



■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

LITIUM-RAUTAFOSSFAATTIAKKUJEN MITTAUSJÄRJESTELMÄ

TEKIJÄ: Pasi Lintunen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Pasi Lintunen			
Työn nimi Litium-rautafosfaattiakkujen mittausjärjestelmä			
Päiväys	7.10.2014	Sivumäärä/Liitteet	28/16
Ohjaaja(t) Ari Mikkonen, Markku Halttunen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Savonia-amk, Tekniikka Varkaus			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi Savonia-ammattikorkeakoulu Varkauden yksikkö. Opinnäytetyön tarkoituksena oli rakentaa mittausjärjestelmä, jolla mitataan litium-rautafosfaattiakkujen ominaisuuksia ja käyttäytymistä. Mittausjärjestelmä tulee opiskelijoiden käyttöön, energiatekniikan harjoitustyöksi. Opinnäytetyön avulla voidaan hyödyntää olemassa olevaa laboratoriolaitteistoa tehokkaasti myös muihin akkutekniikan tarpeisiin.</p> <p>Tarkoituksena oli valmistaa helposti käytettävä mitatusjärjestelmä myös ajatellen niitä energiatekniikan opiskelijoita, jotka eivät erikoistu akkuteknologioihin.</p> <p>Litium-rautafosfaattiakkuja mitataan eri lataus- ja purkutilanteissa. Mittauksissa käytetään sekä AC- että DC-menetelmiä.</p> <p>Mittausjärjestelmän elektroniikka rakennettiin alusta pitäen itse mahdollisimman edullisesti käyttäen hyväksi koululta löytyneitä komponentteja. Kaikki mittausjärjestelmän mittaukset hoidetaan keskitetysti tiedonkeruulaitteella. Koko mittausjärjestelmää ohjataan tietokoneohjelmalla, jota ajetaan Microsoft Windows-alustalla. Yhtenä osana opinnäytetyötä ohjelmoitiin alusta pitäen koko ohjausohjelma.</p> <p>Ohjausohjelman avulla kerätyt mittauks tulokset tallennetaan lokitiedostoon, joista mittaaaja voi tehdä omia havaintoja sekä johtopäätöksiä. Laitteiston rakenne on modulaarinen. Modulaarisuus mahdollistaa laitteiston jatkokehittämisen tulevissa akkutekniikan opinnäytetyöissä ja projekteissa. Lisäksi laitteistorikot ovat helppoja paikantaa ja korjata.</p> <p>Mittausjärjestelmä sijaitsee Savonia-amk Varkauden kampuksen energiatekniikan laboratoriossa.</p>			
Avainsanat LiFePO ₄ , Akku, Mittaus			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Pasi Lintunen			
Title of Thesis Lithium iron phosphate battery measuring system			
Date	7.10.2014	Pages/Appendices	28/16
Supervisor(s) Ari Mikkonen, Markku Halttunen			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences, Varkaus			
<p>Abstract</p> <p>This final year thesis was made for Savonia University of Applied Sciences in Varkaus. The purpose of this thesis was to produce a measuring system, which is used to measure characteristics and behavior of lithium iron phosphate batteries. The measuring system is made for students to be used as a part of laboratory works. The laboratory equipment used in this thesis can be used efficiently in other purposes as well.</p> <p>One of the goals was to make this work to be suitable for students who are not going to specialize in battery technologies in their studies.</p> <p>Lithium iron phosphate batteries are measured while under charge and discharge. Also AC and DC methods are used in measurements.</p> <p>The electronics for measuring system were built and the measurements are done in a concentrated way, using a data logging device. The whole system is controlled by a program, which is running on a Microsoft Windows platform. One part of the work was to program a controlling software.</p> <p>The measuring results are saved in to a logfile. The users can make their own observations on them. The electronics was built in a modular way. Modularity makes the future development of the system easier and the possible malfunctioned parts are quite easy to locate ja replace.</p> <p>The system is located in the energy technology laboratory in Savonia University of Applied Sciences campus in Varkaus.</p>			
Keywords LiFePO ₄ , Battery, Measurement			

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	6
1.1	Savonia-AMK	6
1.2	Lyhenteet ja määritelmät	7
2	MITTAUSJÄRJESTELMÄ	7
2.1	NI USB-6008 DAQ käyttö ja toiminta	8
2.2	Ohjausohjelmisto	9
2.2.1	Ohjelman käyttö	9
2.2.2	Latausvaihe.....	10
2.2.3	DC-mittausvaihe	10
2.2.4	AC-mittausvaihe	10
2.2.5	Purkuvaihe	10
2.2.6	Järjestelmän alasajo.....	11
2.3	Keinokuorma	11
2.4	Teholähde	11
2.5	Akku.....	12
2.5.1	Litiumrautafosfaatti-akut.....	12
2.5.2	Mittausjärjestelmän akut.....	13
2.5.3	Litiumioni-akun lataaminen	13
2.5.4	Litiumakun purkaminen	14
3	AC- JA DC-MITTAUSMENETELMÄ	14
3.1	DC-menetelmä.....	15
3.2	AC-menetelmä	16
3.3	Impedanssin mittaaminen suurtaajuudella.....	16
4	MITTAUSELEKTRONIIKAN RAKENNE	17
4.1	ATX-teholähde	18
4.2	Kontaktorit ja käyttö.....	19
4.3	Oskillaattori	20
4.3.1	Paikallisoskillaattori	20
4.4	ST-vahvistinasteet.....	22
4.5	RF-ilmaisimien ja signaalien muunto.....	22
4.6	Signaalien mittaus.....	24

4.7	Latausvirran mittaus.....	26
4.8	Akun purkaminen ja mittaus.....	26
5	JÄRJESTELMÄN KÄYTTÄMINEN.....	27
5.1	Ongelmatilanteet.....	27
5.2	Turvallisuus.....	28
6	YHTEENVETO.....	28
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	29
	LIITE 1: NI USB-6008 DATA SHEET	30
	LIITE 2: CONFIG.INI RAKENNE.....	31
	LIITE 4: TEHOLÄHTEEN LIITÄNTÄKAAPELI.....	34
	LIITE 5: THUNDER SKY LIFEP04 200AH DATA SHEET	35
	LIITE 6: LM35 KYTKENTÄ.....	37
	LIITE 7: LM35 DATA SHEET	38
	LIITE 8: ATX-TEHOLÄHDE, KUORMA JA KONTAKTORILEVY KYTKENTÄ.....	39
	LIITE 9: KILOVAC EV200 SERIES CONTACTOR DATA SHEET	40
	LIITE 10: KONTAKTORIEN OHJAUSLEVY	41
	LIITE 11: SCHMITT TRIGGERS DATA SHEET.....	42
	LIITE 12: SA612 DOUBLE-BALANCED MIXER AND OSCILLATOR DATA SHEET.....	43
	LIITE 13: AD8361 DATA SHEET	44
	LIITE 14: LATAUSVIRRRAN MITTAUS.....	45
	LIITE 15: INA106 DATA SHEET.....	46
	LIITE 16: LM741 DATA SHEET.....	47

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli valmistaa mittausjärjestelmä akkujen testaukseen Savonia-AMK Varkauden yksikön energiatekniikan koulutusohjelman käyttöön. Tarve oli saada rakennettua akkuihin liittyvä mittausjärjestelmä, jonka avulla akut tulisivat tutummaksi myös niille opiskelijoille, jotka eivät erikoistu opinnoissaan akkutekniikkaan. Akut ovat nykyaikana monessa paikassa käytössä ja akkujen peruskäytön ja toiminnan ymmärtäminen on yksi tärkeistä taidoista energiatekniikan insinööreille.

Mittausjärjestelmän avulla suoritetaan LiFePO₄-akulle lataus, purku ja muita akkujen ominaisuuksia mittaavia toimenpiteitä. Mittaustulokset tallentuvat tietokoneelle tiedostoksi ja mittaaaja voi tehdä niistä omia tulkintojaan. Työssä ei tarvitse tehdä omia kytkentöjä ja mittausjärjestelmä valvoo laitteen käyttöä. Virhetilanteissa toiminta lopetetaan ja järjestelmä saatetaan vakaaseen tilaan.

1.1 Savonia-AMK

Savonia ammattikorkeakoulu on Pohjois-Savossa toimiva ammattikorkeakoulu. Yksiköitä koululla on Kuopiossa, Iisalmissa ja Varkaudessa. Savoniassa on Opiskelijoita kolmella paikkakunnalla yhteensä noin 6 300 ja henkilökuntaa 600. Savonia tunnettiin aiemmin Pohjois-Savon ammattikorkeakouluna.

Savoniassa voi opiskella yli kolmessakymmenessä eri koulutusohjelmassa ja avoimessa ammattikorkeakoulussa. Savoniassa voi jatko-opiskella tutkinnon jälkeen suorittamalla ylemmän ammattikorkeakoulututkinnon tai aiemman tutkinnon erikoisopintoja.

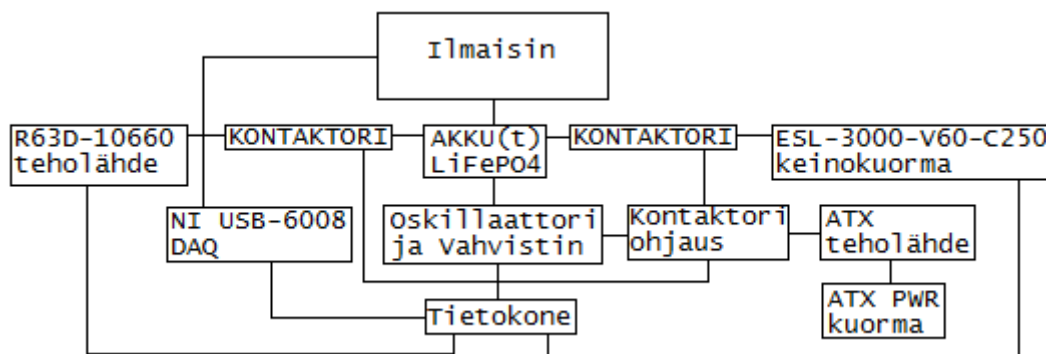
Opiskelu ja oppiminen ovat Savoniassa työelämälähtöisiä. Savonia on yritysten kanssa yhteistyössä. Työelämäyhteistyö kohdistuu Savoniassa kaikkiin. Lähimmin yritysyhteistyössä ovat opiskelijat ja opettajat. Työelämäläheisyys yhdistää parhaiten teorian käytäntöön.

1.2 Lyhenteet ja määritelmät

AC, alternating current	Vaihtovirta
AD, Analog to Digital Converter	Analogi-digitaalimuunnin
ATX, Advanced Technology extended	Teholähde standardi
CCCV, Constant- Current/Voltage	Jatkuva virta/jännite
dBm, dBmW, Decibel-milliwatts	Teho verrattuna 1 mW (0 dBm=1 mW)
DA,DAC, Digital to Analog Converter	Digitaali-analogimuunnin
DC, Direct Current	Tasavirta
GPIB, General Purpose Interface Bus	Yleinen laitteiden liityntäväylä
LiFePO4, LFP	Litium-rauta-fosfaatti
LIB, Li-ion, lithium-ion Battery	Litiumioni akku
I/O, IO, input/output	Sisääntulo/Lähtö
IBM, International Business Machines	Teknologiayritys
IC, Integrated Circuit	Integroitu piiri
ST, high frequency	Suurtaajuus
DAQ, Data Acquisition	Tiedonkeruu
.NET, Framework	Ohjelmistokomponenttikirjasto
NI, National Instruments	Teknologiayritys
C#, C sharp	Ohjelmointikieli
PC, Personal Computer	IBM PC-yhteensopiva tietokone
RF, Radio-frequency	Radiotaajuinen
RFI, Radio-frequency interference	Radiotaajuinen häiriö
RS-232, Recommended Standard 232	Asynkroninen sarjaliikenne standardi
SOC, State of charge	Akun latauksen tila
SOH, State of health	Akun kunto
TTL, Transistor to transistor logic	Bipolaarinen logiikkapiiriperhe
USB, Universal Serial Bus	Sarjaväyläarkkitehtuuri

2 MITTAUSJÄRJESTELMÄ

Mittausjärjestelmä (ks. kuva 1 s.8) koostuu ohjelmistosta, NI USB-6008 DAQ-tiedonkeruulaitteesta, teholahteesta, keinokuormasta ja mittauselektronikasta. Tiedonkeruulaite NI USB-6008 DAQ ohjaa laitteita digitaalisilla signaaleilla, mittaa järjestelmän akuston tilaa ja ilmaisimen analogialähtöä. Tiedonkeruulaitetta ohjataan tietokoneohjelmistolla USB-väylän kautta. Samaa USB-väylää pitkin tiedonkeruulaite NI USB-6008 DAQ lähettää keräämänsä tiedot tietokoneelle. Ohjelmisto valvoo mittausjärjestelmän toimintaa sekä ohjaa sitä.



KUVA 1. Laitteiston lohkokkaavio (Lintunen 2014)

2.1 NI USB-6008 DAQ käyttö ja toiminta

NI USB-6008 DAQ on tietokoneen USB-väylään liitettävä datan keruulaite (ks. kuva 2). Laitteella ohjataan koko mittausjärjestelmää, lukuunottamatta virtalähdettä ja keinokuormaa. Laitteen tarkemmat tiedot on esitetty liitteessä 1. Laitetta käytetään tietokoneohjelmalla. Itse laitteen käyttöä mittaajan ei tarvitse opetella. Tiedonkeruulaitteen ominaisuudet on kuitenkin hyvä tuntea, jolloin tiedetään, mikä on laitteen suorituskyky.



KUVA 2. National Instruments USB-6008 DAQ (Lintunen 2014).

Tiedonkeruulaitteen analogiasignaalin näytteenottotarkkuus on 12 bittiä. Tämä tarkoittaa sitä, että laite pystyy erottamaan $2^{12} = 4096$ eri jännitetasoa. Analoginen signaali muunnetaan digitaaliseen muotoon laitteen sisäisellä analogia-digitaalimuuntimella. Laitteen näytteenottotaajuus on 10 kHz. Näytteenottotaajuus jaetaan yhtäaikaaisesti olemassa olevien kanavien kesken. Tätä on kierretty mittaamalla yhdellä kanavalla kerrallaan, perättäisiä mittauksia. Laite ehtii mittaamaan hyvin perättäismittauksina kaikilta kanavilta yhden sekunnin aikana.

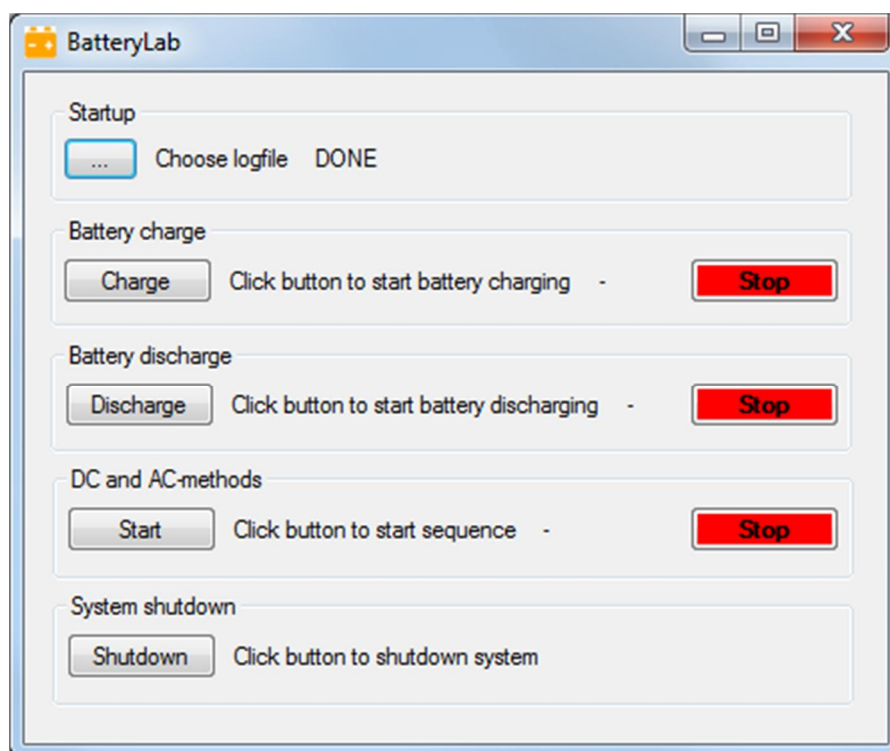
Laitteessa on myös digitaalinen I/O. Kaikki I/O:t on määritetty output-tilaan. Näillä lähdöillä ohjataan muuta laitteistoa.

