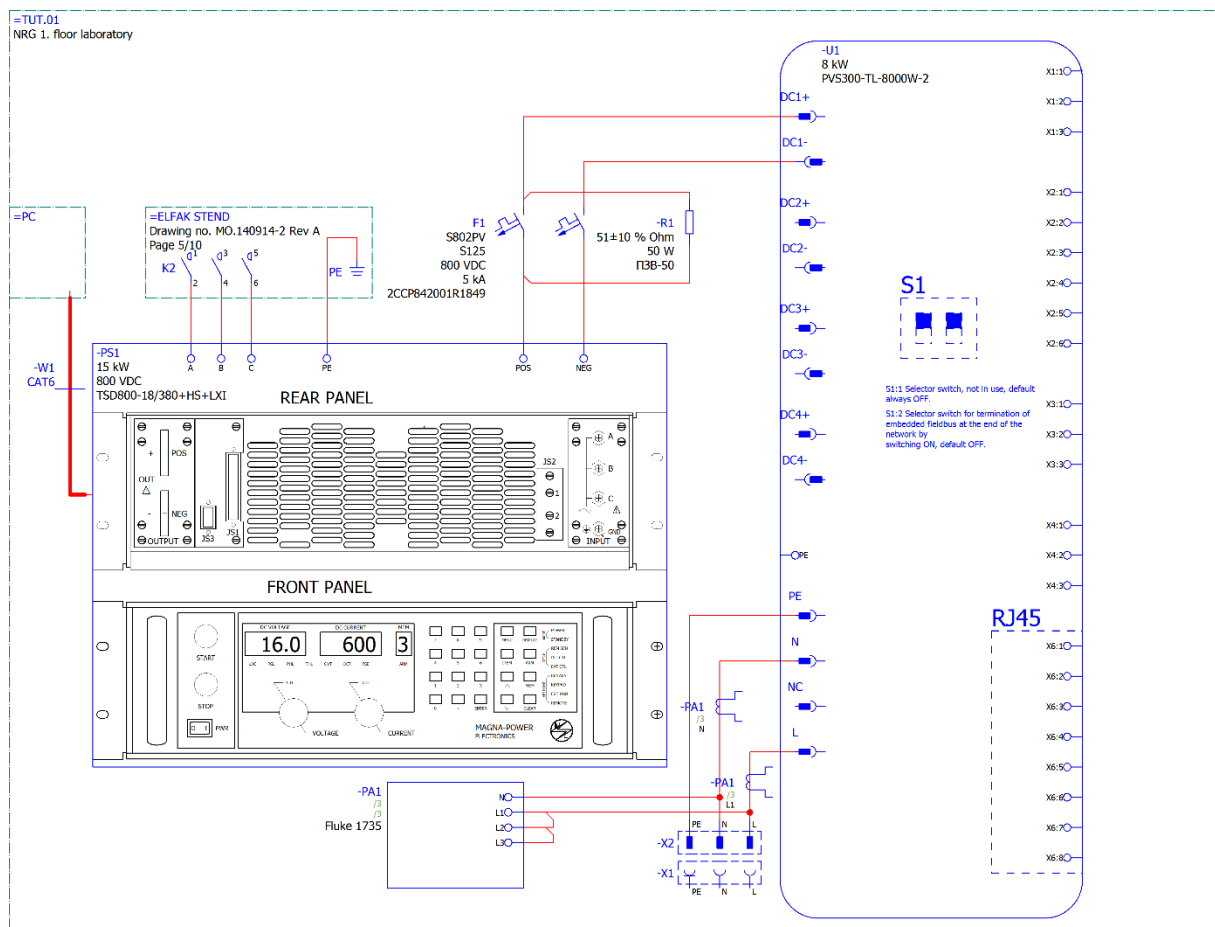
Elektrilevi OÜ lubab vastavalt oma loetelule, inverteriteid mille vastavus standardile (EVS)EN 50438 on esitatud dokumentidega tõestatud, kasutada PVS300 seeria invertereid otse võrku ühendamiseks. Nende seadmete puhul, mille nõuetele vastavus on kord juba tõendatud, ei pea mikrotootja liitumispakkumise saamiseks enam vastavusdokumente esitama. [33]

11.2. ABB PVS300 8 kW ja VACON testimine

Süsteemi projekteerimise faasis on võimalik suurendada süsteemi läbipaistvust tagamaks tootmise lihtsustamist ja paremat lõppkvaliteeti. Testimise kindlustab toote vastavust nimiaandmetele, toob välja võimalikud puudused ja tõestab vastavust standarditele.

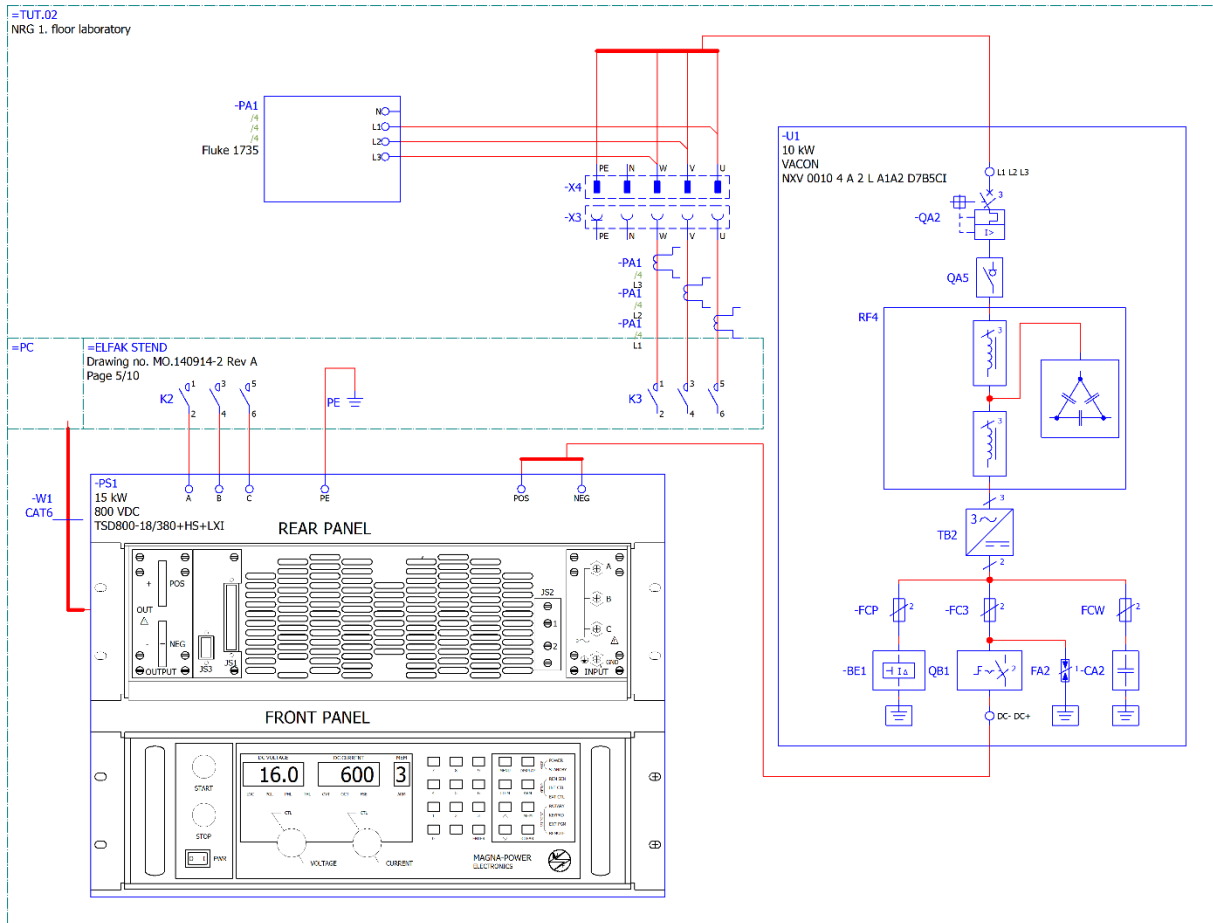
Tallinna Tehnikaülikooli inseneriteaduskonna Elektroenergeetika ja mehhatroonika instituudi esimese korrusel asuvas laboratooriumis olemasolev aparatuur võimaldas läbi viia katsed projektis kasutatavate seadmetega.

