
Litiumioniakkujen testausjärjestelmä

Jani Reinikainen

Opinnäytetyö

Ammattikorkeakoulututkinto

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Automaatiotekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Jani Reinikainen	
Työn nimi Litiumioniakkujen testausjärjestelmä	
Päiväys	28.4.2011
Sivumäärä/Liitteet	51/4
Ohjaaja(t) Risto Niemi, Antti Ruotsalainen	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-amk Varkauden yksikkö	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Osana Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden yksikön energialaboratoriahanketta koululle on hankittu litiumioniakkujen testausjärjestelmä. Järjestelmä koostuu akunhallintajärjestelmästä, latauslaitteesta, litiumioniakkupaketista ja keinokuormasta. Keinokuormalla pystytään kuormittamaan akkupakettia erisuuruisilla vakiovirran- tai resistanssin arvoilla. Akkupakettia voidaan ladata latauslaitteella, mutta lataaminen tapahtuu akunhallintajärjestelmän ohjaamana. Testausjärjestelmän ohjaamiseen tarvittiin kuitenkin ohjausohjelman, jotta järjestelmän ohjaaminen olisi helppoa ja mittaustuloksia voitaisiin kerätä talteen.</p> <p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli ohjelmoida National instruments LabVIEW 2009 -ohjelmointi ympäristössä ohjelma, jolla pystyttäisiin ohjaamaan testausjärjestelmää ja tallentamaan mittaustuloksia. Testausjärjestelmälle täytyi suorittaa myös käyttöönottestaukset ja kirjoittaa käyttöohje.</p> <p>Työn tuloksena saatiin ohjelmoitua ohjausohjelma sekä kirjoitettua käyttöohje. Ohjelmalla pystytään ohjaamaan testausjärjestelmää ja tallentamaan mittaustuloksia Excel-tiedostoihin. Käyttöliittymästä tehtiin mahdollisimman selkeä, jotta ohjausohjelman käyttö ja laitteiden ohjaaminen olisi helppoa. Laitteilta saatavilla tilatiedoilla tehdään myös lukituksia, joilla estetään laitteiden väärinkäyttö ja vioittuminen. Testausjärjestelmän käyttöönottestaukset ja ohjelman kehittäminen lopetettiin, koska järjestelmää on päätetty päivittää.</p>	
Avainsanat Litiumioniakku, LabVIEW	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Automation Technology			
Author(s) Jani Reinikainen			
Title of Thesis A Testing System for Lithium-Ion Battery			
Date	28.4.2011	Pages/Appendices	51/4
Supervisor(s) Risto Niemi, Antti Ruotsalainen			
Project/Partners SUAS, Varkaus			
<p>Abstract</p> <p>The Savonia University of Applied Sciences in Varkaus has purchased a lithium-ion battery testing system as a part of the energy laboratory project. The system consists of a battery management system, a charger, a lithium-ion battery pack and an artificial load. With the artificial load the battery pack can be tested with different scale of values of constant current or constant resistance. Battery pack can be loaded with the charger but the charging is controlled by battery management system. However, to control the testing system a controlling program is needed so that control of the system would be easy and test data results can be collected.</p> <p>The aim of this thesis was to program a program in National instruments LabVIEW 2009 programming environment which is able to control the testing system and collect test data results. For the testing system commission test had to be carried out and operating instructions had to be drawn up.</p> <p>As a result of this thesis controlling program was developed and also operating instructions were drawn up. With the program the testing system can be controlled and the data resulting from the tests can be saved to Excel files. The user interface was made clear as possible so that the use of the control program and the controlling testing system will be easy. The misuse and break down of the devices is prevented by lockings which are made by the device state data. Commission tests of the testing system and program developing were ended because it is decided to update the system.</p>			
Keywords Lithium-ion battery, LabVIEW			

TERMEJÄ

BMS

Battery management system, Akunhallintajärjestelmä. Akunhallintajärjestelmä on laitteisto, jolla valvotaan akun tilaa. Akunhallintajärjestelmän tehtävänä on myös estää akun ylikuormittaminen, yllilataaminen ja lämpeneminen.

CC

Constant current, Vakiovirta. Lataus- tai kuormitusilanteessa käytettävä menetelmä, jossa lataus- tai kuormitusvirtaa pidetään vakiona.

CR

Constant resistance, Vakioresistanssi. Kuormitusilanteessa käytettävä menetelmä, jossa kuorman resistanssia pidetään vakiona.

Cut-off

Cut-off, Katkaisujännite. Katkaisujänniteellä (cut-off) tarkoitetaan jännitettä, johon mennessä akku on luovuttanut suurimman osan kapasiteetistaan. Kuormituksen jatkaminen vielä katkaisujännitteen jälkeen ei ole järkevää, koska se on vain haitaksi akulle.

De-facto

Latinankielinen käsite: todellisuudessa, tosiasiallisesti. Kun uusia tuotteita halutaan käyttöön nopeammin kuin niitä ehditään standardoida, syntyy yleensä de-facto -standardi. Tällainen käytännön standardi on yleensä saavuttanut hallitsevan markkinaosuuden ja sitä aletaan usein käyttää myös muiden valmistajien vastaaviin tuotteisiin.

DOD

Depth of discharge, kuormitusvyvyys. Kuormitusvyvyydellä kuvataan kuinka suuri osa akun kapasiteetista on käytetty yhden syklin aikana.

IP-numero/osoite

Tietokoneen IP-numero on TCP/IP-verkkojärjestelmän käyttämä numeerinen osoite, jolla tietokone tunnistetaan verkossa.

nC rate

nC rate, nC-taso. nC-taso kertoo kuormituksen voimakkuuden. Numeron n arvo toimii kertoimena, jolla kertomalla akun kapasiteetti saadaan kuormituksen voimakkuus. Esim. jos akun kapasiteetti on 50 Ah ja kuormitusarvoksi on ilmoitettu 1C saadaan kuormitusvirran suuruudeksi kertomalla kapasiteetti C-arvolla, eli $(50 \text{ Ah}) * 1C = 50 \text{ A}$.

Shunttivastus

Pieni vastus, jonka avulla voidaan mitta piirissä kulkevaa virtaa. Virta vaikuttaa vastukseen ja synnyttää jännitehäviön. Jännitteen ja vastuksen arvon perusteella voidaan Ohmin lain avulla laskea virta.

SOC

State of charge, Varaustaso. SOC-arvo on laskettu prosentuaalinen arvo akun varaustasosta. Arvo on laskettu jännitteestä, latausvirrasta tai -energiasta, joka on varastoituna akkuun. 0% vastaa tyhjää ja 100% täyttä akkua.

RS232

RS232 on normi, joka koskee tietokoneiden ja oheislaitteiden välistä kahdensuuntaista, sarjamuotoista yhteyttä.

TCP/IP

Transmission control protocol/internet protocol yleisnimitys internetissä ja myös muissa verkoissa käytettäville yhteyskäytännöille, joilla kaikki verkossa olevat tietokoneet nimetään numeerisiksi 32-bittisiksi osoitteiksi.

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	9
2	AKKUTEORIAA.....	10
2.1	Akun rakenne	10
2.2	Akkujen jaottelu	11
2.3	Akun toiminta.....	12
2.4	Teoreettisten arvojen määrittely.....	14
2.5	Ominaisuudet ja suorituskyyky käytännössä	14
2.5.1	Eri tekijöiden vaikutus akun suorituskyykyyn	15
2.5.2	Sisäinen resistanssi.....	18
2.5.3	Itsepurkautuminen ja varastointi	18
2.5.4	Käyttöikä	19
2.5.5	Lataaminen	19
3	LITIUMIONIAKKUTEKNIikka JA MUITA AKKUTEKNIikOITA	20
3.1	Litiumioniakun rakenne.....	21
3.2	Litiumioniakun toiminta	22
3.3	Litiumioniakun ominaisuuksia	23
3.4	Litiumionipolymeeriakut	24
3.5	Muita akkutekniikoita ja energian siirtolaitteita	25
4	TESTAUSJÄRJESTELMÄ JA OHJELMISTO	27
4.1	Akunhallintajärjestelmä.....	28
4.2	Latauslaite	29
4.3	Akkupaketti.....	29
4.4	Keinokuorma	30
4.5	LabVIEW	31
5	OHJAUSOHJELMAN KÄYTTÖLIITTYMÄ	32
5.1	Painikkeet.....	32
5.2	Mittaus- ja tilatiedot.....	34
5.3	Kuvaajat	35
6	OHJELMAN RAKENNE JA TOIMINTA.....	36
6.1	Akunhallintajärjestelmä.....	37
6.1.1	Ohjaus.....	37
6.1.2	Lukitukset ja virheiden käsittely	39
6.1.3	Sammuttaminen ja uudelleen käynnistäminen.....	39
6.2	Keinokuorma	40
6.2.1	Ohjaus.....	40
6.2.2	Lukitukset ja ylikuormituksen estot	42
6.3	Tietojenkäsittely.....	43

6.4 Laitteiden viestein käsittely	43
6.5 Sykliä laskeminen	44
6.6 Mittausten tallentaminen	45
7 YHTEENVETO	47

LIITTEET

- Liite 1 Taulukko anodi- ja katodimateriaalien ominaisuuksista
- Liite 2 Taulukko yleisten akkutyyppeiden ominaisuuksista
- Liite 3 Thunder Sky-kenno
- Liite 4 Käyttöohje

1 JOHDANTO

Akusta on ajan myötä kehittynyt tärkeä energian varastointi- ja siirtolaite. Kannettavan elektroniikan kehittyessä ja lisääntyessä akkujen kehittämiseen on panostettu enemmän sekä uusia akkutekniikoita on kehitetty lisää. Nykyään markkinoilla on useita akkutekniikoita sekä uusia lupaavia energian varastointi- ja siirtotekniikoita.

Akkujen toimintaan vaikuttavat monet tekijät ja samankaltaisten akkujen valmistajien välillä voi olla eroja. Akut eivät kerro paljoa suorituskyvystään pelkän ulkokuoren perusteella. Yleensä akun merkinnöistä voidaan vain päätellä akun nimellisjännite ja kapasiteetti ampeeritunteina. Akkujen suorituskyvyn selvittämiseksi akuille on tehtävä erilaisia kuormitus- ja lataustestejä olosuhteiden vaihdellessa.

Savonia-ammattikorkeakoululle Varkauden yksikköön on hankittu litiumioniakkujen testausjärjestelmä. Järjestelmä koostuu akunhallintajärjestelmästä, latauslaitteesta, litiumioniakkupaketista ja keinokuormasta. Keinokuormalla pystytään kuormittamaan akkupakettia erisuuruisilla vakiovirran tai resistanssin arvoilla. Akkupakettia voidaan ladata latauslaitteella, mutta lataaminen tapahtuu akunhallintajärjestelmän ohjaamana. Testausjärjestelmän ohjaamiseen tarvittiin kuitenkin ohjausohjelman, jotta järjestelmän ohjaaminen olisi helppoa ja mittaustuloksia voitaisiin kerätä talteen. Järjestelmälle täytyi suorittaa myös käyttöönottestaukset sekä kirjoittaa käyttöohje.

Tämän insinööriyön tavoitteena oli ohjelmoida National Instruments LabVIEW 2009 - ohjelmointi ympäristössä ohjelma, jolla pystytään ohjaamaan testausjärjestelmää sekä keräämään testeissä syntyviä mittaustuloksia talteen myöhempää tarkastelua varten. Ohjelman käyttöliittymästä haluttiin tehdä selkeä, jotta ohjausohjelman käyttö ja järjestelmän ohjaaminen olisi helppoa. Ohjelman tuli myös estää laitteiden mahdollinen väärinkäyttö ja laitteiden vioittuminen.

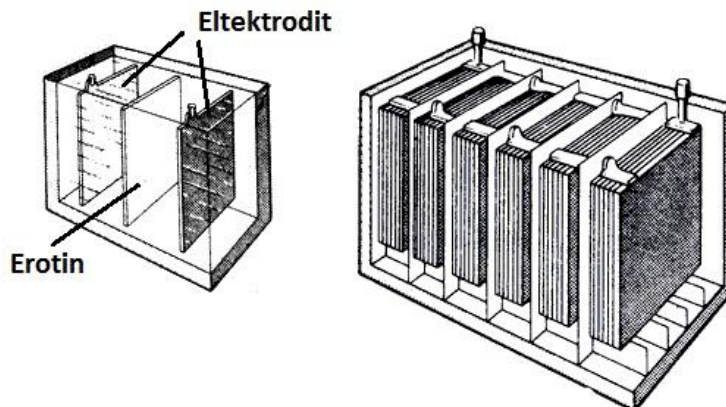
2 AKKUTEORIAA

Akku on laite, joka pystyy muuttamaan sen aktiivisiin materiaaleihin kemiallisesti varastoidun energian suoraan sähköiseksi energiaksi hapettumis- ja pelkistymisreaktioiden avulla. Riippuen akkutekniikasta energia on palautettavissa akkuun takaisin lataamalla sitä sähkövirralla.

Akkujen ominaisuuksiin ja suorituskykyyn vaikuttavat akussa käytettyjen aktiivisten materiaalien ominaisuudet ja reaktioihin osallistuvat muut aineet. Akun rakenteella ja muodolla, mutta myös käyttötavalla ja olosuhteilla on vaikutusta akun suorituskykyyn. Akuille on tehtävä erilaisia testejä, jotta niiden ominaisuudet ja suorituskyky saataisiin selville käytännönoolosuhteissa.

2.1 Akun rakenne

Akut muodostuvat yhdestä tai useammasta kennosta. Kennojen kytkentätavalla voidaan vaikuttaa akun muodostamaan jännitteeseen ja kapasiteettiin. Kennojen sarjaan kytkentä kasvattaa akun muodostamaa jännitettä ja rinnan kytkettä kapasiteettia. Yksi kenno sisältää anodi- ja katodielektrodit, erottimen, elektrolyyttiä, kotelon ja liitännät. [1]



Kuva 1. Kennon ja akun rakenne. [2]

Anodi on akun negatiivinen ja pelkistävä elektrodi. Kemiallisessa reaktiossa anodi luovuttaa elektroneja ulkoisen piirin kautta katodille ja hapettuu. Metallit ja niiden seokset ovat käytetyimpiä anodimateriaaleja. Anodiksi valitaan aine, jolla on seuraavia ominaisuuksia: tehokas pelkistin, korkea varaus (Ah/g), hyvä sähkönjohtavuus, vakaa, helppo valmistaa ja edullinen. [1], [3]

Katodi on akun positiivinen ja hapettava elektrodi. Kemiallisessa reaktiossa katodi vastaanottaa elektrodit ja pelkistyy. Katodiksi valitaan aine, joka on tehokas hapetin, ei reagoi elektrolyytin kanssa ja sillä täytyy olla hyödyllinen käyttöjännite. Joissakin akuissa kuten sinkki-ilma akuissa ilmassa ympäröivää happea voidaan käyttää suoraan katodina. Katodimateriaalina käytetään yleensä metallioksiedeja. [1], [3]

Elektrolyytinä täytyy olla aine, joka on hyvä johtamaan ioneja, mutta ei johda elektroneja. Elektrolyytti voi olla nestemäistä, geelimäistä tai kiinteää. Elektrolyytti ei saa reagoida elektrodien kanssa eivätkä sen ominaisuudet saisi muuttua paljoa lämpötilan muuttuessa. Elektrolyytti pitäisi olla myös turvallista käsitellä ja halpaa. Vesipohjaiset elektrolyytit ovat käytetyimpiä. [1], [3]

Elektrodit ovat eristetty toisistaan mekaanisesti huokoisella eristeellä sisäisten oikosulkujen estämiseksi, mutta ovat kuitenkin elektrolyytin ympäröimänä ja yhteydessä toisiinsa. Eristeenä käytetään huokoisia materiaaleja, jotka mahdollistavat halutunlaisen ionijohtavuuden. Eristeen lisäksi elektrodien väliin on voitu lisätä verkkomaisia rakenteita vähentämään sisäistä resistanssia. [1]

Akut voidaan rakentaa monen muotoisiin koteloihin. Kotelot valmistetaan yleensä muovista tai metallista. Yleisimmät kotelomuodot ovat sylinteri, nappi ja särmiö. Koteloiden on kestävä mekaanista rasitusta ja niiden on pysyttävä tiiviinä erilaisissa olosuhteissa, jotta akku ei pääsisi kuivumaan. Jotkin akkumallit on varustettu turvaventtiilillä, jonka kautta akkuun mahdollisesti syntynyt paine pääsee purkautumaan. Akku tarvitsee myös liitäntänavat ja merkinnät, jotka kertovat napaisuuden. [1]

2.2 Akkujen jaottelu

Sähkökemialliset akut jaetaan kahteen ryhmään primäärisiin ja sekundäärisiin, riippuen siitä voidaanko akun varausta palauttaa lataamalla sitä sähkövirralla. Primäärisillä tarkoitetaan kertakäyttöisiä paristoja ja sekundäärisillä uudelleenladattavia akkuja. Akut voidaan jakaa myös rakenteen ja käyttötavan mukaan. [1]

Primäärisiä paristoja ei pystytä lataamaan uudestaan tai se hyvin vaikeaa ja tehotonta. Paristot saadaan valmiiksi ladattuina ja niiden varaus käytetään loppuun, minkä jälkeen ne on hävitettävä asianmukaisesti. Paristojen elektrolyytti ei ole nestemäistä. Elektrolyytti on huokoista jauhetta ja se voi olla yhdistettynä

erotinmateriaaliin, josta tulee myös nimitys kuiva-akut. Paristot ovat halpoja, kevyitä, ne säilyvät hyvin, niillä on korkea energiatiheys, pieni itsepurkautuminen ja ne ovat helppoja käyttää. [1]

Sekundääriset akut ovat uudelleen ladattavissa käytön jälkeen. Varaus voidaan palauttaa alkuperäiseen tasoon lataamalla akkua päinvastaisella virralla kuin kuormitustilanteessa. Kuitenkin ajan myötä akun kyky ottaa latausta vastaan heikkenee. Varaustasoa ei myöskään pystytä palauttamaan loputtomasti suunniteltuun tasoon. Sekundääristen akkujen sovellukset voidaan jakaa kahteen ryhmään. [1]

Ensimmäisessä ryhmässä akkuja käytetään energian varastointilaitteena. Akut ovat kytkettynä latauslaitteeseen, joka ylläpitää varaustasoa ja tarvittaessa akku toimittaa energiaa jollekin laitteelle. Tämän ryhmän akkuja käytetään autoissa, lentokoneissa, hätä- tai valmiustilajärjestelmissä, hybridautoissa ja paikallisten järjestelmien kuormituksen tasauksessa. [1]

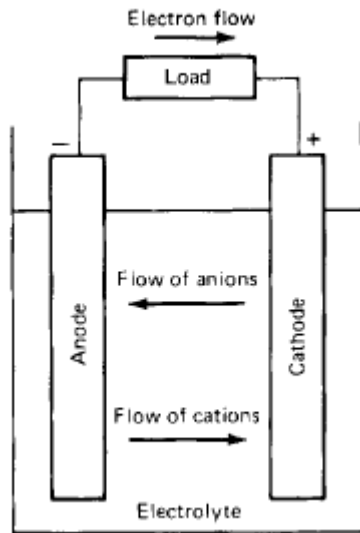
Toisessa ryhmässä akkuja käytetään paristojen tapaan, jolloin koko tai lähes koko kapasiteetti käytetään ja ladataan uudestaan pois heittämisen sijaan. Tämän tyyppisiä akkuja käytetään esim. kuluttajaelektronikassa, sähkötyökaluissa ja sähköautoissa, koska niillä saadaan aikaan säästöjä käyttämällä samaa akkua uudelleen. Tämän tyyppisten akkujen antoteho on myös parempi kuin paristojen. [1]

Sekundääriset akut voidaan jakaa vielä niiden ominaisuuksien mukaan korkean tehon, korkean kuormitusarvon, tasaisen kuormituskuvaajan ja hyvien alhaisen lämpötila ominaisuuksien akkuihin. [1]

2.3 Akun toiminta

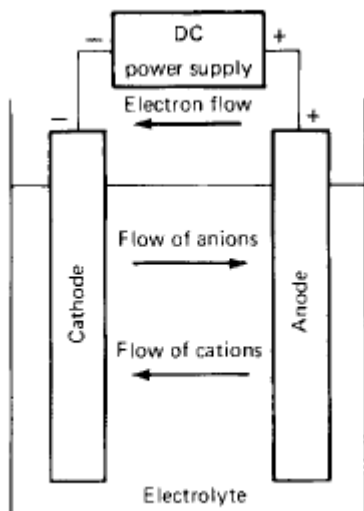
Täyteen ladatun akun napojen välillä vaikuttaa potentiaaliero. Elektronien suuri määrä anodilla tekee siitä negatiivisesti varautuneen ja niiden vähyys katodilla tekee katodista positiivisesti varautuneen. Kun akkuun kytketään ulkoinen kuorma, käynnistyy heti hapettumis-pelkistymisreaktio ja elektronit alkavat virrata anodilta katodille. Elektronit kulkevat kuorman kautta katodille, jossa elektronit vastaanotetaan. Virtapiiriä täydentää vielä anionien (negatiivinen ioni) ja kationien (positiivinen ioni) liikkumiset elektrolyytin välityksellä. Anionit liikkuvat katodilta anodille ja kationit anodilta katodille. Reaktioiden seurauksena anodi menettää

negatiivisen varauksensa ja hapettuu. Katodi menettää positiivisen varauksen ja pelkistyy. [1], [3]



Kuva 2. Akun toiminta kuormituksessa. [1]