2.2 Ohjausohjelmisto

Mittausjärjestelmän ohjelmisto on ohjelmoitu käyttäen .NET versiota 4.5 ja C#-kieltä. Ohjelmointiympäristönä käytettiin Visual Studio .NET 2013 Professionalia, ilman Measurement Studio for Visual Studio .NET-laajennusta. Ohjelmistolla ohjataan tiedonkeruulaitetta, teholähdettä, keinokuormaa ja mittauselektroniikkaa. Ohjelmistolla on lisäksi oma asennusohjelma, joka asentaa tarvittavat kirjastot käyttöjärjestelmään. Ohjelmisto on x86-prosessoreille käännetty ja vaatii .NET Framework 4.5-ohjelmistokomponenttikirjaston.

2.2.1 Ohjelman käyttö

Ohjelman käyttö on varsin yksinkertaista. Ohjelma sekä rajoittaa käyttäjän toimia että ohjaa niitä. Käyttö aloitetaan valitsemalla lokitiedosto, johon kaikki mittaustapahtumat tallennetaan. Ohjelmassa edetään vaihe kerrallaan eteenpäin ja loppuun suoritettavat vaiheet näkyvät käyttäjälle.



KUVA 3. Ohjausohjelmiston käyttöliittymä (Lintunen 2014).

Kuvassa 3 näkyy, että ohjelmassa on Startup-vaihe suoritettu, jonka jälkeen voidaan siirtyä Battery charge-vaiheeseen. Muita vaiheita ei ole mahdollisia suorittaa ennen kuin Battery charge on edennyt loppuun. Vaiheen voi toki aina keskeyttää Stop-napilla.

Ohjelma sisältää paljon toimintoja ja asetuksia, jotka eivät näy käyttäjälle. Käyttäjä voi itse muuttaa useimmat asetukset, joiden parametrit löytyvät config.ini-tiedostossa. Tiedosto löytyy samasta ha-

kemistosta, mihin ohjelma on asennettu. Tiedoston muoto sekä muutettavat parametrit on esitetty liitteessä 2.

2.2.2 Latausvaihe

Latausvaiheen mittaaaja aloittaa klikkaamalla Charge-nappia. Latausvaiheessa akku irrotetaan keino-kuormasta, asettamalla keinokuorman output off-asentoon. Lisäksi galvaaninen yhteys katkaistaan vielä kontaktorilla. Koska latausvaiheessa ei tehdä suurtaajuusmittauksia, niin oskillaattori sammutetaan. Akkua ladataan aluksi 0,5C-virralla, jonka valmistaja on ilmoittanut optimi latausvirraksi. Käytettäessä 200Ah:n akustoa latausvirraksi tulee tällöin 100A. Lataaminen tapahtuu tehollähteellä, joka on kontaktorin välityksellä kytketty akkuun. Tehollähteeseen asetetaan vakiovirta moodi 100A ja tiedonkeruujärjestelmällä mitataan akun napajännitettä. Kun napajännite on noussut noin 4V, niin siirrytään automaattisesti vakiojännitemoodiin. Latausvirran laskettua alle 10 A, lataaminen lopetetaan. Mittausjärjestelmässä ei ole ylläpitolatausta, koska mittaukset aloitetaan aina akun latausvaiheesta, jolloin tarvetta ylläpitolataukselle ei ole. Lisäksi tämä mahdollistaa sen, että mittausjärjestelmän voidaan pitää sähköttömänä, kun järjestelmää ei käytetä.

Vakiojännite ja -virtamoodeista tallennetaan mittaustietoja käyttäjän lokitiedostoon. Näistä tiedoista on mahdollista piirtää esimerkiksi trendiviivoja, joiden perusteella mittaaaja tekee omat johtopäätöksensä mittauksesta. Liitteessä 3 on nähtävissä lokitiedoista piirrettyjä kuvaajia.

2.2.3 DC-mittausvaihe

DC-mittausvaiheeseen päästään, kun latausvaihe on päättynyt ja käyttäjä klikkaa DC and AC-methods-kohdan Start-nappulaa. Ensimmäisessä vaiheessa käytetään DC-menetelmää, jossa on useita eri kuormia. Mittaaaja voi itse tarvittaessa vaihtaa kuormat asetustiedostosta. Jokaista kuormaa käytetään muutamia sekunteja, jonka jälkeen vaihdetaan seuraavaan kuormaan. Kuormitusten aikana mitataan akuston napajännitettä sekunnin välein.

2.2.4 AC-mittausvaihe

AC-mittausvaiheessa akun läpi syötetään suurtaajuinen signaali. AC-mittausvaiheessa mitataan piirissä oleva teho, mikä saadaan suurtaajuus vahvistinasteesta. Mitattu teho ilmoitetaan jännitteenä, josta teho voidaan laskea. Ohjelma tallentaa mittaustulokset käyttäjän valitsemaan tiedostoon.

2.2.5 Purkuvaihe

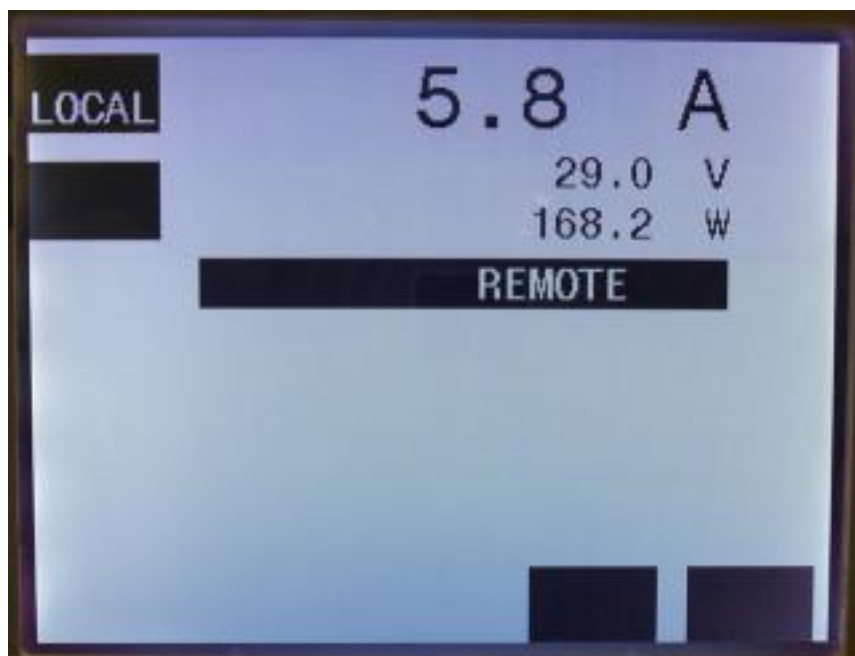
Purkuvaiheessa akkua puretaan vakiovirralla. Vakiovirta-asetus saadaan config.ini-tiedostosta. Oletuksena 200Ah akulle käytetään 100A:n virtaa. Ohjelmisto ohjaa sekä keinokuormaa että kontaktoria automaattisesti. Akun napajännite, aika ja lämpötila tallentuvat valittuun lokitiedostoon. Vaihe voidaan keskeyttää millä tahansa Stop-napilla.

2.2.6 Järjestelmän alasajo

Järjestelmä voidaan sammuttaa Shutdown-napilla. Alasajossa katkaistaan kontaktoreilla yhteydet akulle sekä keinokuormalta että teholähteeltä. Teholähde sammutetaan ja keinokuorman yhteys akkuun katkaistaan. Lokitiedosto suljetaan.

2.3 Keinokuorma

Mittausjärjestelmässä käytetään ESL-3000-V60-C250-USB säädettävää elektronista keinokuormaa. Tehonkesto keinokuormassa on 3 kW. Käytetty jännite valitaan väliltä 0 - 60V ja virta väliltä 0 - 250A. Keinokuormaa voidaan ohjata ulkoisesti RS-232-liitännän kautta. Batterylab-ohjelma ohjaa keinokuormaa sarjaportin kautta. Keinokuormaa ohjataan GPIB-komennoilla. Komennot ohjelma lähettää keinokuormalle automaattisesti (ks. kuva 4).



KUVA 4. Tietokoneella on saatu yhteys keinokuormaan ja keinokuorma on REMOTE-tilassa (Lintunen 2014)

2.4 Teholähde

Akkujen latauksessa käytetään R63D-10660 säädettävää teholähdettä (ks. kuva 5 s.12) Laitte on melko järeä tähän tarkoitukseen, mutta akkuja voidaan ladata nopeasti ja samalla lyhentää tarvittavaa mittausaikaa. Teholähteestä saatava jännite on väliltä 0 – 10 V ja virta väliltä 0 - 660 A.



KUVA 5. R63D-10660 teholaähde (Lintunen 2014).

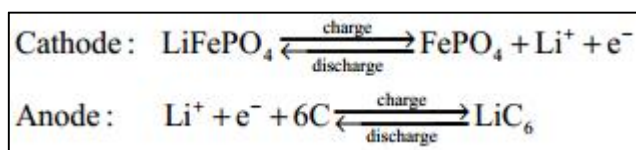
Teholähteellä ladataan mittausjärjestelmässä LiFePO₄-akkuja. Virtaa laitteesta saadaan aika paljon ja maksimivirta asetetaan ohjelmistosta. Teholähteessä on sekä vakiovirta että vakiojännitetilat, joita voidaan säätää etänä erillisen liitännän kautta. Tiloja ohjataan jännitteellä ja tarvittavat ohjausjännitteet saadaan tiedonkeruulaitteesta. Liitäntäkaapelin kytkentä on esitetty liitteessä 4.

2.5 Akku

Akku on laite, jolla varastoidaan sähköenergiaa sähkökemialliseen muotoon. Varastosta energiaa otettaessa energian muoto muuttuu takaisin sähköenergiaksi. Akku on kuitenkin häviöllinen energiaravasto. Jos verrataan akun purku ja latauskuvaajia, on nähtävissä hystereesi. Energiahäviöt, kennojännitteet ja virran antokyky vaihtelevat erittäin paljon. Akun ominaisuudet määräytyvät akkukemiallisen rakenteen ja akun koosta. Akku on usein koottu yksittäisistä kennoista, joissa on anodi ja katodi. Kennojen sarjaankytkennällä voidaan akun jännitettä nostaa ja rinnankytkennällä parannetaan virran antokykyä. Akkuja voidaan ladata ja purkaa useita syklejä. Syklien määrä vaihtelee käytön ja akkukemian mukaan muutamista kymmenistä kerroista kymmeniintuhansiin kertoihin. (Battery.)

2.5.1 Litiumrautafosfaatti-akut

Litium-rautafosfaattiakut ovat ladattavia akkuja. Akussa litiumionit liikkuvat negatiiviselta elektrodilta positiiviselle, purettaessa ja takaisin ladattaessa (ks. kuva 6). Akkua ladattaessa sähköenergia muuttuu kemialliseksi energiaksi. Litiumioniakku säilyttää käyttämättömänä varauksensa hyvin. Akkua kannattaa kuitenkin ladata säännöllisesti. Säännöllinen lataaminen pidentää akun ikää. Akun kennojännite on yleensä 4,2 V. Akun ikää voidaan jatkaa lataamalla akkua vain 4,1 V napajännitteeseen. Akkua ei pidä ylliladata tai syväpurkaa. Lataustapana käytetään CCCV-menetelmää. Kennojännite laskee latauksen jälkeen akun nominaalijännitetasolle.



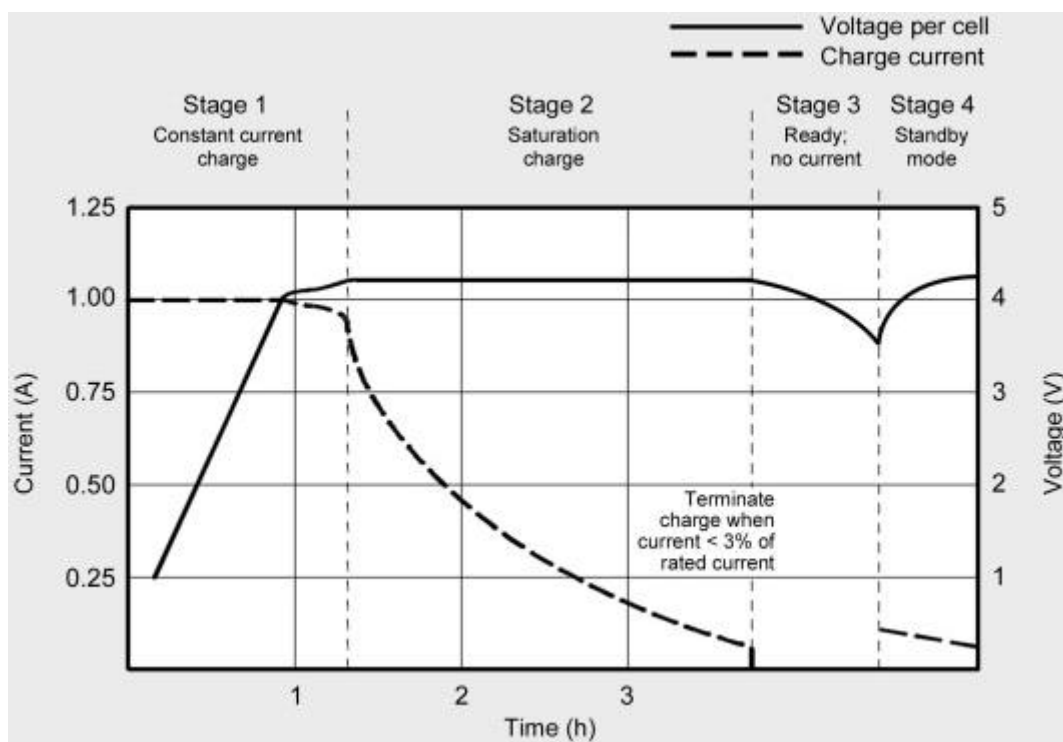
KUVA 6. Kemiaalliset reaktiot akun katodilla (Cathode) ja anodilla (Anode), ladattaessa ja purkaessa (Lotfi, Fajri, Novosad, Savage, Landers, Ferdowsi, 2013, 5232.)

2.5.2 Mittausjärjestelmän akut

Mittausjärjestelmässä on käytetty litium-rautafosfaattiakkua. Akun on valmistanut Thundersky Ltd ja akun tarkemmat tiedot löytyvät liitteestä 5. Järjestelmässä on käytetty Thundersky 200Ah-akkua. Akun kemia on LiFePO_4 . Akun korkein jännite, akkujen ollessa 100 % latautuneita, on 4,2 V. Akuston ollessa purettuna alarajalle, on jännite 2,8 V. Akkua ei normaalikäytössä pureta koskaan alarajalle.

2.5.3 Litiumioni-akun lataaminen

Litiumioniakkua ladattaessa akuston kennot latautuvat noin 4,2 V / kenno (ks. kuva 7). Ladattaessa laturilla on ensimmäinen vaihe vakiovirranvaihe (CC). Latausvirta on normaalisti 0,5 – 1,0C. Mittausjärjestelmässä käytetylle ThunderSky akulle suositeltu latausvirta on 0,5C. Latausvirta 0,5C 200Ah akulla on 100A. Virta pidetään vakiona niin kauan, kunnes virta alkaa pudota ja napajännite on noussut noin 4,1V. Seuraavaksi siirrytään vakiojännitevaiheeseen. Vaihetta pidetään yllä niin kauan, kunnes latausvirta on alle 3 % nimellisvirrasta. Latauksen lopettamisen jälkeen voidaan vielä jatkaa ylläpitolatausta, mikäli akun halutaan pysyvän täydessä latauksessa. Ylläpitolataus käynnistyy uudelleen kun akun napajännite on laskenut selvästi. (Charging Lithium-ion.)



KUVA 7. Kuvaajat sekä napajännitteestä että virroista akun latauksen aikana (Charging Lithium-ion).