Joonisel 11.2 on kujutatud ABB inverteriga PVS300-TL-8000W-TL2 tehtava katsete skeem. Pääkpaneeli emuleeritakse katsetuste ajal firma Magna Power Electronics toiteploki PS1 TSD800-18/380+HS+LXI nimivõimsusega 15 kW ja nimipingega kuni 800 VDC.



Joonis 11.2 ABB PVS300-TL-8000W-TL2 katse skeem

Joonisel 11.3 on kujutatud VACON päikesejaama inverteriga NXV 0010 4 A 2 L A1A2 D7B5CI tehtava katsete skeem. Muunduri tehnilisi andmeid ei ole käesoleva töö raames kirjeldatud. Põhiparameetrite ülevaate leiab VACON-i päikesjaama inverteerite brošüürilt [34]. Päiksepaneeli emuleeritakse katsetuste ajal firma Magna Power Electronics toiteploki PS1, mis on kirjeldatud punktis 9.3.



Joonis 11.3 Katseskeem VACON inverteriga

11.2.1. Magna Power Electronics päikesejaama emuleerimise tarkvara.

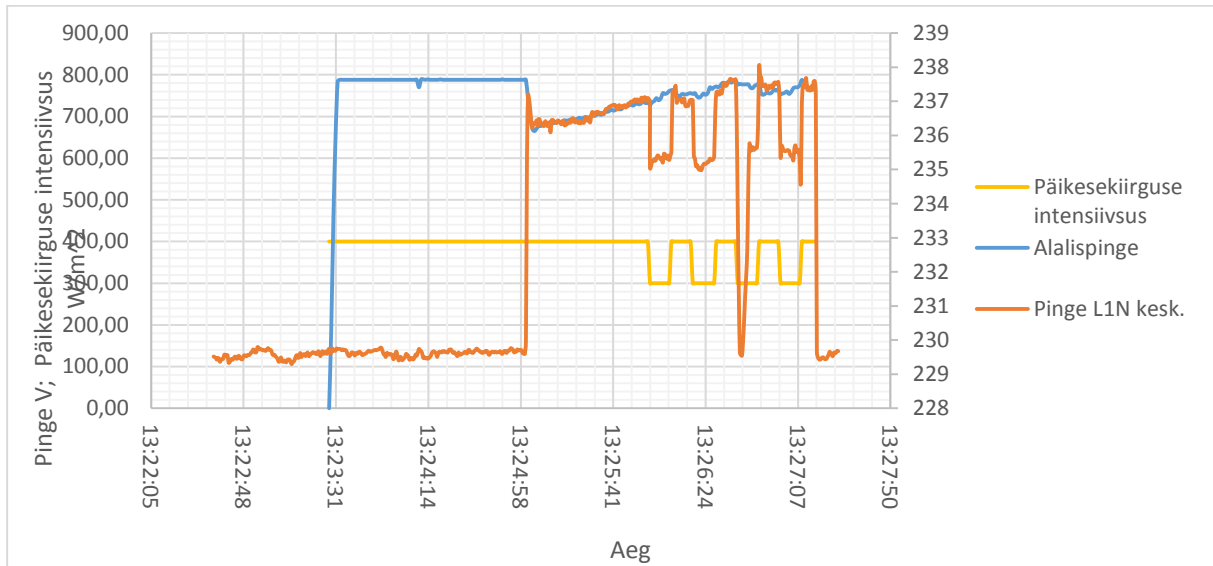
Photovoltaic Power Profile Emulation (PPPE) tarkvara arvutab automaatselt päiksepaneelide pinget ja voolu profiilid olenevalt kasutaja sätitud parameetritest. Profiile võib saata järjekorras Magna Power toiteploki, mis emuleerib eelnevalt defineeritud karakteristikuid. Kasutaja võib defineerida piiramatu arvu profiile emuleerimiseks ja periodiseerida seda mingi perioodi jooksul.

Päiksepaneelidega ühendatud elektroonikaseadmete testimine, disain ja tootmise valideerimine vajab päiksepaneeli emuleerivat toiteallikat paindliku väljundkarakteristikutega. Inverterid ja spetsialiseeritud DC – DC muundurid kasutavad maksimaalse võimsusepunkti tehnoloogia (*MPPT*) juhtalgoritme, et maksimaliseerida mittelineaarsete energiaallikate energia utiliseerimist. Arendamine, testimine ja tootmine kasutades päiksepaneeli või tuulegeneraatoreid on kulukas, sest kasutatakse kontrollimatut allika karakteristikuid. Kasutades toiteallikat kasutaja – programmeeritava väljundi karakteristikuga võib hinnata kogu võimsuse piirkonda.

Peale profiili defineerimist saab seda kanda toiteplokki kas staatilise või dünaamilise simulatsiooni jaoks. Ajast sõltuv parameeter määrab kui kaua toiteplokk peaks emuleerima seda profiili enne kui laetakse järgmine järjekorras.