Latauksen aikana tapahtumat ovat päinvastaisia. Elektronivirta kulkee positiiviselta elektrodilta negatiiviselle. Anionit kulkevat negatiiviselta positiivisella elektrodille ja kationit positiiviselta negatiiviselle elektrodille. Hapettuminen tapahtuu positiivisella elektrodilla ja pelkistyminen negatiivisella elektrodilla. Määritelmän mukaan hapettuminen tapahtuu anodilla ja pelkistyminen katodilla, tällöin positiivinen elektrodi on anodi ja negatiivinen katodi kuvan 3 mukaisesti. [1], [3]



Kuva 3. Akun toiminta latauksessa. [1]

2.4 Teoreettisten arvojen määrittely

Akun jännite ja kapasiteetti muodostuu anodi- ja katodimateriaalien ominaisuuksista. Akun jännite voidaan määrittellä akussa käytettyjen aktiivisten materiaalien perusteella. Jännite voidaan laskea jännitesarjasta löytyvillä arvoilla tai todeta se kokeellisesti. Materiaalien muodostama potentiaaliero voidaan saada laskemalla yhteen materiaalien muodostamat jännitteet. Akun muodostama jännite riippuu myös aineen pitoisuudesta ja lämpötilasta. Nämä tekijät voidaan ottaa huomioon käyttämällä Nerst:n yhtälöä. [1]

Akun kapasiteetti riippuu akussa käytettyjen aktiivisten materiaalien määrästä, jolloin aineen huokoisuus ja elektrodien pinta-ala määrittävät akun kapasiteettiin. Kapasiteetti ilmaistaan sähkökemiallisessa reaktiossa syntyvän sähkö kokonaismääränä, coulombeina tai ampeeritunteina. Akun ampeeritunteina ilmoitettu kapasiteetti on suoraan yhteydessä materiaalien sisältämään sähkö määrään. Akun laskettuun kapasiteettiin vaikuttaa vain sähkökemialliseen reaktioon osallistuvien aktiivisten materiaalien määrä. Kapasiteetti voidaan silloin saada laskemalla yhteen aktiivisten materiaalien sisältämän sähkö määrän avulla ampeeritunteina grammaa tai kilogrammaa kohti. [1]

Jännitteiden ja kapasiteetin laskemiseksi tarvittavia arvoja voi tarkastella liitteestä 1 ja valmiiksi laskettuja arvoja yleisimmille akkutyypeille liitteestä 2. Edellä mainitut laskutavat eivät kuitenkaan ota huomioon akussa olevia muita aineita esim. elektrolyyttiä tai kosteutta. [1]

Akun jännitteen ja kapasiteetin avulla akulle voidaan määrittää myös akun energiatiheys wattituntia painoa kohden. Laskennallinen energian määrä saadaan kertomalla keskenään materiaalien muodostama jännite ja sisältämä kapasiteetti painoa kohden. [1]

2.5 Ominaisuudet ja suorituskyky käytännössä

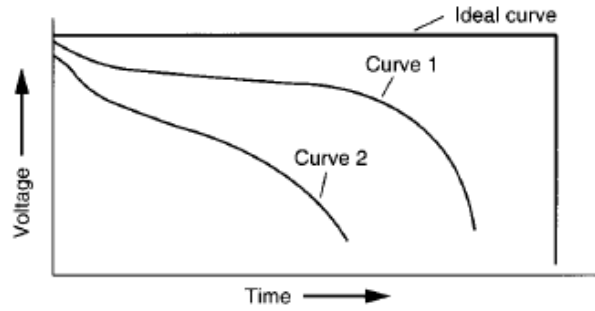
Akun arvot ovat käytännössä pienempiä. Akun laskennallinen energiatiheys perustuu käytettyihin aktiivisiin materiaaleihin ja niiden määrään akussa. Käytännössä akusta saadaan vain murto-osa lasketusta energiatihydestä. Energiatihyden pieneneminen johtuu akun valmistamiseen tarvittavien muiden materiaalien tuomasta lisäpainosta- ja koosta. Akussa käytettyjen materiaalien tuoma lisäpaino pudottaa lähes 50% akun laskennallista energiatihyettä. [1]

Akku ei myöskään pysty pitämään koko kuormitusjakson aikaa jännitettä samana eikä akun jännite putoa koskaan noltaan, vaan toimii akulle tyypillisellä alueella. Jännitteen putoaminen kuormituksen aika pienentää myös osan akusta saatavasta energiasta. Olosuhteiden kiristytessä vaikuttavien tekijöiden vaikutus vain suurenee. Lähellä optimiolosuhteita tapahtuneen kuormitusjakson aikana akusta saatavan energian määrä on vain 25-35 % lasketusta energian määrästä. [1]

2.5.1 Eri tekijöiden vaikutus akun suorituskykyyn

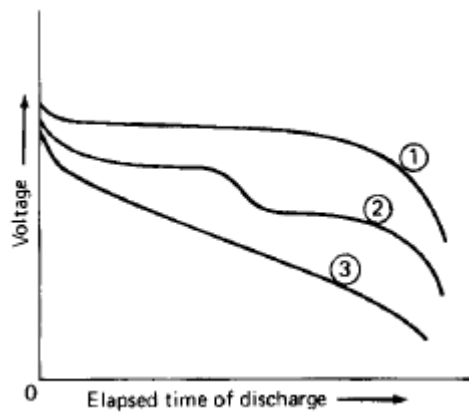
Akun jännitteestä käytetään montaa eri nimitystä. Akun lähdejännite on jännite, jonka akku kehittää. Liitinjännite on taas jännite, joka vaikuttaa akun napojen välillä. Voidaan myös puhua avoimen virtapiirin ja suljetun virtapiirin liitinjännitteestä. Avoimella virtapiirillä tarkoitetaan tilannetta, jossa akkua ei kuormiteta tai ladata. Suljetulla virtapiirillä tarkoitetaan tilannetta, jossa akku on kuormitettu tai latauksessa. Akun nimellisjännite on jännite, joka on yleisesti hyväksytty tyypilliseksi käyttöjännitteeksi tietyille akkutyypille. Käyttöjännitteellä tarkoitetaan jännitealuetta, jolla akku normaalisti toimii sitä käytettäessä. Katkaisujänniteellä (cut-off) tarkoitetaan jännitettä, johon mennessä akku on luovuttanut suurimman osan kapasiteetistaan. Kuormituksen jatkaminen vielä katkaisujännitteen jälkeen ei ole järkevää, koska se on vain haitaksi akulle. [1]

Idealisella akulla liitinjännite pysyisi samana koko kuormituksen ajan ja kapasiteetin loputtua putoaisi noltaan, kuten kuvassa 4 on esitetty. Käytännössä olosuhteista riippuen akun kuormituskuvaajat muistuttavat enemmän kuvaajien 1 ja 2 muotoja. Kuvaajalla 2 kuvataan akkua, jolla on korkeampi sisäinen resistanssi, korkeampi kuormitusarvo tai molemmat verrattuna kuvaajaan 1. Sisäisen resistanssin tai kuormitusarvon ollessa pienempiä kuvaaja on loivempi, jolloin akusta saadaan myös enemmän energiaa. Kuormituksen voimakkuutta kuvataan yleensä nC-tasolla. Numeron n arvo toimii kertoimena, jolla kertomalla akun kapasiteetti saadaan kuormituksen voimakkuus. Esim. jos akku on kapasiteetiltaan 50 Ah ja kuormitusarvoksi on ilmoitettu 1C, silloin kuormitusvirta on 50 A. [1]



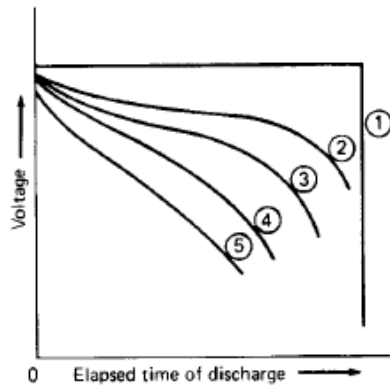
Kuva 4. Sisäisen resistanssin ja kuormituksen voimakkuuden vaikutus kuvaajien muotoon. [1]

Akun kuormituskuvaajan muotoon vaikuttaa akun sähkökemiallinen systeemi, rakenne ja muut kuormitusolosuhteet. Tyypillisiä kuormituskuvaajia on kolme, jotka on esitetty kuvassa 5. Ensimmäinen niistä on tasainen. Tasainen kuormituskuvaaja kuvaa että reagoivissa aineissa tapahtuu vain vähäisiä muutoksia ja reaktiontuotteiden määrä on vähäistä ennen kuin akun kapasiteetti on lopussa. Toinen kuormituskuvaaja kuuluu akulle, jossa kuormituksen aikana tapahtuu muutoksia reagoivien aineiden välillä sekä aktiivisten aineiden potentiaalissa. Kolmas kuvaaja kuuluu akulle, jonka mm. aktiivisten materiaalien, reagoivien aineiden ja sisäinen vastus muuttuvat kuormituksen aikana, tehden kuvaajasta viiston. [1]



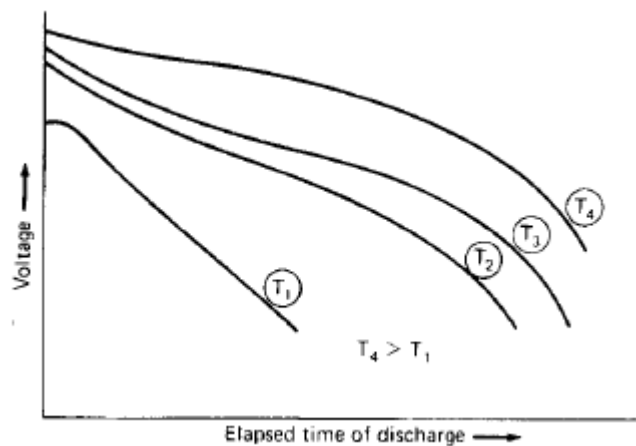
Kuva 5. Akun kemiallisen systeemin, rakenteen ja olosuhteiden vaikutus kuvaajien muotoon. [1]

Kuormituksen voimakkuuden vaikutus voidaan nähdä kuvasta 6. Kuvaaja yksi on ideaalisen akun kuvaaja. Kuvaajat 2-5 kuvaavat suurenevan kuormituksen voimakkuuden vaikutusta. Suuremman kuormituksen vaikutuksesta käyristä tulee viistompia. Akun liitinjännite putoaa nopeammin ja akusta saadaan pienempi osa energiaa. [1]



Kuva 6. Kuormitusvoimakkuuden vaikutus kuormituskuvaajan muotoon.[1]

Lämpötilalla voi olla suuri vaikutus akun suorituskykyyn. Alhaisissa lämpötiloissa akun sisäinen resistanssi kasvaa ja elektrolyytti voi jäätyä. Korkeissa lämpötiloissa akun sisäinen resistanssi pienenee ja aktiiviset aineet voivat hajota tehden akusta käyttökelvottoman. Lämpötilan vaikutus voidaan nähdä kuvasta 7. Kuvaaja T4 kuvaa optimiolosuhteissa tehtyä kuormitustestiä, noin 23 - 25 °C asteen lämpötilassa. T3-T1 kuvaajat kuvaavat alenevan lämpötilan vaikutuksia. Kuvaajasta nähdään että akun jännite putoaa jyrkemmin ja akusta saadaan vähemmän energiaa alhaisemmassa lämpötilassa. [1], [3]



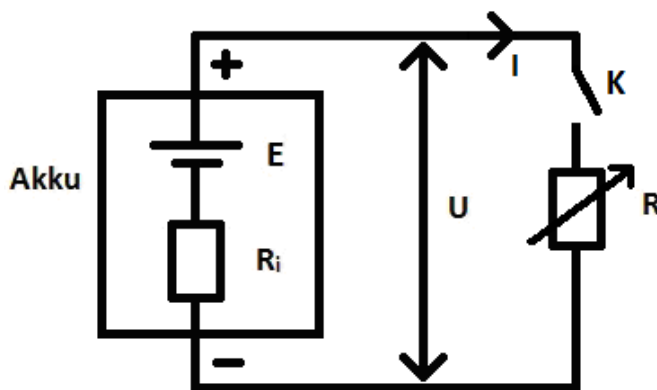
Kuva 7. Lämpötilan vaikutus kuormituskuvaajan muotoon. [1]

Kuvaajien muotoon vaikuttavat myös kuormitustapa. Kuormitustapa voi olla tasaista tai vaihtelevaa, jotka vaikuttavat omalla tavalla akun rakenteen, sähkökemiallisen systeemin, toimintalämpötilan ja kuormituksen voimakkuuden lisäksi. [1]

2.5.2 Sisäinen resistanssi

Akun sisäinen resistanssi muodostuu ionisesta resistanssista elektrolyytissä, erottimen ja huokoisten elektrodirakenteiden resistanssista, aktiivisten aineiden sähköisestä resistanssista, virran kerääjien ja aktiivisten aineiden välisestä resistanssista, virran kerääjien ja liitäntöjen välisestä resistanssista. [1]

Sisäisen resistanssin vaikutuksen voimakkuus akun liitinjännitteeseen riippuu sisäisen resistanssin ja kuormitusvirran suuruudesta. Kuvassa 8 on esitetty akku ja siihen kytketty säädettävä vastus R . Kytkimen K ollessa auki akun liitinjännite U on yhtä suuri kuin lähdejännite E , koska piirissä ei kulje virta eikä jännitehäviöitä pääse syntymään. Painettaessa kytkin K pohjaan yhdistyy säädettävä vastus akkuun ja piirissä alkaa kulkea virta I . Tällöin syntyy jännitehäviöt säädettävässä vastuksessa ja sisäisessä resistanssissa R_i . Säädettävän vastuksen arvo pienentäessä kasvaa piirissä kulkeva virta, jolloin sisäiseen resistanssiin vaikuttava virta kasvaa. Suurempi virta aiheuttaa isomman jännitehäviön sisäiseen resistanssiin, jolloin liitinjännitteeksi jää jäljelle pienempi osa. [1], [3], [5]



Kuva 8. Akun sisäinen resistanssi. [5]

2.5.3 Itsepurkautuminen ja varastointi

Vaikka akkua ei käytetä, akun varaus purkautuu hiljalleen. Purkautumista kutsutaan itsepurkautumiseksi. Itsepurkautuminen kertoo kuinka nopeasti akku menettää varaustaan tietyssä ajassa. Alhaisissa lämpötiloissa akut itsepurkautuvat hitaammin ja lämpimässä nopeammin. Varastointilämpötila on akuilla yleensä noin $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Akun varaustasolla on myös vaikutusta itsepurkautumisen nopeuteen ja siihen kuinka suuri osa akun kokonaiskapasiteetista on palautettavissa varastoinnin jälkeen. Oikean suuruinen varastointikapasiteetti vaihtelee akuittain, jotkin on varastoitava ladattuina

täyteen kapasiteettiin ja osa vajaalla kapasiteetilla. Syy miksi jotkin akut varastoidaan vajaalla kapasiteetilla, on että akun itsepurkautuminen on silloin hitaampaa ja akkujen kapasiteetista saadaan käyttöön otettaessa palautettua suurempi osa. [1], [3], [4]

2.5.4 Käyttöikä

Akun käyttöikä voidaan mitata ajassa tai lataus-kuormitusykleissä. Lataus-kuormitusyklit kertovat kuinka monta latausta ja sen jälkeen tiettyyn tasoon asti tapahtunutta kuormitusta akku kestää ennen kuin sen kapasiteetti on pienentynyt pysyvästi 80 % tason alle. Akun kuormitustasolla prosenteissa (DOD %, depth of discharge) kerrotaan kuin suuri osa akun kapasiteetista on käytetty kuormituksen aikana. Kuormitusvyvyys vaikuttaa lataus-kuormitusyklar määrään. Lataus-kuormitusyklar määrä ei kuitenkaan riipu pelkästään vain kuormitusvyvyydestä. Akun ikään vaikuttavat lämpötila latausten ja kuormitusten aikana, kuormitusvyvyys, lataus- ja kuormitusvirran suuruus, latauksenohjaus, ylilatausten tai -kuormitusten määrä, varastointiolosuhteet ja pituus. [1], [3]

2.5.5 Lataaminen

Akkujen lataaminen tapahtuu yleensä yhdessä tai useammassa vaiheessa. Akkujen lataaminen voidaan jakaa eri vaiheisiin, käytettävien latausmenetelmien mukaan. Yleisesti käytetään kahta menetelmää perinteisten akkutekniikoiden lataamiseen, vakiojännite ja vakiovirta. Lataaminen voi olla joillakin akkutekniikoilla myös pulssimaista. Akun saavutettua täyden varauksen, latausta voidaan jatkaa ylläpitolatauksella. Latauksien yhteydessä riippuen latauslaitteesta ja akusta voi latauslaite tehdä toimintoja, joilla akkua voidaan elvyttää ja parantaa akun suorituskykyä, verrattuna tilanteeseen ennen latausta. Latausmenetelmän käyttö riippuu akkutekniikasta eikä kaikki menetelmät sovi kaikille akkutekniikoille. Väärän latausmenetelmän käyttäminen on haitaksi akulle ja aiheuttaa pysyviä vaurioita akkuun. [3], [4]

Lähes kaikilla akkutekniikoilla on tyypillinen lataustekniikka ja latauslaitteensa. Latauslaitteen on pystyttävä saamaan lataus akkuun, optimoimaan latauksen taso ja tunnistamaan latauksen lopetuksen ajankohta. Akun saavuttaessaan täyden varauksen voidaan se tunnistaa akun liitinjännitteestä, liitinjännitteen negatiivisesta muutoksesta, lämpötilamuutoksesta, latausvirran pienenemisestä tai lataaminen voidaan suorittaa ajastetusti. Liitinjännitteen negatiivinen muutos voidaan tunnistaa vain nikkeli-akuista. Useamman tekijän seuraamisen avulla voidaan tunnistaa

helpommin akun täysi varaustaso, joka kuitenkin vaatii kalliimman latauslaitteen. Ajoissa tapahtuneen täyden varaustason tunnistuksella vältetään akun ylilataaminen ja akun vioittuminen. [3]

Latauksen vastaanotto kyky vaihtelee akkutekniikoittain, joitakin akkuja pystytään lataaman myös tavallista nopeammin pikalataamalla. Lämpötila vaikuttaa akkujen lataamiseen ja rajoittaa yleensä latausnopeutta. Optimiolosuhteet akun lataamiselle on 23 - 25 °C asteen lämpötilassa kuten akun kuormittaminen. Alle 0 °C asteen lämpötiloissa tapahtuneet latauksen voivat lisätä kaasujen syntymistä ja paineen kasvamisen. Pahimmassa tapauksessa akun lataaminen pakkasessa aiheuttaa oikosulun elektrodien välillä, mikä johtaa akun tuhoutumiseen. Kuitenkin on olemassa akkuja, jotka on suunniteltu kestävämmän alhaisia lämpötiloja. [3], [4]

3 LITIUMIONIAKKUTEKNIikka JA MUITA AKKUTEKNIIKOITA

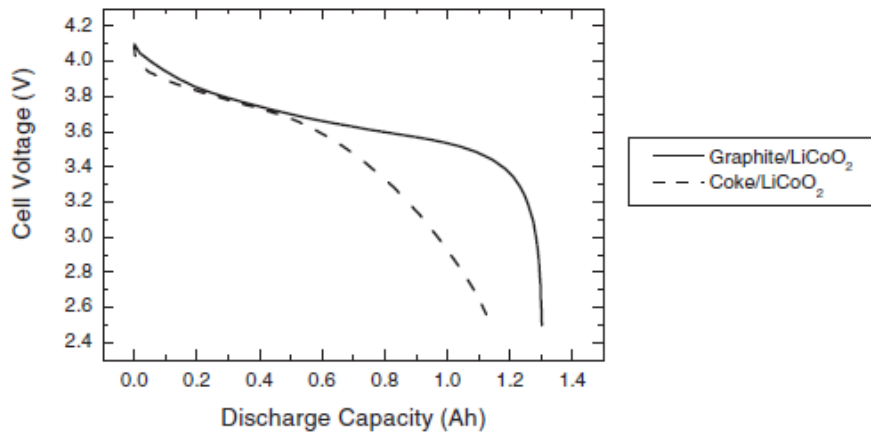
Litium on kevyin kaikista metalleista ja sillä on korkein normaalipotentiaali. Litium reagoi herkästi muiden aineiden kanssa luovuttaen uloimman elektroninsa. Tämän takia litiumia ei esiinny luonnossa puhtaana vaan aina yhdisteinä. Litiumin käyttökohteita ovat voiteluaineet, keraamiset materiaalit, lasit, lääkkeet ja akut. [6], [7]

Litiumionikenojen valmistukseen litiumia käytetään vain muutamia grammoja. Muihin akkutekniikoihin nähden litiumioniakuilla on suuri energiatiheys ja niiden kehittämä jännite on myös huomattavasti korkeampi. Litiumioniakut ovat nopeasti vallanneet markkinoita kannettavan elektroniikan laitteissa. Toinen litiumioniakkujen merkittävä käyttökohde on erilaiset hybridi- ja sähköajoneuvot. [3], [8]

Ensimmäisissä litiumioniakuissa anodina käytettiin metallista litiumia, joka teki akuista epävakaita ja vaarallisia. Tämän seurauksena 1980-luvulla kehitettiin turvallisempi tekniikka, jossa anodi oli tehty aineesta, joka pystyi sitomaan litiumioneja. Litiumioniakut eivät ole yhtä herkkiä reagoimaan ja ovat turvallisempia. Litiumioniakkujen käyttöikä on myös pidempi. Nykyisetkin litiumionitekniikat tarvitsevat vähintään lämpösulakkeen tai ennemmin valvontaelektroniikan. Ilman suojausta varustettuja akkuja on vaarallista käyttää ne voivat syttyä palamaan tai jopa räjähtää. [8], [9]

3.1 Litiumioniakun rakenne

Litiumioniakun anodi on valmistettu kuparilevystä, joka on pinnoitettu hiilipohjaisella aineella. Ensimmäinen anodimateriaali litiumioniakuissa oli hiilestä valmistettu koksi. Nykyään anodimateriaalina käytetään grafiittia. Grafiitti on osoittautunut hyväksi anodimateriaaliksi, koska sen avulla akusta saadaan tasaisempi jännite ja jyrkempi notkahdus kuormitusjakson lopussa. [1], [8]



Kuva 9. Koksi- ja grafiittianodin vertailua. [1]

Katodi on valmistettu alumiinilevystä joka on taas pinnoitettu litiumkربولttioksidilla, litiummangaanilla, litiumnikkelioksidilla tai litiumrautafosfaatilla.