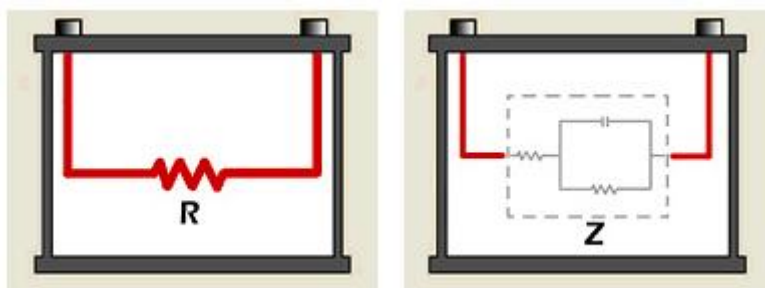
2.5.4 Litiumakun purkaminen

Litium-akkua voidaan purkaa erilaisilla kuormilla. Akkua purettaessa napajännite laskee. Akun purkukuvaajan tulisi olla mahdollisimman suora käytetyllä jännitealueella. Kuitenkin napajännite muuttuu kuorman mukaan ja voi notkahtaa suurella kuormalla. Impulssinomainen suuri kuorma voi ottaa hetkellisesti suuren virran akusta. Purkuvirran suuruuteen vaikuttaa akun lisäksi muut virtapiirin osat. Useimmiten järjestelmässä käytetyt johtimet vaikuttavat erittäin paljon sekä rajoittavat virran kulkua.

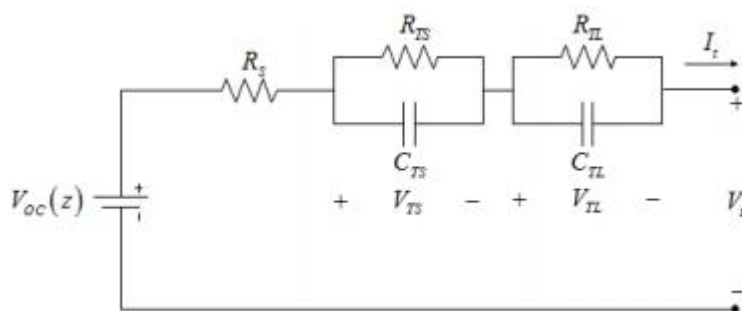
Akkua ei saa ylliladata eikä syväpurkaa. Kennojännitteet on rajattu jokaiselle akkukemialle erikseen. Akkua ladataessa ja purettaessa on oltava suojalaitteisto. Yleisimmin suojalaitteistolla tarkoitetaan akunhallintajärjestelmää. (Discharge.)

3 AC- JA DC-MITTAUSMENETELMÄ

AC- ja DC-mittausmenetelmät (ks. kuva 8) eroavat toisistaan siinä, että AC-menetelmässä käytetään vaihtosähköistä signaalia ja DC-menetelmässä vaihdetaan akun kuormaa. Menetelmät antavat hieinan erilaiset tulokset samasta akusta. Kumpikaan menetelmästä ei anna todellista kuvaa akun ominaisuuksista. Menetelmät kuitenkin yhdessä käytettynä täydentävät toinen toisiaan arvioitaessa akkua. Akkuissa on sekä reaktiivisiä että resistiivisiä komponentteja. Akussa yhdistyy ohminen resistanssi, kapasitiivinen ja induktiivinen reaktanssi (ks. kuva 9 s.15). Impedanssilla voidaan määrittää resistanssi ja reaktanssit yhtenä kokonaisuutena. (Why do different test methods provide dissimilar readings.)



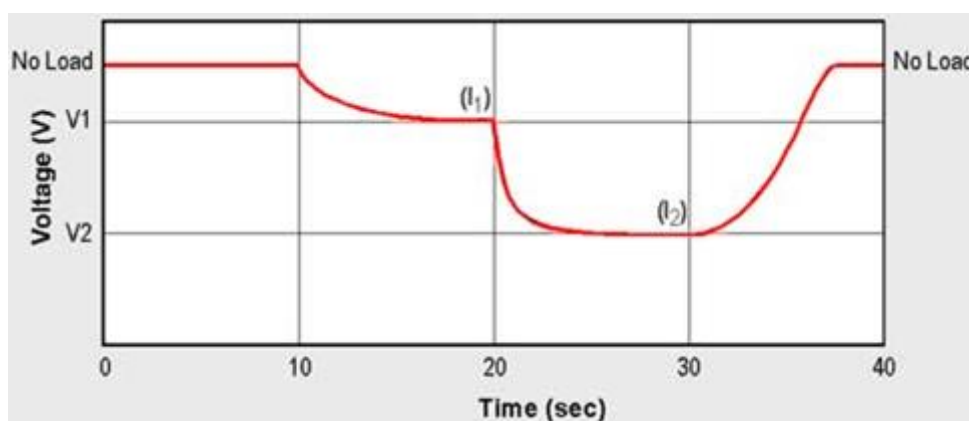
KUVA 8. Vasemmalla DC-menetelmän mittaama akku ja oikealla AC-menetelmän mittaama. (Why do different test methods provide dissimilar readings.)



KUVA 9. Ekvivalenttikytkentä, jossa on kaksi akkua sarjaankytkettynä (Development of an Experimental Test bed for Research in Lithium-Ion Battery Management Systems, 5247)

3.1 DC-menetelmä

DC-menetelmä (ks. kuva 10) toimii muuttamalla akun kuormaa ja samalla seuraamalla akun napajännitteessä tapahtuvia muutoksia. Kuorma pidetään koko napajännitemittauksen ajan samana. Kun jännite on tasaantunut, muutetaan kuormaa. Kuormia on oltava vähintään kaksi erisuuruista. Kuormat kannattaa valita niin, että mitattaessa jännitettä, on napajännitteessä selvä ero.



Kuva 10. Kuvaaja DC-menetelmästä. (Rapid Testing Portable Batteries.)

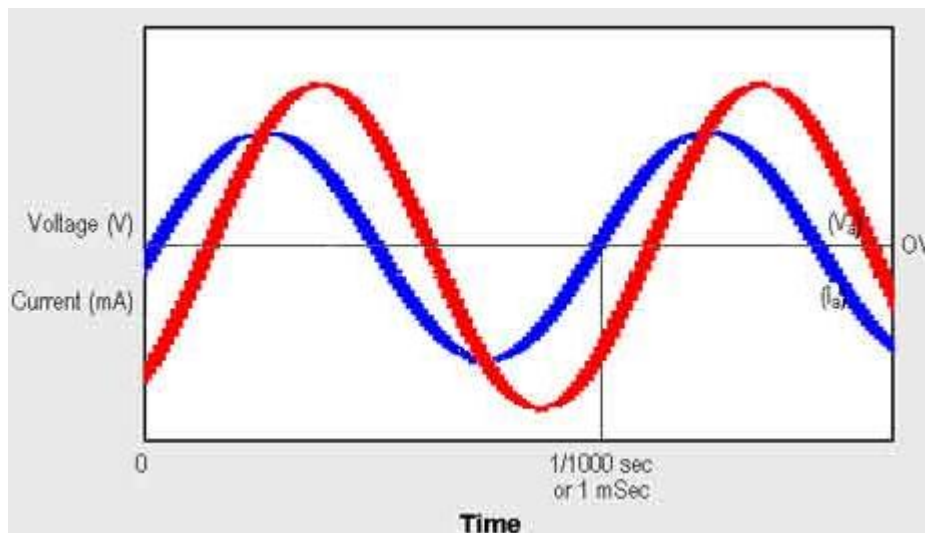
Kaavassa 1 on esitetty DC-menetelmän laskenta kahdella eri kuormalla. Eri jännitteet ja virrat johtuvat erisuuruudesta kuormasta. (Rapid Testing Portable Batteries.)

$$R_{dc} = \frac{U_1 - U_2}{I_1 - I_2} \quad (1)$$

Mittausjärjestelmän DC-menetelmässä käytetään neljää eri kuormaa. Jokaista eri kuormaa käytetään 11 s ja vaihdetaan. Kuormat voi vaihtaa config.ini tiedostosta.

3.2 AC-menetelmä

AC-menetelmässä (ks. kuva 11) viedään suurtaajuinen signaali akun läpi. Signaalin taajuus on usein 50 – 1000 Hz. Perinteinen AC-menetelmä on konduktiivisuustesti. Testillä voidaan määrittää akun sisäinen impedanssi.



KUVA 11. Kuvaaja AC-menetelmästä. (Rapid Testing Portable Batteries.)

Kaavassa 2 on esittetty AC-menetelmän laskenta. Laskenta noudattaa Ohmin lakia $Z=E/I$. (Rapid Testing Portable Batteries.)

$$R_{ac} = \frac{V_{rms}}{I_{rms}} \quad (2)$$

Mittausjärjestelmässä signaalin muotona käytetään sinisignaalia, jonka amplitudi on noin 0,2 Vrms ja taajuus 18,342 MHz. Mittaus tapahtuu akun ollessa kytkettynä suurtaajuuspiiriin, sekä keinokuorma että tehollähde ovat puolestaan irtikytkettyinä. Suurtaajuuspiiri on erotettu läpivientikondensaattoreilla tasasähköpiiristä. Menetelmässä mitataan akun vaihtovirtavastus eli impedanssi. Menetelmää voidaan käyttää joko akkua ladattaessa tai purettaessa.

3.3 Impedanssin mittaaminen suurtaajuudella

Impedanssimittaus päätettiin suorittaa korkeammalla taajuudella normaalin 1kHz sijaan. 1kHz taajuus on useiden akkuvalmistajien käyttämä taajuus, jolla ilmoitetaan akun impedanssi. Tämä taajuusmittaus tehdään yleensä akulle, jota ei liitetty mihinkään järjestelmään tai akulle, joka ei ole käytössä.

Tässä työssä käytetty taajuus valittiin reilusti korkeammaksi. Impedanssimittauksissa käytetty taajuus on 18,342 MHz. Käytetty taajuus on suurempi kuin akun lähellä vaikuttavat häiriötaajuudet. Useat eri laitteet tuottavat RFI-häiriötä, myös akkua käyttävä laite voi aiheuttaa häiriötä. Useat ak-

kulaturit ja muut jännitemuuntimet tuottavat matalataajuisia häiriöitä käytettyyn mittaustaajuuteen verrattuna.

Järjestelmän tiedonkeruulaite ottaa käyttöjännitteensä tietokoneen USB-väylästä. Väylästä saatava sähköteho on yllättävän häiriöistä. Myös tiedonkeruulaitteen omat AD/DA-muuntimet häiritsevät laitetta itseään. Tietokoneen litteä näyttö ja USB-laitteet aiheuttivat myös häiriötä. Mittausjärjestelmän lähellä olevat mobiililaitteet tuottivat häiriötaajuuksia aika ajoin.

Mittaustaajuus ei itse voi olla suuritehoista, sillä mittaussignaali voisi tällöin häiritä muita laitteita. Mittalaitteen lähetysteho on laissa rajoitettu.

Käytetty korkeampi taajuus ei anna samaa impedanssia, kuin akkujen mittauksissa käytetty 1 kHz taajuus. Korkeammalla taajuudella voidaan tehdä samat seurannat kuin matalammilla taajuuksilla. Käytetty 18,342 MHz taajuus kulkee akun läpi hyvin eikä vääristy. Myös korkeampi taajuus on käytetyn tehomittauselektronikan kannalta parempi sen toiminta-alueella.

Käytetyn taajuuden impedanssilukema on paljon suurempi johtuen kaapeloinnista ja akun sisäisestä rakenteesta. Nämä aiheuttavat reaktiivisen induktanssin nousua taajuuden kasvaessa. Lukema on kuitenkin käyttökelpoinen, jos mitattava akku on alun perin kunnossa sekä tiedetään akun lähtötilanne, johon lukemaa voidaan verrata. Jos impedanssimittaus asennettaisiin jo käytössä olevaan akkuun, niin reaaliaikainen mittaus olisi mahdollista. Akun lataaminen tai purkaminen ei estä mittauksen tekemistä.

4 MITTAUSELEKTRONIIKAN RAKENNE

Mittauselektronikka on toteutettu suurimmaksi osin perinteisillä läpilotettavilla komponenteilla koekytkentälevyille. Koekytkentälevyt ovat täpläkuparoitua piirilevyä. Piirilevyt mahdollistivat nopeat eri kytkentäkokeilut ja nopeuttivat työn etenemistä. Levyistä ei tehty varsinaisia piirilevyjä ja kytkennät jäivät palvelemaan sellaisinaan.

Elektronikka koostuu muutamista piirilevyistä. Piirilevyt ovat kontaktorilevy, virranmittausvahvistimet, ATX-teholähteen kuormalevy, oskillaattori, ST-puskurivahvistin, suodatin sekä RF-kytkin ja ilmaisilevy. Mittausjärjestelmällä voidaan seurata akun lämpötilaa LM35-sensorilla. LM35-sensorin kytkentä on esitetty liitteessä 6 ja Data sheet liitteessä 7. Lämpötilamittaukset tehdään aina kun akua puretaan tai ladataan.

Kontaktorilevyille jännitteet tuodaan ATX-teholähteeltä ja jaetaan muihin käyttökohteisiin. Kontaktorilevyllä on myös kontaktorien ja RF-kytkimen ohjauskytkentä. ATX-kuormalevyllä on vastuskytkentä ja tuuletin. Oskillaattorilevyllä on oskillaattori ja vahvistinkytkentä. Virtamittausvahvistimet ovat omilla levyillään. Toinen levyistä on teholähteen takana ja toinen mittauselektronikan kotelossa.

4.1 ATX-teholähde

Mittausjärjestelmän teholähteenä käytetään tavallista PC:n ATX-teholähdettä (ks. kuva 12). ATX-teholähteeksi käy mikä tahansa teholähde, joka täyttää ATX-standardin vaatimukset ja antaa yli 500mA -5 VDC jännitettä. ATX teholähde on helposti vaihdettavissa ja siitä saadaan kaikki laitteistossa tarvittavat jännitteet. Laitteiston alustaan on laitettu kehikko teholähteelle. Teholähde tarvitsee hieman kuormaa toimiakseen katkottomasti.



KUVA 12. ATX-teholähde ja teholähteen kuorma kuvan alaosassa (Lintunen 2014)

Teholähteen normaalisti emolevylle liitettävästä liittimestä otetaan mittausjärjestelmän käyttöjännitteet ja ne viedään kontaktoriohjauslevylle. Kontaktoriohjauslevyn ja ATX-teholähteen välisistä jännitekytkennöistä on kuva liitteessä 8.

4.2 Kontaktorit ja käyttö

Kontaktoreja ohjataan NI USB-6008 DAQ digitaali- I/O -lähdoillä. Suora ohjaaminen ei ole mahdollista, koska suurin sallittu virta on 8mA lähtöä kohden. Lähdoillä ohjataan piiriä ULN2003, joka ohjaa 5V releitä, jotka vetäessään kytkevät 12VDC jännitteen kontaktorien ohjaukseen. Kontaktorit ottavat hetkellisesti jopa 4A virtaa, tämän takia suora ohjaus ei ollut ULN2003-piiriäkään käyttäen mahdollinen.

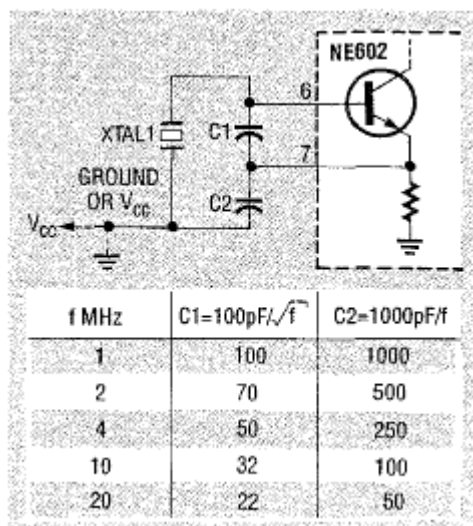
Kontaktoreina (ks. kuva 13) toimivat Kilovac 200-laitteet, joiden DATA SHEET löytyy liitteestä 9. Kontaktorien keskeisin tehtävä on irroittaa akku galvaanisesti joko teholähteestä tai keinokuormasta. Lataus- ja purkuvaiheissa virran katkaisu tapahtuu aina ensisijaisesti laitteistoa ohjaamalla. Vikatilanteissa kontaktorilla voidaan katkaista myös virta. Kontaktorit vetävät jännitteisenä ja irrottavat jännitteettömänä.

Kontaktoriohjauslevystä on kytkentä esitetty liitteessä 10.