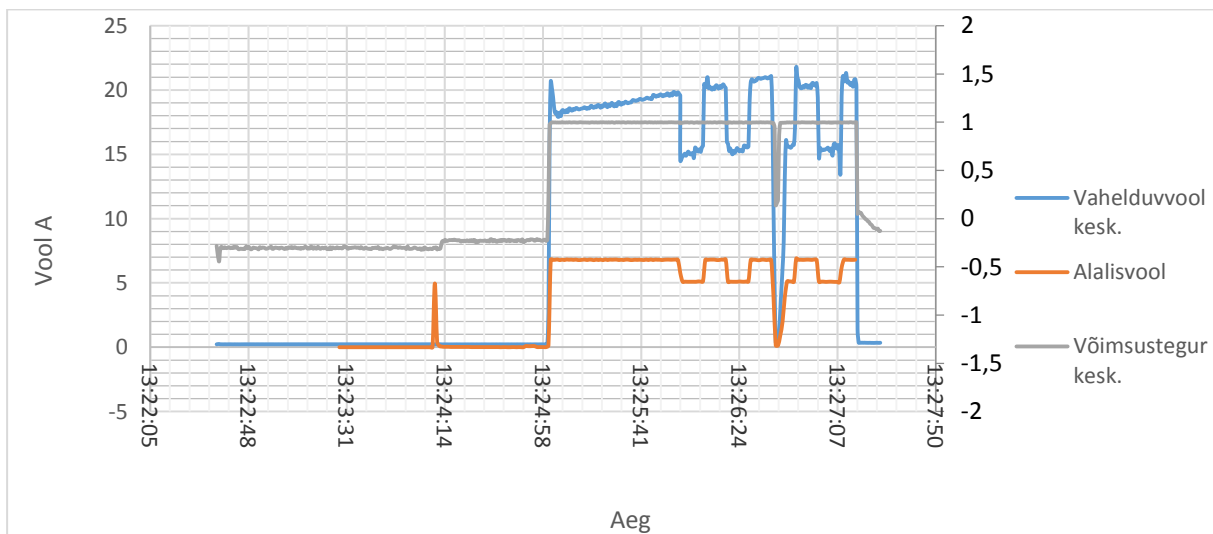
Katseprofiilis 1 on katsetatud ABB PVS300 seeria inverterit ja tulemusi kirjeldavad graafikud 11.4–11.6 joonistel. [35]

Katseprofiilis 2 on katsetatud VACON-i kolmefaaslist inverterit NXV 0010. Joonistel 11.7–11.9 on kujutatud katseprofiil 2 graafikud.



Joonis 11.4 Katseprofiil 1 pinged.

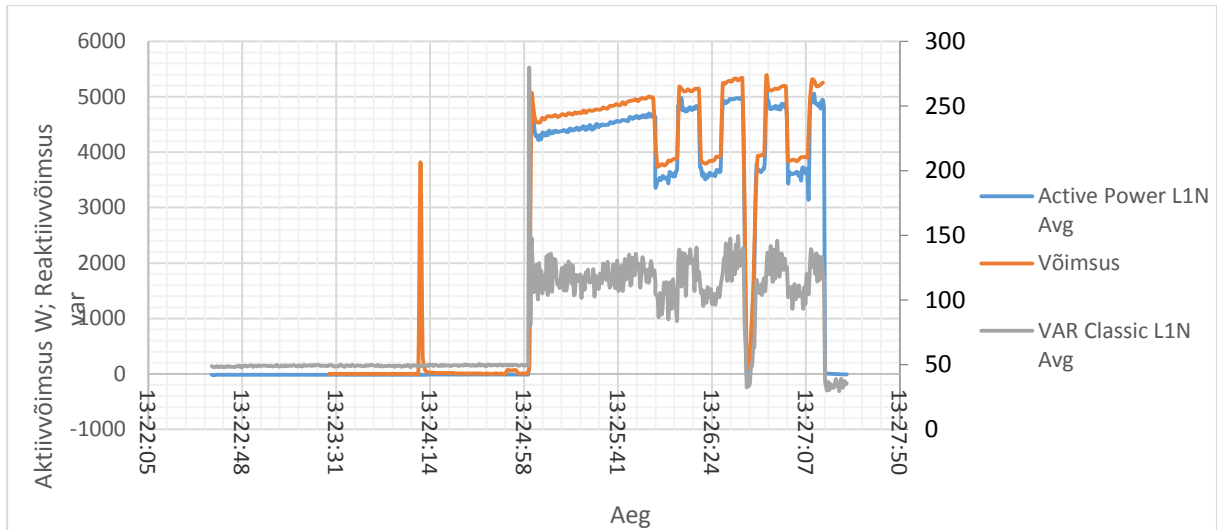
Joonisel 11.4 on kujutatud eel programmeeritud päikesekiirguse intensiivsuse simuleerimine, mille on väärtus joonisel kollasega. Oranžiga on tähistatud vahelduvpinge väljundis ja sinine on alalispinge toiteploki väljundis. Ajahetkel umbes 13.24.50 lülitati inverteri koormuslüliti. Eelprogrammeeritud intensiivsuse muutustest olenevalt kõigub ka vastavalt pinge väljundis. Lühiajalised pingekõikumised väljunis 13.26.30 ja 13.27 vahel on katses registreeritud. Põhjendus on järgmises lõigus.



Joonis 11.5 Katseprofiil 1 voolud

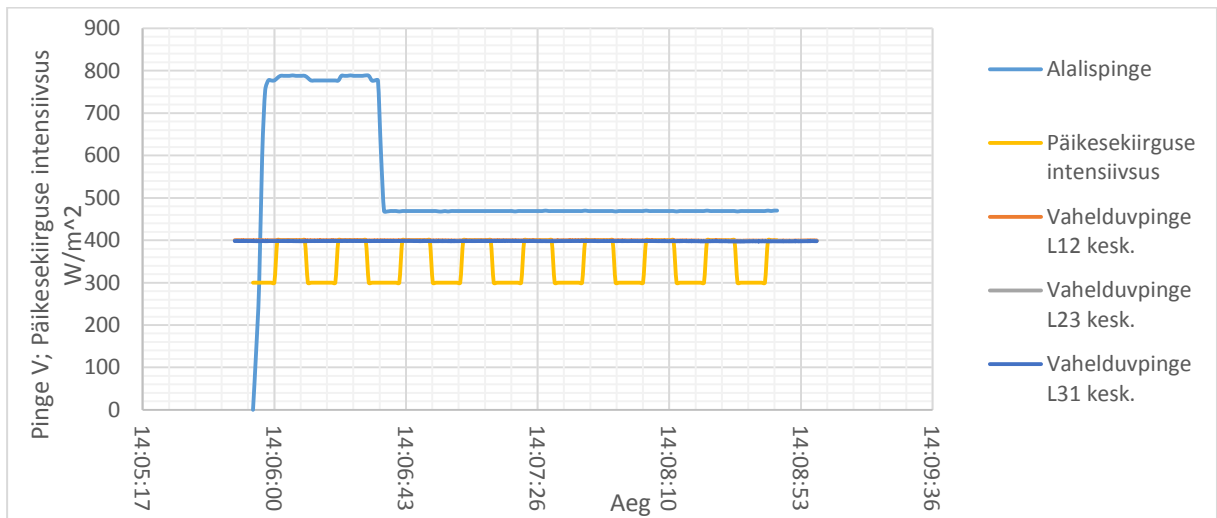
Joonisel 11.5 on kujutatud katseprofiil 1-ga kujutatud pingegraafikuga seotud pingegraafik. Oranžiga on tähistatud sisendis olev alalivool, sinisega vahelduvvoolu keskvärtus ja halliga

keskmise võimsustegur. Jooniselt on näha kuidas olevalt päikesekiirguse intensiivsusest kõigub sisendi alalisvool 100 mA ulatuses ja sellest olenevalt vahelduvpinge väljund ligikaudu 500 mA ulatuses. Pinge kõikumistest, mida on kirjeldatud eelmises lõigus, tulenevalt kõikus ka väljundvool. Jooniselt on selgelt näha, et pingehäirinud põhjustas toiteploki alalisvoolu langus.



