



OULUN YLIOPISTO
UNIVERSITY of OULU

KIRJALLISUUSANALYYSI AKUSTON TARKKAILUMIKROPIIREISTÄ

Jukka Posio

Ohjaaja(t): Timo Rahkonen

SÄHKÖTEKNIIKAN KOULUTUSOHJELMA

2016

Posio J. (2016) Kirjallisuusanalyysi akuston tarkkailumikropiireistä. Oulun yliopisto, sähkötekniikan osasto. Kandidaatintyö, 14 s.

TIIVISTELMÄ

Työssä perehdytään akuston varausmäärä tarkkaileviin mikropiireihin. Mikropiirejä on kolme, jotka on valittu eri valmistajilta soveltuen suorittamaan saamaa tehtävää. Mikropiirit tarkkailevat akkukennon varausmäärää ja ylijännitetilanteessa purkavat kennosta varausta. Piirien toiminta keskenään on hyvin samanlaista. Varausmäärän selvittäminen taloudellisesti ja tarkasti karsii nykyisellään mikropiirien välisiä selviä eroja. Perustoiminnoissa ei ole eroa, jolloin mikropiiriä valittaessa tulee huomioida valmistajien tarjoamat erikoispiirteet piireissä.

Avainsanat: mikropiiri, varausmäärä, akusto, akkukkenno, suora jännitemittaus.

Posio J. (2016) Literature analysis of battery management ICs. University of Oulu, Department of Electrical Engineering. Bachelor's Thesis, 14 p.

ABSTRACT

This thesis examines in battery management ICs, which track down State-of-Charge. Three IC is picked from different manufacturer to fit in same adaptation. They function by measuring the State-of-Charge and solve overvoltage in battery cells. ICs won't differ in their fundamental functioning, but do provide minor extra features. Ways to measure State-of-Charge reliably and cost effectively narrows down the different approaches in ICs functions. When choosing IC, there isn't much difference between in basic functionality so decision needs to done by those extra features in ICs.

Key words: IC, integrated circuit, State-of-Charge, battery, battery cell, direct voltage measurement.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT	3
SISÄLLYSLUETTELO	4
LYHENTEEN JA MERKIT	5
1. JOHDANTO.....	6
2. VARAUSMÄÄRÄ JA KUNTOISUUS.....	7
3. TEOLLISIA TUOTTEITA	9
3.1. LTC6802-1	9
3.2. BQ76PL455A-Q1	11
3.3. ISL78600	12
4. YHTEENVETO	14
5. LÄHTEET	16

LYHENTEEN JA MERKIT

ADC	Analogia-digitaalimuunnin (Analog-to-Digital converter)
DAC	Digitaal-analogiamuunnin (Digital-to-Analog converter)
DSADC	Delta-Sigma analogia-digitaalimuunnin (Delta-Sigma Analog-to-Digital converter)
FET	Kanavatransistori (Field-Effect-Transistor)
FIR	Digitaalinen suodatin (Finite Impulse Response filter)
KF	Kalman-suodin (Kalman Filter)
MOSFET	Kanavatransistori, jonka hilan eristemateriaali on metallioksidi. (Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor)
SoC	Varausmäärä (State-of-Charge)
SoH	Kunto (State-of-Health)