KUVA 13. Kontaktori (Lintunen 2014)

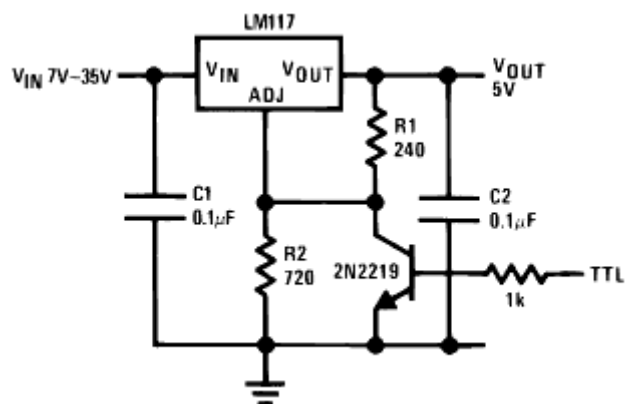
RF-kytkinlevyn ohjaus hoidetaan myös ULN2003-piiriä käyttäen. NI USB-6008 DAQ ei kuitenkaan jaksanut ohjata ULN2003-piiriä suoraan. NI USB-6008 DAQ digitaalilähtöjen jännite putosi liian paljon eikä enää riittänyt piirin ohjaukseen. Lähtöjen väliin lisättiin Schmitt trigger, jonka DATA SHEET on esitetty liitteessä 11. Schmitt trigger korjaa ja vahvistaa digitaalilähdöstä saadun jännitteen ja ULN2003-piiri saa tarvitsemansa ohjauksen.



KUVA 15. Oskillaattorin kytkentä. Kytkennän alapuolella on valittavat kondensaattorit käytetyn ki-teen taajuuden mukaan. Kuvassa näkyvä NE602 on toiminnaltaan ja kytkennältään vastaava kuin SA612. (Circuits, 51.)

Oskillaattori tuottaa myös harmonisia taajuuksia. Nämä harmoniset taajuudet ilmenevät perustaa-juuden parittomina monikertoina. Mittauksessa käytetty taajuus on ensimmäinen harmoninen. Oskillaattorilta saadut taajuudet vahvistetaan ST-vahvistimessa. Vahvistuksen jälkeen tapahtuu suodatus. Suodatin päästää 18,342 MHz taajuuden hyvin lävitse ja vaimentaa muita. Suodattaminen oli pakollista AD8361 piirin varsin laajan toimintakaistan takia.

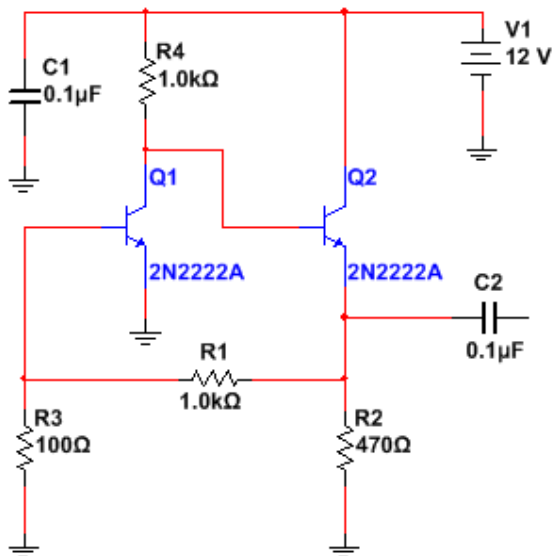
Oskillaattorille ja puskurivahvistimelle tuodaan reguloitu jännite (ks. kuva 16). Jännite regulaattorina toimii LM317 IC. Regulaattoriin ulostulojännitettä ohjataan tiedonkeruulaitteella. Kun regulaattorin TTL-ohjaustuloon tuodaan +5 V jännitettä, putoaa LM317-regulaattorin V_{out} lähtö noin 0 V tasolle.



Kuva 16. Oskillaattorin tehosityöttö, V_{out} 5V liityntä. Ni-6008:n digital-I/O liitetään kytkennän TTL-liityntään ja ATX tehollähteen +12VDC V_{in} liityntään. Kytkennän LM117 on korvattu LM317 IC:llä, jonka nasta järjestys on sama. (LM117 Data sheet, 18.)

4.4 ST-vahvistinasteet

Colpitts-oskillaattori ei syötä suoraan riittävän voimakasta signaalia mittaussysteemiin ja sen takia tarvitaan mittaussysteemiin puskurivahvistinaste (ks. kuva 17). Kytkentä on varsin perinteinen jännitevahvistin ja jänniteseuraajakytkentä. Kytkentää on käytetty useissa eri tarkoituksissa ja se on varsin käyttökelpoinen tähän tarkoitukseen. Vahvistin pystyy syöttämään tehoa alhaisiin impedanssiin riittävästi.



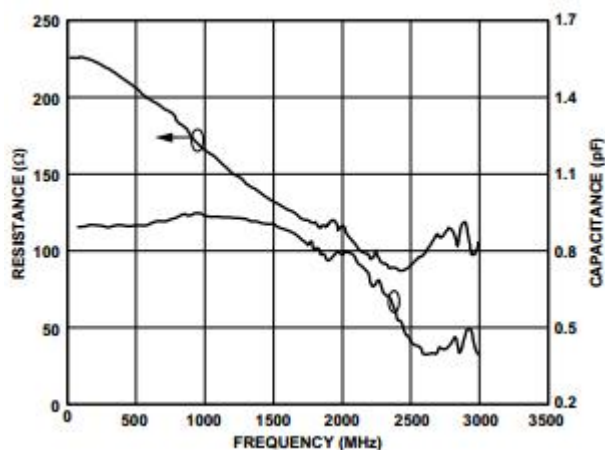
KUVA 17. Suurtaajuinen puskurivahvistin aste (DDS Buffer Amplifier).

Oskillaattorin ja puskurivahvistimen väliin on kytketty trimmeri, jolla säädetään oskillaattorilta lähtevän signaalin voimakkuutta ja näin myös vahvistimen vahvistusta. Trimmeri vaikuttaa myös oskillaattorin siniaallon muotoon.

4.5 RF-ilmaisin ja signaalin muunto

Ilmaisin on RF-tekniikassa laite, jolla voi valvoa ja mitata suurtaajuuslähdön tehoa. Ilmaisinta käytetään yleensä demoduloinnissa. Mittausjärjestelmässä RF-ilmaisin tuottaa tasajännitteen, joka vastaa suurtaajuuslähdön tehoa. Ilmaisimena käytetään AD8361 piiriä, jonka DATA SHEET löytyy liitteestä 13. Piirin tuottama jännite vastaa aina tiettyä tehoa dBm-yksiköinä. AD8361 on käytetty digitaalisten lähetteen modulaatioiden ja RF-lähetin ja vastaanottimien tehomittauksissa.

AD8361-piirin sisäänmenoimpedanssi on käytetyllä mittaustaajuudella noin 225 Ohmia. Sisäänmenon impedanssi pitää sovittaa käytettyyn siirtolinjaan tai huomioida muuten. Kuvassa 18 (s.23) on impedanssi 100 Mhz taajuudesta alaspäin melko tasainen, noin 225 Ohmia. (AD8361 data sheet, 14.)

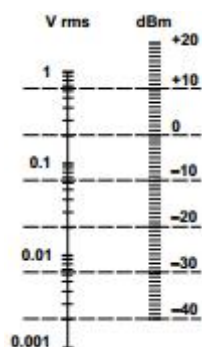


KUVA 18. AD8361-piirin sisäänmeno impedanssi taajuuden funktiona (AD8361 data sheet, 14).

Ilmaisimelta saatava jännite vastaa ilmaisimeen sisään menevää tehoa. Akun impedanssia laskettaessa tarvitaan virran ja jännitteen tehollisarvot. Teho saadaan selville ilmaisimen ulostuloa vastaavana jännitteenä. Tehollisarvoinen jännite saadaan jakamalla ilmaisimen mittausjännite luvulla 7,5. Teho dBm yksikköinä saadaan kaavalla 3. Jakamalla teho jännitteen tehollisarvolla, saadaan virran tehollisarvo ja impedanssin voi määrittää kaavalla 6.

$$Power(dBm) = 10 \log \left[\frac{(V_{rms})^2}{\frac{50 \Omega}{0,001 W}} \right] = 10 \log(20 (V_{rms})^2) \quad (3)$$

Alla olevassa kuvassa 19 on esitetty V_{rms} ja dBm tehoyksiköiden muunnostaulukko.



KUVA 19. V_{rms} ja dBm muunnosasteikko. (AD8361 data sheet 15)

dBm-lukema lasketaan vastaaviksi wateiksi kaavalla 4. Tehon yksikkö watti tarvitaan impedanssin ratkaisuun kaava 6.

$$P = 10^{\left(\frac{P_{dBm}-30}{10}\right)} \quad (4)$$

Ilmaisimen (ks. kuva 20 s.24) ulostulojännite lasketaan kaavalla 5.

$$V_{OUT} = 7,5 \times V_{IN} \text{ rms} \quad (5)$$

Impedanssin laskentaa varten jännite saadaan $V_{rms} = V_{out} / 7,5$. (AD8361 data sheet, 14.)

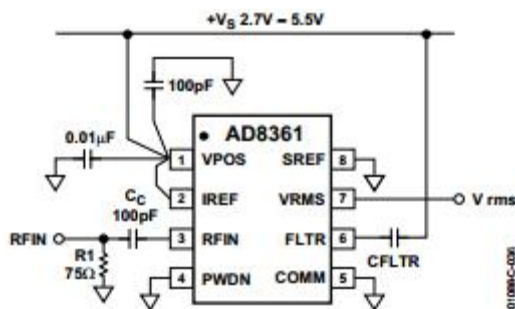
Impedanssin laskemiseen käytetään kaavaa 6. (Battery Testing.)

$$Z = \frac{U_{rms}}{I_{rms}} \quad (6)$$

AD8361-piirin sisäiset komponentit ja C_c -kondensaattori muodostavat ylipäästösuotimen. Kytkennässä käytetään 1nF kondensaattoria. Suodatin suodattaa taajuuksia noin 3 MHz alaspäin. Käytettyyn mittaustaajuuteen sillä ei ole merkittävää vaikutusta.

AD8361 alarajan kulmataajuuden laskemiseen käytetään kaavaa 7. (AD8361 data sheet, 14.)

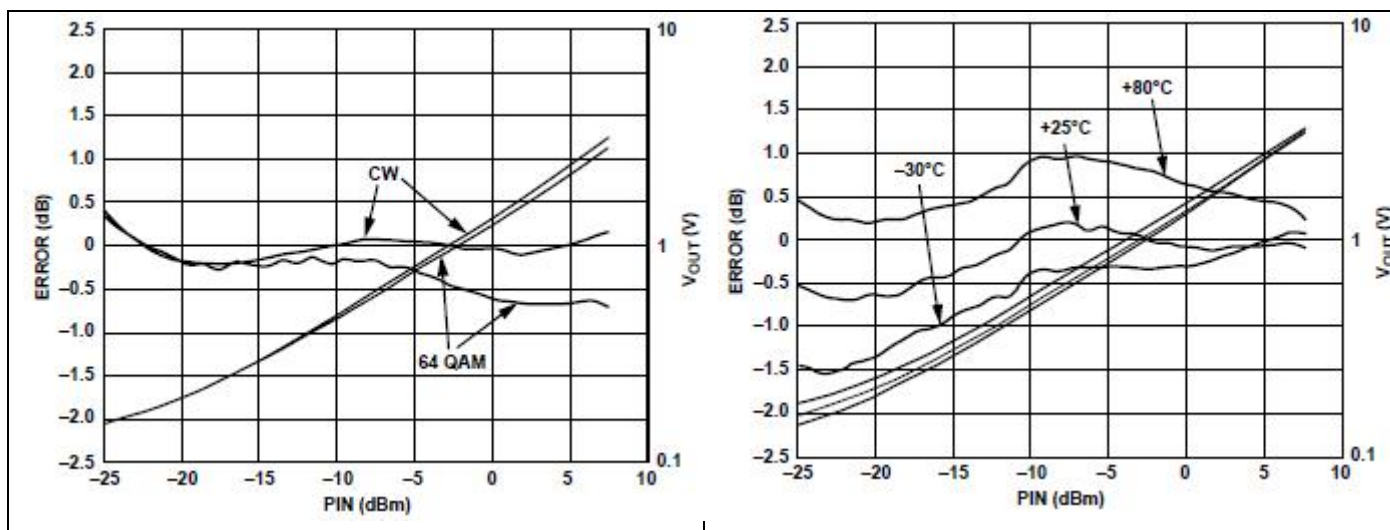
$$f_3 \text{ dB} = \frac{1}{2\pi \times C_c \times R_{IN}} \quad (7)$$



KUVA 20. Ilmaisimessa käytetty kytkentä. Työssä käytetyssä kytkennässä komponentit ovat CFLTR 1nF ja C_c 1nF. Piirin käyttöjännite on +5 V. (AD8361 data sheet, 12.)

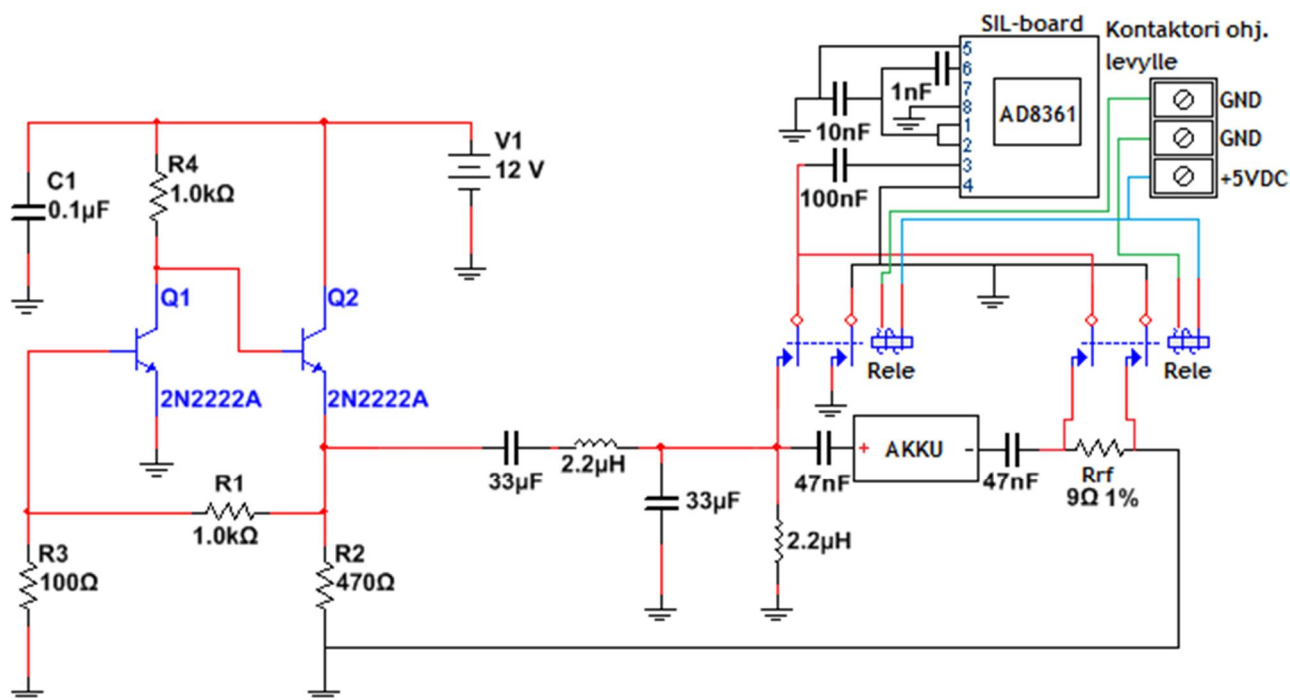
4.6 Signaalin mittaus

Ilmaisimen jänniteannosta saatava jännite mitataan NI USB-6008 DAQ:lla ja saatu lukema tallennetaan ohjelmassa tiedostoon. AD8361 pystyy mittaamaan varsin monimuotoisia moduloituneita ja niiden tehoja. Siniaaltoa (CW) käytettäessä jäävät virheet kuitenkin vähäisiksi (ks. kuva 21 s.25).



KUVA 21. Vasemmalla oleva kuvaaja (CW) on siniaalto ja sen virhe mitattavan tehon funktiona. Oikealla olevassa kuvaajassa on virhe eri lämpötiloissa. Mittausjärjestelmässä on 1/s jatkuva lämpötilan mittaus. (AD8361 data sheet, 18.)