Litiumkربولttioksidit olivat ensimmäisiä litiumioniakkuja, jonka toimiva malli esiteltiin vuonna 1981. Litiumkربولttioksidit ovat kuitenkin kalliita valmistaa, epävakaita ja litiumkربولttioksidi on myös myrkyllistä. Sen jälkeen on kehitetty litiummangaani- ja litiumnikkelioksidimateriaaleja käyttäviä litiumioniakkuja, jotka ovat halvempia valmistaa ja ne ovat suorituskyvyltään parempia. Vuonna 1996 esiteltiin litiumrautafosfaatti (LiFePo₄) litiumioniakut. Litiumrautafosfaattiakut ovat turvallisempia, halpoja valmistaa ja eivät sisällä myrkyllisiä aineita.

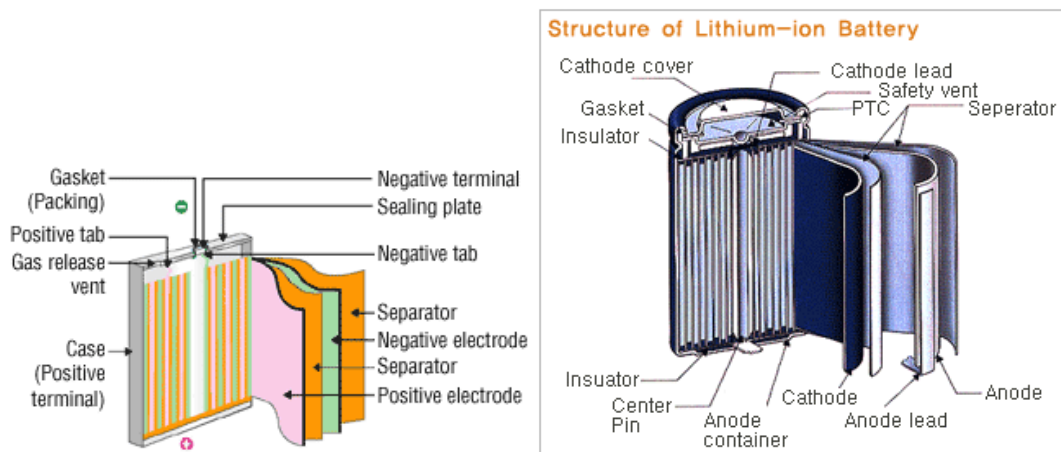
Litiumrautafosfaattiakuilla on kuitenkin muita litiumioniakkuja pienempi energiatiheys. [1], [9], [10]

Anodin ja katodin toisistaan eristävänä eristeenä käytetään huokoista 10-30 µm paksuista kalvoa. Nestemäistä elektrolyyttiä käyttävissä litiumioniakuissa yleisin käytetty eriste on polyolefiini. Polyolefiinilla on hyvät mekaaniset ominaisuudet, kemiallisesti vakaa ja se on edullista. [1]

Litiumioniakuissa käytetään nestemäisiä, keraamisia, geelimäisiä ja polymeerielektrolyyttejä. Litiumioniakuissa ei voida käyttää vesipohjaisia

elektrolyyttejä, koska litium on herkkä reagoimaan veden kanssa. Litiumioniakuissa käytetään elektrolyyttiliuoksia, jotka koostuvat litiumsuolasta ja orgaanisista liuottimista. [1]

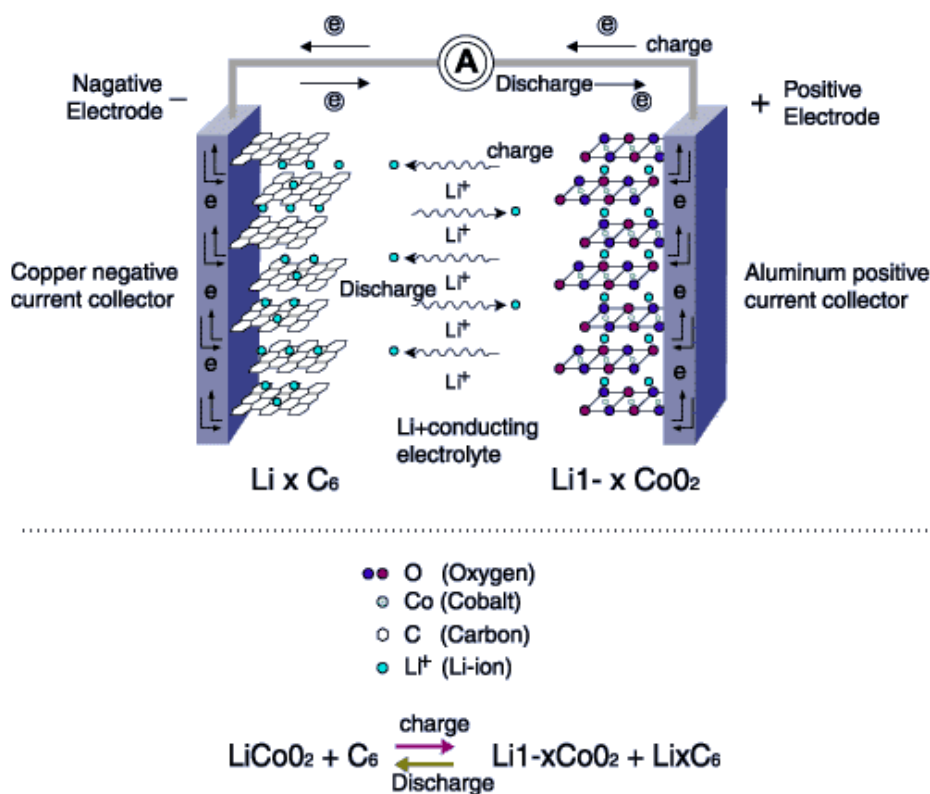
Litiumioniakkuja valmistetaan yleensä särmiön tai sylinterin muotoisiin koteloihin. Kotelot voivat olla metallia tai muovia. Metalliset kotelot kestävät paremmin lämpöä niiden paremman lämmönjohtokyvyn ansiosta. Metalliseen koteloon pakatut litiumioniakut voivat myös olla pidempi-ikäisiä, koska ne ovat yleensä tiiviimpiä ja pitävät kosteuden paremmin poissa kuin muoviset. Koteloihin on rakennu myös venttiili, jonka kautta akkuun ylikuormituksen- tai latauksen aika syntynyt paine pääsee purkautumaan pois. [1], [3]



Kuva 10. Särmiön ja sylinterin muotoisten litiumioniakkujen rakenteet. [11], [12]

3.2 Litiumioniakun toiminta

Litiumioniakun toiminta perustuu litiumionien liikkeisiin anodin ja katodin välillä. Täyteen ladatun litiumioniakun anodilla eli negatiivisella elektrodilla on hiileen sitoutuneena litiumioneja. Akussa käynnistyy heti hapettumis-pelkistymisreaktio kun akkuun kytketään ulkoinen kuorma, minkä seurauksena anodilla litiumioni luovuttaa elektroninsa. Elektronit kulkevat ulkoisen kuorman kautta katodille synnyttäen sähkövirran piiriin. Samaan aikaan ionit kulkeutuvat anodilta katodille elektrolyytin välityksellä. Reaktiossa anodi hapettuu luovutettuaan ja katodi pelkistyy vastaanottaessaan elektronit ja ionit. Latauksen aikana tapahtuma on päinvastainen. [3], [8], [9]



Kuva 11. Litiumkobolttioksidi litiumioniakun toiminta.[13]

3.3 Litiumioniakun ominaisuuksia

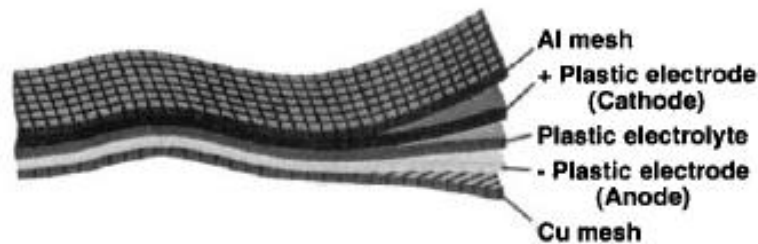
Litiumioniakuilla on korkea käyttöjännite. Käyttöjännitealue on 2,5-4,2 V ja tyypillinen nimellisjännite on 3,7 V, joka on noin 2-3 kertaa korkeampi kuin muilla akkutekniikoilla. Litiumioniakkujen energiatiheys on noin 100-150 Wh/kg ja 245-430 Wh/l. Itsepurkautumista litiumioniakuissa tapahtuu vähän, vain 2-8 % kuukaudessa. Litiumioniakkujen käyttöikä on 100 % kuormitusyyskeillä n. 3000 sykliä. 20-40 % kuormitusyyskeillä käyttöikä voi olla jopa yli 20 000 sykliä. Vuosissa mitattuna käyttöikä on yli 5 vuotta. Litiumioniakuilla ei myöskään ole muisti-ilmiötä, joten ylimääräisiä kuormituksia ja latauksia ei tarvita. Litiumioniakkujen käyttölämpötila-alue on hyvä, mutta alle 0 °C asteen lämpötilat aiheuttavat ongelmia akun käytössä. Lataaminen alle 0 °C asteessa aiheuttaa pysyviä vaurioita litiumioniakuun. Litiumioniakkujen elektronien pinnoille muodostuu hiljalleen metallista litiumia, joka ajan myötä aiheuttaa oikosulun ja akun tuhoutumisen. Kuormittaminen ei kuitenkaan ole niin haitallista, mutta alhaiset lämpötilat pienentävät akusta saatavaa energian määrää. [1]

Huonona puolena litiumioniakut tarvitsevat lähes aina akunhallintajärjestelmän (BMS, Battery Management System) tai vähintään lämpösuojan. Akunhallintajärjestelmällä valvotaan akun jännitettä ja lämpötilaa. Akunhallintajärjestelmällä estetään akun

ylilataaminen ja -kuormittaminen sekä akun liiallinen lämpeneminen. Litiumioniakut vanhenevat myös vaikka niitä ei käytettäisi. Kaiken kosteuden poistaminen ei ole aina mahdollista tai järkevää akun valmistusvaiheessa, joten litiumioniakkujen vanheneminen alkaa heti valmistuksen jälkeen. [1], [8], [9]

3.4 Litiumionipolymeeriakut

Litiumionipolymeeriakkujen rakenne poikkeaa tavallisista litiumioniakuista. Litiumpolymeeriakkujen elektrodit ja elektrolyytti on valmistettu polymeeristä sekä muista niiden valmistamiseen tarvittavasti aineista. Polymeeriakkujen muoviset elektrodit voidaan valaa sakeasta seoksesta, litiumioniakuille tyypillisistä anodi- ja katodimateriaaleista, sekoitettuna johtaviin sideaineisiin, polymeerisideaineisiin, pehmittimiin sekä erilaisiin apuaineisiin. Muovinen erotin on valmistettu homogeenidusta lietteestä, jossa on käytetty osittain samoja materiaaleja kuin elektrodien valmistuksessa. Virrankeräimet on valmistettu verkkomaisista rakenteista, mutta ovat kuitenkin samoja materiaaleja kuin tavallisissa litiumioniakuissa, anodi kuparia ja katodi alumiinia. [1]



Kuva 12. Litiumionipolymeeriakun rakenne. [1]

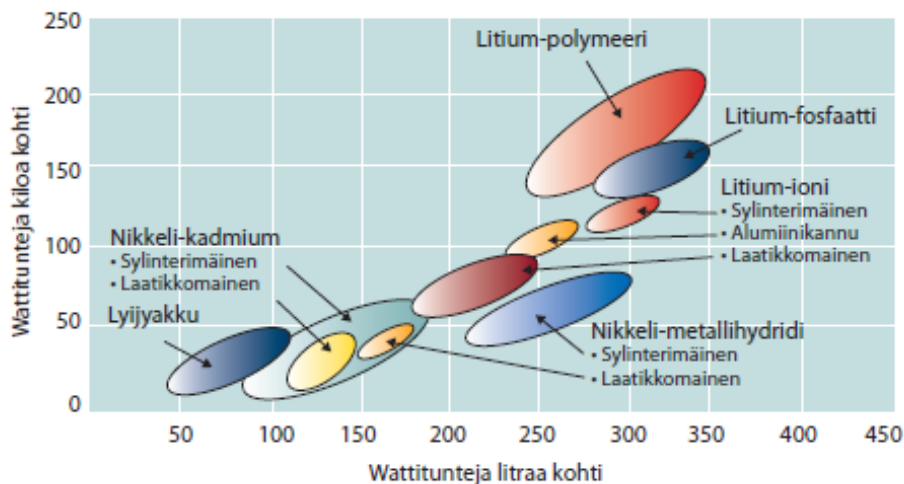
Polymeeriakkujen muovinen elektrolyytti toimii myös eristeenä, joten erillistä eristettä ei tarvita. Muovinen rakenne ei kuitenkaan johda hyvin sähköä ja sisäinen vastus on suuri. Akut eivät myöskään pysty kehittämään korkeita kuormitusvirtapiikkejä. Apuna polymeeriakkuihin voidaan lisätä hieman geelimäistä elektrolyyttiä, joka parantaa sähkönjohtavuutta. [1], [8]

Ominaisuuksiltaan polymeeriakut ovat lähes samankaltaisia tavallisten litiumioniakkujen kanssa. Polymeeriakut ovat kuitenkin hieman kevyempiä ja niistä voidaan valmistaa erimuotoisia sekä ohuita. Polymeeriakut ovat myös turvallisempia kuin nestemäistä elektrolyyttiä sisältävät litiumioniakut, koska polymeeriakut eivät sisällä herkästi haihtuvia ja syttyviä liuottimia. [1]

3.5 Muita akkutekniikoita ja energian siirtolaitteita

Litiumioniakkujen lisäksi yleisesti käytössä on lyijy-, nikkelimetallihydridi- (Ni-Mh) ja nikkelikadmium- (Ni-Cd) akkuja. Näistä Ni-Cd-akut ovat vähenemään päin Euroopan alueella, koska kadmiumin käyttö uusissa laitteissa on kielletty sen myrkyllisyyden takia. Lyijyakut ovat pitäneet paikkansa raskaissa sovelluksissa ja autojen käynnistysakkuina. Ni-Mh-akkuja käytetään nykyään lähinnä sähkötyökaluissa ja joissakin kannettavissa laitteissa, mutta myös jotkin sähköajoneuvot käyttävät niitä. [14], [15], [16], [17], [18]

Kuvassa 13 on vertailtu eri akkutekniikoiden energiatiheyttä painoa ja tilavuutta kohti. Akkutekniikoista vanhin lyijyaku on energiatihedeltään huonoin. Nikkeliakuilla on lyijyakkuihin nähden parempi energiatiheys. Litiumioni- ja etenkin polymeeriakuilla on muihin nähden huomattavasti parempi energiatiheys. Kuvasta voidaan myös todeta, että akun muodolla on vaikutusta akun energiatihyteen.



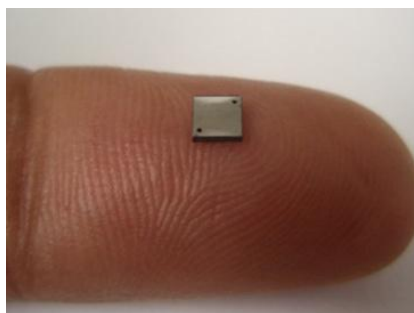
Kuva 13. Akkujen energiatihyksiä. [19]

Lyijyakulla on hyviä ominaisuuksia, joiden takia se on edelleen käytössä. Etenkin sen yksinkertainen rakenne ja halpa hinta. Lyijyakuilla on myös hyvä virran antokyky ja ne ovat helposti ladattavissa. Lyijyakut ovat kuitenkin painavia ja niiden itsepurkautuminen on suuri. Lyijyakun toiminta alhaisissa lämpötiloissa on myös huono. Alhaisissa lämpötiloissa lyijyakun elektrolyytti voi jäättyä tuhoten akun sisäisiä rakenteita ja tehden akusta käyttökeltottoman. Lyijyakun jäätyminen voidaan estää pitämällä se täydessä varauksessa, jolloin akun happopitoisuus on korkea. [17]

Nikkeliakut ovat lyijyakkua kevyempiä sekä niiden itsepurkautuminen on pienempi. Nikkeliakut toimivat myös paremmin alhaisissa lämpötiloissa, etenkin joillakin Ni-Cd-akuilla on erittäin hyvät alhaisen lämpötilan ominaisuudet. Nikkeliakuilla on kuitenkin alhainen jännite ja niillä on niin sanottu muisti-ilmiö. Nikkeliakuilla on ominaisuus muistaa taso johon ne on purettu, jolloin käyttämättä jäänyt kapasiteetti häviää ajan myötä latausten seurauksena. Muisti-ilmiö voidaan estää purkamalla akut välillä täysin tyhjäksi ja lataamalla ne takaisin täyteen kapasiteettiin. Nikkeliakut tarvitsevat myös yleensä mikroprosessoriohjatun laturin. Laturin tulisi pystyä tunnistamaan akun lämpötilan sekä napajännitteen notkahduksen akun saavuttaessa täyden varauksen. [14], [15], [16]

Lyijy-, nikkeli- ja litiumioniakkujen lisäksi on kehitetty myös muitakin akkutekniikoita kuten ilma- ja lämpöakkuja. Lisäksi on olemassa muitakin energian siirtovälineitä. Niistä ehkä lupaavimmat tekniikat ovat superkondensaattorit ja polttokennot. [18]

Polttokennoissa sähkön tuottaminen ei tapahdu palamalla. Polttokennot toimivat kuin akut hapettumis-pelkistymisreaktioilla, muuttaen polttoaineen suoraan sähköksi ja lämmöksi. Polttokennot saavat energiansa kennoon syötettävästä polttoaineesta. Polttokennoja valmistetaan montaa erikokoja eri tarkoituksiin, kännykän akusta voimalaitoksiin. Polttokennoilla on hyvä hyötysuhde ja ne ovat ympäristöystävällisiä sillä ne synnyttävät parhaimmillaan vain vettä. Polttoaineena polttokennoissa kuitenkin käytetään yleensä metanolia, mikä on erittäin myrkyllinen aine. Polttoaineille pitäisi myös rakentaa jakeluverkosto, joiden kautta polttoaineiden jakelu olisi mahdollista. Polttokennotekniikka vaatii vielä kehitystä, jotta sen laajempi käyttöönotto olisi mahdollista. [20], [21], [22]



Kuva 14. Pieni polttokenno. [27]

Kondensaattorit ovat energiavarastoja, joista voidaan purkaa energiaa nopeasti pois ja ladata se takaisin muutamassa sekunnissa. Kondensaattoreiden koko vaihtelee yleensä pikofaradista millifaradiin, kun taas superkondensaattoreiden koko voi olla jopa tuhansia faradeja. Superkondensaattorit ovat kondensaattoreita, joilla on paljon

korkeampi energiatiheys kuin normaalilla kondensaattorilla. Superkondensaattori koostuu kahdesta elektrodista ja kahdesta kerroksesta aktiivihiihijauhetta. Aktiivihiihijauhe kerrokset ovat erotettu toisistaan erittäin ohuella eristeellä. Aktiivihiihijauhe on erittäin huokoista, minkä takia siihen pystytään varastoimaan suuri määrä energiaa. Ohut eriste rajoittaa kuitenkin superkondensaattorien jännitteen alle 5 V. Superkondensaattoreilla korvataan jo tavallisia akkutekniikoita. Superkondensaattoreiden energiatiheyttä uskotaan pystyvän kasvattamaan lähes litiumioniakkutekniikan tasolle nanotekniikan avulla. Nykyään superkondensaattorin energiatiheys on 0,5 - 30 Wh/kg. [5], [23], [24], [25]



Kuva 15. Superkondensaattoreita. [26]

4 TESTAUSJÄRJESTELMÄ JA OHJELMISTO

Testausjärjestelmä koostuu akunhallintajärjestelmästä, keinokuormasta, latauslaitteesta ja akkupaketista. Akunhallintajärjestelmään kuuluu ohjausyksikkö ja hallintalaitteet. Hallintalaitteilla hallitaan ja ohjataan lataus- sekä kuormitustapahtumia. Ohjausyksikkö valvoo tapahtumia ja pitää järjestelmän vakaassa tilassa. Hallintalaitteet sisältää ohjaukseen tarvittava virtalähteet, kontaktorit ja shunttivastuksen virranmittaukseen. Latauslaitteella akkupaketti pystytään lataamaan ja keinokuormalla akkupakettia voidaan kuormittaa. Lataustapahtuma on automaattinen ja akunhallintajärjestelmän ohjaama. Kuormitusasetuksia voidaan säätää keinokuorman avulla halutunlaiseksi. Akkupaketti koostuu 40kpl litiumrautafosfaatti-litiumionikennosta, jotka on varustettu valvonta- ja tasapainotuselektronikalla. Testausjärjestelmää ohjaava ohjelma on toteutettu National instruments LabView -2009 ohjelmistolla. [28], [29], [30]

4.1 Akunhallintajärjestelmä

Akunhallintajärjestelmä ohjaa ja valvoo lataus- ja kuormitustapahtumia. Ohjausyksikkö kerää mittaustietoja akkupaketin valvontapiireiltä sekä mittaa piirin virtaa shunttivastuksen avulla. Mittaustietojen avulla ohjausyksikkö päättelee laitteiston tilan ja sallii toiminnot, jos järjestelmän tila on vakaa. Mittaus- ja tilatietoja esitetään akunhallintajärjestelmän paikallinäytöllä ja ne ovat myös luettavissa tietokoneella. [29], [30]



Kuva 16. Akunhallintajärjestelmä.