1. JOHDANTO

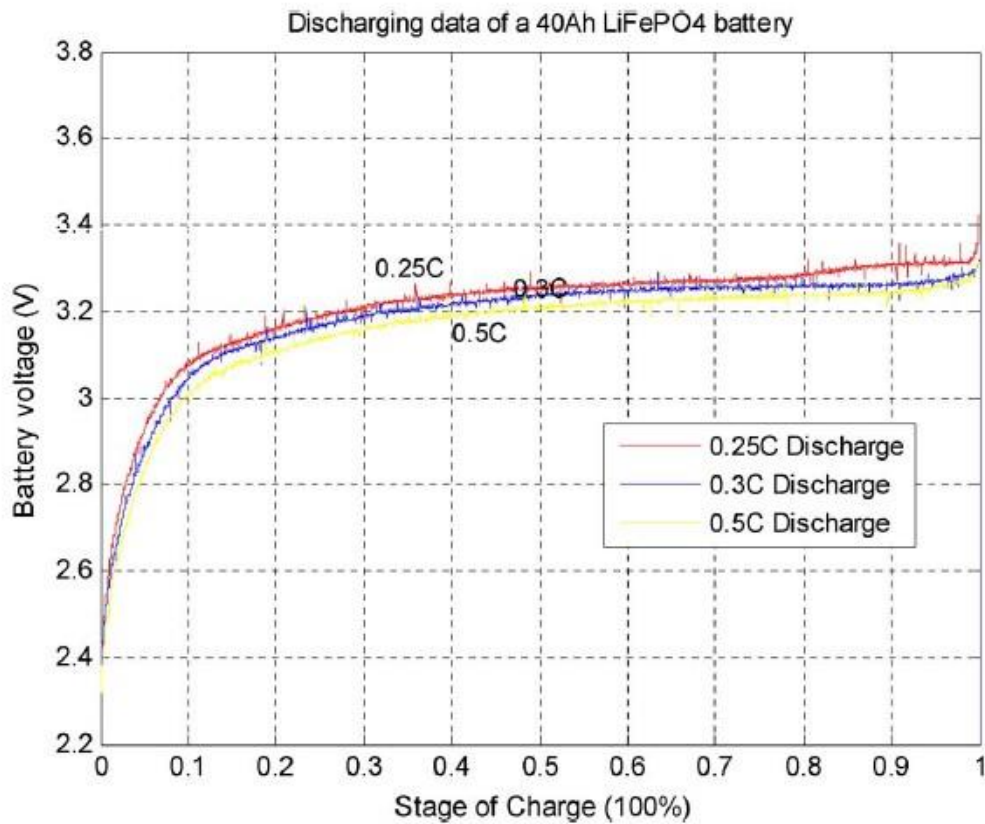
Akkuja käyttävien laitteiden määrä on kasvanut vuosittuhaman alusta merkittävästi mm. kännyköiden, kannettavien tietokoneitten ja muun mukana kulkevan elektroniikan myötä. Uusiutuvan energian tuotanto luo kysyntää akkutekniikan kehittämislle. [1] Akkujen kasvava käyttö energian varastointina ja lähteenä jouduttaa kehitystyötä akustojen tarkkailulle. Akuston tarkkailupiirien pätehtävään kertoa akun varaus ja kuinka pitkälle se mahdollisesti riittää. Varaustilan (SoC, State-of-Charge) seuranta mahdollistaa akun turvallisen lataamisen, kun liki täydelle akulle ei anneta latausvirtaa, vaan se siirretään seuraavalle vajavaisemmalle akulle. Laitteen toimivuuden kannalta on myös oleellista tietää akun kunto ja lämpötila. [2]

Akustojen kunnossapitoon ja seurantaan valmistetut mikropiirit ovat melko erikoistuneita. Akuston toiminnan takaamiseen tarjolla olevista mikropiiriluokista kukin vastaa noin yhdestä asiasta. Piirien toimintamallit ovat jaettavissa kolmeen luokkaan: akuston lataus, varausmäärän monitorointi ja akuston ja kennojen seuranta ja suojaaminen. Kandityö keskittyy kolmanteen luokkaan

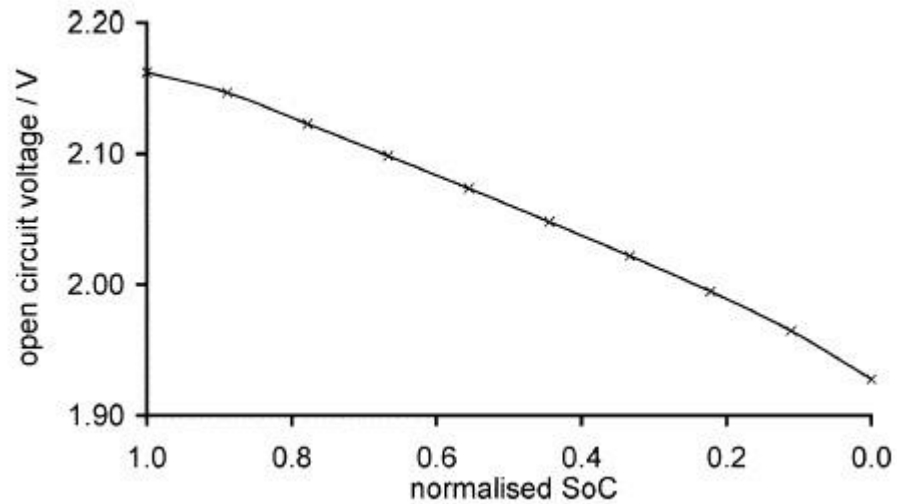
Kandityössä tarkistellaan teollisia akustojen tarkkailupiirejä. Käsiteltävien mikropiirien ominaisuuksiin kuuluu akkujen varausmäärän arviointi ja akuston jännitteen tasaaminen. Tasaamisessa virtaa puretaan akkukennosta, jolla on suurin varaus. [3] Näin mahdollistetaan akuston pitkä käyttöikä ja vältetään mahdolliset ylilatautumislsta johtuvat riskit.