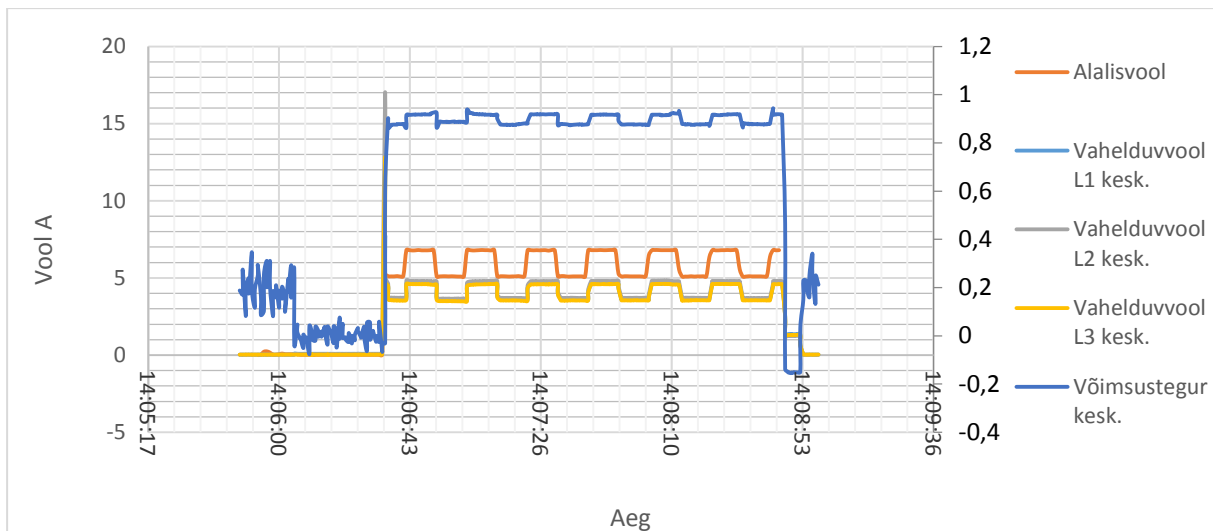
Joonis 11.6 Katseprofiil 1 võimsusgraafik

Joonisel 11.6 on kujutatud katseprofiil 2-ga seotud võimsusgraafikud. Oranžiga on tähistatud toiteploki võimsus, sinisega võrgupoolne aktiivvõimsus ja halliga keskmine reaktiivvõimsus.



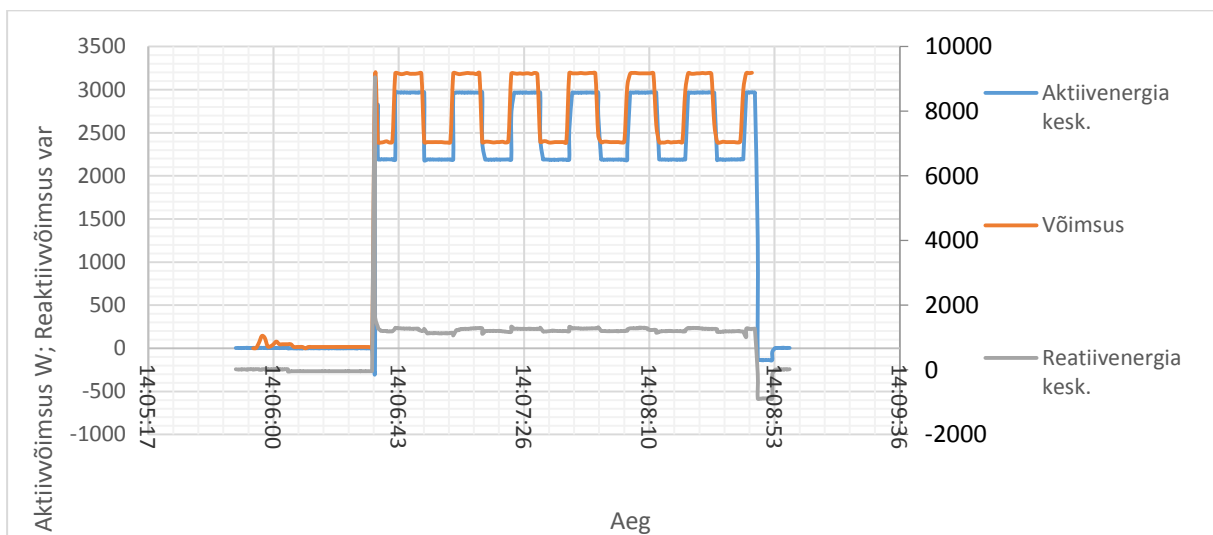
Joonis 11.7 Katseprofiil 2 Pingegraafik

Joonisel 11.7 on välja toodud katseprofiil 2 graafikud. Toiteploki alalispinge langeb peale muundusprotsessi algust kuid väljundpingetes on seda halvasti näha skaalade tõttu.



Joonis 11.8 Katseprofiil 2 voolugraafik

Joonisel 11.8 on kujutatud katseprofiil 2 voolugraafik. Vasakul on sisendi voolu skaala ja paremal väljundi skaala. Siit võime näha, et inverteri sisendisse antava alalisvoolu kõikumistele vastab vahelduvvool väljundis.



Joonis 11.9 Katseprofiil 2 võimsusgraafik

Joonisel 11.9 on kujutatud katseprofiil 2 võimsusgraafikuid. Parempoolne skaala on sisendi võimsus ja vasak on väljundvõimsus. Graafikult on näha, et reaktiivvõimsus langeb peale süsteemi laadumist nullilähedale, mis on selliste süsteemide puhul eeldatav.

Kokkuvõte

Tarbijate energia nõudlus suureneb pidevalt ja sellega kaasnevalt toimuvad tarbimise eripära muutused nagu näiteks elektriautode massiline kasutuselevõtt ja laadimine kodu elektrivõrgust. Energia genereerimine taastuenergiaallikatest muutub pidevalt odavamaks ja see soodustab hajaenergieetika levikut. Kõige selle taustal toimub pidev jaotusvõrgu moderniseerimine, et vastata elektrienergia tarbimise muutustele, töökindluse suurenemisele ja energiahinna minimeerimiseks lõppkasutajale. Tarbimise ja tootmise tasakaalustamisel eksisteerib kaks koormuse juhtimise põhimõtet koormuse ühtlustamine ja koormuse jälgimine. Tuginedes sellele, et elektrisüsteem töötab toomise ja tarbimise kiireloomulisel tasakaalustamise põhimõttel siis odav, kiireloomuline salvestustehnoloogia võimaldab optimeerida elektrienergia tootmist ja seega üleüldiselt elektrivõrgu tööd.