Akunhallintajärjestelmään ohjataan tietokoneella verkkoliitännän kautta TCP/IP-yhteydellä. Tietokoneella ohjausyksikölle voidaan lähettää käskyjä, joilla saadaan mittaus- ja tilatietoja tai voidaan vaihtaa järjestelmän tilaa. Ohjausyksikkö ohjaa hallintalaitteiden avulla järjestelmän tilaa, jos se on turvallista. Lataaminen tapahtuu akunhallintajärjestelmän ohjaamana eikä latausta pääse ohjaamaan tietokoneen kautta. Kuormitustapahtumaa voidaan ohjata säätämällä kuorman asetuksia. [29], [30]

4.2 Latauslaite

Latauslaitteena järjestelmässä toimii Powerfinn oy:n valmistama pac3200-verkkovirtalaturi. Latauslaitteen latausjännitettä ja -virtaa säätelee akunhallintajärjestelmä. Latauslaitteen latausvirtaa voidaan säätää 0-14 A ja jännitettä 0-320 V välillä. 14 A virralla akkupaketin lataus kestää noin 14,5 h. Myöhemmin latauslaite on suunniteltu päivitettäväksi tehokkaampaan malliin, joka sallii latausvirran säädön 0-25 A välillä. [29]



Kuva 17. Latauslaite.

4.3 Akkupaketti

Laitteiston akkupaketti koostuu 40 litiumionikennosta. Kennot ovat tyypiltään litiumionirautafosfaatti, LiFePO₄ kennoja. Kapasiteetiltaan yksi kenno on 200 Ah. Nimellinen kennojännite yhdellä kennolla on 3,2 V. Kaikki kennot on kytketty sarjaan kuparisilla virtakiskoilla, jolloin koko kapasiteetti on 200 Ah ja nimellisjännite 128 V. Akkupaketin käyttöjännite vaihtelee välillä 112-149 V. Akkupaketista saadaan nimellisjännitteellä ja 200 A kuormitusvirralla 25,6 kWh energiaa. Akkupakettia

voidaan kuormittaa jopa 400 A ja hetkellisesti 500 A virralla. Yhden kennon paino on noin 8 kg ja kokonaispainoa akkupaketilla on 320 kg. Lisää tietoa kennoista löytyy liitteestä 3. [29]



Kuva 18. Akkupaketti.

Akkupaketin jokaisella kennolla on oma valvontalaite. Valvontalaitteiden tehtävä on tarkkailla kennojen jännitteitä ja lämpötiloja, tarvittaessa estää yllilataaminen, ylikuormitus, kennojen lämpeneminen ja tasapainottaa kennojen välisiä jännitteitä. [29]

4.4 Keinokuorma

Akunhallintajärjestelmään on liitetty ET Instrumenten valmistama keinokuorma, jolla akkupakettia voidaan kuormittaa erisuuruisilla resistanssin tai virran vakioarvoilla, CR (Constant Resistance) ja CC (Constant Current). Keinokuormalle voidaan syöttää 0-500 V jännite ja se pystyy käsittelemään 0-250 A suuruisia virtoja. Tehonkesto rajoittuu 16 kW. Akuista saatu energia muutetaan keinokuormassa lämmöksi. [28]



Kuva 19. Keinokuorma.

Keinokuormaa voidaan ohjata tietokoneella sekä laitteen etupaneelin hallintapainikkeista. Keinokuorman mittaus- ja tilatietoja voidaan lukea laitteen omalta näytöltä. Ohjaava tietokone on yhteydessä kuormaan sarjaporttiliitännän kautta. Tietokoneella voidaan ohjata kuormaa samaan tapaan kuin kuorman omista hallintapainikkeista sekä lukea mittaus- ja tilatietoja. [28]

4.5 LabVIEW

LabVIEW on National Instrumentsin kehittämä ohjelmointiympäristö. Ohjelmointi tapahtuu graafisella G-kielellä. Ohjelmointikieli on helppo oppia ja perusasiat oppii nopeasti. LabVIEW:sta on versiot Windowsille, Linuxille, Macille sekä kämmentietokoneille. Ohjelmia on mahdollista siirrellä eri käyttöjärjestelmien välillä, mutta LabVIEW:n uudemmalla versiolla tehdyt ohjelmat eivät ainakaan toimi suoraan vanhemmassa LabVIEW -versiossa. On myös tiettyjä käyttöjärjestelmäkohtaisia ominaisuuksia, jotka rajoittavat tiettyjen toimintojen käyttöä sekä tiedostopolut voivat olla erilaiset. [31]

LabVIEW on lähes de-facto-standardi erilaisissa mittaus- ja testaussovelluksissa, mutta käy hyvin yleisohjelmointikieleksi. Kuitenkin jotkin ominaisuudet on helpompi toteuttaa joillakin muilla ohjelmointikielillä. LabVIEW soveltuu erittäin hyvin PC-pohjaisiin teollisuusautomaatioratkaisuihin ja kohteisiin, joissa tarvitaan hyviä tiedonkeruu- ja analysointiominaisuuksia. LabVIEW:n ominaisuuksia voi laajentaa erilaisilla lisäosilla, jos perusominaisuudet eivät riitä. LabVIEW:n tehokkuuden ja helppouden ansiosta se kilpailee C/C++ ohjelmointikielien kanssa. [31]

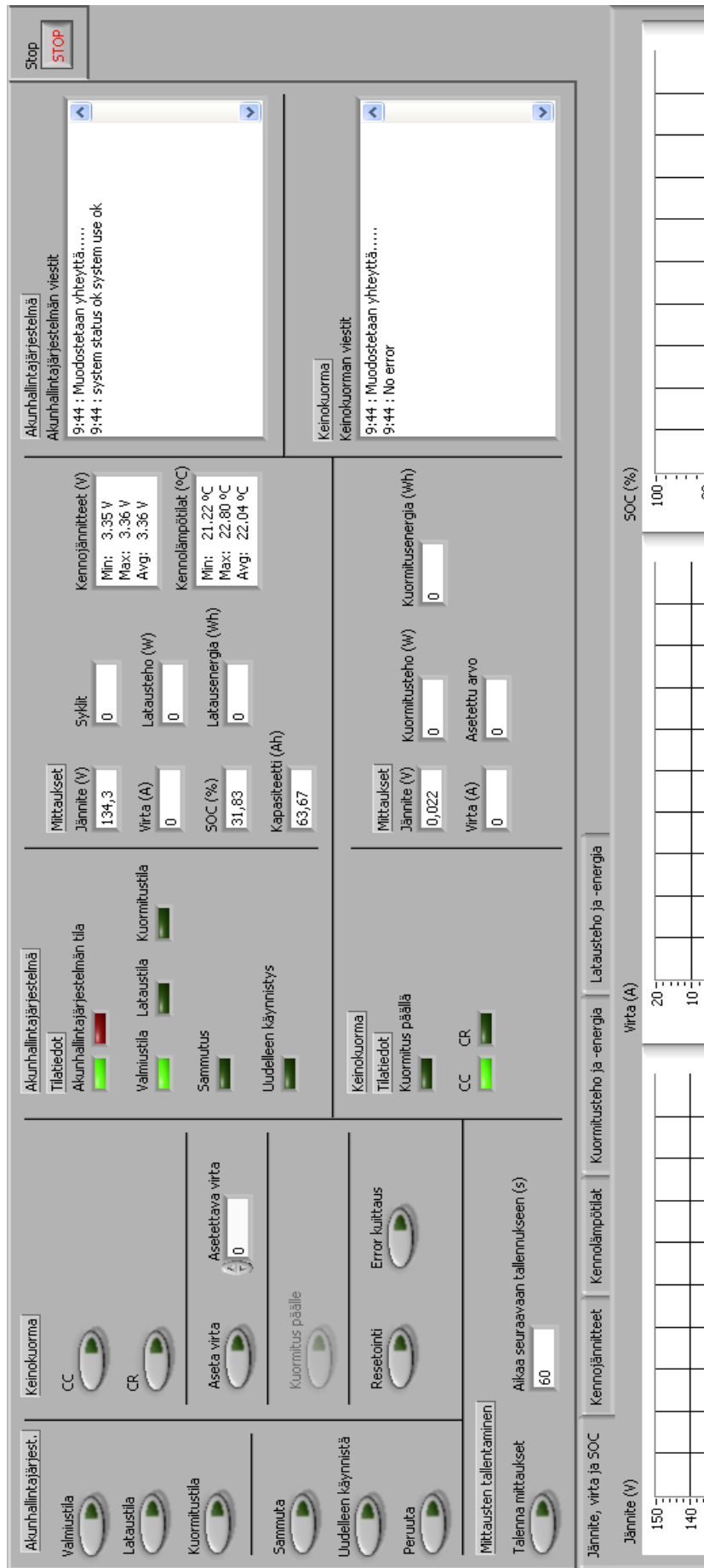
5 OHJAUSOHJELMAN KÄYTTÖLIITTYMÄ

Ohjausohjelma on toteutettu National Instruments Lab View 2009 -ohjelmalla. Ohjelmalla on luotu käyttöliittymä laitteiden ohjaukseen ja mittausarvojen tarkastelua varten. Käyttöliittymästä on tehty mahdollisimman selkeä, jotta testausten etenemisen seuraaminen ja laitteiden ohjaus olisi mahdollisimman helppoa. Ohjausohjelmalla avataan yhteys molempiin laitteisiin, akunhallintajärjestelmään verkkoliitännän ja keinokuorman sarjaporttiliitännän kautta. Ohjausohjelma kerää laitteilta mittaus- ja tilatietoja, jotka sitten muutetaan ohjelmassa ymmärrettävämpään muotoon. Tilatiedoilla tehdään lukituksia, joilla estetään laitteiden väärinkäyttö ja vioittuminen. Käyttäjälle ilmoitetaan myös mahdollisista virheistä tai tilanteen muutoksista.

Molempien laitteiden ohjauspainikkeet on järjestetty omiin osioihin ja tiettyyn järjestykseen, jotta laitteiden ohjaaminen olisi selkeämpää ja helpompaa. Hetkelliset mittaus- ja tilatiedot ovat järjestelty erilleen sekä laitekohtaisesti omiin alueisiin. Kuvaajat ovat sijoitettu välilehtiin, jotta niistä on voitu tehdä isompia ja että koko käyttöliittymä saataisi mahtumaan yhdelle näytölle.

5.1 Painikkeet

Vasempaan reunaan on sijoitettu akunhallintajärjestelmän ohjauspainikkeet. Painikkeet on jaettu kahteen eri osioon, jossa ensimmäisessä on *tilanvaihtopainikkeet* ja toisessa osiossa *sammuttamiseen* sekä *uudelleen käynnistämiseen* tarvittavat painikkeet. *Tilanvaihtopainikkeilla* akunhallintajärjestelmä voidaan ohjata valmius-, lataus- ja kuormitustilaan. *Lataustila-* ja *kuormitustila-* *painikkeet* käynnistävät myös mittausten tallennuksen. Toisen osion painikkeilla järjestelmä voidaan sammuttaa tai uudelleen käynnistää. Sammutus ja uudelleen käynnistys on peruutettavissa tietyn ajan sisällä osiosta löytyvällä *peruuta-* *painikkeella*.



Kuva 20. Käyttöliittymä.

Akunhallintajärjestelmän painikkeiden jälkeen on keinokuorman ohjauspainikkeet. Ensimmäisessä osiossa on kuormitustilan valintapainikkeet *CC* ja *CR*. Toisessa osiossa on *kuormitusvirran-* tai *resistanssin asetuspainikkeet*, riippuen siitä kumpi kuormitustila on valittuna. *Asetettava virta- tai resistanssi-säätimellä* voidaan säätää kuormitusvirran- tai resistanssin suuruus. Säätimeen voidaan näppäillä tai nuolien avulla säätää haluttu kuormitusarvo. Arvon lähettäminen kuormaan tapahtuu *asetta virta- tai resistanssi-painiketta* painamalla. Kuormituksen päälle kytkeminen tapahtuu seuraavasta osiosta löytyvällä *kuormitus päälle-painikkeella*. Kuormituksen päälle kytkeminen vaihtaa myös *kuormitus päällä-painikkeen kuormitus pois-painikkeeksi*, jolla kuormitus voidaan kytkeä pois päältä. Viimeisessä osiossa on kuorman *resetointipainike* ja *error kuittauspainike*. *Resetointipainikkeella* kuorma voidaan resetoida alkuasetuksille ja poistaa mahdolliset virheet. *Error kuittauspainike* poistaa vain mahdolliset virheet pois.

Laitteiden ohjauspainikkeiden alapuolelta löytyy mittausten tallennus-osio. Osioista löytyy *tallenna mittaukset-painike* ja aika näyttö, josta voidaan nähdä seuraavaan mittausten tallennukseen kuluva aika. Painamalla *tallenna mittaukset-painiketta* voidaan tallentaa mittauksia myös akunhallintajärjestelmän ollessa valmiustilassa.

Oikeasta yläkulmasta löytyy ohjelman pysäytyspainike. Ohjelma tulisi sulkea aina niin että ohjelma pysäytettäisi ensin *stop-painikkeesta*, jonka jälkeen ohjelma suljettaisi. Ohjausohjelman vääränlainen sulkeminen voi aiheuttaa myöhemmin yhteysongelmia akunhallintajärjestelmän kanssa.

5.2 Mittaus- ja tilatiedot

Ohjauspainikkeiden jälkeen käyttöliittymään on sijoitettu laitteiden tiloista kertovat merkkivalot ja hetkellisiä arvoja esittävät näytöt. Akunhallintajärjestelmän tilasta kertovat kaksi merkkivaloa vihreä ja punainen. Valoista vihreänä palaa, kun järjestelmä on kunnossa ja käytettävissä. Valoista punainen palaa kun järjestelmässä on vika tai jokin raja-arvo on ylittynyt. Punaisen valon palaessa järjestelmää ei tulisi käyttää.

Seuraavana ovat merkkivalot, jotka kertovat onko järjestelmä valmius-, lataus- vai kuormitustilassa. Toimintatilavalojen jälkeen on merkkivalot, jotka kertovat sammutuksen tai uudelleen käynnistykseen käynnistämistä.

Akunhallintajärjestelmän merkkivalojen oikealla puolella ovat hetkellisten arvojen näytöt. Näytöistä nähdään jännite (V), piirissä kulkeva virta (A), SOC (%), kapasiteetti (Ah), syklien määrä, latausteho (W), latausenergia (Wh), kennojen min, max ja keskiarvot jännitteistä (V) ja lämpötiloista (°C). Syklien määrä, latausteho ja latausenergia ovat akunhallintajärjestelmän arvoista laskettuja arvoja. Loput arvot tulevat akunhallintajärjestelmästä.

Keinokuorman hetkelliset arvot ja tilatiedot on sijoitettu akunhallintajärjestelmän alapuolelle. Keinokuorman kuormituksen tilasta kertoo merkkivalo kuormitus päällä. Valo palaa vihreänä kun kuormitus on päällä ja on sammunut kun kuormitus on pois päältä. Näiden valojen jälkeen on merkkivalot, jotka kertovat kumpi kuormitustila on valittu, CC vai CR.

Merkkivalojen oikealle puolelle on sijoitettu keinokuorman hetkellisten arvojen näytöt. Näytöistä nähdään keinokuormassa vaikuttava jännite (V), piirissä kulkeva virta (A), kuormassa syntyvä teho (W) ja energia (Wh). Kuormitusenergia on laskennallinen arvo ja loput arvot saadaan suoraan keinokuormalta.

Oikeassa reunassa on akunhallintajärjestelmästä saatavat viestit ja keinokuorman viestit. Akunhallintajärjestelmän näytölle tulostuvat tarkemmat tiedot laitteen tilasta. Keinokuorman näytölle tulostuu keinokuormalta saatavan virhe koodia vastaavan virheen tulkinta. Näytölle tulostetaan myös ohje, jossa kerrotaan kuinka keinokuorma tulee käynnistää oikein. Ohje tulostetaan jos keinokuorma ei ole päällä tai siihen ei saada yhteyttä. Näyttöjen esittämät viestit nollataan aina ohjelman sammuttua.

5.3 Kuvaajat

Hallintapaneelin alapuolelta löytyvät kuvaajat. Kuvaajien piirto alkaa, kun akunhallintajärjestelmä ohjataan lataus- tai kuormitustilaan. Kuvaajien piirto alkaa myös jos tallenna mittaukset-painike on painettu pohjaan. Kuvaajat päivittyvät minuutin välein. Arvoista jännite, piirissä kulkeva virta ja SOC löytyvät ensimmäisestä välilehdestä. Toisesta välilehdessä on arvot kennojen min, max ja keskiarvot jännitteistä. Kolmannessa välilehdessä on arvot kennojen min, max ja keskiarvot lämpötiloista. Neljännessä välilehdessä on arvot kuormitusteho ja -energia. Viidennestä lehdestä on arvot latausteho ja -energia.

6 OHJELMAN RAKENNE JA TOIMINTA

Ohjelman ohjelmoinnissa on käytetty erilaisia kehysrakenteita, joilla voidaan ohjata ohjelman suoritusnopeutta ja -järjestystä. Yhteyksien hallinnassa, tietojen käsittelyssä ja tallentamisessa on käytetty LabVIEW:n omia erikoiskomponentteja. Ohjelmassa on käytetty myös Boolean logiikkafunktioita, vertailuja sekä arvojen laskennassa tarvittavia matemaattisia komponentteja.

Ohjelman rakenne koostuu pääohjelmasta ja seitsemästä aliohjelmasta. Pääohjelmaan on koottu kaikki aliohjelmat, jossa aliohjelmat on yhdistetty toisiinsa ja pääohjelma koodiin, toimivaksi kokonaisuudeksi. Kaikki pääohjelman sisältämät aliohjelmat ja koodi on kehystetty time loop:lla. Time loop:lla voidaan määritellä ohjelman suoritusnopeus. Tässä ohjelmassa suoritusnopeus on kerran sekunnissa. Kehyksen ulkopuolella olevat ohjelman osat suoritetaan ennen kehyksen sisällön suorittamista ja sen pysähtyessä.

Ohjelman suoritus alkaa yhteyksien avauksella akunhallintajärjestelmään ja keinokuormaan. Molempiin laitteisiin avataan yhteys ennen time loop:n käynnistymistä. Yhteydet avataan LabVIEW:n omilla erikoiskomponenteilla. Komponenteille on määritelty yhteyden avauksia varten sopivat yhteysasetukset. Tietojen keruuta ja laitteiden ohjausta ohjaavat omat aliohjelmat molemmilla laitteilla. Laitteiden aliohjelmat lähettävät käskyjä laitteille, joilla saadaan laitteiden mittaus- ja tilatietoja sekä muutetaan laitteiden tilaa.

Laitteilta saadut tiedot käsitellään tietojenkäsittelyaliohjelmassa. Laitteet lähettävät tiedot tekstijonona. Tietojenkäsittelyaliohjelmassa tiedot erotellaan ja muutetaan tarvittaessa numerotiedoksi. Pääohjelmassa mittaustiedot syötetään hetkellisten arvojen näytöille ja tilatiedot muutetaan merkkivaloiksi. Mittaustietojen perustella lasketaan myös arvot kuormitusenergia, latausteho, latausenergia ja syklien määrä. Syklien määrän laskeminen sekä laitteiden virheet ja muiden viestien käsittely tapahtuu omissa aliohjelmissa. Viestit esitetään pääohjelmassa tekstinäytöillä. Kakki tiedot kulkeutuvat mittausten tallennusaliohjelmassa, jossa suoritetaan tietojen tallentaminen Excel-tiedostoihin.

Mittausten tallentaminen-aliohjelmassa mittauksille lasketaan minuutin ajalta keskiarvot. Aina tallennuksen alkaessa tallennetaan aloitusarvot, jonka jälkeen tallennetaan minuutin ajalta laskettuja keskiarvoja. Mittausten tallentaminen-

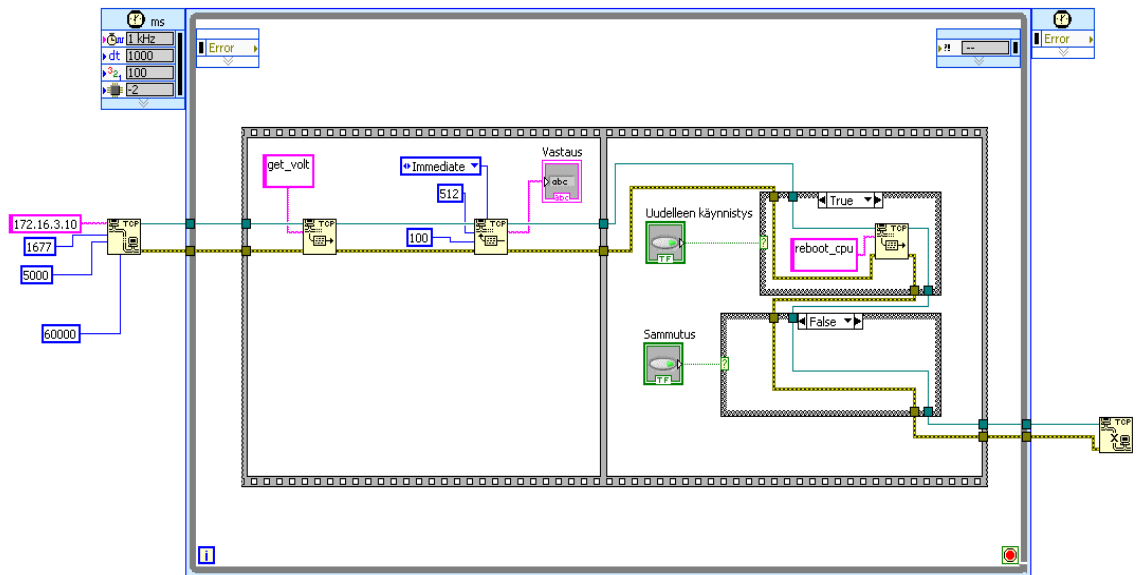
aliohjelmasta mittausten keskiarvoja syötetään myös kuvaajille, jolloin kuvaajat päivittyvät aina minuutin välein.