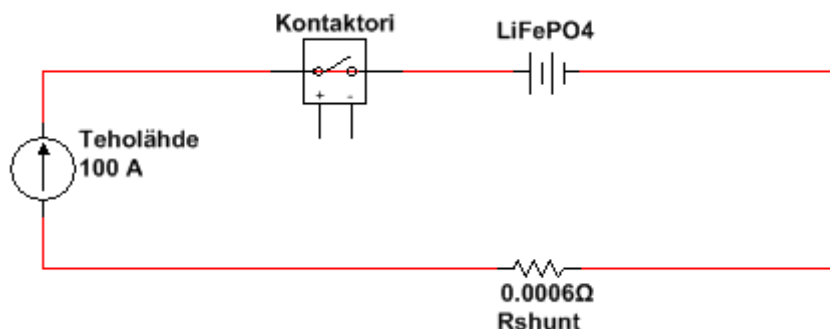
Ilmaisinkytkentä (ks. kuva 22) mittaa suurtaajuuden jännitteen, joka saadaan suodattimen lähdön ja maan väliltä. Tämä jännite on suurtaajuuspiirin sähkömotorinen voima. Seuraavaksi mitataan R_{rf}-vastuksen yli oleva jännite. Huipusta huippuun mitatut jännitteet muunnetaan kaavan 5 mukaisesti. Akun läpi kulkee sama virta kuin R_{rf}-vastuksen. Vastuksen resistanssi on tiedossa ja sen yli oleva tehollisarvoinen jännite. Vastuksen läpi kulkeva virta voidaan laskea käyttäen sovellettua ohmin lakia. Impedanssi on laskettavissa kaavan 6 avulla.



KUVA 22. Vasemmalla ST-vahvistin, joka on kytketty suodattimeen. Ylhäällä oikealla on ilmaisun, jonka alapuolella on akun kytkentä mittauselektronikkaan. (Lintunen 2014.)

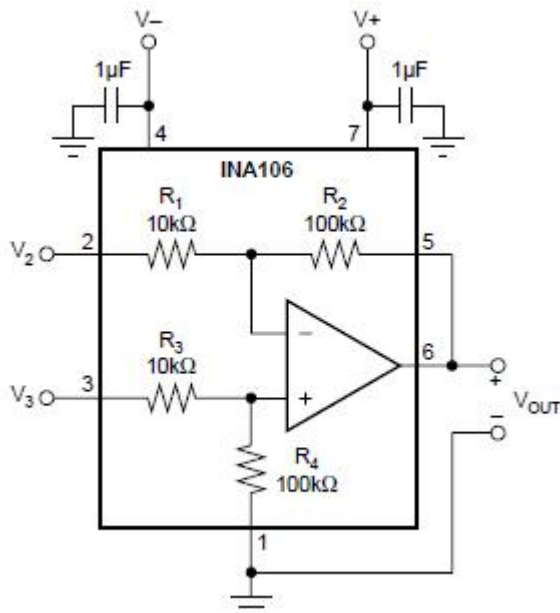
4.7 Latausvirran mittaaminen

Latausvirta mitataan käyttämällä shunt-vastusta. Shunt-vastus aiheuttaa itsensä yli 60mV jännitehäviön, kun läpi menevä virta on 100A. Vastus on sijoitettu akun jälkeen (ks. kuva 23). Vastuksen yli syntyvä jännitehäviö vahvistetaan differentiaalivahvistimella sekä erillisellä jännitevahvistimella. Latausvirran mittaaminen on esitetty liitteessä 14.



KUVA 23. Periaatekytkentä virtamittauksesta vakiovirtalatauksen aikana (Lintunen 2014).

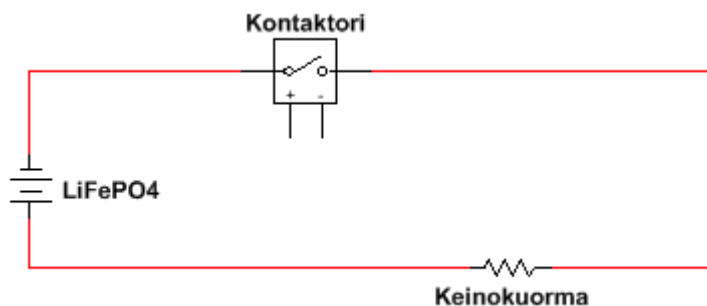
Differentiaalivahvistin on rakennettu perustuen INA106KP-piiriin (ks. kuva 24). INA106-piirissä, jonka DATA SHEET löytyy liitteestä 15, on 10-kertainen vahvistus. Piiriä käytetään yleensä instrumentointivahvistimena. INA106-piiriltä lähtevä jännite johdetaan LM741 operaatiovahvistimeen perustuvan vahvistinkytkentään. LM741 DATA SHEET on esitetty liitteessä 16.



KUVA 24. Käytetty virtavahvistin kytkentä. Shunt-vastus kytketään V2 ja V3 tulojen välille. Saatua jännite shunt-vastuksen yli kymmenkertaistuu ja saadaan ulos V_{out} -lähdestä (INA106 data sheet, 5).

4.8 Akun purkaminen ja mittaaminen

Akku puretaan keinokuormaan vakiovirralla (ks. kuva 25 s.27). Vakiovirtaa voi säätää vaihtamalla parametriä config.ini-tiedostosta. Oletuksena tiedostossa on 100A:n asetusta. Tämä vastaa 0,5C kuormitusvirtaa 200Ah akulle.



KUVA 25. Periaatekytkentä akun purkuvaiheen kytkennästä (Lintunen 2014).

5 JÄRJESTELMÄN KÄYTTÄMINEN

Mittausjärjestelmää käytetään työohjeen mukaisesti ja opastettuna. Työohje on erillinen laboratorio-työohje. Mittausjärjestelmän käynnistysjärjestys on ohjelmisto, mittauselektronikka, keinokuorma ja tehollähde.

Ohjelmiston eri vaiheita voi käyttää missä järjestyksessä tahansa. Käynnissä olevan vaiheen aikana ei laitteiston läheisyydestä saa poistua. Ohjelmisto ilmoittaa mahdollisista vioista, joihin mittaajan pitää reagoida. Minkä tahansa vaiheen voi aina keskeyttää Stop-napilla. Stop-nappi on samalla hätäpainike, joka asettaa laitteiston jännitteettömäksi ja sulkee ohjelmiston. Tämän jälkeen muut laitteet voidaan sammuttaa missä tahansa järjestyksessä.

Laitteistoa voidaan käyttää myös yksittäisiin toimintoihin. Ohjelmisto vaatii kuitenkin aina lokitiedoston valinnan. Tämä mahdollistaa useiden eri akkujen osittaisen testaamisen helposti. Lokitiedosto on tekstitiedosto, jonka voi tuoda helposti eri ohjelmiin. Tekstitiedoston eri havainnot on erotettu välilyönneillä.

5.1 Ongelmatilanteet

Ongelmatilanteessa, jossa kontrollit eivät toimi tai tulee laiterikko, elektroniikan käyttöjännite tulee katkaista ensimmäisenä. Tämä irroittaa galvaanisesti akun sekä keinokuormasta että tehollähteestä.

Keinokuormaa voi ohjata käsin painamalla local-nappia. Valitsemalla output-off, kytkee keinokuorma akun irti.

Tehollähde voidaan sammuttaa milloin tahansa on/off-kytkimestä. Tässä on kuitenkin huomioitava, jos kontaktori 1 on kytkettynä, niin akku voi purkautua tehollähteeseen päin. Tämän ehkäisemiseksi on tärkeää, sammuttaa mittauselektronikka ensin ATX-tehollähteen on/off-katkaisimesta.

5.2 Turvallisuus

Opiskelijat eivät tee itse kytkentöjä tässä työssä. Laitteisto on koteloitu ja suojattu suoralta pääsylvä kytkentöihin. Laitteiston kotelo on tukevaa muovia. Mittauksissa ei käytetä suuria jännitteitä. Kaikki jännitteet ovat väliltä -12 - +12 VDC. BatteryLab-ohjelma ohjaa käyttäjää ja etenee vaihe kerrallaan. Seuraavaa vaihetta ei voi aloittaa ennen kuin käyttäjä on valinnut sen ja aikaisempi vaihe on päättynyt. Ohjelma valvoo akulle tulevia virtoja ja mittaa jännitteitä. Vaiheet voi keskeyttää aina Stop-napilla. Saattamalla laitteiston sähköttömäksi, akku irtikytketty ja laitteet eivät lataa tai pura akkua.

6 YHTEENVETO

Mittausjärjestelmä on tehty mittaamaan LiFePO₄-akkujen ominaisuuksia ja sillä pystyy ne määrittämään. Absoluuttisen tarkkaan mittaukseen laitteisto ei pysty. Mittaustulosten tarkkuutta rajoittavat laitteistossa käytetyt komponentit ja tiedonkeruulaite. Tiedonkeruulaite pystyy mittaamaan jännitteitä 12-bitin tarkkuudella, joka riittää useimpiin tarkoituksiin. Useammalla bitillä saataisiin lisää desimaaleja mittauksiin. Käytetty NI-USB-6008-laite on kuitenkin melko vaatimaton suorituskyvyllään ja häiriöaltis. Tiedonkeruulaitetta vaihtamalla saavutettaisiin parempia tuloksia. Rakennetulla laitteistolla voi seurata vain yhden akun kuntoa kerrallaan. Useampaa akkua seurattaessa, akkuja pitää irroittaa systeemistä ja vaihtaa akku manuaalisesti.

Tarkoituksena oli tehdä halpa ja yksinkertainen impedanssimittaus, jolla akun/akuston kuntoa voi seurata. Impedanssin avulla havainnoidaan akun sisäisiä muutoksia. Korkeamman taajuuden käyttäminen helpotti ainakin häiriöiden osalta. Suurtaajuustehon mittaus oli vaikeampi toteuttaa. Häiriöt olivat mittaustaajuudella paljon pienemmät kuin kHz-taajuuksilla. Käytettyä mittausta voisi käyttää esimerkiksi akkujen kunnan (SOH) seuraamiseen. Tähän tarvitaan tietoa akun kunnosta seurannan alussa ja lisäksi akkukohtaista tietoa on mittauksessa tallennettava.

DC-menetelmä mittaukseen mittausjärjestelmä on riittävä ja sillä voidaan määrittää akkujen ominaisuuksia hyvällä tarkkuudella. Akun ominaisuuksista saa hyvän kuvan yhdistämällä eri mittausmenetelmien tulokset.

Ohjelmisto on pyritty tekemään helppokäyttöiseksi ja mittaajaa ohjaavaksi. Tämän toteutuminen jää nähtäväksi tulevien opiskelijoiden käytössä. Ohjelmisto ei tarvitse Internetiä tai lisenssejä toimiakseen. Ohjelma toimii useimmilla Windows-alustoilla. Nämä seikat helpottavat ohjelman käyttöä ja mahdollista siirtämistä tietokoneesta toiseen. Ohjelmalle on oma asennusohjelma. Ohjelman tuottamat lokitiedostot ovat varsin isoja ja voivat aiheuttaa hankaluutta käytettäessä niitä muissa ohjelmissa. Itse onnistuin kuitenkin tuomaan havainnot Microsoft Excel 2010-ohjelmaan.

Laitteistoon jäi vielä paljon kehittämistä. Yksi mielenkiintoisimmista kehityskohteista voisi olla oskillaattori, jolla saataisiin generoitua useita eri taajuuksia. Impedanssin muutoksia voisi tutkia useilla eri taajuuksilla. Eri taajuuksilla voisi havaita, mitä muutoksia mittausjärjestelmän eri kokonaisuuksiin tulee ajan myötä. Myös koekytkentälevyt voisi muuttaa oikeiksi piirilevyiksi.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AD8361 Data sheet [Verkkoaineisto] Saatavissa: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8361.pdf

Battery [viitattu 7.6.2014] Saatavissa: [http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_\(electricity\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Battery_(electricity))

Battery Testing [viitattu 7.6.2014] Saatavissa: <http://www.mpoweruk.com/testing.htm>

Charging Lithium-ion [viitattu 7.6.2014] Saatavissa:
http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries

Circuits April 1990 [Lehtiartikkelin tarkemmat tiedot puutteelliset]

Discharge [Verkkoaineisto] Saatavissa: http://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_methods

Nima Lotfi, Poria Fajri, Samuel Novosad, Jack Savage, Robert G. Landers ja Mehdi Ferdowsi. Development of an Experimental Testbed for Research in Lithium-Ion Battery Management Systems [viitattu 7.6.2014] Saatavissa: <http://www.mdpi.com/1996-1073/6/10/5231/pdf>

Eklöf Kalevi., Markku Arto., Railo L. Kaarlo, Vermasvuori Jukka 2001. Radiotekniikan perusteet.

INA106 Data sheet [Verkkoaineisto] Saatavissa: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ina106.pdf>

LM117 Data sheet [Verkkoaineisto] Saatavissa: www.ti.com/lit/ds/symlink/lm117.pdf

LM35 Data sheet [Verkkoaineisto] Saatavissa: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/8875/NSC/LM35DZ.html>

LM741 Data sheet [Verkkoaineisto] Saatavissa: <http://profesores.fi-b.unam.mx/vicflo/Lab.%20Circuitos%20Integrados%20Analogicos/Datasheets/LM741.pdf>

Rapid Testing Portable Batteries [viitattu 7.6.2014] Saatavissa:
http://batteryuniversity.com/learn/article/rapid_testing_portable_batteries

SA612 Data sheet [Verkkoaineisto] Saatavissa:
http://elcodis.com/parts/6006682/SA612_p2.html#datasheet

Why do Different Test Methods Provide Dissimilar Readings? [viitattu 7.6.2014] Saatavissa:
http://batteryuniversity.com/learn/article/why_do_different_test_methods_provide_dissimilar_readings

LIITE 1: NI USB-6008 DATA SHEET

Low-Cost, Bus-Powered Multifunction DAQ for USB 12-Bit, Up to 10 kS/s, 8 Analog Inputs



8 analog inputs at 12, up to 10 kS/s
 2 analog outputs at 12 bits, software-timed
 12 TTL/CMOS digital I/O lines
 One 32-bit, 5 MHz counter

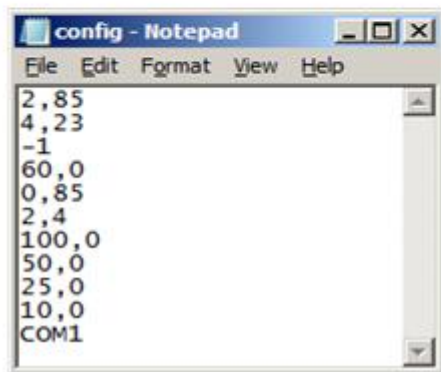
Digital triggering
 Bus-powered
 1-year warranty

Overview

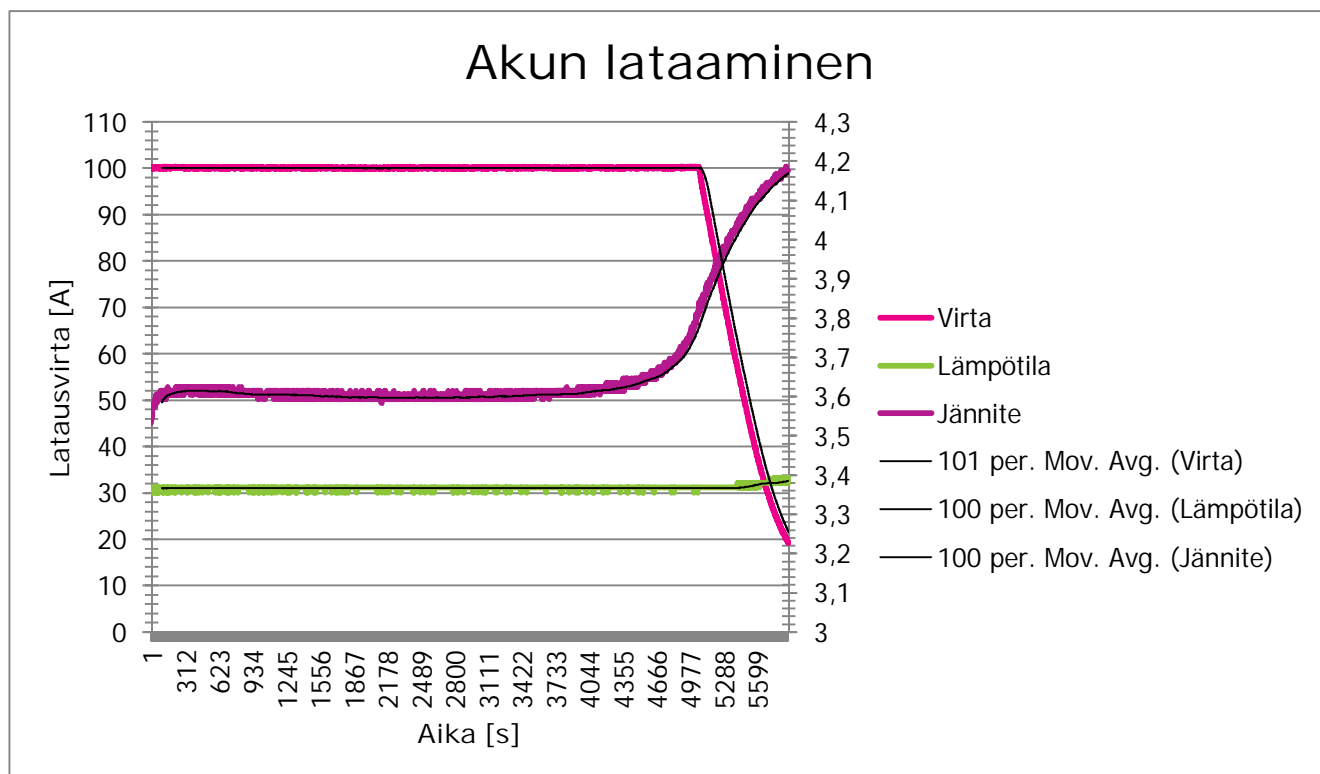
With recent bandwidth improvements and new innovations from National Instruments, USB has evolved into a core bus of choice for measurement applications. The NI USB-6008 and USB-6009 are low-cost DAQ devices with easy screw connectivity and a small form factor. With plug-and-play USB connectivity, these devices are simple enough for quick measurements but versatile enough for more complex measurement applications.