Käesoleva magistritöö ülesanne on projekteerida ja ehitada uuskasutuses elektriauto Nissan Leafi akupaki baasil katseline energiasalvesti moodul, arendada andmesidet juhtimissüsteemi kontrollerite vahel ning katsetada energiasalvesti käivituse, kaitse, laadimise ja tühjenemise funktsioone.

Kirjanduse allikatest selgus, et kõige kriitilisem on majandusliku tasuvuse küsimus. Üldine põhimõte on see, et mida odavam on salvesti ja mida rohkem on toetusi, seda suurem on tasuvus. Kaotades 30 % oma nimimahtuvusest ei ole elektriauto akupakk enam kasulik mobiilses rakenduses ja eeldatakse, et akupaki eluiga ei ole vähenenud üle poole. Sellele tuginedes võib olla postmobiilsest rakendusest akupakk leida uuskasutust energiasalvestites.

Teemakohasemalt uuriti automobiilses rakenduses olevate akude sobilikkust salvestitesse, millest selgus, et NiMH akud on statsionaarses rakenduses paremad kui pliihappeakud nii kasulike tsüklite, energiatiheduse ja teise elektriliste parameetritega võrreldes. Uuriti veel uuskasutuses olevate autoakude baasil energiasalvestite funktsionaalsuse küsimusi, mis võivad anda salvestile lisaväärtuse. Üks potentsiaalne rakendus on päikesejaamade toodetava energiavoo silumine. Kasutades salvestit mis on varustatud neuronvõrgu algoritmitel ilmaennustuse baseeruva juhtsüsteemiga, võib päikeseelektrijaama genereeritava võimsuse sobitada jaotusvõrgu poolt ettenähtava võimsuse väärtusega. Lisaks saab uuskasutuses elektriauto akupakke kasutada pakkumaks jaotusvõrgule sagedusregulatsiooni, koormuse ühtlustamise ja järgimise teenust.

Mikrovõrgu energiasalvesti projekteerimisel arvestati kirjandusest uuritud mikrovõrgu tasemete ja asjade interneti põhimõtteid. Uuriti detailselt Nissan Leafi akupaki ehitust, nimiparameetreid, ehitust, CAN andmeside teavet ja hea tava kasutamise tingimusi. Töötati läbi küsimused, mis on seotud eelkõige energiasalvesti ohutuse, maanduse ja juhtalgoritmiga. Koostatud on kõik katseliste koostude skeemid ja tulevase projekteeritava energiasalvesti lõpplahenduse elektriskeemid ja komponentide paigutuse joonised. Kõik katsetes kasutatud ja tulevikus katsete komponendid on kantud komponentide spetsifikatsiooni tabelitesse.

Arendusetappides lähtuti kasutaja potentsiaalsete nõuete spetsifikatsioonist, mille alusel koostati algne katselise energiasalvesti arenduskava ja lõpus võrreldi ja analüüsi seda reaalselt toimunud progressi ja katsetega.

Perioodil oktoober 2016 kuni mai 2017 aasta õnnestus liikuda jõudsalt edasi arendusega kuid kahjuks töös kirjeldatud põhjustel ei jõutud plaanipäraselt lõpplahenduseni, mis oleks olnud AS Harju Elekter Teletehnika ja TTÜ-ga koostöös arendatud mikrovõrk tüüpi paigaldise HESA prototüüp energiasalvesti, mis koosneb kahes jadaühenduses Nissan Leafi akupakist.

Töös lahendatud põhipunktid oleks CAN andmeside teave leidmine, ARDUINO mikrokontrolleri ja Siemens PLC vaheline kommunikatsioonitehnoloogia arendamine, Siemens PLC-l jooksva visuaalse kasutajaliidese loomine, salvesti kaitsefunktsioonide arendamine ja uurimine, katseskeemide projekteerimine ja koostamine, välise vooluanduri süsteemi integreerimine, juhtalgoritmide koostamine ja nende alusel mikrokontrolleri programmeerimine. Saavutuseks võib ka pidada lõputöös käsitletud teemaga osavõttu üritusel TehnoHack 2016.

Nii laboratoorsete katsetega kui ka põhimõtteliste küsimuste lahendamisea aitasid töö autorit magistrant Martin Gosberg, insener Taavi Möller, konsultant ja doktorant Kristjan Peterson ja juhendaja dotsent Elmo Pettai.

Tuleviku arendusvõimalused

Kuigi perioodil oktoober 2016 kuni mai 2017 aasta õnnestus palju ära teha prototüüpenegiasalvesti valmimiseks. Võimalikud edasise arenduse punktid oleks järgmised:

- 2011 aasta Nissan Leaf akupaki andmeside uurimine;
- Katseliste laadimise ja koormamise täistsükli läbiviimine;
- SOC arvutusmetoodika täiendamine;
 - Pingemõõtmised mõõtmised koormamisel ja laadimisel;
 - Neuron algoritmide kasutuselevõtmine;
- Kahakanalise CAN mooduli ja akupakkide vahelise andmevoo tarkvaralise eralduse uurimine.
 - Kahe akupakiga energiasalvesti mikrokontrolleri programmi koostamine ja kirjeldamine.

Kasutatud kirjandus

- [1] R. Oidram, „Taastuenergia sektoris taastuenergia sektoristekkinud olukorra analüüs,“ Rein Oidram, Tallinn, 2014.
- [2] ABB Corporate Communications, „GM and ABB demonstrate Chevrolet Volt Battery Reuse – world’s first use of electric vehicle batteries for homes,“ ABB, 15 November 2012. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.abb.ee/cawp/seitp202/8cb38a9d23816174c1257ab500497848.aspx>. [Kasutatud 26 02 2017].
- [3] M. Stark., P. Irminger., B. Ollis., G. Andrews., P. Karlson., S. Thambiappah., P. Valencia., C. Labaza., S. Massin. ja K. Parn., „Community Energy Storage Utilizing Secondary Use EV/PHEV Batteries,“ Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee, 2012.
- [4] A. Rosin, S. Link ja I. Drovotar, „ENERGIASALVESTID JA SALVESTUSTEHNOLOOGIAD,“ Tallinna Tehnikaülikool, Tallinn, 2013.
- [5] E. Cready, J. Lippert, J. Pihl, I. Weinstock, P. Symons ja R. G. Jungst, „Technical and Economic Feasibility of Applying Used EV Batteries in Stationary Applications: A Study for the DOE Energy Storage Systems Program,“ 2003.
- [6] C. Heymans, S. B. Walker, S. B. Young ja M. Flower, „Economic analysis of second use electric vehicle batteries for residential energy storage and load-levelling,“ Energy Policy, 2014.
- [7] „Estonia,“ PAKRI Science and Industrial Park , [Võrgumaterjal]. Available: <http://pakri.ee/estonia/>. [Kasutatud 13 03 2017].
- [8] J. Neubauer, S. Pesaran, A. Williams, B. Ferry ja M. Eyer, „A techno-economic analysis of PEV battery second use: Repurposed-battery selling price and commercial and Industrial,“ SAE International, 2012.
- [9] J. Neubauer, A. Pesaran ja D. Howell, „Secondary Use of PHEV and EV Batteries- Opportunities & Challenges,“ %1 *The 10th Advanced Automotive Battery Conference*, Orlando, Florida, 2010.
- [10] F. M. Martínez, A. S. Miralles ja M. Rivier, „A literature review of Microgrids: A functional layer based classification,“ Pergamon, 2016.
- [11] M. Wu, T.-J. Lu, F.-Y. Ling, J. Sun ja H.-Y. Du, „Research on the architecture of Internet of Things,“ *Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE)*, 2010.
- [12] J. D. McDonald, „Electric power substations engineering,“ CRC press, 2012.