6.1 Akunhallintajärjestelmä

Akunhallintajärjestelmään avataan yhteys ennen varsinaisen ohjelman käynnistymistä. Ohjausohjelma on yhteydessä akunhallintajärjestelmään verkkoliitännän kautta. Yhteys avataan LabVIEW:n omalla yhteyden avauskomponentilla, jolle on määritelty tarvittavat yhteysasetukset. Yhteyden avauduttua komponentti lähettää eteenpäin akunhallintajärjestelmää ohjaavalle aliohjelmalle tarvittavat tiedot avatusta yhteydestä ja mahdollisista virheistä. Aliohjelmassa akunhallintajärjestelmästä luetaan mittaus- ja tilatiedot sekä lähetetään ohjauspainikkeiden painallukset. Pääohjelmassa mittaus- ja tilatiedot esitetään näytöillä sekä niiden avulla tehdään lukituksia. Pääohjelmassa käsitellään myös yhteyden avaamisessa, käskyjen lähetyksessä ja lukemisessa syntyneet virheet. Syntyneistä virheistä ilmoitetaan myös käyttäjälle. Yhteys akunhallintajärjestelmään katkaistaan, kun ohjelma pysäytetään.

6.1.1 Ohjaus

Akunhallintajärjestelmään yhteys avataan TCP open-komponentilla. Komponentille on määritelty akunhallintajärjestelmän IP-osoite 172.16.3.10 ja portti 1677, paikallinen portti 60000 ja aikakatkaisuaika 5 s. Ohjaavan tietokoneen IP-osoitteeksi täytyy määrittää 172.16.3.24 ja aliverkkomaskiksi 255.255.255.0, jotta yhteys toimisi. Yhteys avataan ennen time loop:n käynnistymistä. Tcpc open-komponentti lähettää eteenpäin tiedot avatusta yhteydestä ja mahdollisista virheistä. Yhteyden muodostaminen lopetetaan 5 s kuluttua, jos yhteyttä ei voida avata.



Kuva 21. Yksinkertaistettu akunhallintajärjestelmän yhteyden avaaminen ja käskyjen lähetys.

Yhteyden tiedot kulkevat aliohjelman, jossa akunhallintajärjestelmältä pyydetään mittaus- ja tilatietoja sekä lähetetään sen tilaa muuttavia käskyjä. Aliohjelmassa toiminnot on järjestetty kahteen vaiheeseen flat sequence structure-kehysten avulla. Ensimmäisessä vaiheessa akunhallintajärjestelmältä pyydetään mittaus- ja tilatiedot. Mittaus- ja tilatiedot pyydetään järjestelmältä lähettämällä sille sarja käskyjä, joilla saadaan akkupaketin jännite, piirissä kulkeva virta, SOC, kapasiteetti, kennojen minimi, maksimi, keskiarvot jännitteistä ja lämpötiloista sekä järjestelmän tilatilatiedot ja tilasta kertovat viestit. Käskyn lähettäminen tapahtuu TCP write-komponentilla. Akunhallintajärjestelmä vastaa käskyyn tekstimuotoisella viestillä, jossa pyydetty tiedot ovat käskyjen lähetysjärjestyksessä. Akunhallintajärjestelmän vastaus voidaan lukea TCP read-komponentilla.

Toisessa vaiheessa ohjelma tutkii akunhallintajärjestelmän ohjauspainikkeiden tilan. Toiminnossa on käytetty case-kehystä, jolla on tilat true ja false. Kaikilla painikkeilla on oma case-kehys. Molempia tiloja true ja false vastaa erilainen kehysten sisältö. Painikkeen ollessa painettuna, case-kehysten tila on true, jolloin kehysten sisältö on painiketta vastaavan käskyn lähetystilassa. Painikkeet pysyvät painettuina niin kauan kunnes ohjelma on suorittanut kehysten sisällön. Painikkeen vapauduttua case-kehysten sisältö muuttuu false tilaan, jolloin kehysten sisältö ohjaa ohjelman seuraavaan kehykseen.

Yhteys akunhallintajärjestelmään katkaistaan, kun ohjelma pysäytetään. Ohjelma voi myös pysähtyä, jos yhteyttä ei ole voitu avata tai on syntynyt jonkin muu virhe. Yhteys katkaistaan time loop:n ulkopuolella olevalla TCP close-komponentilla.

6.1.2 Lukitukset ja virheiden käsittely

Akunhallintajärjestelmästä saadut mittaus- ja tilatiedot käsitellään tietojenkäsittely aliohjelmassa. Tietojenkäsittelyn jälkeen saadut tiedot esitetään ja niillä tehdään lukituksia, joilla estetään laitteiden väärinkäyttö. Kuormitus- tai lataustila-painikkeen painaminen lukitsee molemmat painikkeet sekä sammuta-, uudelleen käynnistä- ja peruuta-painikkeet. Lukitukset vapautuvat kun akunhallintajärjestelmä ohjataan valmiustilaan. Lukituksilla estetään toimintatilan suoravaihtaminen lataustilasta kuormitustilaan tai toisinpäin. Lukitukset estävät myös sammutuksen tai uudelleen käynnistykseen käynnistämisen kesken latauksen tai kuormituksen.

Yhteyden avaamisessa, käskyjen lähettämisessä tai tietojen lukemisessa syntyneet virheet aiheuttavat ohjelman pysähtymisen. Virheet aiheuttaa yleensä IP-asetukset tai verkkokaapelin kytkemättä jättäminen. Virheen aiheuttaa myös jos ohjelmalla yritetään avata yhteys sammutettuun akunhallintajärjestelmään. Käskyjen lähettämisessä tai tietojen lukemisessa harvemmin esiintyy virheitä, koska käskyjen lähettäminen ja tietojen lukeminen tapahtuu aina samalla tavalla. Kuitenkin jos yhteydessä esiintyy vikaa, tapahtuu aikakatkaisu 5 s päästä siitä kun yhteyttä ei ole voitu avata ja syntyy virhetila. Tieto virheestä kulkeutuu pääohjelmaan, jossa syntynyt virhetila tunnistetaan ja näytölle ilmestyy ponnahdusikkuna. Ikkunassa kerrotaan että yhteyttä ei ole voitu avata ja ohjeet tilanteen korjaamiseksi. Virhetila tiedon seurauksena ohjausohjelma pysäytetään, jotta vältetään muilta virheiltä.

6.1.3 Sammuttaminen ja uudelleen käynnistäminen

Akunhallintajärjestelmältä kuluu tietty aika sammutukseen ja uudelleen käynnistämiseen. Ajat ovat ohjelmoitu akunhallintajärjestelmän ohjausyksikköön. Akunhallintajärjestelmän sammuta- tai uudelleen käynnistä-painikkeiden painaminen käynnistää pääohjelmassa toiminnoille tehdyt ajastimet. Ajastimilla mitataan aikaa, jonka jälkeen ohjelma pysäytetään. Sammutukseen aikaa kuluu akunhallintajärjestelmältä n. 10 min. Sammutuksen käynnistämisestä ilmoitetaan sammutusmerkkivalolla. Sammuttamisen aikana akunhallintajärjestelmän sammuminen on peruutettavissa peruuta-painikkeella. Ohjausohjelma pysäytetään, kun akunhallintajärjestelmä on sammunut. Samalla ilmoitetaan ponnahdusikkunassa,

että akunhallintajärjestelmä on sammutettu ja ohjelma pysäytetty. Ohjelma pysäytetään, koska ohjelma käyttäminen ilman että akunhallintajärjestelmä olisi päällä on turhaa ja välttää myös virheitä.

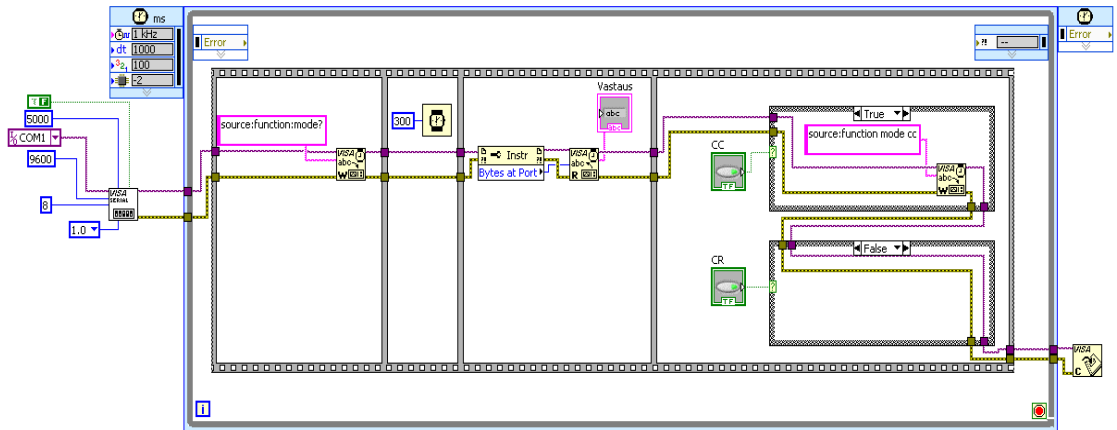
Uudelleen käynnistymiseen akunhallintajärjestelmältä menee n. 3 min. Uudelleen käynnistämisen aloittamisesta ilmoitetaan uudelleen käynnistämisen merkkivalolla. Uudelleen käynnistymisen aikana akunhallintajärjestelmän uudelleen käynnistyminen on peruutettavissa peruuta-painikkeella. Ohjausohjelma pysäytetään kun akunhallintajärjestelmä alkaa uudelleen käynnistyä, jotta vältetään virheitä. Samalla ilmoitetaan ponnahdusikkunassa akunhallintajärjestelmän uudelleen käynnistämisestä ja kerrotaan ohjeet ohjausohjelman uudelleen käynnistämiseksi.

6.2 Keinokuorma

Yhteys keinokuormaan avataan myös ennen varsinaisen ohjelman käynnistämistä. Ohjausohjelma on yhteydessä keinokuormaan sarjaporttiliitännän kautta. Yhteyden avaaminen tapahtuu Labview:n erikoiskomponentilla, jolle on määritelty yhteyden muodostamista varten tarvittavat yhteysasetukset. Tiedot avatusta yhteydestä ja mahdollisista virheistä lähetetään eteenpäin keinokuormaa ohjaavaan aliohjelmaan. Aliohjelmassa keinokuormalta luetaan mittaus- ja tilatiedot sekä lähetetään ohjauspainikkeiden painallukset. Pääohjelmassa mittaus- ja tilatiedot esitetään näytöillä sekä niiden avulla tehdään lukituksia. Tilatietojen avulla tutkitaan myös keinokuorman yhteyden toimivuus.

6.2.1 Ohjaus

Keinokuormaan yhteys avataan Visa serial-komponentilla. Komponentille on määritelty portti com1, jonka kautta yhteys avataan. Siirtonopeudeksi on määritelty 9600 baudia. Data bittien määräksi 8 ja lopetusbittien määräksi 1. Aikakatkaisuajaksi on määritelty 5 s. Päätösmerkin käyttö on poistettu käytöstä. Päätösmerkin poisto mahdollistaa useamman tiedon lukemisen yhdellä keralla.



Kuva 22. Yksinkertaistettu keinokuorman yhteyden avaaminen ja käskyjen lähetyks.

Keinokuorman yhteyden toiminta tunnustetaan hieman eritavalla kuin akunhallintajärjestelmän, koska Visa serial-komponentti ei muodosta virheitä jos esim. laite ei ole päällä tai kaapeli ei ole kytketty. Yhteyden toiminta tunnustetaan keinokuormalta saatavista tilatiedoista. Mikäli tilatietoja ei saada, voidaan todeta, että keinokuorma ei ole päällä tai kaapeli ei ole kytketty. Toimimattomasta yhteydestä ilmoitetaan ponnahdusikkunassa ja kerrotaan ohjeet tilanteen korjaamiseksi. Ohjeet tulostetaan myös keinokuorman viestejä esittävälle tekstinäytölle.

Avatun yhteyden tietojen perusteella keinokuormaa ohjaava aliohjelma alkaa lähettää mittaus- ja tilatietopyyntöjä sekä sen tilaa muuttavia käskyjä. Keinokuormaan käskyt lähetetään Visa write-komponentilla ja vastaukset voidaan lukea Visa read-komponentilla. Keinokuorma tarvitsee ennen lukemista 300ms viiveen, jotta se ehtii käsitellä lähetetyt pyynnöt. Ensimmäisenä keinokuormalta pyydetään tiedot kuormitustapa, kuormituksen tila, virhetila tiedot, jännite, virta ja teho. Tämän jälkeen erotellaan tiedoista keinokuorman kuormitustapa ja sen perusteella pyydetään vielä asetettu virran tai resistanssin kuormitusarvo riippuen keinokuorman kuormitustavasta. Ilman kuormitustavan päättelyä, keinokuormalta voitaisiin pyytää väärää kuormitusarvoa, mikä aiheuttaisi turhia virheitä.

Viimeisessä vaiheessa ohjelma tutkii ohjauspainikkeiden tilan. Ohjauspainikkeiden tilan tutkiminen tapahtuu samaan tapaan kuin akunhallintajärjestelmän aliohjelmassa. Jokaisella painikkeella on oma case-kehys. Kehyksellä on tilat true ja false. Painiketta painettaessa case-kehysen tila on true, jolloin kehysen sisältö on painiketta vastaavan käskyn lähetystilassa. Painikkeet pysyvät painettuina niin kauan kunnes käskyn lähetyks on suoritettu. Painikkeen vapauduttua case-kehysen tilaksi muuttuu false, jolloin kehysen sisältö muuttuu ja se ohjaa ohjelman seuraavaan case-

kehykseen. Erikoisuutena keinokuorman kuormitus pois-painikkeeseen on lisätty toiminto, joka nolaa asetetun virran tai resistanssin kuormitusarvon. Virran ja resistanssin asetuspainikkeisiin on myös lisätty toiminnot, jotka estävät liian ison tai pienen arvon asettamisen. Virran arvo on rajattu 0-100 A ja resistanssin arvo 1,5-100 Ω , jotta keinokuormaa ei ylikuormitettaisi. Keinokuorman tehon kesto rajoittuu 16 kW. Täydessä varauksessa akkupaketin jännite on lähes 150 V, jolloin 100 A kuormitusvirralla tai 1,5 Ω kuormitusresistanssilla ollaan turvallisissa rajoissa eikä ylikuormitusta pääse syntymään.

Lopuksi keinokuorman aliohjelma palauttaa yhteystiedot ja virheiden tiedot eteenpäin, jos ohjelma tämän jälkeen pysäytettäisiin, time loop:n ulkopuolella oleva Visa close-komponentti sulkisi yhteyden keinokuormaan.

6.2.2 Lukitukset ja ylikuormituksen estot

Akunhallinjärjestelmän toimintatila vaikuttaa kuormitus päälle-painikkeen lukitukseen. Kuormitus päälle-painike on lukittuna kun akunhallintajärjestelmä on valmius- tai lataustilassa. Akunhallintajärjestelmän toimintatilan vaihtaminen kuormitustilaan vapauttaa kuormitus päälle-painikkeen. Lukitus on tehty sitä varten, että kuormitusta ei ohjattaisi päälle ennen kuin akunhallintajärjestelmä on kuormitustilassa. Kuormituksen päälle kytkeminen lukitsee kuormitustavan valintapainikkeet, jotta kuormitustapaa ei vaihdettaisi kesken kuormituksen.

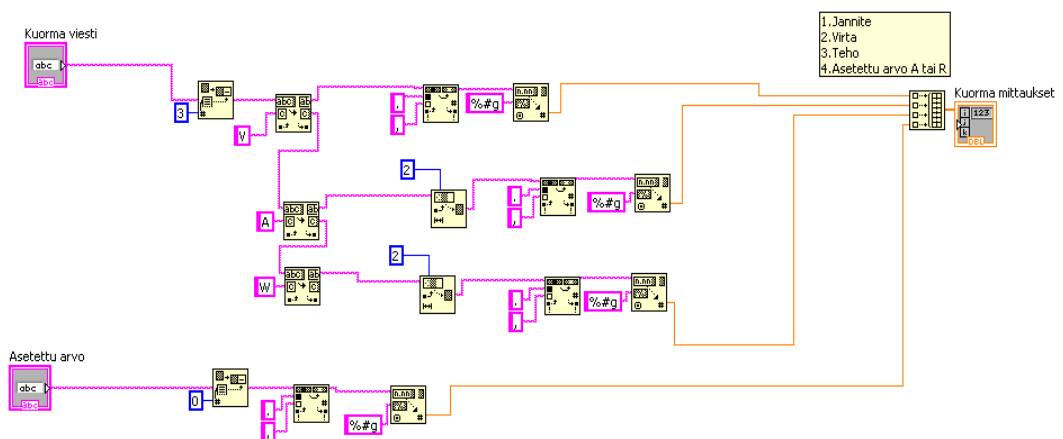
Keinokuormassa ei ole eroteltu virran ja resistanssin kuormitusarvoja.

Keinokuormaan syötetty kuormitusarvo pysyy kuorman muistissa niin kauan ennen kuin se nolataan. Kuormitustavan vaihtaminen ei myöskään nolaa kuormitusarvoa. Keinokuormassa voisi tällöin tapahtua ylikuormitusta, jos keinokuormaan syötettyä kuormitusarvoa ei nolattaisi tai kuormitustavan vaihtamista kesken kuormituksen ei estettäisi. Aina kuormituksen pois-painiketta painettaessa ohjelma nolaa asetetun kuormitusarvon, jotta ylikuormitusta ei pääsisi tapahtumaan. Keinokuormassa on myös omat suojaukset ylikuormitusta vastaan mikäli niitä pääsee tapahtumaan.

Kuormittaminen lopetetaan jos saavutetaan akkupaketin kokonaisjännitteen tai kennojännitteen alaraja, jotta akkupakettia ei ylikuormiteta. Ohjausohjelmassa akkupaketin jännitteen alarajaksi on asetettu 114 V ja kennojännitteen alarajaksi on asetettu 2,85 V. Ohjelmaan asetetut rajat ovat akunhallintajärjestelmään asetettuja rajoja hieman korkeammat. Kuormituksen loppumisesta ilmoitetaan ponnahdusikkunassa, jossa kerrotaan kumpaan rajaan kuormittaminen on loppunut.

6.3 Tietojenkäsittely

Akunhallintajärjestelmältä ja keino kuormalta saatavien mittausta- ja tilatietojen siirtymistä käsittelyyn on viivästetty 4 sekunnilla, koska mittaus- ja tilatiedot vaihtelevat alussa hiukan. Mittaus- ja tilatietojen siirtäminen suoraan tietojenkäsittelyyn ja pääohjelmaan aiheuttaisi virheviestejä. Laitteilta saatavat tiedot ovat tekstimuodossa ja yhtenä jonona. Tiedot on eroteltava ja muutettava numeroiksi. Ennen numeroiksi muuntamista mittaustietojen arvoista pisteet on muutettava pilkkuiksi. Laitteiden lähettämässä tiedoissa desimaalierottimena käytetään pistettä. LabVIEW käyttää pilkkua desimaalierottimena. Muutosten jälkeen tiedot kerätään taulukkoihin. Keino kuorman ja akunhallintajärjestelmän mittaustiedot kerätään omiin taulukoihin. Laitteiden tilatiedot kerätään omaan tekstimuotoiseen taulukkoon. Taulukoiden tiedot kulkevat pääohjelmaan ja siitä mittausten tallennukseen.



Kuva 23. Keino kuorman viestien käsittelyä.

Pääohjelmassa mittaustietotaulukot puretaan ja arvoista lasketaan kuormitusenergia, latausteho ja latausenergia sekä kaikki arvot syötetään arvoja esittäville näytöille. Laitteiden tilatietoja sisältävät taulukot puretaan ja niiden tiedot muutetaan merkkivaloiksi. Pääohjelmassa tilatietojen perusteella tehdään myös painikkeiden lukitukset. Akunhallintajärjestelmän viestit ja kuorman virhetilaviestit kulkevat niitä käsittelevien aliohjelmien kautta.

6.4 Laitteiden viestein käsittely

Akunhallintajärjestelmän viestiä käsittelevässä aliohjelmassa tulevat viesti tallennetaan kahteen eri Excel-tiedostoon apu ja akunhallintajärjestelmän viestit.

Viestien käsittely-aliohjelmien eri vaiheet on järjestetty flat sequence structure-kehikseen, jotta viestin käsittely tapahtuisi aina suunnitellussa järjestyksessä. Aluksi aliohjelma poistaa vanhat tiedostot. Tämän jälkeen tarkistetaan tiedostoille tarkoitetun kansion ja tallennustiedostojen olemassaolo. Mikäli kansiota tai tiedostoja ei ole aliohjelma luo kansion C:\Litiumioniakkujen testausjärjestelmä\Viestit\ ja sinne Excel-tiedostot apu ja akunhallintajärjestelmän viestit. Ohjelma vertaa apu-tiedoston sisältöä tulevaan viestiin. Jos ne ovat eriarvoisia, tallennetaan uusi viesti apu ja akunhallintajärjestelmän viestit-tiedostoon. Tallennuksen jälkeen luetaan akunhallintajärjestelmän viestit-tiedoston sisältö akunhallintajärjestelmän viestejä esittävälle tekstinäytölle. Näin estetään jatkuva viestien tulostus ja vain muutokset tulostetaan ajan kanssa.