LIITE 2: CONFIG.INI RAKENNE

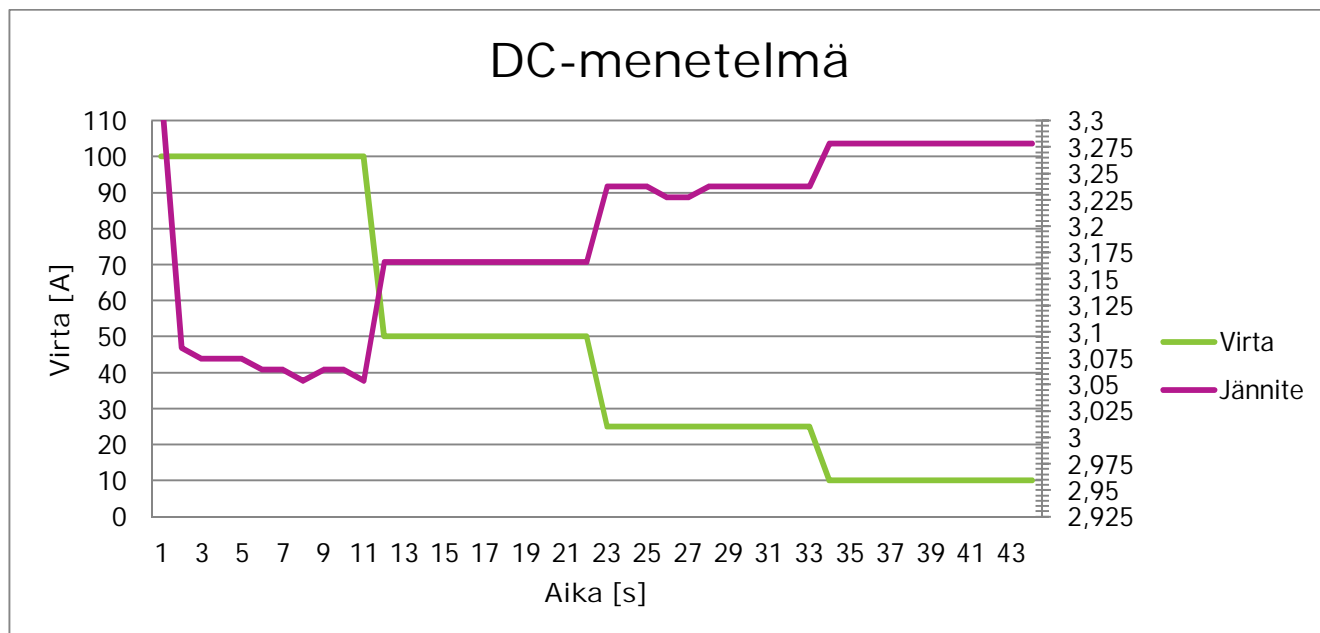
Rivi	Selite
1.	Käytetyn akkukennon alaraja jännite [V]
2.	Käytetyn akkukennon ylaraja jännite [V]
3.	Akuston alin käyttölämpötila [Celsius astetta]
4.	Akuston ylin käyttölämpötila [Celsius astetta]
5.	Latausvirran asettelu 0-5V = 0-660A
6.	Latausjännitteen asettelu 0-5V = 0-8,4V
7.	DC-mittausvaiheen ensimmäisen vaiheen virta ampeereina [A]
8.	DC-mittausvaiheen toisen vaiheen virta ampeereina [A]
9.	DC-mittausvaiheen kolmannen vaiheen virta ampeereina [A]
10.	DC-mittausvaiheen neljännen vaiheen virta ampeereina [A]
11.	Keinokuorman ohjaukseen tarkoitettu COM-portti.



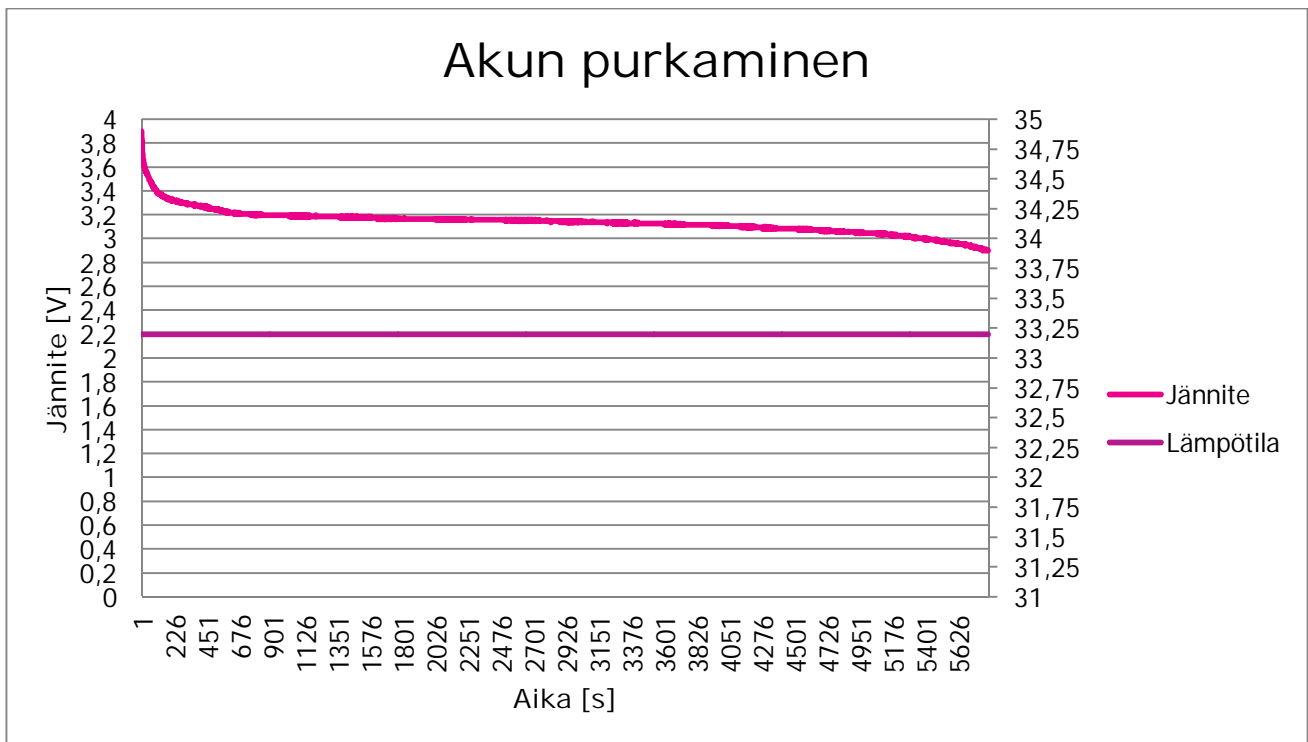
LIITE 3: TULOKSET



Kuvaaja 1. Akun lataamisen aikana tapahtuvat virta, jännite ja lämpötilamuutokset.

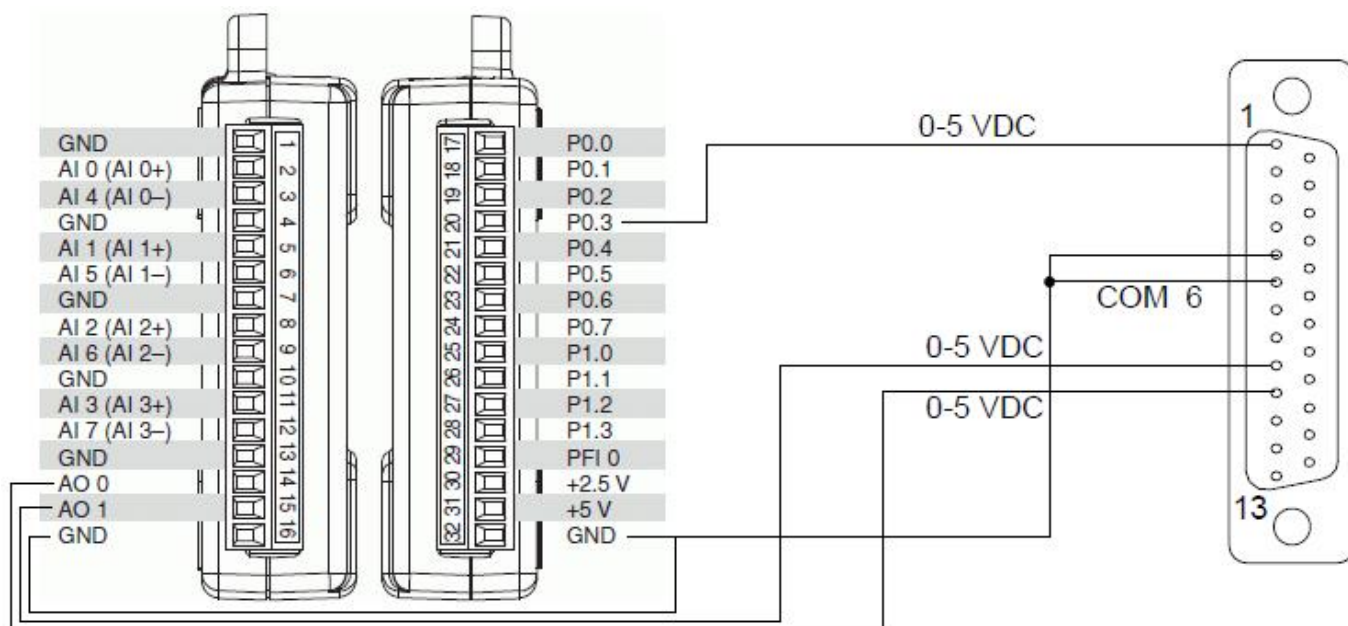


Kuvaaja 2. DC-menetelmän aikana tapahtuvat akun napajännitteen muutokset eri kuormilla.



Kuvaaja 3. Akun napajännite purettaessa akkua vakiovirralla (100A). Akun lämpötila pysyy aika vakiona.

LIITE 4: TEHOLÄHTEEN LIITÄNTÄKAAPELI



LIITE 5: THUNDER SKY LIFEPO4 200AH DATA SHEET



E-mail: thunder@thundersky.com Http: // www.thundersky.com
TEL: 86-755-86026769 FAX: 86-755-89026678

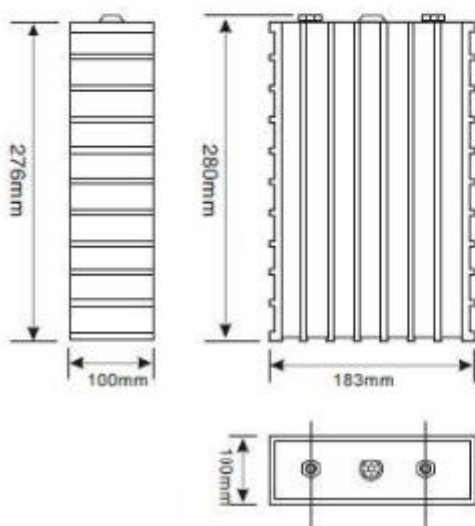
雷天牌稀土鈮鐵鋰動力電池性能說明

THUNDER SKY LiFePO₄ POWER BATTERY SPECIFICATIONS

單體電池尺寸 DIMENSIONS



型號(MODEL): TS-LFP200AHA



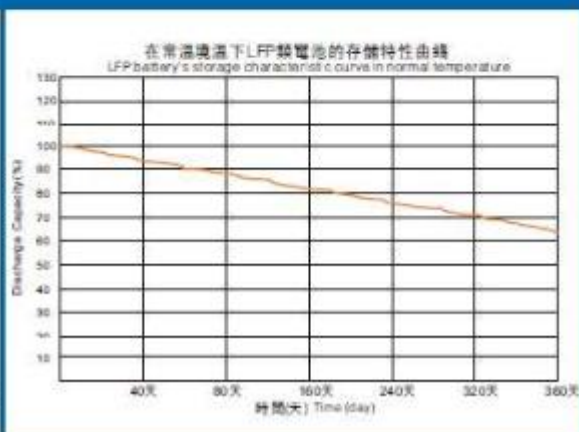
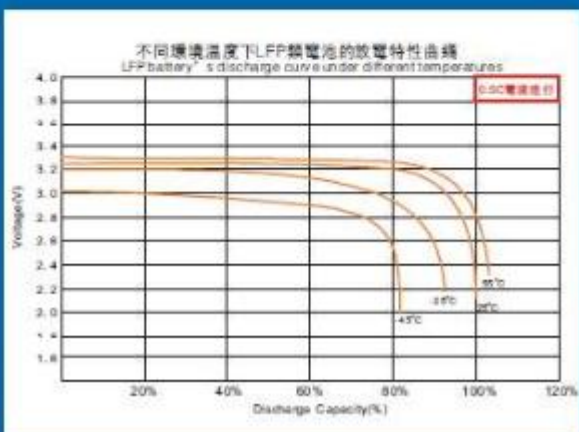
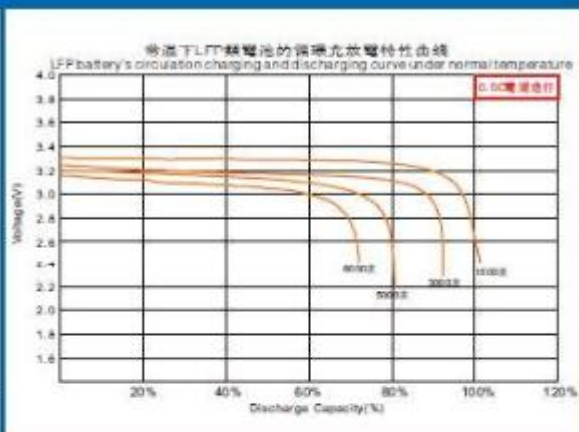
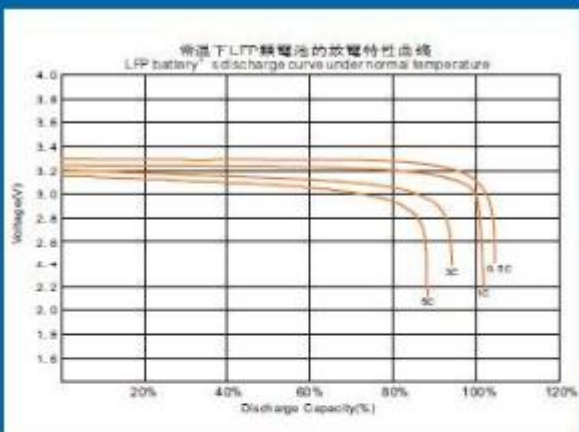
技術參數 SPECIFICATIONS