- [13] European Commision, „What is Horizon 2020?“, European Commision, [Võrgumaterjal]. Available: <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>. [Kasutatud 03 2017].
- [14] SAE, „Leaf to be sold with battery pack at C-segment price“, 11 03 2010. [Võrgumaterjal]. Available: <http://articles.sae.org/7714/>. [Kasutatud 03 12 2016].
- [15] Time Inc., „<http://fortune.com/>“, Time.com, 03 12 2016. [Võrgumaterjal]. Available: http://archive.fortune.com/galleries/2010/fortune/1002/gallery.nissan_leaf.fortune/index.html. [Kasutatud 17 02 2010].
- [16] L. NISSAN MOTOR Co., „017 Why Did Nissan Develop an EV Battery?“, *NISSAN TECHNOLOGY MAGAZINE*, p. 1, 07 02 2012.
- [17] NISSAN NORTH AMERICA, INC., „2011 LEAF. First responders guide.“, p. 37, 2012.
- [18] Nissan, „SECTION EVB“, %1 *Nissan Leaf Factory Service Manual*, 2013, p. 272.
- [19] C. DeMorro, „Clean technica“, 25 03 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://cleantechnica.com/2015/03/25/99-99-nissan-leaf-batteries-still-operation/>. [Kasutatud 16 01 2017].
- [20] Nissan, „ELECTRIC POWER TRAIN“, %1 *EV BATTERY SYSTEM*, Nissan, 2013, p. 272.
- [21] 2011 NISSAN MOTOR CO., LTD., *NISSAN Owner's Manuals*, 2012.
- [22] D. Jackson, „Nissan-Europe“, Nissan, 10 05 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://newsroom.nissan-europe.com/uk/en-gb/media/pressreleases/145249>. [Kasutatud 16 01 2017].
- [23] ABB, „1SXU000023C0202 Rev. A“.
- [24] ABB Switzerland Ltd., „Technical catalogue S800PV Photovoltaic“.
- [25] Bodo's Power Systems, „Bodo's Power Magazine“, pp. 93-100, Martch 2017.
- [26] Isabellenhuetten, „Preliminary Datasheet, Version 0.5“, Isabellenhuetten, 2017.
- [27] ASTM International, „Form and Style for ASTM Standards“, ASTM International, Philadelphia, 2016.
- [28] D. Nardella, „ARDUINO™ / NodeMCU™ Ethernet communication library for S7 Siemens™ PLC“, MASMEC SPA, 09 12 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <http://settimino.sourceforge.net/>. [Kasutatud 20 02 2016].
- [29] C.-M. Tseng, W. Zhou, M. A. Hashmi, C.-K. Chau, S. G. Song ja E. Wilhelm, „Data Extraction from Electric Vehicles through OBD and Application of Carbon Footprint Evaluation“, *EV-*

SYS '16 Proceedings of the Workshop on Electric Vehicle Systems, Data, and Applications, p. 6, 21 - 24 June 2016.

- [30] W. Bower ja M. Ropp, „Evaluation of Islanding Detection Methods,“ *SANDIA REPORT*, p. 10, 2002.
- [31] „<http://www.abb.com>,“ ABB, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.abb.com/product/seitp322/df4308429896b1a3c1257c8a0054355c.aspx>. [Kasutatud 07 05 2016].
- [32] ABB Oy, „3AUA0000096321 Rev B,“ 2013-03-14.
- [33] E. OÜ, „Mikrotootjate liitumine,“ Elektrilevi OÜ, [Võrgumaterjal]. Available: https://www.elektrilevi.ee/-/doc/6305157/kliendile/mikrotootja_vorguinverterite_nimekiri.pdf. [Kasutatud 09 05 2016].
- [34] VACON, Vacon 8000 Solar Brochure DPD01502G EN, Vaasa: VACON, 2014.
- [35] M. P. Electorincs, „Photovoltaic Power Profile Emulation Software,“ Magna Power Electorincs, [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.magna-power.com/products/programmable-dc-power-supplies/photovoltaic-power-profile-emulation>. [Kasutatud 11 05 2016].

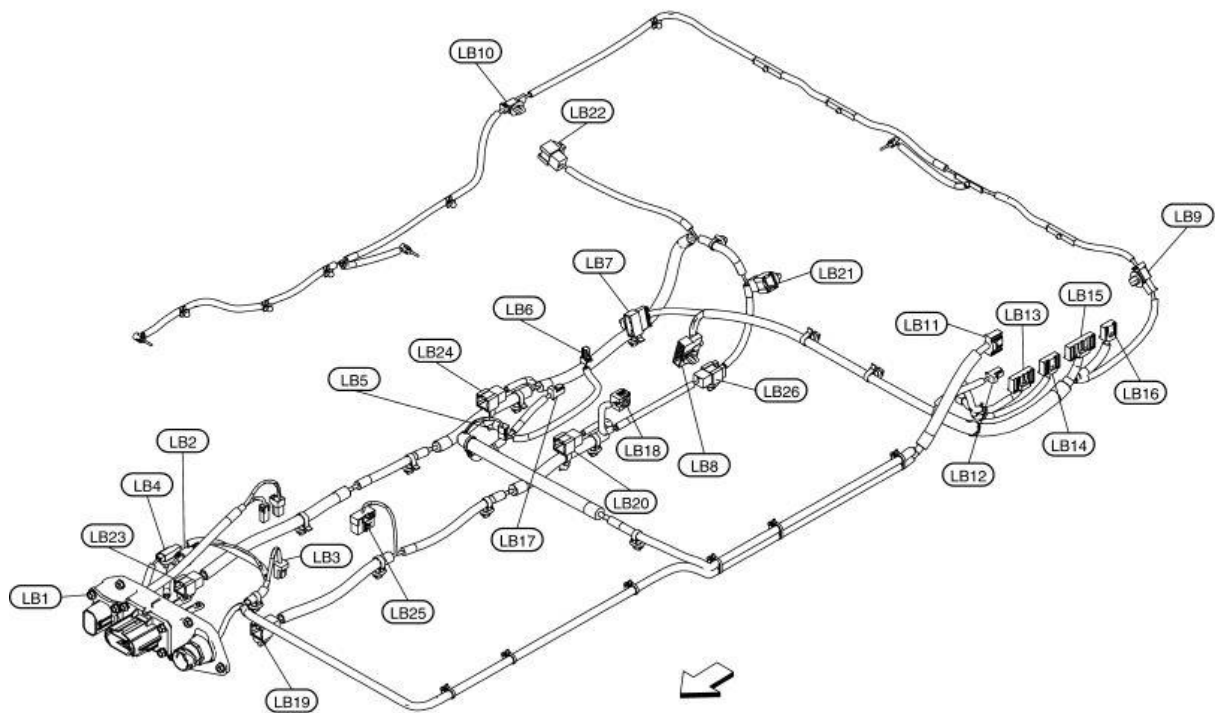
Lisad

- L.1. Lõputööga kaasaantava materjali nimekiri
- L.2. Nissan Leafi akupaki ühenduspistikute skeem 2013 hoolduse käsiraamatust
- L.3. Nissan Leafi akupaki BMS-i ühenduspistikute skeem
- L.4. index.html sisu
- L.5. TIA Portal programm
- L.6. PVS300-TL vastavus eeskirjadele ja standarditele