2. VARAUSMÄÄRÄ JA KUNTOISUUS

Akuston tarkkailupiirien suunnittelu alkaa määrittelemällä akun tai akuston parametrit. Parametreista oleellisimmat ovat purku- ja latausvirrat, maksimi- ja minimivaraus, sekä akun varausmäärä ja kunto. Akun SoC:n määrittämiseksi on useita tapoja. Sitä voidaan arvioida mitattujen purkuvirtojen ja akuston kuormittamaton jännitteen perusteella (suora jännitemittaus). Mittausarvoista luodaan kuvaaja, jonka käyrältä voidaan arvioida SoC prosentteina jännitteen funktiona. Menetelmä on yksinkertainen, mutta soveltuu huonosti litium-akuille (vrt. lyijyaku, kuva 2), koska napajännitteen muutos käyttövälillä on hyvin pieni. Tällöin pieni virhe jännitteen mittauksessa voi johtaa väärään SoC:n arvioon (kuva 1). [4]



Kuva 1. LiFePO₄ -akun hetkellisen jännitteen arvolla arvioitu SoC, purkuvirroilla 10 A (0,25 C) 13,3 A (0,3 C) ja 20 A (0,25 C).



Kuva 2. Lyijygeeliakun jännite-SoC-riippuvuus.

SoC:ia voidaan arvioida myös virtaintegraalilla. Virtaintegrointi tai Coulomb-laskenta kärsii pitkällä käyttöajalla kumulatiivisista virheistä. [5] Integrointivirheiden korjaamisessa voidaan hyödyntää Kalman-suodinta, joka hetkellisen mittausarvon ja laskennallisen tilanmuutoksen perusteella korjaa tilan muutoksen arviota. Esimerkkitapauksessa Kalman-suotimen tulona on virta. Suodin laskee arvioidun jännitearvo ja vertaa sitä mitattuun jännitteeseen. Mitatun ja laskennallisen jännitteen yhteisarvoa verrataan jännite-SoC-käyrään, kuten suoralla jännitemittauksella. [6]

Akuston maksimaalisen käyttökapasiteetin säilyttämiseksi on oleellista tietää yksittäisten kennojen kunto. Kunnosta kertovasta lukuarvosta (State-of-Health, SoH) nähdään mm. tarve vaihtaa tai huoltaa akustoa tai akkukennoa. Akun kunto määritellään yksinkertaisesti kaavan 1 mukaisesti [7], jossa akun varausmäärän muutos jaetaan nimellisellä varausmaksimilla.

$$SoH = \frac{\text{nominal capacity} - \text{loss of capacity}}{\text{nominal capacity}} \quad (1)$$

Hävinneen varausmäärän määrittämisessä käytetään mikropiirin mittaamia SoC:n arvoja. Kunnosta kertovat arvot ilmoitetaan prosentteina. Tavanomaisen litium-ioni-akun kunto laskee 80 %:iin 1 000 lataus-purku syklin jälkeen. [8]

3. TEOLLISIA TUOTTEITA

Kappaleessa vertaillaan autoteollisuuteen tarkoitettuja mikropiirejä. Vertailtavina tuotteina ovat Linear Technologyn LTC6802, Texas Instrumentin bq76PL455A-Q1 ja Intersil:n isl78600.

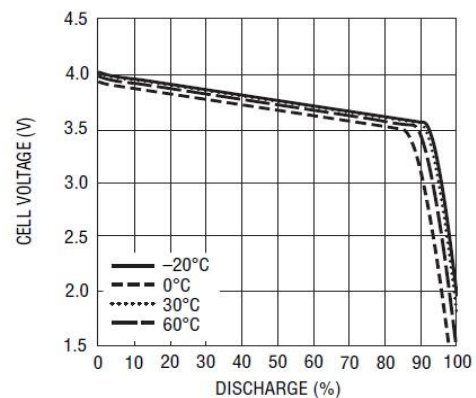
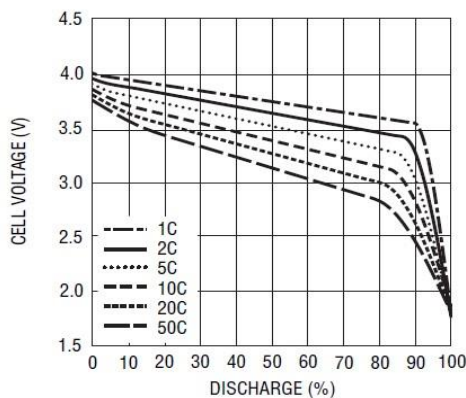
Mikropiireille yhteisenä ominaisuutena on passiivinen tasaaminen, eli ylijännitteiseltä akulta puretaan virtaa. TI:n tuotteeseen on mahdollista lisätä toinen mikropiiri, joka mahdollistaa aktiivisen tasaamisen. Aktiivisessa mallissa alijännitteistä akkua voidaan ladata piirin sisäisesti, käyttämällä virtaa ylijännitteisistä kennoista. [9] Mikropiirit on suunniteltu litium-ioni akuille, litiumin tarjotessa suurimman tehotehden akkumateriaaleista. [10]