Keinokuorman virheviestiä käsittelevä aliohjelman toiminta on lähes samanlainen. Tiedostot joihin viestejä tallennetaan ovat apu2 ja keinokuorma virheviestit. Lisänä keinokuorman virheviestejä käsittelevässä aliohjelmassa keinokuorman virhekoodit muutetaan koodia vastaavaksi viestiksi. Muutetut viestit tulostetaan keinokuorman viestit tekstinäytölle ajan kanssa.

6.5 Sykliä laskeminen

Lataus-kuormitusyykliä lasketaan omassa aliohjelmassa. Sykliä laskemisen aliohjelman eri vaiheet ovat järjestetty flat sequence structure-kehiksellä tiettyyn järjestykseen, jotta syklien laskenta tapahtuisi aina suunnitellussa järjestyksessä. Sykliä laskemisen-aliohjelma aloittaa tutkimalla kansioden ja tiedostojen olemassaolon. Tarpeen vaatiessa luo kansion C:\Litiumioniakkujen testausjärjestelmä\Mittaukset\Sykli\ ja sinne Excel-tiedostot syklit, apu, apu2 ja apu3. Syklit-tiedostoon tallennetaan syklien syvyyksien määrä. Taulukossa on sarakkeet 1-100 jotka vastaavat syklin syvyyttä prosentteina. Tapahtuneen syklin syvyyden perusteella taulukossa kasvatetaan syvyyttä vastaavan sarakkeen arvoa. Taulukkoon tallennetut arvot kertovat kuinka monta kunkin syvyyttä sykliä on tapahtunut. Apu-tiedostoja käytetään apuna painikkeiden painallusten muistamisessa.

Apu2-tiedostoon tallentuu tieto latauksesta eli tieto latauspainikkeen painamisesta. Latauspainiketta painettaessa tiedoston arvoksi asetetaan 1. Kun apu2-tiedoston arvo on 1, on sallittu kuormitustietojen tallennus. Kuormitus päälle-painikkeen painaminen muuttaa apu3-tiedoston arvoksi 1 ja tallentaa SOC-arvon apu-tiedostoon. Seuraavassa vaiheessa tutkitaan onko kuormitus pois-painiketta painettu. Kuormitus pois-painikkeen ollessa painettuna tutkitaan onko tätä ennen tapahtunut kuormitusta

ja latausta. Tällöin apu2- ja apu3-tiedostojen arvona täytyy olla 1. Mikäli molempien tiedostojen arvona 1, luetaan tallennettu SOC-arvo apu-tiedostosta sekä poimitaan lopetus SOC-arvo. Lasketaan SOC-arvojen perusteella syklin syvyys ja pyöristetään se lähimpään kokonaisarvoon. Laskennan jälkeen tiedostot apu, apu2 ja apu3 poistetaan ja aliohjelma luo uudet tyhjät tiedostot uutta syklin laskua varten.

Seuraavassa vaiheessa vertaillaan saatua arvoa ja kasvatetaan oikean sarakkeen arvoa yhdellä. Esim. tapahtuu 42 % syvyinen kuormitusjakso jolloin sarakkeen 41 arvoa kasvatetaan yhdellä. Kasvatettavan sarakkeen numero on prosenttiarvoa yhden pienempi, koska sarakkeiden ja rivien laskeminen alkaa 0:sta.

Viimeisessä vaiheessa jokaisen sarakkeen arvoa kerrotaan sarakkeen numerolla. Sarakkeen numeroa täytyy korottaa arvolla yksi, jotta saadaan sarakkeen syklin syvyyttä vastaava prosentuaalinen arvo. Saatua arvo jaetaan sadalla, jolloin saadaan syntyneiden kokonaisten syklien määrä. Yhtä kokonaista sykliä vastaa latausjakso ja 100 % kuormitusjakso, jolloin esim. latausjaksoja ja 20 % syvyisiä kuormitusjaksoja tarvitaan 5, jotta saadaan yksi kokonainen sykli. Kokonaisten syklien määrä esitetään pääohjelmassa syklien määrää esittävällä näytöllä. Tieto syklien määrästä kulkeutuu myös mittausten tallentaminen-aliohjelmaan.

6.6 Mittausten tallentaminen

Kaikki mittaus- ja tilatiedot tulevat mittausten tallentaminen-aliohjelmaan. Mittausten tallennuksessa on myös käytetty flat sequence structure-kehystä aliohjelman suoritusjärjestyksen ohjauksessa. Mittausten tallentaminen-aliohjelma aloittaa tutkimalla kansioiden ja tiedostojen olemassaolon. Tarpeen vaatiessa aliohjelma luo kansion C:\Litiiumioniakkujen testausjärjestelmä\Mittaukset\kk.vvvv ja sinne tiedostot mittauksille päivämäärän mukaan sekä keskiarvon laskentaan tarvittavan tiedoston. Mittaustulokset järjestellään kuukauden ja vuoden mukaan kansioihin. Ohjelma luo kuukauden tai vuoden vaihtuessa uuden kansion mittaustuloksille.

Mittaustiedoston ensimmäiselle riville tulostetaan arvojen otsikot. Tiedostoon tallennetaan minuutin ajalta lasketut keskiarvot ja laitteiden tilatiedot. Tiedostoon on tallennettu ensimmäisenä aloitusarvot ajalla 0, josta eteenpäin on kuormituksen tai latauksen aikana syntyneitä keskiarvoja. Tiedoston ensimmäisessä sarakkeessa on aika (min), jonka jälkeen on akunhallintajärjestelmän ja keinokuorman mittaus- ja tilatiedot.

Akunhallintajärjestelmän mittaus- ja tilatiedot ovat järjestyksessä:

Jännite (V)

Virta (A)

SOC (%)

Kapasiteetti (Ah)

Kennojännitteet U.min (V), U.max (V), U.avg (V)

Kennolämpötilat T.min (°C), T.max (°C) ja T.avg (°C)

Latausteho (W)

Latausenergia (Wh)

Syklien määrä

Akunhallintajärjestelmän toimintatila (0 valmiustila, 1 lataus ja 2 kuormitus)

Akunhallintajärjestelmän tila (1 ok tai 0 error)

Akunhallintajärjestelmän viestit

Keinokuorman mittaus- ja tilatiedot ovat järjestyksessä:

Jännite (V)

Virta (A)

Kuormitusteho (W)

Kuormitusenergia (Wh)

Kuormitusarvo (A tai Ω)

Keinokuorman toimintatila (CC tai CR)

Kuormituksen tila (1 päällä ja 0 pois)

Keinokuorman virhekoodit

Mittausten tallentaminen käynnistyy lataustila, kuormitustila- tai tallenna mittaukset-painikkeesta. Samalla käynnistyy 60 sekunnin ja kokonaisaikaa laskeva ajastimet. Ajastimet on toteutettu shift register-toiminnolla, jolla ohjelman edeltävän suoritussyklin tietty arvo voidaan siirtää seuraavaan suoritussykliin. Tällöin kasvattamalla tiettyä arvoa yhdellä jokaisella ohjelman suoritussyklillä saadaan toteutettua yksinkertainen ajastin.

Ensimmäisenä mittaus- ja tilatietojen aloitusarvot tallentuvat päivämäärällä nimettyyn tiedostoon, ajalla 0. Mittaustulosten arvot lähetetään myös pääohjelmaan kuvaajille. Samaan aikaan keskiarvon laskenta laskee kaikkia mitattuja ja laskettuja arvoja yhteen. Kunnes 60 sekunnin ajastin saavuttaa arvon 60. Tällöin luetaan keskiarvon laskenta-tiedoston arvot ja jaetaan ne 60:llä, jolloin saadaan keskiarvot minuutin ajalta. Mittaustulosten keskiarvot ja tilatiedot tallentuvat samaan aikaan päivämäärällä nimettyyn tiedostoon.

Mittaustulosten keskiarvot lähetetään myös kuvaajille. Lopuksi keskiarvon laskentatiedosto poistetaan ja 60 sekunnin ajastin nollataan. Ohjelma luo uuden tyhjän tiedosto, johon aliohjelma laskee seuraavalle minuutille uudet arvot.

Akunhallintajärjestelmän tilan vaihtaminen valmiustilaan tai tallenna mittaukset-painikkeen vapauduttua ajastimet nollataan. Tallentaminen loppuu ja mittauksen talletaminen-aliohjelma jää odottamaan ajastimien uudelleen käynnistymistä.

7 YHTEENVETO

Tämän insinööriyön tuloksena Savonia-ammattikorkeakoulun Varkauden yksikköön hankittuun litiumioniakkujen testausjärjestelmälle saatiin kehitettyä ohjausohjelma National Instruments LabVIEW 2009 -ohjelmistolla. Laitteiston käyttöä varten kirjoitettiin myös käyttöohje.

Ohjelmalla voidaan ohjata testausjärjestelmää sekä saatavia mittaus- ja tilatietoja voidaan kerätä talteen. Käyttöliittymässä laitteiden hetkellisiä mittauksia esitetään näytöillä. Mittaustiedoista laskettuja keskiarvoja esitetään testausten aikana kuvaajissa, jotka päivittyvät minuutin välein. Laitteiden tilatiedot on muutettu ohjelmassa ymmärrettävämpään muotoon. Tilatiedot on muutettu merkkivaloiksi ja laitteiden tilasta kertovat viestit esitetään omissa tekstinäytöissään. Tilatietojen avulla tehdään ohjauspainikkeiden lukituksia, joilla estetään laitteiden väärinkäyttö ja vikatilanteiden syntyminen. Käyttäjälle ilmoitetaan myös merkittävimmistä laitteiden tilan muutoksista ja laitteiden yhteyksien toimimattomuudesta ponnahdusikkunoissa esitettävillä viesteillä.

Ohjelma luo käynnistyessään mittauksille tarvittavat kansiot ja Excel-tiedostot. Osaa Excel-tiedostoja käytetään arvojen laskennassa ja väliaikaisessa tallennuksessa. Kaikki laitteilta saadut mittaus- ja tilatiedot sekä lasketut arvot tallennetaan päivämäärällä merkittyihin Excel -tiedostoihin. Excel -tiedostot on järjestelty kuukauden ja vuoden mukaan nimettyihin kansioihin myöhempää tarkastelua varten.

Ohjelman kehittämisessä vaikeinta oli yhteyksien avaaminen ja mittauksien tallentaminen. Lähes kaikki näihin liittyvät asiat olivat uutta eikä kaikkia vastaavia asioita oltu käsitelty LabVIEW -kurssilla. Ongelmiin löytyi hyviä esimerkkejä LabVIEW -ohjeesta. Ohjeesta löytyvistä esimerkeistä sai idean kuinka eri komponentit toimivat. Ohjeesta löytyvien esimerkkien lisäksi hyviä ideoita ongelmiin sain National Instrumentsin keskustelufoorumilta ja luokkakavereilta.

Yhteydet saatiin toimimaan mielestäni hyvin LabVIEW:n esimerkkien ja muiden vinkkien avulla. Yhteyksien toiminta idea oli että avataan yhteys, suoritetaan mittaus- ja tilatietojen lukeminen, lähetetään muut käskyt ja suljetaan yhteys. Lisäämällä toimintoja suorittavat komponentit time loop:n sisälle saadaan toiminnoista jatkuva, mutta sen toiminta ei ole kuitenkaan kovin järkevä. Yhteyksiä avataan ja suljetaan jatkuvasti turhaan.

Kuitenkin myöhemmin tutkiessani tarkemmin keskustelu foorumilta löytyviä esimerkkejä ymmärsin kuinka yhteydet saadaan toimimaan järkevämmiin ja ohjelma toimintaa saisi parannettua. Aluksi olin ymmärtänyt, jos yhteyksien avaus- ja sulkemiskomponentit sijoitetaan time loop:n ulkopuolelle, suoritetaan vain ne kerran. Seuraavalla suorituskerällä avatun yhteyden tietoja ei ole saatavilla ja yhteys laitteisiin katkeaa eikä yhteyttä pystyisi sulkemaan. Kuitenkaan niin ei käy ja yhteyksiä voidaan pitää avoinna niin kauan kunnes ohjelma pysäytetään. Yhteyksien sulkeminen tapahtuu ainoastaan jos time loop pysäytetään stop-painikkeesta, ennen ohjelman sulkemista. Ohjelman sulkeminen useasti pysäyttämättä time loop-kehystä, aiheuttaa myöhemmin yhteys ongelmia laitteiden välillä.

Mittaustulosten tallentamisessa ongelmaksi meinasi muodostua shift register:ien määrä, koska kaikille arvoille ei olisi riittänyt liitännät aliohjelman kuvakkeessa. Tiettyjen arvojen ja tilatietojen muistamisessa olisi myös tarvinnut shift register:tä, mutta tiedot häviävät ohjelman sammuttamisen jälkeen. Shift register-toiminnot tekevät myös ohjelmasta sekavamman näköisen, niiden tarvitseman johdotuksen takia. Ratkaisuna muistettavat arvot tallennetaan väliaikaisesti Excel -tiedostoihin, mutta jokaiselle arvolle pitää luoda oma tiedosto, paitsi keskiarvon laskemisessa. Muistettavat arvot pystyisi tallentamaan samaan tiedostoon, mutta silloin yhden tiedon muuttaminen olisi vaikeampaa. Tiedot täytyisi lukea tiedostosta ja purkaa taulukosta, jonka jälkeen tietty arvo voitaisiin muuttaa. Tämän jälkeen tiedot pitää jälleen kerätä taulukkoon ja tallentaa ne samaan tiedostoon. Ohjelman kulkua olisi myös joutunut vaiheistamaan enemmän. Etenkin näiden syiden takia tuntui helpommalta tehdä tässä vaiheessa muistettaville arvoille omat tiedostot, jolloin ohjelmasta tulee myös yksinkertaisempi.

Tietojen tallennusta Excel -tiedostoihin olisi ehkä voinut tehdä sujuvampaa käyttämällä Active x-komponentteja, mutta silloin ohjelman toimivuus olisi rajoittunut tiettyyn Excel-versioon. Käyttämällä Active x-komponentteja myös väliaikaisten Excel-tiedostojen määrää olisi voitu vähentää.

Väliaikaisten ja muiden tallennustiedostojen häviäminen tai vahingossa poistaminen olisi myös ikävää, koska ainakaan syklien määrä ei pitäisi enää paikkaansa. Tietojen häviäminen voitaisi estää tallentamalla kopiot esim. verkkoasemalle, jolloin tiedot voitaisiin palauttaa automaattisesti jos eroavaisuuksia huomattaisi.

Ohjelman pidempiaikaisten testaukset ovat jääneet vähemmälle testausjärjestelmässä ilmenneiden ongelmien vuoksi. Viivettä aiheutti myös keinokuorman vioittuminen huonon käyttöohjeen ja sen takia järjestelmän testausten yhteydessä tehdyn virheen vuoksi. Keinokuorma on kuitenkin tällä hetkellä taas kunnossa. Keinokuorman korjausten jälkeen ohjelmaa päästiin testaamaan muutaman lataus- ja kuormitusjakson verran. Ongelmia esiintyi vielä akkupaketin lataamisessa ja kuormittamisessa. Akkupaketin varaustasoa ei meinattu saada täyteen varaukseen ja kuormituksen jälkeen akkupakettiin jäi lähes 30% varausta jäljelle, joten testaukset keskeytettiin jälleen kunnes ongelma saataisiin selvitettyä.

Kuormitustilanteessa akkuihin jäävän varauksen suuruuden luulen johtuvan kennojen välisestä erosta tai epätasaisesta varaustasapainosta. Kennojen väliset erot voivat myös vaikuttaa lataukseen, jolloin osa kennoista ei lataudu täyteen asti eikä akunhallintajärjestelmä tunnista akkupaketin tulevan täyteen varaukseen. Latauksessa ilmenevä ongelma voi johtua myös siitä että SOC-arvon kalibrointi ei ole tapahtunut oikein.

Ilmenneiden ongelmien vuoksi ohjelma ei ole päästy testaamaan kunnolla oikeassa tilanteessa kuin muutaman kerran. Ohjelman aliohjelmaa on kuitenkin testattu erillään, simuloimalla aliohjelmille erilaisia tilanteita, joita esiintyy laitteita käyttäessä. Ohjelma ja sen kaikki aliohjelmat ovat toimineet testauksissa hyvin. Testauksien yhteydessä ei myöskään havaittu mitään merkittäviä ongelmia.

Loppujen lopuksi ohjelman testaaminen ja testausjärjestelmän käyttöönottestaukset lopetettiin, koska testausjärjestelmää on päätetty päivittää. Muutosten suuruudesta ei ole vielä tällä hetkellä tarkkaa tietoa, joten ohjelmasta osa joudutaan joka tapauksessa tekemään uusiksi. Uusi testausjärjestelmän kokoonpano ja ohjelma tarvitsee myös uudet testaukset. Nykyinen ohjelma toimii ainakin hyvänä pohjana uudelle ohjelmalle ja ehkä sen aliohjelmaa on mahdollista käyttää uudessa kokoonpanossa mikäli muutokset eivät ole suuria. Keinokuorman osalta järjestelmä säilyy luultavasti samana, joten sen ohjausaliohjelma on hyödynnettävissä uudessa ohjelmassa.

Lähdeluettelo:

- [1] David Linden, Thomas B, Reddy, McGraw-Hill Handbooks: Handbook of Batteries third edition. United States of America 2002.
- [2] Procarcare. [www-dokumentti]. Saatavilla: http://www.procarcare.com/icarumba/resourcecenter/encyclopedia/icar_resourcecenter_encyclopedia_electric2.asp Hakupäivä: 10.1.2011
- [3] Mpoweruk. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.mpoweruk.com> Hakupäivä: 10.1.2011
- [4] Battery university. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://batteryuniversity.com/> Hakupäivä: 10.1.2011
- [5] Ahoranta Jukka, Sähkötekniikka. WSOY, Porvoo 2002
- [6] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Litium> Hakupäivä: 10.1.2011
- [7] Tieteen kuva lehti. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://tieku.fi/ib-salomon/litium-tulevaisuuden-polttoaine> Hakupäivä: 10.1.2011
- [8] Prosessori lehti. Litium valtaa markkinat nro. 10/2005
- [9] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery Hakupäivä: 10.1.2011
- [10] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_iron_phosphate Hakupäivä: 11.1.2011
- [11] Gm-volt.[www-dokumentti] Saatavilla: <http://gm-volt.com/2008/02/26/lithium-ion-battery-separators/> Hakupäivä:11.1.2011
- [12] Battery association of japan. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.baj.or.jp/e/knowledge/structure.html> Hakupäivä: 11.1.2011
- [13] Gaston narada. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://www.gaston-lithium.com/tech-certificates.html> Hakupäivä: 11.1.2011
- [14] Prosessori lehti. Ni-Cd-akku sinnittelee yhä nro.8/2005
- [15] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-cadmium_battery Hakupäivä: 11.1.2011
- [16] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Nickel-metal_hydride_battery Hakupäivä: 11.1.2011
- [17] Prosessori lehti. Lyijy akku pitää pintansa nro. 5/2005
- [18] Prosessori lehti. Akkujen monet muodot nro. 4/2005
- [19] Prosessori lehti. Ohjatut akut nro.1/2008
- [20] Prosessori lehti. Polttokenno kutistuu ja teho kasvaa nro.11/2005
- [21] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla: http://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_cell Hakupäivä: 12.1.2011

- [22] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Polttokenno>
Hakupäivä: 12.1.2011
- [23] prosessori lehti. Superkondensaattori iskee moneen sovellukseen nro. 12/205
- [24] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla:
http://en.wikipedia.org/wiki/Electric_double-layer_capacitor Hakupäivä: 12.1.2011
- [25] Salo Pentti, Sähkötekniikan perusoppi. Otava, Keuruu 1999
- [26] Supercapacitors. [www-dokumentti] Saatavilla:
http://www.supercapacitors.org/350px-Maxwell_supercapacitor_MC2600_series_2600F.jpg Hakupäivä: 12.1.2011
- [27] Thefutureofthings. [www-dokumentti]. Saatavilla:
<http://thefutureofthings.com/pod/6305/worlds-smallest-fuel-cell.html> Hakupäivä:
12.1.2011
- [28] Et instrumente manuaali
- [29] Akunhallintajärjestelmän kuvaus
- [30] Savonia functional description, European Batteries akunhallintajärjestelmän ohje
- [31] Wikipedia. [www-dokumentti]. Saatavilla <http://fi.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
Hakupäivä: 12.1.2011

Characteristics of Electrode Materials*

Material	Atomic or molecular weight, g	Standard reduction potential at 25°C, V	Valence change	Melting point, °C	Density, g/cm ³	Electrochemical equivalents		
						Ah/g	g/Ah	Ah/cm ³ ‡
Anode materials								
H ₂	2.01	0 -0.83†	2	—	—	26.59	0.037	
Li	6.94	-3.01	1	180	0.54	3.86	0.259	2.06
Na	23.0	-2.71	1	98	0.97	1.16	0.858	1.14
Mg	24.3	-2.38 -2.69†	2	650	1.74	2.20	0.454	3.8
Al	26.9	-1.66	3	659	2.69	2.98	0.335	8.1
Ca	40.1	-2.84 -2.35†	2	851	1.54	1.34	0.748	2.06
Fe	55.8	-0.44 -0.88†	2	1528	7.85	0.96	1.04	7.5
Zn	65.4	-0.76 -1.25†	2	419	7.14	0.82	1.22	5.8
Cd	112.4	-0.40 -0.81†	2	321	8.65	0.48	2.10	4.1
Pb	207.2	-0.13	2	327	11.34	0.26	3.87	2.9
(Li)C ₆ ⁽¹⁾	72.06	~-2.8	1	—	2.25	0.37	2.68	0.84
MH ⁽²⁾	116.2	-0.83†	2	—	—	0.45	2.21	—
CH ₃ OH	32.04	—	6	—	—	5.02	0.20	—
Cathode materials								
O ₂	32.0	1.23 0.40†	4	—	—	3.35	0.30	
Cl ₂	71.0	1.36	2	—	—	0.756	1.32	
SO ₂	64.0	—	1	—	—	0.419	2.38	
MnO ₂	86.9	1.28‡	1	—	5.0	0.308	3.24	1.54
NiOOH	91.7	0.49†	1	—	7.4	0.292	3.42	2.16
CuCl	99.0	0.14	1	—	3.5	0.270	3.69	0.95
FeS ₂	119.9	—	4	—	—	0.89	1.12	4.35
AgO	123.8	0.57†	2	—	7.4	0.432	2.31	3.20
Br ₂	159.8	1.07	2	—	—	0.335	2.98	
HgO	216.6	0.10†	2	—	11.1	0.247	4.05	2.74
Ag ₂ O	231.7	0.35†	2	—	7.1	0.231	4.33	1.64
PbO ₂	239.2	1.69	2	—	9.4	0.224	4.45	2.11
Li _x CoO ₂ ⁽³⁾	98	~-2.7	0.5	—	—	0.137	7.29	—
I ₂	253.8	0.54	2	—	4.94	0.211	4.73	1.04

* See also Appendixes B and C.