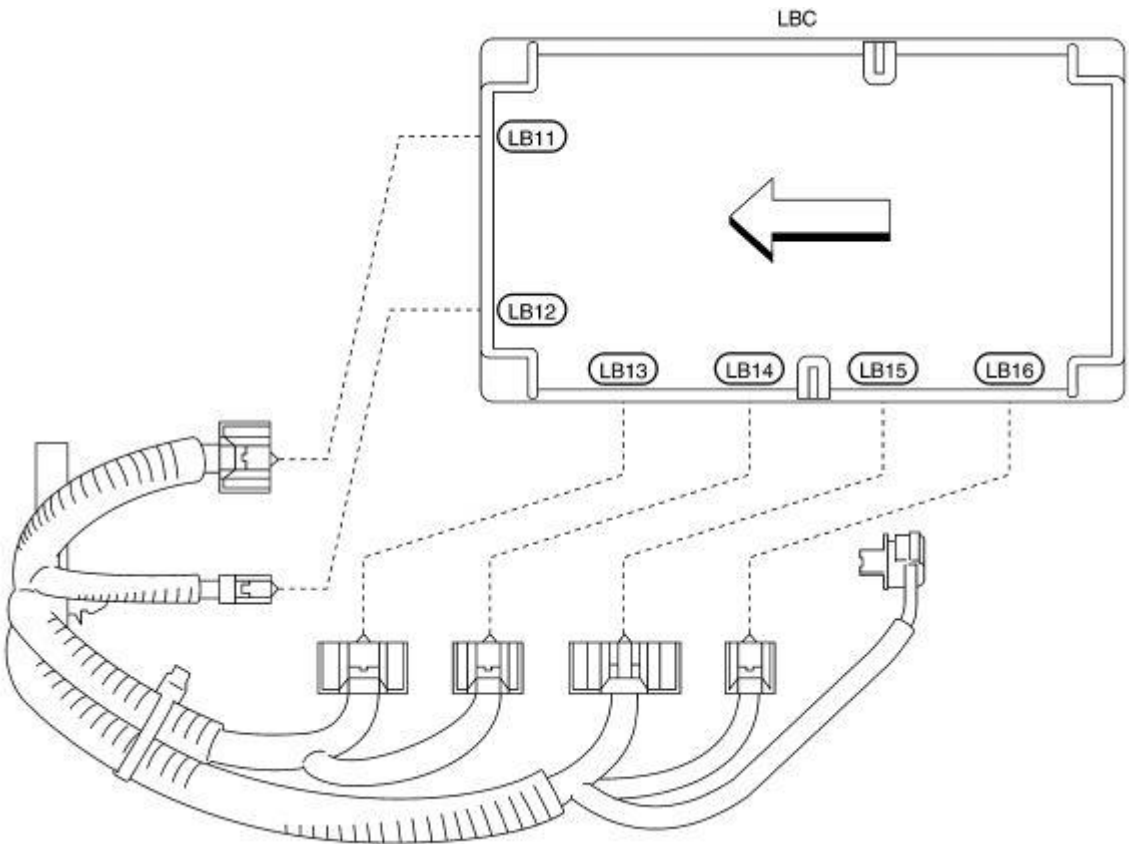
L.1. Lõputööga kaasaantava materjali nimekiri

- programm/
 - LEAF_CAN_lisener_s7_1200 (.ino; .c)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.1 (.ino)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.2 (.ino; .c)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.3 (.ino)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.4 (.ino; header.h)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.5 (.ino; header.h)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.6 (.ino; header.h)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.7 (.ino; header.h)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.8 (.ino; header.h)
 - clean_LEAF_CAN_listener_v0.9 (.ino; header.h)
 - vanemad/ LEAF_CAN_lisener_s7_1200_v0.3; LEAF_CAN_lisener_s7_1200_v0.4; LEAF_CAN_lisener_s7_1200_v0.5
 - funktsioonid/
 - CANSendReceive_v1.0 (.ino)
 - CANSendReceive_v1.2 (.ino)
 - CANSendReceive_v1.3 (.ino)
 - CANSendReceive_v1.4 (.ino)
 - CounterISR (.ino)
 - Kaitse (.ino)
 - led_blink_test(.ino)
 - minmaxcell (.ino)
 - Vooluandur (.ino)
- mõõtmised/
 - 23.11.16/trace 1 - 4 group 2011 leaf battery (.xlsx; .trc); trace 1 - 4 group 2013 leaf battery (.xlsx; .trc)
 - 13.12.16/...
 - 29.12.16/...
 - 30.12.16/ trace 2 grupp error (.xlsx; .trc)
 - 02.01.17/...
 - 04.01.17/...
 - 26.02.17/...
 - 07.03.17/...
 - 09.03.17/...
 - 02.04.17/...
 - magna results pvs300 8 kW 1p (.xlsx)
 - magna results vacon solar 8000 10 kW 3p (.xlsx)
 - Magnapower results/
 - mõõtetulemused/...
- eplan backup/
 - Magistritöö 22.05.17 (.zw1)
- Muu.rar