型號(MODEL): TS-LFP200AHA

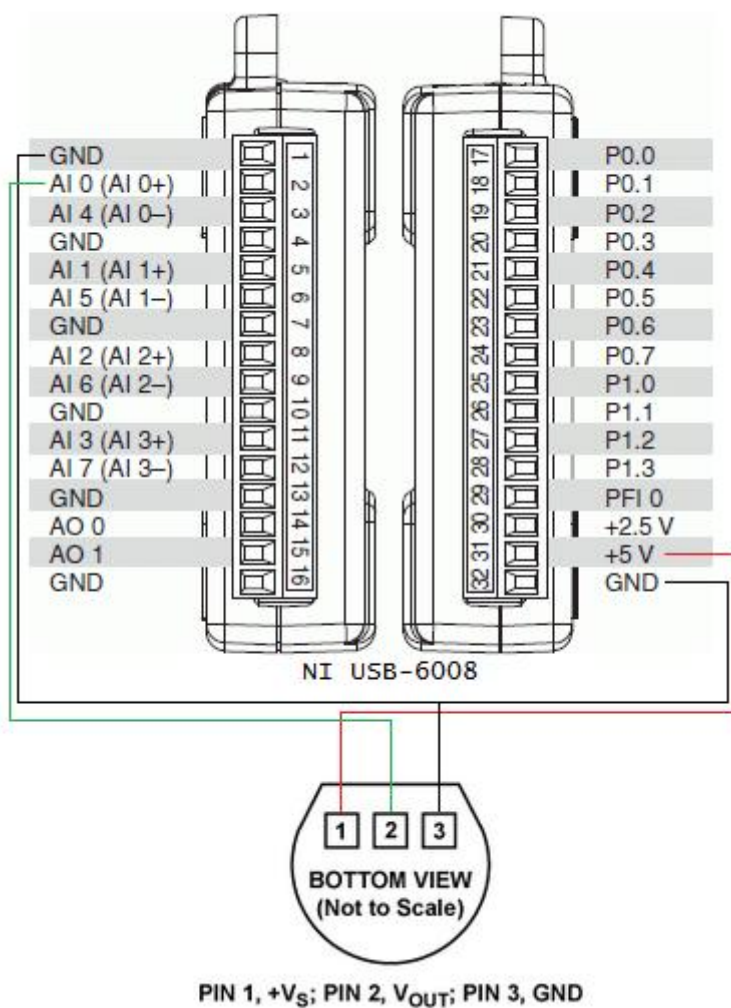
標稱容量 Nominal Capacity	200Ah	
工作電壓 Operation Voltage	充電 (Charge)	4.0V
	放電 (Discharge)	2.8V
最大充電電流 Max Charge Current	≤3CA	
最大放電電流 Max Discharge Current	恒電流 (Constant Current)	≤ 3CA
	脈衝式 (Impulse Current)	≤20CA
標準充放電電流 Standard Charge/Discharge Current	0.5CA	
循環壽命 Cycle Life	(80DOD%)	>3000Times
	(70DOD%)	>5000Times
殼體耐溫性 Temperature Durability Of Case	≤200°C	
適應環境 Operating Temperature	充電 (Charge)	-45°C~85°C
	放電 (Discharge)	-45°C~85°C
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



LIITE 6: LM35 KYTKENTÄ





November 2000

LM35

Precision Centigrade Temperature Sensors

General Description

The LM35 series are precision integrated-circuit temperature sensors, whose output voltage is linearly proportional to the Celsius (Centigrade) temperature. The LM35 thus has an advantage over linear temperature sensors calibrated in ° Kelvin, as the user is not required to subtract a large constant voltage from its output to obtain convenient Centigrade scaling. The LM35 does not require any external calibration or trimming to provide typical accuracies of $\pm 1/4^\circ\text{C}$ at room temperature and $\pm 3/4^\circ\text{C}$ over a full -55 to $+150^\circ\text{C}$ temperature range. Low cost is assured by trimming and calibration at the wafer level. The LM35's low output impedance, linear output, and precise inherent calibration make interfacing to readout or control circuitry especially easy. It can be used with single power supplies, or with plus and minus supplies. As it draws only $60\ \mu\text{A}$ from its supply, it has very low self-heating, less than 0.1°C in still air. The LM35 is rated to operate over a -55° to $+150^\circ\text{C}$ temperature range, while the LM35C is rated for a -40° to $+110^\circ\text{C}$ range (-10° with improved accuracy). The LM35 series is available pack-

aged in hermetic TO-46 transistor packages, while the LM35C, LM35CA, and LM35D are also available in the plastic TO-92 transistor package. The LM35D is also available in an 8-lead surface mount small outline package and a plastic TO-220 package.

Features

- Calibrated directly in ° Celsius (Centigrade)
- Linear $+10.0\ \text{mV}/^\circ\text{C}$ scale factor
- 0.5°C accuracy guaranteeable (at $+25^\circ\text{C}$)
- Rated for full -55° to $+150^\circ\text{C}$ range
- Suitable for remote applications
- Low cost due to wafer-level trimming
- Operates from 4 to 30 volts
- Less than $60\ \mu\text{A}$ current drain
- Low self-heating, 0.08°C in still air
- Nonlinearity only $\pm 1/4^\circ\text{C}$ typical
- Low impedance output, $0.1\ \Omega$ for $1\ \text{mA}$ load

Typical Applications

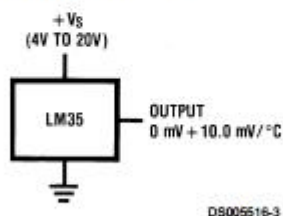
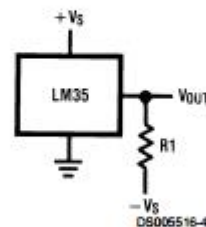


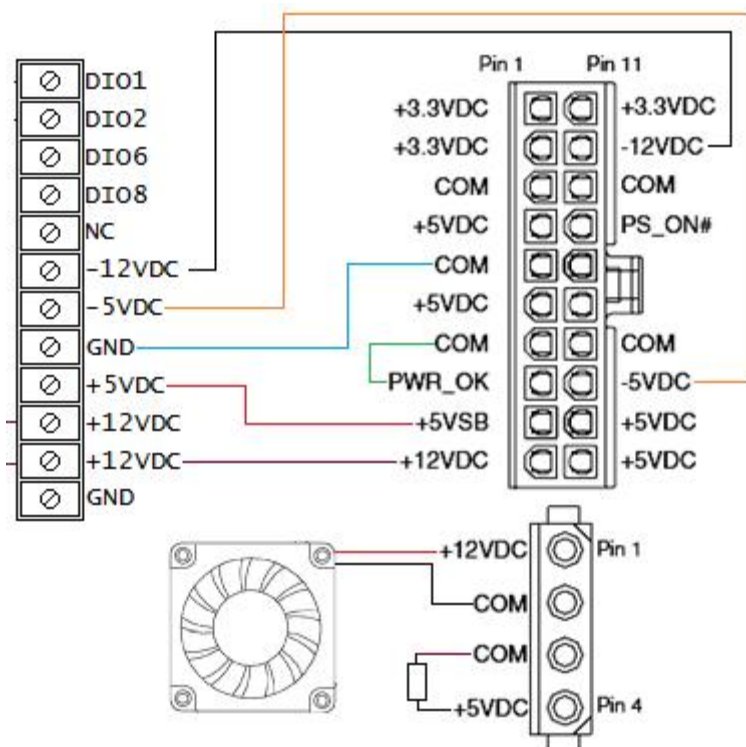
FIGURE 1. Basic Centigrade Temperature Sensor
($+2^\circ\text{C}$ to $+150^\circ\text{C}$)



Choose $R_1 = -V_S/50\ \mu\text{A}$
 $V_{\text{OUT}} = +1,500\ \text{mV}$ at $+150^\circ\text{C}$
 ■ $+250\ \text{mV}$ at $+25^\circ\text{C}$
 ■ $-550\ \text{mV}$ at -55°C

FIGURE 2. Full-Range Centigrade Temperature Sensor

LIITE 8: ATX-TEHOLÄHDE, KUORMA JA KONTAKTORILEVY KYTKENTÄ



LIITE 9: KILOVAC EV200 SERIES CONTACTOR DATA SHEET


**KILOVAC EV200 Series Contactor With 1 Form X
Contacts Rated 500+ Amps, 12-900VDC**
Product Facts

- Designed to be the smallest, lightest weight, lowest cost sealed contactor in the industry with its current rating (500+A carry, 2000A interrupt at 320VDC).
- Built-in coil economizer – only 1.7W hold power @ 12VDC and it limits back EMF to 0V. Models requiring external economizer also available.
- Optional auxiliary contact for easy monitoring of power contact position.
- Hermetically sealed – intrinsically safe, operates in explosive/harsh environments with no oxidation or contamination of coils or contacts, including long periods of non-operation.
- Versatile coil/power connections.
- CE marked for EC applications.
- AIAG QS9000 designed, built and approved


**EV200 Series Contactor
(CZONKA® Relay, Type III)**

Typical EV200 applications include battery switching and back-up, DC voltage power control, circuit protection and safety.

For factory-direct application assistance, dial 800-253-4560, ext. 2055, or 805-220-2055.

Performance Data

Parameter	Units	Value for EV200 Series
Contact Arrangement, power contacts		1 Form X (SPST-NO-DM)
Rated Operating Voltage	VDC	12 - 900
Continuous (Carry) Current, Typical	A	500 @ 85°C, 400 mcm conductors <i>Consult Factory for required conductors for higher (500+ A) currents</i>
Make/Break Current at Various Voltages ¹	A	See next page
Break Current at 320VDC ²	A	2,000, 1 cycle ³
Contact Resistance, Typ. (@200A)	mohms	0.2
Load Life	Cycles	See next page
Mechanical Life	Cycles	1 million
Contact Arrangement, auxiliary contacts		1 Form A (SPST-NO)
Aux. Contact Current, Max.	A	2A @ 30VDC / 3A @ 125VAC
Aux. Contact Current, Min.	mA	100mA @ 8V
Aux. Contact Resistance, Max.	ohms	0.417 @ 30VDC / .150 @ 125VAC
Operate Time @ 25°C		
Close (includes bounce), Typ.	ms	15
Bounce (after close only), Max.	ms	7
Release (includes arcing), Max @ 2000A	ms	12
Dielectric Withstanding Voltage	Vrms	2,200 @ sea level (leakage <1mA)
Insulation Resistance @ 500VDC	megohms	100 ²
Shock, 11ms 1/2 sine, peak, operating	G	20
Vibration, sine, 80-2000Hz., peak	G	20
Operating Ambient Temperature	°C	-40 to +85
Weight, Nominal	lb.(kg)	.95 (.43)

¹ Main power contacts

² 50 at end of life

³ Does not meet dielectric & IR after test, 1700 amp for unit with Aux. Contacts

Coil Operating Voltage (valid over temperature range)

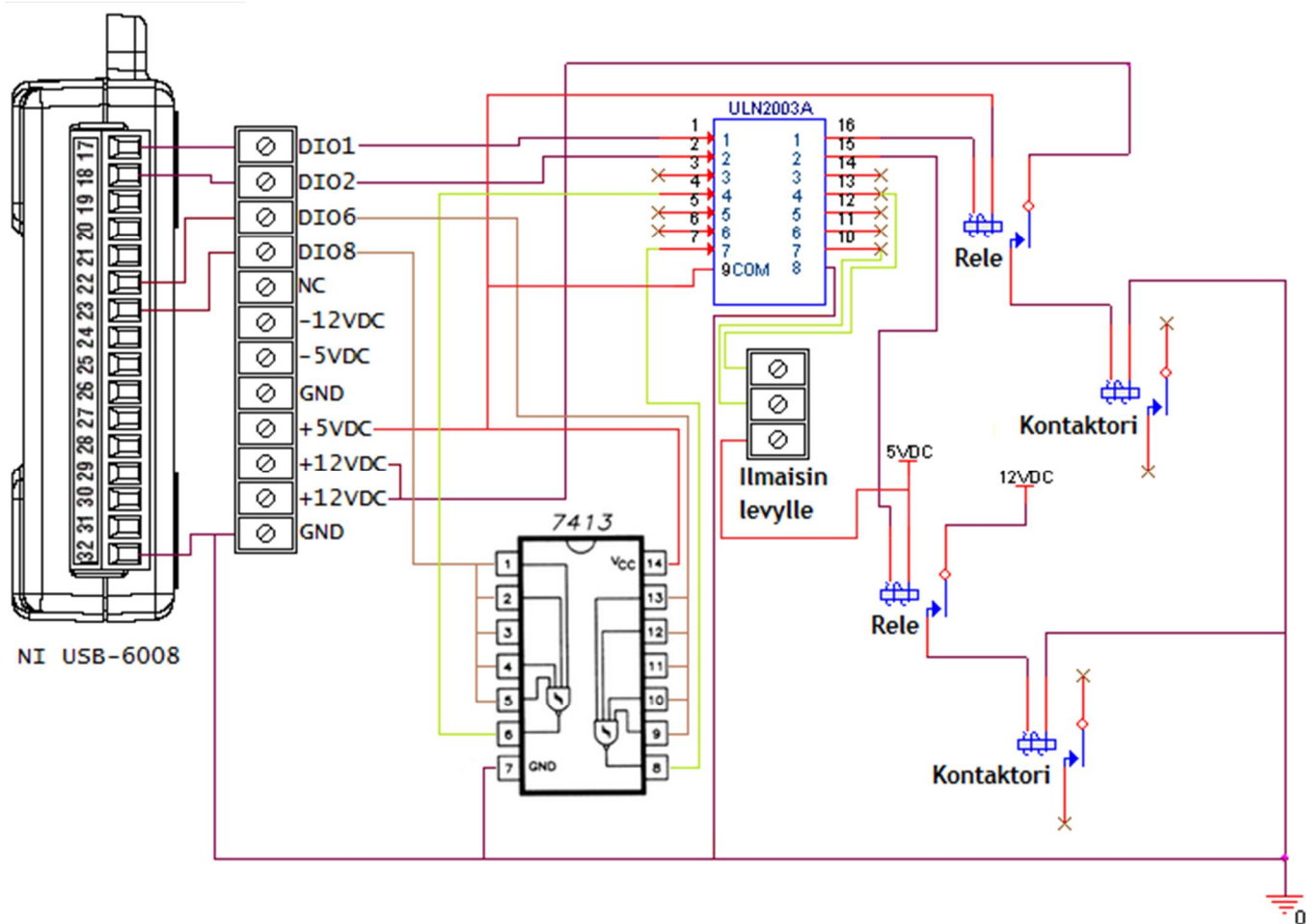
	9-36VDC	32-95VDC	48-95VDC
Voltage (will operate)	9-36VDC	32-95VDC	48-95VDC
Voltage (Max.)	36VDC	95VDC	95VDC
Pickup (close) Voltage Max.	9VDC	32VDC	48VDC
Hold Voltage (Min.)	7.5VDC	22VDC	34VDC
Dropout (open) Voltage (Min.)	6VDC	18VDC	27VDC
Inrush Current (Max.)	3.8A	1.3A	0.7A
Holding Current (Avg.)	0.13A@12V, 0.07A@24V	0.03A@48V	0.02A@72V
Inrush Time (Max.)	130ms	130ms	130ms

Part Numbering System

Typical Part Number	EV200	A	A	A	N	A
Series: EV200 = 500+ Amp, 12-900VDC Contactor						
Contact Form: A = Normally Open H = Normally Open with Aux. Contacts						
Coil Voltage: A = 9-36VDC (1 = requires external coil economizer) D = 32-95VDC (2 = requires external coil economizer) J = 48-95VDC (3 = requires external coil economizer) R = 28VDC with Mechanical Economizer						
Coil Wire Length: A = 15.3 in (390 mm) B = 6.0 in (152 mm)						
Coil Terminal Connector: N = None B = Yazaki 7282-5558-10 male, 7114-4102-02, 7158-3030-50 +red is pin 2 (B length only) C = Molex Mini-fit Jr, 2 Ckt, Female 18-24, P/N 39-01-2020 & 39-00-0060 +red is pin 1 (A length only)						
Mounting & Power Terminals: A = Bottom Mount & Male 10mm x M8 Terminals						

© 2004 & 2007 by Tyco Electronics Corporation. All Rights Reserved.
KILOVAC, CZONKA, TE mark and TYCO ELECTRONICS are trademarks.
Other products and company names mentioned herein may be trademarks of their respective owners.