† Basic electrolyte: all others, aqueous acid electrolyte.

‡ Based on density values shown.

(1) Calculations based only on weight of carbon.

(2) Based on 1.7% H₂ storage by weight.

(3) Based on x = 0.5; higher values may be obtained in practice.

Voltage, Capacity and Specific Energy of Major Battery Systems—Theoretical and Practical Values

Battery type	Anode	Cathode	Reaction mechanism	Theoretical values†				Practical battery‡		
				V	g/Ah	Ah/kg	Specific energy Wh/kg	Nominal voltage V	Specific energy Wh/kg	Energy density Wh/L
Primary batteries										
Leclanché	Zn	MnO ₂	Zn + 2MnO ₂ → ZnO · Mn ₂ O ₃	1.6	4.46	224	358	1.5	85 ⁽⁴⁾	165 ⁽⁴⁾
Magnesium	Mg	MnO ₂	Mg + 2MnO ₂ + H ₂ O → Mn ₂ O ₃ + Mg(OH) ₂	2.8	3.69	271	759	1.7	100 ⁽⁴⁾	195 ⁽⁴⁾
Alkaline MnO ₂	Zn	MnO ₂	Zn + 2MnO ₂ → ZnO + Mn ₂ O ₃	1.5	4.46	224	358	1.5	145 ⁽⁴⁾	400 ⁽⁴⁾
Mercury	Zn	HgO	Zn + HgO → ZnO + Hg	1.34	5.27	190	255	1.35	100 ⁽⁶⁾	470 ⁽⁶⁾
Mercurad	Cd	HgO	Cd + HgO + H ₂ O → Cd(OH) ₂ + Hg	0.91	6.15	163	148	0.9	55 ⁽⁶⁾	230 ⁽⁶⁾
Silver oxide	Zn	Ag ₂ O	Zn + Ag ₂ O + H ₂ O → Zn(OH) ₂ + 2Ag	1.6	5.55	180	288	1.6	135 ⁽⁶⁾	525 ⁽⁶⁾
Zinc/O ₂	Zn	O ₂	Zn + ½O ₂ → ZnO	1.65	1.52	658	1085	—	—	—
Zinc/air	Zn	Ambient air	Zn + (½O ₂) → ZnO	1.65	1.22	820	1353	1.5	370 ⁽⁶⁾	1300 ⁽⁶⁾
Li/SOCl ₂	Li	SOCl ₂	4Li + 2SOCl ₂ → 4LiCl + S + SO ₂	3.65	3.25	403	1471	3.6	590 ⁽⁴⁾	1100 ⁽⁴⁾
Li/SO ₂	Li	SO ₂	2Li + 2SO ₂ → Li ₂ S ₂ O ₄	3.1	2.64	379	1175	3.0	260 ⁽⁵⁾	415 ⁽⁵⁾
LiMnO ₂	Li	MnO ₂	Li + Mn ^{IV} O ₂ → Mn ^V O ₂ (Li ⁺)	3.5	3.50	286	1001	3.0	230 ⁽⁵⁾	535 ⁽⁵⁾
Li/FeS ₂	Li	FeS ₂	4Li + FeS ₂ → 2Li ₂ S + Fe	1.8	1.38	726	1307	1.5	260 ⁽⁵⁾	500 ⁽⁵⁾
Li/(CF) _n	Li	(CF) _n	nLi + (CF) _n → nLiF + nC	3.1	1.42	706	2189	3.0	250 ⁽⁵⁾	635 ⁽⁵⁾
Li/I ₂ ⁽⁹⁾	Li	I ₂ (P2VP)	Li + ½I ₂ → LiI	2.8	4.99	200	560	2.8	245	900
Reserve batteries										
Cuprous chloride	Mg	CuCl	Mg + Cu ₂ Cl ₂ → MgCl ₂ + 2Cu	1.6	4.14	241	386	1.3	60 ⁽⁷⁾	80 ⁽⁷⁾
Zinc/silver oxide	Zn	AgO	Zn + AgO + H ₂ O → Zn(OH) ₂ + Hg	1.81	3.53	283	512	1.5	30 ⁽⁸⁾	75 ⁽⁸⁾
Thermal	Li	FeS ₂	See Section 21.3.1	2.1–1.6	1.38	726	1307	2.1–1.6	40 ⁽⁹⁾	100 ⁽⁹⁾

Secondary batteries

Lead-acid	Pb	PbO ₂	Pb + PbO ₂ + 2H ₂ SO ₄ → 2PbSO ₄ + 2H ₂ O	2.1	8.32	120	252	2.0	35	70 ⁽¹⁰⁾
Edison	Fe	Ni oxide	Fe + 2NiOOH + 2H ₂ O → 2Ni(OH) ₂ + Fe(OH) ₂	1.4	4.46	224	314	1.2	30	55 ⁽¹⁰⁾
Nickel-cadmium	Cd	Ni oxide	Cd + 2NiOOH + 2H ₂ O → 2Ni(OH) ₂ + Cd(OH) ₂	1.35	5.52	181	244	1.2	35	100 ⁽⁵⁾
Nickel-zinc	Zn	Ni oxide	Zn + 2NiOOH + 2H ₂ O → 2Ni(OH) ₂ + Zn(OH) ₂	1.73	4.64	215	372	1.6	60	120
Nickel-hydrogen	H ₂	Ni oxide	H ₂ + 2NiOOH → 2Ni(OH) ₂	1.5	3.46	289	434	1.2	55	60
Nickel-metal hydride	MH ⁽¹⁾	Ni oxide	MH + NiOOH → M + Ni(OH) ₂	1.35	5.63	178	240	1.2	75	240 ⁽⁵⁾
Silver-zinc	Zn	AgO	Zn + AgO + H ₂ O → Zn(OH) ₂ + Ag	1.85	3.53	283	524	1.5	105	180 ⁽¹⁰⁾
Silver-cadmium	Cd	AgO	Cd + AgO + H ₂ O → Cd(OH) ₂ + Ag	1.4	4.41	227	318	1.1	70	120 ⁽¹⁰⁾
Zinc/chlorine	Zn	Cl ₂	Zn + Cl ₂ → ZnCl ₂	2.12	2.54	394	835	—	—	—
Zinc/bromine	Zn	Br ₂	Zn + Br ₂ → ZnBr ₂	1.85	4.17	309	572	1.6	70	60
Lithium-ion	Li _x C ₆	Li _{1-x} CoO ₂	Li _x C ₆ + Li _{1-x} CoO ₂ → LiCoO ₂ + C ₆	4.1	9.98	100	410	4.1	150	400 ⁽⁵⁾
Lithium/manganese dioxide	Li	MnO ₂	Li + Mn ^{IV} O ₂ → Mn ^{IV} O ₂ (Li ⁺)	3.5	3.50	286	1001	3.0	120	265
Lithium/iron disulfide ⁽²⁾	Li(Al)	FeS ₂	2Li(Al) + FeS ₂ → Li ₂ FeS ₂ + 2Al	1.73	3.50	285	493	1.7	180 ⁽¹¹⁾	350 ⁽¹¹⁾
Lithium/iron monosulfide ⁽²⁾	Li(Al)	FeS	2Li(Al) + FeS → Li ₂ S + Fe + 2Al	1.33	2.90	345	459	1.3	130 ⁽¹¹⁾	220 ⁽¹¹⁾
Sodium/sulfur ⁽²⁾	Na	S	2Na + 3S → Na ₂ S ₃	2.1	2.65	377	792	2.0	170 ⁽¹¹⁾	345 ⁽¹¹⁾
Sodium/nickel chloride ⁽²⁾	Na	NiCl ₂	2Na + NiCl ₂ → 2NaCl + Ni	2.58	3.28	305	787	2.6	115 ⁽¹¹⁾	190 ⁽¹¹⁾

Fuel cells

H ₂ /O ₂	H ₂	O ₂	H ₂ + ½O ₂ → H ₂ O	1.23	0.336	2975	3660	—	—	—
H ₂ /air	H ₂	Ambient air	H ₂ + (½O ₂) → H ₂ O	1.23	0.037	26587	32702	—	—	—
Methanol/O ₂	CH ₃ OH	O ₂	CH ₃ OH + ¾O ₂ → CO ₂ + 2H ₂ O	1.24	0.50	2000	2480	—	—	—
Methanol/air	CH ₃ OH	Ambient air	CH ₃ OH + (¾O ₂) → CO ₂ + 2H ₂ O	1.24	0.20	5020	6225	—	—	—

† Based on active anode and cathode materials only, including O₂ but not air (electrolyte not included).

* These values are for single cell batteries based on identified design and at discharge rates optimized for energy density, using midpoint voltage. More specific values are given in chapters on each battery system.

(1) MH = metal hydride, data based on 1.7% hydrogen storage (by weight).

(2) High temperature batteries.

(3) Solid electrolyte battery (Li/I₂ (P2VP)).

(4) Cylindrical bobbin-type batteries.

(5) Cylindrical spiral-wound batteries.

(6) Button type batteries.

(7) Water-activated.

(8) Automatically activated 2- to 10-min rate.

(9) With lithium anodes.

(10) Prismatic batteries.

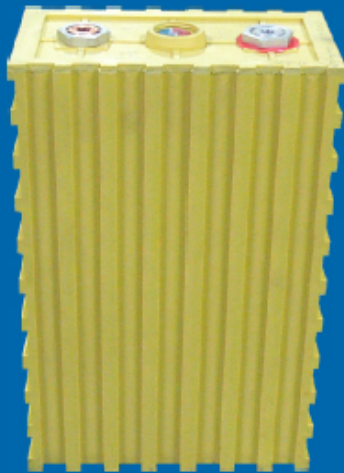
(11) Value based on cell performance, see appropriate chapter for details.



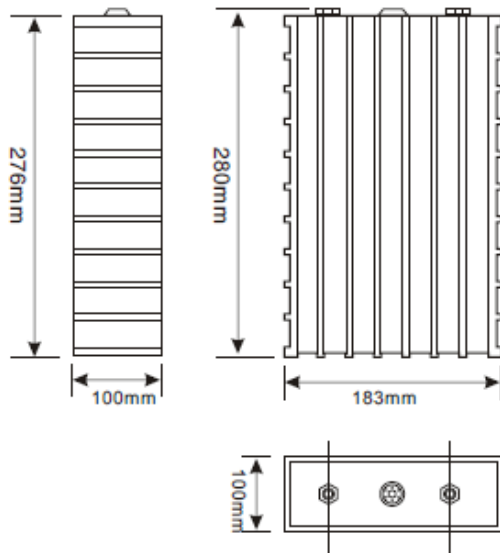
E-mail: thunder@thunder-sky.com Http://www.thunder-sky.com
TEL: 86-755-86026789 FAX: 86-755-86026678

雷天牌稀土鈮鐵鋰動力電池性能說明 THUNDER SKY LiFeYPO₄ POWER BATTERY SPECIFICATIONS

單體電池尺寸 DIMENSIONS



型號(MODEL): TS-LFP200AHA



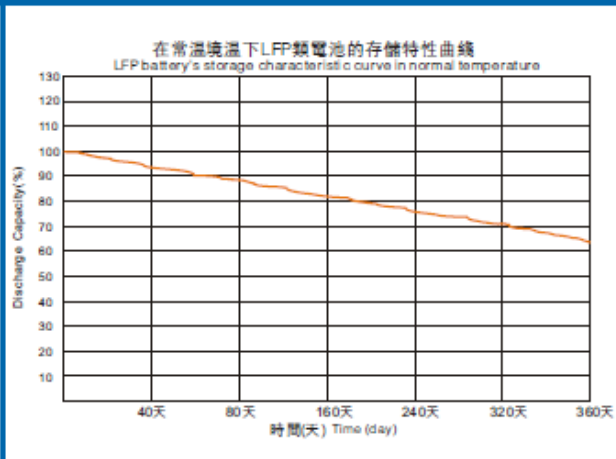
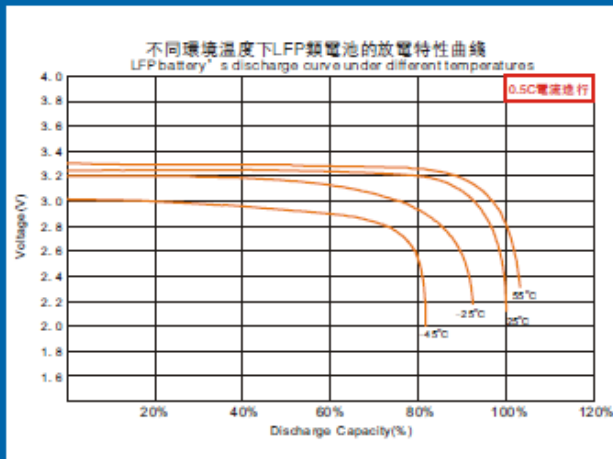
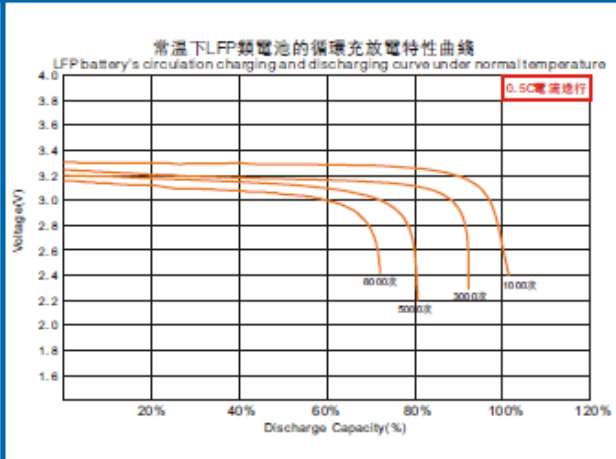
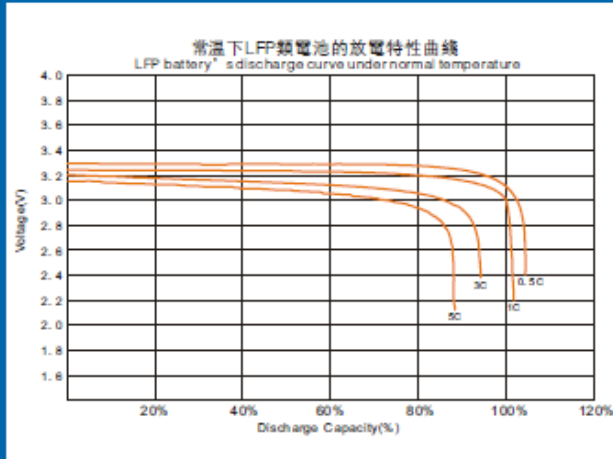
技術參數 SPECIFICATIONS

型號(MODEL): TS-LFP200AHA

標稱容量 Nominal Capacity	200Ah	
工作電壓 Operation Voltage	充電 (Charge)	4.0V
	放電 (Discharge)	2.8V
最大充電電流 Max Charge Current	≤3CA	
最大放電電流 Max Discharge Current	恒電流 (Constant Current)	≤ 3CA
	脈衝式 (Impulse Current)	≤20CA
標準充放電電流 Standard Charge/Discharge Current	0.5CA	
循環壽命 Cycle Life	(80DOD%)	≥3000Times
	(70DOD%)	≥5000Times
殼體耐溫性 Temperature Durability Of Case	≤200℃	
適應環境 Operating Temperature	充電 (Charge)	-45℃~85℃
	放電 (Discharge)	-45℃~85℃
自放電率(月) Self-discharge Rate	≤3% (Monthly)	
單體電池重量 Weight	7.3kg ± 100g	

TS-LFP200AHA型電池的充放電特性

TS-LFP200AHA CHARGE & DISCHARGE CHART



Käyttöohje

Litiumioniakkujen testausjärjestelmä

SISÄLTÖ

1	LAITTEIDEN JA OHJELMAN KÄYNNISTÄMINEN	3
1.1	Akunhallintajärjestelmän käynnistäminen	3
1.2	Latauslaitteen käynnistäminen.....	4
1.3	Keinokuorman käynnistäminen.....	5
1.4	Ohjausohjelman käynnistäminen	6
2	TESTAUSTEN ALOITTAMINEN JA LOPETTAMINEN	7
2.1	Latauksen aloittaminen ja lopettaminen.....	7
2.2	Kuormituksen aloittaminen.....	8
2.3	Kuormituksen lopettaminen	8
2.4	Laitteiden sammuttaminen.....	9
3	MITTAUSTULOSTEN TALLENNUSKANSIO JA TIEDOSTOT	9
4	YHTEYSASETUKSET	10
5	KÄYTTÖLIITTYMÄ.....	11

1 LAITTEIDEN JA OHJELMAN KÄYNNISTÄMINEN

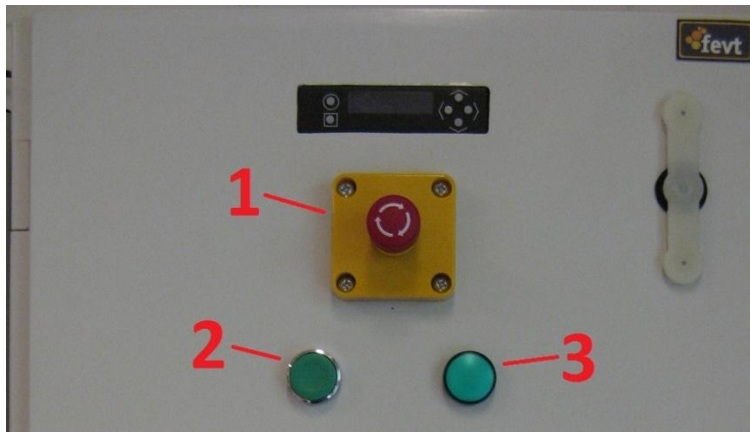
Laitteiden ja ohjelman käynnistäminen tulisi tehdä aina seuraavassa järjestyksessä vikojen välttämiseksi:

- 1.Akunhallintajärjestelmä
- 2.Latauslaite
- 3.Keinokuorma
- 4.Ohjausohjelma

Laitteiden käynnistämisen lisäksi käynnistysohjeiden yhteydessä on käyty läpi myös laitteiden painikkeet ja näyttöjen esittämät tiedot.

1.1 Akunhallintajärjestelmän käynnistäminen

Akunhallintajärjestelmä käynnistäminen tapahtuu painamalla etupaneelin vihreää painiketta. Paikallisnäyttöön tulisi ilmestyä teksti fevt ccs. Akunhallintajärjestelmän käynnistyminen kestää noin 1 minuutin. Akunhallintajärjestelmä on toimintakunnossa kun paikallisnäyttöön on päivittynyt mittaus- ja tilatiedot.

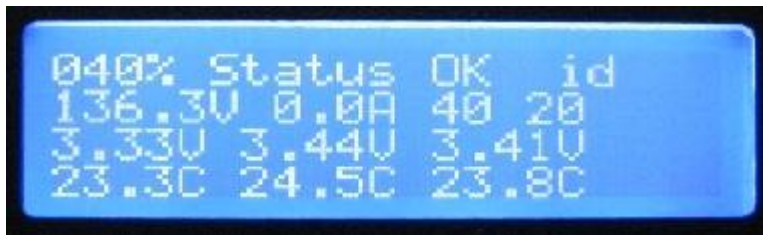


Kuva 1. Akunhallintajärjestelmän painikkeet ja merkkivalo

1. Häätä-seis
2. Käynnistuspainike
3. Merkkivalo, ilmoittaa että järjestelmä on päällä

Akunhallintajärjestelmän mittaus- ja tilatietoja voi tarkastella laitteen paikallisnäytöltä.

Käynnistyksen jälkeen näytön näkymä tulisi vastata kuvaa 2.



Kuva 2. Akunhallintajärjestelmän paikallisnäytön näkymä käynnistyksen jälkeen.