L.2. Nissan Leafi akupaki ühenduspistikute skeem 2013 hoolduse käsiraamatust



L.3. Nissan Leafi akupaki BMS-i ühenduspistikute skeem

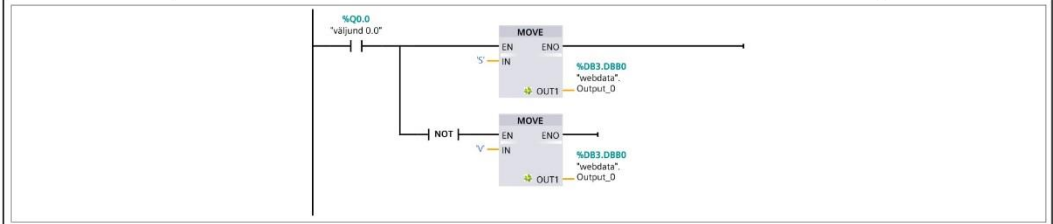


L.4. index.html sisu

```
1 <!DOCTYPE html>
2 <html lang="en">
3   <head>
4     <meta charset="utf-8">
5     <title>Leaf BAT webserver</title>
6
7     <script src="lib/js/jquery-2.0.2.min.js"></script>
8     <script src="lib/js/raphael.2.1.4.min.js"></script>
9     <script src="lib/js/justgage.js"></script>
10    <link rel="stylesheet" href="lib/css/main.css">
11    <link rel="stylesheet" href="lib/css/style.css"
12    type="text/css" media="screen" />
13    <link rel="stylesheet" href="lib/css/switch.css"
14    type="text/css" media="screen" />
15    <link rel="stylesheet" href="lib/css/toastr.css"/>
16    <link rel="stylesheet" href="lib/css/toastr-respon-
17    sive.css" />
18  </head>
19  <body>
20    <div>
21      <b><font size="20">Nissan LEAF battery
22    data</font></b>
23    </div>
24    <div style="height:600px;width:100%;">
25      <div
26      id="g1"style="height:300px;width:350px;float:left;"></div>
27      <div
28      id="g2"style="height:300px;width:350px;float:left;"></div>
29      <div
30      id="g3"style="height:300px;width:350px;float:left;"></div>
31      <div style="clear:both;"></div>
32      <div
33      id="g4"style="height:300px;width:350px;float:left;"></div>
34      <div
35      id="g5"style="height:300px;width:350px;float:left;"></div>
36      <div
37      id="g6"style="height:300px;width:350px;float:left;"></div>
38      <div style="clear:both;"></div>
39    </div>
40    <div>
41      <p></p>
43      <p></p>
44      <p></p>
46    </div>
47  </body>
48
49  <script type="text/javascript">
50    $(document).ready(function(){
51
52      var g1, g2, g3, g4, g5, g6;
53      var g1 = new JustGage({
54        id: "g1",
55        value: 0,
56        min: 0,
57        max: 400,
58        title: " Voltage [V]",
59        label: ""
60      });
61
62      var g2 = new JustGage({
63        id: "g2",
64        value: 0,
65        min: 0,
66        max: 20,
67        title: "Current [A]",
68        label: ""
69      });
70      var g3 = new JustGage({
71        id: "g3",
72        value: 0,
73        min: 0,
74        max: 10000,
75        title: "Power [W]",
76        label: ""
77      });
78      var g4 = new JustGage({
79        id: "g4",
80        value: 0,
81        min: 0,
82        max: 32000,
83        title: " BAT energy[Wh]",
84        label: ""
85      });
86      var g5 = new JustGage({
87        id: "g5",
88        value: 0,
89        min: 0,
90        max: 100,
91        title: "SOC %",
92        label: ""
93      });
94      var g6 = new JustGage({
95        id: "g6",
96        value: 0,
97        min: 0,
98        max: 220,
99        title: "GIDS",
100       label: ""
101     });
102     $.ajaxSetup({ cache: false });
103     setInterval(function() {
104       $.get("data/packVolts.htm",
105       function(result) {
106         g1.refresh(parseFloat(result));
107       });
108       $.get("data/packAmps.htm", function(re-
109       sult) {
110         g2.refresh(parseFloat(result));
111       });
112       $.get("data/Watt.htm", function(result) {
113         g3.refresh(parseFloat(result));
114       });
115       $.get("data/WattHour.htm", function(re-
116       sult) {
117         g4.refresh(parseFloat(result));
118       });
119       $.get("data/SOC.htm", function(result) {
120         g5.refresh(parseFloat(result));
121       });
122       $.get("data/GIDS.htm", function(result) {
123         g6.refresh(parseFloat(result));
124       });
125     }, 200);
126   });
127 </script>
128 </html>
```

L.5. TIA Portal programm

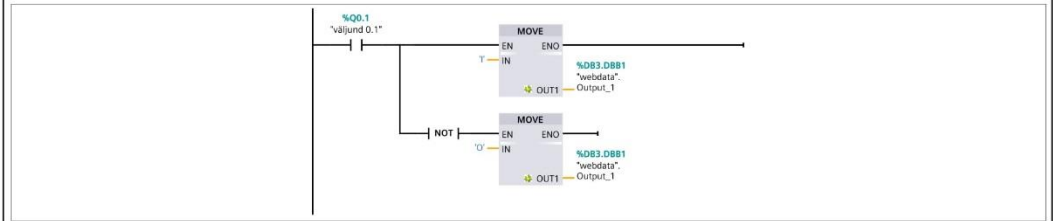
Totally Integrated Automation Portal					
LEAF_storage_01 / PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] / Program blocks					
Main [OB1]					
Main Properties					
General					
Name	Main	Number	1	Type	OB
Numbering	automatic			Language	LAD
Information					
Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author		Comment	
Version	0.1	User-defined ID			
Main					
Name		Data type		Default value	
▼ Temp					
ok		Int			
Ret_Val		Int			
Constant					
Network 1:					
Network 2:					
Network 3:					
Network 4:					
Network 5:					
Network 6:					



Network 7:



Network 8:



L.6. PVS300-TL vastavus eeskirjadele ja standarditele

Dokumendi number	Pealkiri
10TH0490-VDE0126	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to VDE V 0126-1-1
10TH0490-IEC61727	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to IEC 61727:2004 and IEC62116:2008
3503091.01	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to IEC 61727:2004 and IEC62116:2008
10TH0490-NRS 097-2-1	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to NRS 097-2-1_RSA
262742-1	ABB string inverters, PVS300 - Investigation report, Degree of protection IP55
10H0490-IEC62116	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to IEC 62116:2008 - Integrated islanding prevention device
3AXD10000020184	ABB string inverters, PVS300 - Engineering recommendation G83/1, Appendix 4 - Type verification test sheet
3AXD10000050547	ABB string inverters, PVS300 - VDE-AR-N 4105:2011 appendix F.3
3AXD10000050458	ABB string inverters, PVS300 - VDE-AR-N 4105:2011 appendix F.4
3AXD10000050459	ABB string inverters, PVS300 - VDE-AR-N 4105:2011 appendix G.2
3AXD10000050460	ABB string inverters, PVS300 - VDE-AR-N 4105:2011 appendix G.3
3AXD10000044284	ABB String inverters, PVS300 accessories, PVS-APK-M - Declaration of conformity according to Low Voltage, EMC and Radio and Telecommunication Terminal Equipment Directives
3AXD10000044304	ABB string inverters, PVS300 - Statement - Use of DC circuit breakers in Australia
3AXD10000027698	ABB string inverters, PVS300 -Type Test Result Sheet
11KFS113-02	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to IEC 61727
10TH0490-AS4777 10TH0490-AS3100	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to AS4777 and AS3100
10TH0490-G59-2	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to Engineering recommendation G59/2
10TH0490-G83-1	ABB string inverters, PVS300 - Certificate of compliance according to Engineering recommendation G83/1
3AXD10000020184	Solar inverters, ABB string inverters, PVS300 - Declaration of conformity, (According to Australian Communications and Media Authority)
3AXD10000020425	ABB string inverters, PVS300 - Declaration of Conformity according to Low Voltage Directive, LVD 2006/95/EC and EMC Directive, EMC 2004/108/EC
100204B-ELSA	ABB string inverters, PVS300 - Statement of conformity according IEC/EN 62109-1:2010
100204D-ELSA	ABB string inverters, PVS300 - Statement of conformity according to EN 50178:1997 and IEC 62103:2003