LIITE 10: KONTAKTORIEN OHJAUSLEVY



LIITE 11: SCHMITT TRIGGERS DATA SHEET

SDLS046

SN5413, SN54LS13, SN7413, SN74LS13
DUAL 4-INPUT
POSITIVE-NAND SCHMITT TRIGGERS
 DECEMBER 1983 - REVISED MARCH 1988

- Operation from Very Slow Edges
- Improved Line-Receiving Characteristics
- High Noise Immunity

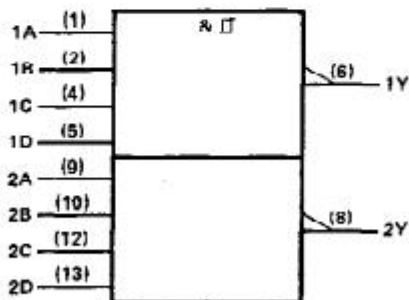
description

Each circuit functions as a 4-input NAND gate, but because of the Schmitt action, it has different input threshold levels for positive (V_{T+}) and for negative going (V_{T-}) signals.

These circuits are temperature-compensated and can be triggered from the slowest of input ramps and still give clean, jitter-free output signals.

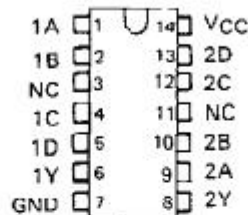
The SN5413 and SN54LS13 are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C. The SN7413 and SN74LS13 are characterized for operation from 0°C to 70°C.

logic symbol†

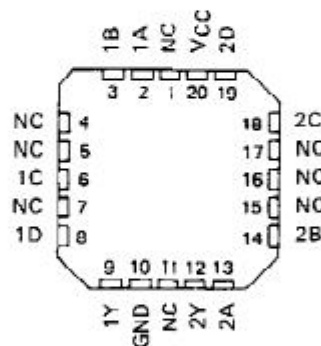


† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-13. Pin numbers shown are for D, J, N, and W packages.

SN5413, SN54LS13 . . . J OR W PACKAGE
 SN7413 . . . N PACKAGE
 SN74LS13 . . . D OR N PACKAGE
 (TOP VIEW)

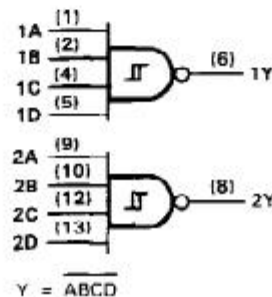


SN54LS13 . . . FK PACKAGE
 (TOP VIEW)



NC - No internal connection

logic diagram (positive logic)



LIITE 12: SA612 DOUBLE-BALANCED MIXER AND OSCILLATOR DATA SHEET

Philips Semiconductors

Product specification

Double-balanced mixer and oscillator

SA612A

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

SYMBOL	PARAMETER	RATING	UNIT
V_{CC}	Maximum operating voltage	9	V
T_{STG}	Storage temperature	-65 to +150	°C
T_A	Operating ambient temperature range SA612A	-40 to +85	°C

AC/DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS

 $T_A=25^{\circ}\text{C}$, $V_{CC}=6\text{V}$, Figure 3

SYMBOL	PARAMETER	TEST CONDITION	LIMITS			UNIT
			Min	Typ	Max	
V_{CC}	Power supply voltage range		4.5		8.0	V
	DC current drain			2.4	3.0	mA
f_{IN}	Input signal frequency			500		MHz
f_{OSC}	Oscillator frequency			200		MHz
	Noise figured at 45MHz			5.0		dB
	Third-order intercept point at 45MHz	$RF_{IN}=-45\text{dBm}$		-13		dBm
	Conversion gain at 45MHz		14	17		dB
R_{IN}	RF input resistance		1.5			k Ω
C_{IN}	RF input capacitance			3		pF
	Mixer output resistance	(Pin 4 or 5)		1.5		k Ω

DESCRIPTION OF OPERATION

The SA612A is a Gilbert cell, an oscillator/buffer, and a temperature compensated bias network as shown in the equivalent circuit. The Gilbert cell is a differential amplifier (Pins 1 and 2) which drives a balanced switching cell. The differential input stage provides gain and determines the noise figure and signal handling performance of the system.

The SA612A is designed for optimum low power performance. When used with the SA614A as a 45MHz cordless phone/cellular

radio 2nd IF and demodulator, the SA612A is capable of receiving -119dBm signals with a 12dB S/N ratio. Third-order intercept is typically -15dBm (that's approximately +5dBm output intercept because of the RF gain). The system designer must be cognizant of this large signal limitation. When designing LANs or other closed systems where transmission levels are high, and small-signal or signal-to-noise issues not critical, the input to the SA612A should be appropriately scaled.



LF to 2.5 GHz TruPwr™ Detector

Data Sheet

AD8361

FEATURES

- Calibrated rms response
- Excellent temperature stability
- Up to 30 dB input range at 2.5 GHz
- 700 mV rms, 10 dBm, re 50 Ω maximum input
- ±0.25 dB linear response up to 2.5 GHz
- Single-supply operation: 2.7 V to 5.5 V
- Low power: 3.3 mW at 3 V supply
- Rapid power-down to less than 1 μA

APPLICATIONS

- Measurement of CDMA, W-CDMA, QAM, other complex modulation waveforms
- RF transmitter or receiver power measurement

GENERAL DESCRIPTION

The AD8361 is a mean-responding power detector for use in high frequency receiver and transmitter signal chains, up to 2.5 GHz. It is very easy to apply. It requires a single supply only between 2.7 V and 5.5 V, a power supply decoupling capacitor, and an input coupling capacitor in most applications. The output is a linear-responding dc voltage with a conversion gain of 7.5 V/V rms. An external filter capacitor can be added to increase the averaging time constant.

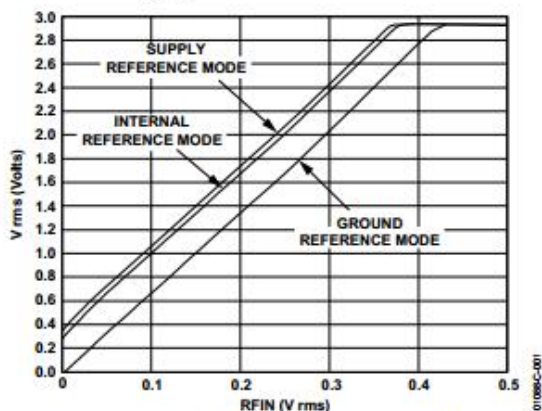


Figure 1. Output in the Three Reference Modes, Supply 3 V, Frequency 1.9 GHz (6-Lead SOT-23 Package Ground Reference Mode Only)

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAMS

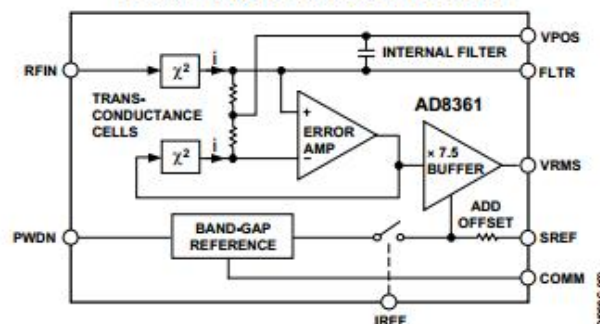


Figure 2. 8-Lead MSOP

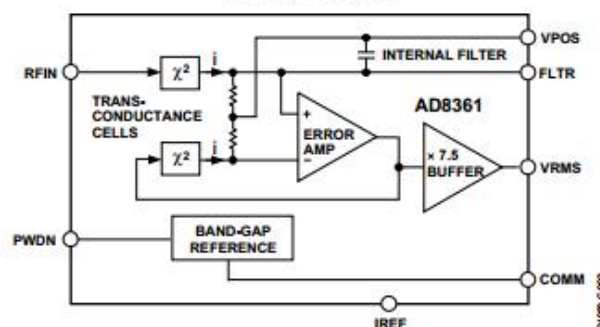


Figure 3. 6-Lead SOT-23

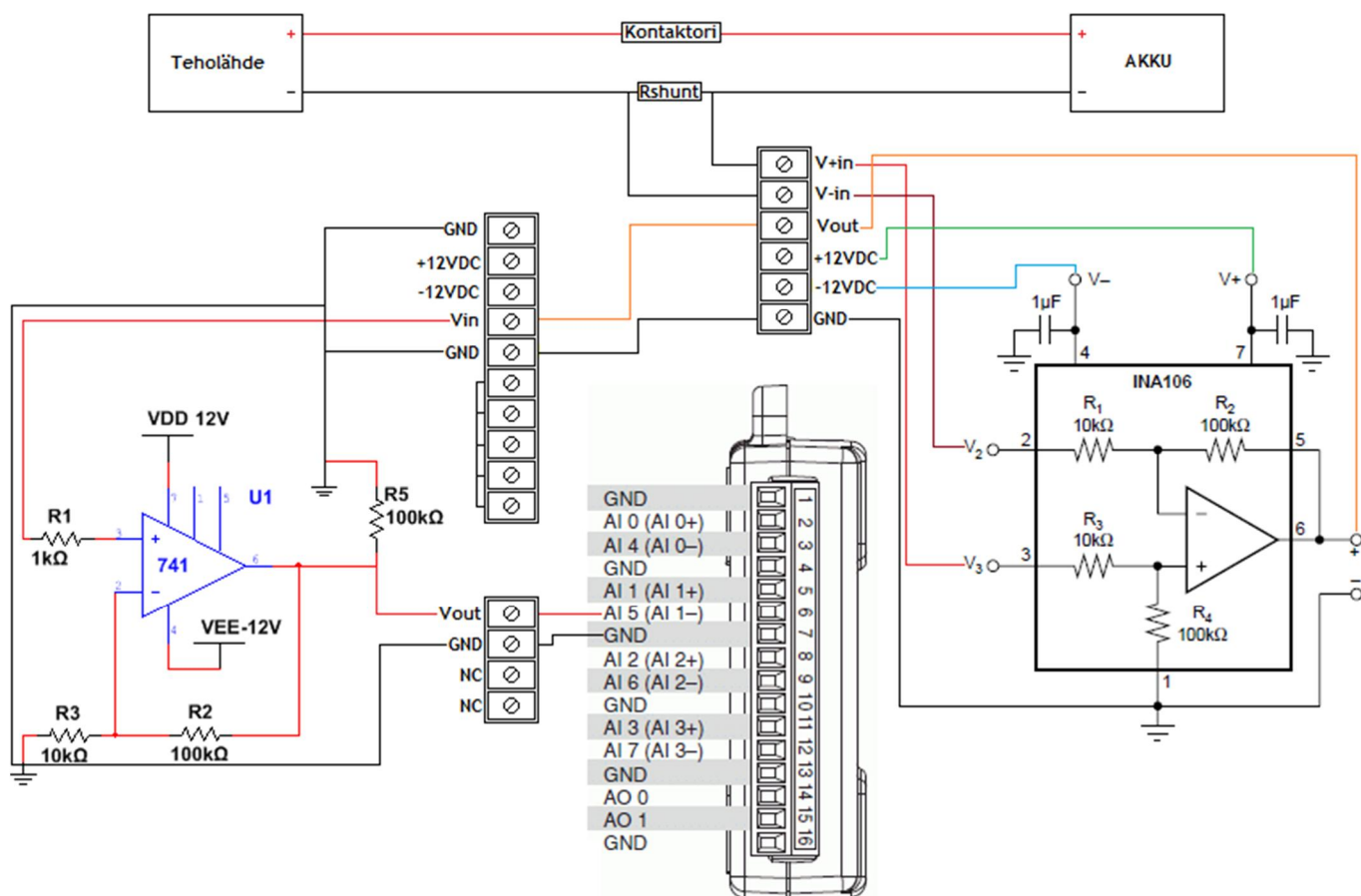
The AD8361 is intended for true power measurement of simple and complex waveforms. The device is particularly useful for measuring high crest-factor (high peak-to-rms ratio) signals, such as CDMA and W-CDMA.

The AD8361 has three operating modes to accommodate a variety of analog-to-digital converter requirements:

1. Ground reference mode, in which the origin is zero.
2. Internal reference mode, which offsets the output 350 mV above ground.
3. Supply reference mode, which offsets the output to $V_S/7.5$.

The AD8361 is specified for operation from -40°C to $+85^\circ\text{C}$ and is available in 8-lead MSOP and 6-lead SOT-23 packages. It is fabricated on a proprietary high fr silicon bipolar process.

LIITE 14: LATAUSVIRRRAN MITTAUS





INA106



SBOS152A – AUGUST 1987 – REVISED OCTOBER 2003

Precision Gain = 10 DIFFERENTIAL AMPLIFIER

FEATURES

- ACCURATE GAIN: $\pm 0.025\%$ max
- HIGH COMMON-MODE REJECTION: 86dB min
- NONLINEARITY: 0.001% max
- EASY TO USE
- PLASTIC 8-PIN DIP, SO-8 SOIC PACKAGES

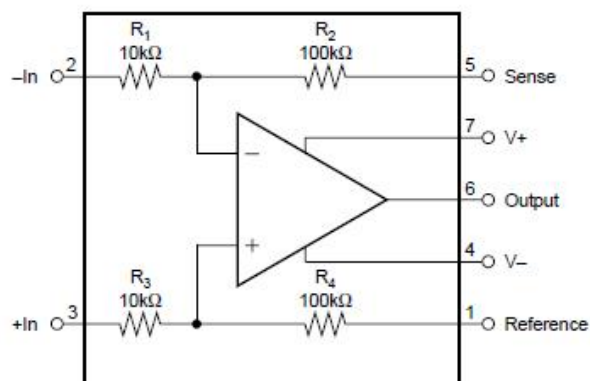
DESCRIPTION

The INA106 is a monolithic Gain = 10 differential amplifier consisting of a precision op amp and on-chip metal film resistors. The resistors are laser trimmed for accurate gain and high common-mode rejection. Excellent TCR tracking of the resistors maintains gain accuracy and common-mode rejection over temperature.

The differential amplifier is the foundation of many commonly used circuits. The INA106 provides this precision circuit function without using an expensive resistor network. The INA106 is available in 8-pin plastic DIP and SO-8 surface-mount packages.

APPLICATIONS

- G = 10 DIFFERENTIAL AMPLIFIER
- G = +10 AMPLIFIER
- G = -10 AMPLIFIER
- G = +11 AMPLIFIER
- INSTRUMENTATION AMPLIFIER



CA741, CA741C, CA1458, CA1558, LM741, LM741C, LM1458

Data Sheet

September 1998

File Number 531.4

0.9MHz Single and Dual, High Gain Operational Amplifiers for Military, Industrial and Commercial Applications

The CA1458, CA1558 (dual types); CA741C, CA741 (single types); high-gain operational amplifiers for use in military, industrial, and commercial applications.

These monolithic silicon integrated circuit devices provide output short circuit protection and latch-free operation. These types also feature wide common mode and differential mode signal ranges and have low offset voltage nulling capability when used with an appropriately valued potentiometer. A 10k Ω potentiometer is used for offset nulling types CA741C, CA741 (see Figure 1). Types CA1458, CA1558 have no specific terminals for offset nulling. Each type consists of a differential input amplifier that effectively drives a gain and level shifting stage having a complementary emitter follower output.

The manufacturing process make it possible to produce IC operational amplifiers with low burst "popcorn" noise characteristics.

Technical Data on LM Branded types is identical to the corresponding CA Branded types.

Features

- Input Bias Current 500nA (Max)
- Input Offset Current 200nA (Max)

Applications

- Comparator
- Multivibrator
- DC Amplifier
- Summing Amplifier
- Integrator or Differentiator
- Narrow Band or Band Pass Filter

Ordering Information

PART NUMBER	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA0741E	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA0741CE	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
CA1458E	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
CA1558E	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
CA0741T	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C
CA0741CT	0 to 70	8 Pin Metal Can	T8.C
CA1558T	-55 to 125	8 Pin Metal Can	T8.C
LM741N	-55 to 125	8 Ld PDIP	E8.3
LM741CN	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3
LM1458N	0 to 70	8 Ld PDIP	E8.3

Pinouts