Näytön ensimmäisellä rivillä on akkupaketin SOC-arvo. Seuraavana on status eli järjestelmän tila. Tila voi olla joko ok tai err, mikäli ok akunhallintajärjestelmä on kunnossa ja valmis käytettäväksi. Err ilmoittaa viasta eikä silloin akunhallintajärjestelmää tulisi käyttää, ennen kuin vika on selvinnyt. Vika voi johtua jonkin raja-arvon ylittämisestä tai viasta laitteistossa. Viimeisenä riviltä löytyy missä toimintatilassa laitteisto on,

id (idle), laitteisto on valmiustilassa

dc(discharge), kuormitustila, jolloin akkupaketti on kytkeytyneenä keinoakuun

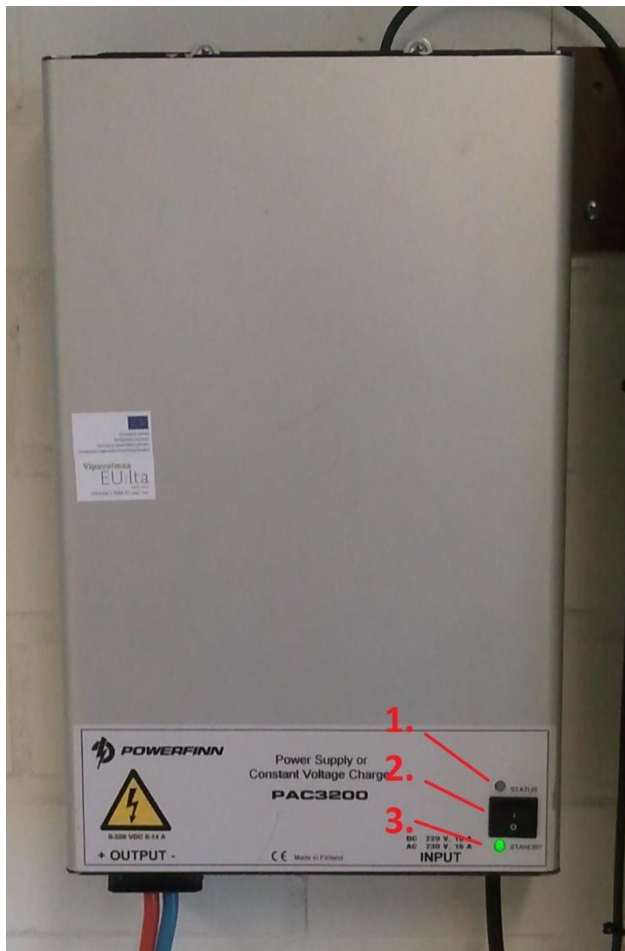
ch(charge), lataustila, jolloin akkupaketti on kytkeytyneenä latauslaitteeseen

Toisella rivillä ovat tiedot kokonaisjännite, piirissä kulkeva virta ja kennon valvontalaitteiden määrä. Tällä hetkellä laitteistoon kuuluu 40 kennonvalvontalaitetta. Viimeisenä on muuttuva numero, joka liittyy laitteiston sisäisiin toimintoihin. Numero päivittyy 5 s välein ja siitä voi tarkistaa että akunhallintajärjestelmä on toiminnassa. Kahdella viimeisellä rivillä on kennojen jännitteitä ja lämpötiloja. Riveille on laskettu kennojen minimi, maksimi ja keskiarvot jännitteistä ja lämpötiloista.

Valvontalaitteiden ledit kertovat valvontalaitteiden tilasta. Vihreänä vilkkuva ledi kertoo että valvontalaite on päällä. Jatkuvasti vihreänä palava ledi kertoo että kyseistä kennoa tasapainotetaan. Punaisena palava ledi kertoo, että valvontalaitteessa on vika.

1.2 Latauslaitteen käynnistäminen

Järjestelmään kuuluvan latauslaite kytetään päälle laitteen alareunassa olevasta virtakytkimestä. Laturin standby-ledi palaa vihreänä kun laite on kytketty pistokkeeseen. Status-ledi palaa hetken punaisena kun virtakytkimestä käännetään virrat päälle. Standby-ledi sammuu ja lopuksi status-ledi muuttuu keltaiseksi. Punaisena palava status-ledi ilmoittavat viasta.

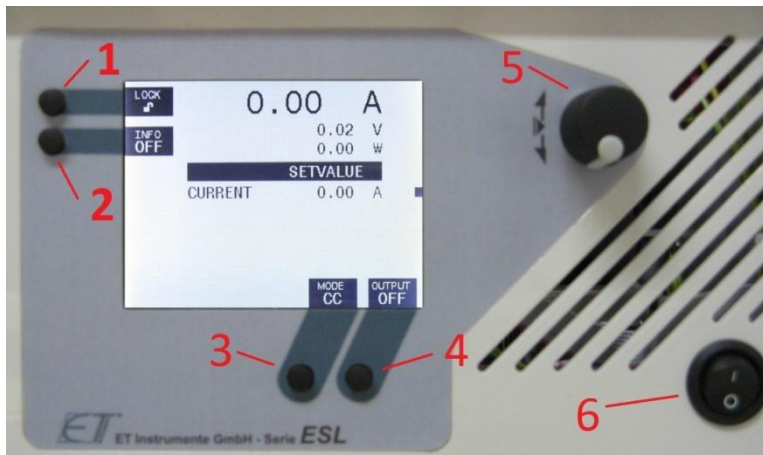


Kuva 3. Latauslaitteen merkkivalot ja virtakytkin

1. Status-ledi
2. Virta kytkin
3. Standby-ledi

1.3 Keinokuorman käynnistäminen

Keinokuorman käynnistäminen tapahtuu etupaneelin virtakytkimestä. Näyttöön tulee tiedot jännitteestä, virrasta, tehosta ja asetetusta virrasta tai resistanssista sekä tilatiedot. Kun ohjausohjelma käynnistetään, keinokuorman näyttöön ilmestyy teksti remote ja osa arvoista häviää. Näkyviin jää virta, jännite ja teho. Lock-painikkeen toiminto muuttuu local-toiminnoksi, jolla voidaan vaihtaa kuorma takaisin paikallisohjaukseen. Painiketta ei tulisi kuitenkaan painaa turhaan jos ohjausohjelma on käynnissä. Kuorman käynnistäminen ei ole pakollista, ellei akkupakettia ole tarkoitus kuormittaa.



Kuva 4. Keinokuorman painikkeet

1. Lukituspainikkeella voi lukita asetukset. Painikkeesta voidaan myös vaihtaa takaisin paikallisohjaukseen, mikäli kuormaan on oltu yhteydessä tietokoneen kautta.
2. Info-painikkeella saadaan esille kuorman mallitiedot.
3. Mode-painikkeella kuormitustapaa voidaan vaihtaa CC (Constant Current) tai CR (Constant Resistance) välillä.
4. Output-painikkeella voidaan kuormitus kytketään päälle tai pois.
5. Säätimellä säädetään vakiovirran- tai resistanssin arvoa riippuen kuorman toimintatilasta. Potentiometriä painamalla hetkenaikaa, muuttuu sen resoluutio pienemmäksi, jolloin arvoja voidaan asetella tarkemmin.
6. Virtakytkin

1.4 Ohjausohjelman käynnistäminen

Ohjausohjelma käynnistäminen tapahtuu työpöydän pikakuvakkeesta nimeltä Litiumioniakkujen testausjärjestelmä. Ohjelma käynnistyttyä tarkistaa se yhteyksien kunnan ja laitteiden tilan. Mikäli kaikki on kunnossa mittaukset ja tilatiedot päivittyvät käyttöliittymään. Jos keinokuorma on jätetty pois päältä ja ohjelma käynnistetään, ilmoittaa ohjelma siitä ponnahdusikkunassa ilmoituksella. Ilmoituksessa kerrotaan ettei keinokuorma ole päällä tai kaapeli on kytkemättä. Ilmoituksessa kerrotaan myös ohjeet keinokuorman käynnistämiseksi. Ennen keinokuorman päälle kytkemistä on ohjausohjelma pysäytettävä ja sammutettava, jonka jälkeen kytkettävä keinokuorma

päälle. Tämän jälkeen ohjausohjelman voi käynnistää uudestaan. Keinokuorman käynnistys ohjeet lukevat myös keinokuorman viestejä esittävässä tekstinäytöllä.

Yhteyksien ja laitteiden ollessa kunnossa akunhallintajärjestelmän viestinäytöllä lukee system status ok system use ok ja keinokuorman viestinäytöllä lukee no error.

Akunhallintajärjestelmän tila- ja valmiustilavalon tulisi palaa vihreänä sekä keinokuorman valoista cc valo tulisi palaa vihreänä.

2 TESTAUSTEN ALOITTAMINEN JA LOPETTAMINEN

Testaukset voidaan aloittaa kun laitteet ja ohjausohjelma on käynnistetty. Testauksia ei tulisi aloittaa jos ohjausohjelma ilmoittaa laitteista vikoja. Viat tulee selvittää ennen testausten aloittamista. Testausten jälkeen laitteisto ja ohjelma on sammutetta ohjeen mukaisesti.

2.1 Latauksen aloittaminen ja lopettaminen

Akkupaketin latauksen aloittaminen tapahtuu painamalla lataustila-painiketta. Valmiustilavalon sammuu ja lataustilavalon syttyä. Samalla käynnistyy myös mittauksen tallennus ja kuvaajien piirto. Lataustila-painikkeen painaminen lukitsee lataustila-, kuormitustila-, sammuta-, uudelleen käynnistä- ja peruuta-painikkeet. Lukitus vapautuu kun järjestelmän tila muutetaan takaisin valmiustilaan.

Lataus tapahtuu automaattisesti akunhallintajärjestelmän ohjaamana. Akkupaketin varauksen saavuttaessa täyden varauksen järjestelmä kalibroi SOC-arvon 100%:n. Kalibrointi tapahtuu jokaisen lataus kerran jälkeen. Vaikka akkupaketin varaus saavuttaisi täyden varauksen, lataustila ei muutu automaattisesti valmiustilaan. Lataustila pysyy päällä niin kauan kunnes järjestelmän tilaksi muutetaan valmiustila. Valmiustila-painikkeen painaminen lopettaa latauksen ja mittauksen tallennuksen sekä kuvaajien piirron. Jos mittauksia halutaan tämän jälkeen tallentaa, tulisi painaa tallenna mittaukset-painiketta ennen valmiustilaan siirtymistä. Tallennuksen aikana mittauksen tallennus tiedostoa ei tulisi avata, sillä se keskeyttää tallennuksen. Tiedostosta voi ottaa kopion, kopioida se esim. työpöydälle ja tarkastella tuloksia kopioidusta tiedostosta.

2.2 Kuormituksen aloittaminen

Akkupaketin kuormittamisen aloittaminen vaatii kuormitustila-painikkeen painamisen lisäksi kuorman asetusten säätämisen halutunlaisiksi. Kuormitustila-painikkeen painaminen lukitsee lataustila-, kuormitustila-, sammuta-, uudelleen käynnistä- ja peruuta-painikkeet. Valmiustilavallo sammuu ja kuormitustila valo syttyy. Samalla käynnistyy myös mittausten tallennus ja kuvaajien piirto. Kuorman jännitenäyttö tulisi näyttää lähes samoja lukemia kuin akunhallintajärjestelmän jännitenäyttö. Lukitus vapautuu kun järjestelmän tila muutetaan takaisin valmiustilaan.

Aluksi kuorman asetuksista valitaan kuormitustapa vakiovirta (CC) tai vakioresistanssi (CR). Seuraavassa vaiheessa asetetaan kuormaan kuormitusvirran tai resistanssin suuruus riippuen kumpi kuormitustapa on valittuna. Tämän jälkeen on asetettava virran tai resistanssin kuormitusarvo säätimeen numeronäppäimillä näppäilemällä tai nuolilla säätämällä. Virran arvo on rajattu alueelle 0-100 A ja resistanssi 1,5-100 Ω , jotta keinokuormaa ei ylikuormitettaisi. Arvon asettaminen keinokuormaan tapahtuu painamalla aseta virta- tai resistanssi-painiketta. Asetettu arvo päivittyy asetettu arvo näytölle. Kuormitus aloitetaan asetetulla arvolla painamalla kuormitus päälle-painiketta. Samalla lukittuvat kuormitustavan valintapainikkeet.

2.3 Kuormituksen lopettaminen

Kuormitus loppuu joko ohjemaan asetettuun jännitteiden alarajaan tai painamalla kuormitus pois-painiketta. Kuormitus on asetettu loppumaan kun akkupaketin jännite saavuttaa 114 V tai kennojen minimijännite saavuttaa 2.85 V rajan. Jos akkupaketin tai minimi kennojännite ajetaan rajalle, tulee siitä ilmoitus ja kuormitus lopetetaan.

Kuormituksen lopettaminen tapahtuu pysäyttämällä kuormitus ensiksi kuormasta, painamalla kuormitus pois-painiketta. Kuormitus pois-painikkeen painaminen vapauttaa myös kuormitustavan valintapainikkeet sekä nollaa asetetun kuormitusvirran- ja resistanssin arvot. Akunhallintajärjestelmän tilaksi voidaan vaihtaa valmiustila kun kuormitus on lopetettu kuormassa. Valmiustilapainikkeen painaminen lopettaa mittausten tallennuksen ja kuvaajien piirron sekä lukitsee kuormitus päälle-painikkeen. Jos mittausten tallennusta halutaan jatkaa, tulisi painaa tallenna mittaukset-painiketta ennen kuormituksen lopettamista. Tallennuksen aikana mittausten tallennus tiedostoa ei tulisi avata, sillä se keskeyttää mittausten

tallennuksen. Tiedostosta voi ottaa kopion, kopioida se esim. työpöydälle ja tarkastella tuloksia kopioidusta tiedostosta.

2.4 Laitteiden sammuttaminen

Laitteiston sammutus voidaan aloittaa kunnes akunhallintajärjestelmä on valmiustilassa. Kuormituksen jälkeen myös keinokuorman tulee antaa jäähtyä. Keinokuorma on jäähtynyt kunnes se puhaltaa viileää ilmaa ja puhallus ääni on tasaantunut. Akunhallintajärjestelmän sammutus ei ole välttämätöntä, jolloin ohjausohjelma voidaan pysäyttää stop-painikkeesta ja sammuttaa. Ohjelman sammutuksen jälkeen voidaan sammuttaa keinokuorma ja latauslaite.

Akunhallintajärjestelmän sammutus aloitetaan painamalla sammuta-painiketta, jos se kuitenkin halutaan sammuttaa. Painikkeen painaminen syyttää sammutusvalon, joka ilmoittaa että akunhallintajärjestelmän sammutus on käynnissä.

Akunhallintajärjestelmän sammutus kestää noin 10 min, jona aikana toiminto on peruutettavissa peruuta-painikkeella. Akunhallintajärjestelmän sammuttua ohjausohjelma ilmoittaa sammumisesta ja ohjausohjelman pysähtyy.

Ohjelman pysäyttämisen jälkeen voidaan sulkea ohjelma ja tarkistaa että akunhallintajärjestelmä on pysähtynyt. Akunhallintajärjestelmä on sammunut kunnes mittaus- ja tilatiedot eivät päivyty paikallinäytöllä. Virrat voidaan katkaista vetämällä pistoke pois seinästä.

3 MITTAUSTULOSTEN TALLENNUSKANSIO JA TIEDOSTOT

Kaikki mittaustuloksia sisältävät Excel-tiedostot tallentuvat kansioon C:\Litiumioniakkujen testausjärjestelmä\Mittaukset\kk.vvvv\pp.kk.vvvv.xls. Excel-tiedosto on tallennettu kuukaudella ja vuodella nimettyyn kansioon. Excel-tiedosto on nimetty päivämäärän mukaan. Tallennus tiedostoa ei tulisi avata ennen kuin kuormittaminen, lataaminen tai mittausten tallentaminen on lopetettu.

Tiedostoon tallennetaan minuutin ajalta lasketut keskiarvot ja laitteiden tilatiedot. Tiedostoon on tallennettu ensimmäisenä aloitusarvot ajalla 0, josta eteenpäin on kuormituksen tai latauksen aikana syntyneitä keskiarvoja. Tiedostossa on ensimmäisenä aika (min), jonka jälkeen akunhallintajärjestelmän tiedot ja keinokuorman tiedot.

Akunhallintajärjestelmän mittaus- ja tilatiedot ovat järjestyksessä:

Jännite (V)

Virta (A)

SOC (%)

Kapasiteetti (Ah)

Kennojännitteet U.min (V), U.max (V), U.avg (V)

Kennolämpötilat T.min (°C), T.max (°C) ja T.avg (°C)

Latausteho (W)

Latausenergia (Wh)

Syklien määrä

Akunhallintajärjestelmän toimintatila (0 valmiustila, 1 lataus ja 2 kuormitus)

Akunhallintajärjestelmän tila (1 ok tai 0 error)

Akunhallintajärjestelmän viestit

Keinokuorman mittaus- ja tilatiedot ovat järjestyksessä:

Jännite (V)

Virta (A)

Kuormitusteho (W)

Kuormitusenergia (Wh)

Kuormitusarvo (A tai Ω)

Keinokuorman toimintatila (CC tai CR)

Kuormituksen tila (1 päällä ja 0 pois)

Keinokuorman virhekoodit

4 YHTEYSASETUKSET

Akunhallintajärjestelmään ohjausohjelma on yhteydessä verkkoliitännän kautta. Ohjaavan tietokoneen IP-osoite tulee määrittää kiinteäksi verkkoasetuksista. IP-asetukset tulisi olla seuraavanlaiset:

IP: 172.16.3.24

Aliverkkomaski: 255.255.255.0

Keinokuorman ohjausohjelma on yhteydessä sarjaportin kautta. Keinokuorman ja ohjaavan tietokoneen välinen kaapeli tulee olla käännetty rs232 kaapeli. Kaapeli tulee olla kytketty ohjaavan tietokoneen com1 porttiin.

5 KÄYTTÖLIITTYMÄ

The screenshot displays a BMS user interface with the following sections:

- 1.** Akunhallintajärjest. (Battery Management System) with status indicators for Valmistila, Lataustila, and Kuormitusila.
- 2.** Mittausten tallentaminen (Data Logging) with a button for Talenna mitaukset and a field for Aikaa seuraavaan tallennukseen (s) set to 60.
- 3.** Keinoakuoma (Simulation) with buttons for CC, CR, Aseta virta, and Asetettava virta.
- 4.** Asetettava virta (Settable Current) with a slider set to 0.
- 5.** Keinoakuoma (Simulation) with buttons for Kuormitus päälle, Resetointi, and Error kuittaus.
- 6.** Keinoakuoma (Simulation) with buttons for Kuormitus päällä, CC, and CR.
- 7.** Mittausten tallentaminen (Data Logging) with a button for Talenna mitaukset and a field for Aikaa seuraavaan tallennukseen (s) set to 60.
- 8.** Akunhallintajärjestelmä (Battery Management System) with status indicators for Tilatiedot, Akunhallintajärjestelmän tila, Valmistila, Lataustila, Kuormitusila, Sammutus, and Uudelleen käynnistys.
- 9.** Keinoakuoma (Simulation) with status indicators for Tilatiedot, Kuormitus päällä, CC, and CR.
- 10.** Mittaukset (Measurements) showing Jännite (V) 134,3, Virta (A) 0, SOC (%) 31,83, and Kapasiteetti (Ah) 63,67. It also includes fields for Syklit, Latausteho (W), and Latausenergia (Wh).
- 11.** Mittaukset (Measurements) showing Jännite (V) 0,022, Virta (A) 0, and Asetettu arvo (Setpoint).
- 12.** Akunhallintajärjestelmä (Battery Management System) with a text area showing system status: 9:44 : Muodostetaan yhteyttä..... 9:44 : system status ok system use ok.
- 13.** Keinoakuoma (Simulation) with a text area showing system status: 9:44 : Muodostetaan yhteyttä..... 9:44 : No error.
- 14.** Stop button.
- 15.** Jännite (V) and Virta (A) graphs, and a SOC (%) graph.

Kuva 5. Käyttöliittymä

1. Akunhallintajärjestelmän toimintatilan vaihtopainikkeet
 - Valmiustila
 - Lataustila
 - Kuormitustila
2. Akunhallintajärjestelmän sammuta-, uudelleen käynnistä- ja peruuta-painikkeet
3. Keinokuorman kuormitustilan vaihtopainikkeet
 - CC
 - CR
4. Keinokuorman kuormitusarvon asetuspainikkeet
 - Virran säätö ja asetuspainikkeet
 - Resistanssin säätö ja asetuspainikkeet
5. Keinokuorman kuormituksen päällä ja pois kytkentä painikkeet
6. Keinokuorman resetointi ja error kuittauspainikkeet
7. Tallenna mittaukset-painike ja seuraavan tallennukseen kuluva aika-äyttö
8. Akunhallintajärjestelmän tilatiedot
 - Akunhallintajärjestelmän tila
 - Akunhallintajärjestelmän toimintatila
 - Sammutuksesta ilmoittava merkkivalo
 - Uudelleen käynnistyksestä ilmoittava merkkivalo
9. Keinokuorman tilatiedot
 - Kuormitus päällä/pois
 - Kuorman toimintatila CC/CR
10. Akunhallintajärjestelmän hetkelliset mittausnäytöt
 - Jännite (V)
 - Virta (A)
 - SOC (%)
 - Kapasiteetti (Ah)
 - Syklit
 - Latausteho (W)
 - Latausenergia (Wh)
 - Kennojenjännitteet min, max ja keskiarvo (V)
 - Kennojenlämpötilat min, max ja keskiarvo (°C)
11. Keinokuorman hetkelliset mittausnäytöt
 - Jännite (V)
 - Virta (A)
 - Asetettu kuormitusarvo (A/ Ω)
 - Kuormitusenergia (Wh)

12. Akunhallintajärjestelmän viestit

13. Keinokuorman viestit

14. Ohjelman pysäytyspainike

15. Kuvaajat

- Jännite, Virta ja SOC
- Kennojännitteet min, max ja keskiarvo
- Kennolämpötilat min, max ja keskiarvo
- Kuormitusteho- ja energia
- Latausteho- ja energia

www.savonia.fi