Taulukko 1. Autojen energialähteiden tehotehden

Energialähde	Wh/kg
Diesel	12 700
Bensiini	12 200
Li-ioni-akku	150
NiMh-akku	100
Lyijyakku	25

3.1. LTC6802-1

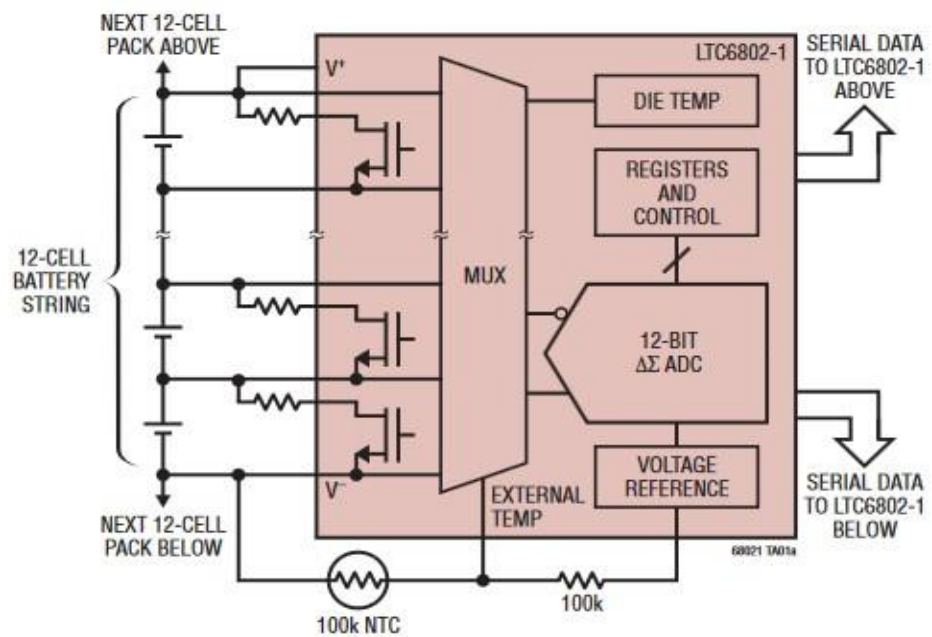
LTC6802-1 on Linear Technologyn kehittämä mikropiiri, joka on suunniteltu tarkkailemaan 12 sarjakytkettyä akkua, käyttökohteenaan autoteollisuus. Akkukennojen jännitteet ovat maksimissaan 5 V. Kennot jaetaan 6802-1-mikropiirille kymmen ja kahdentoista solun ryhmissä. Mikropiiri mittaa akkukennon jännitteen ja välittää datan suorittimelle varausmäärän laskemiseksi (kuva 4). Suoritin tekee päätöksen akkujen jännite-erojen tasaamisesta mittaustulosten perusteella. [11]



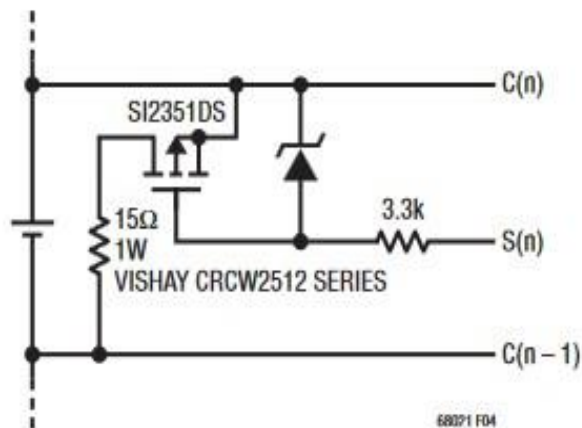
Kuva 4. Li-ioni akun varausmäärä eri virran arvoilla ja lämpötilan vaikutus. [12]

LTC6802-1:n toiminta pohjaa tarkkaan mittaustulokseen akun jännitteestä. Mikropiiri mittaa jokaisen akun jännitteen, ja tämän tiedon perusteella lataussykli aloitetaan. Mittauksista vastaa Delta-Sigma AD -muunnin. DSAD-muunninta käytetään sen nopean asettumisen ja hyvän kohinan siedon vuoksi. [13]

Akkujen jänniteitä voidaan tasapainottaa 6802-1:n sisäisten MOSFET:ien avulla (kuva 5). Mikropiirin saadessa käskyn suorittimelta ylijännitteistä akkua puretaan MOSFET:n läpi. 6802-1:een voidaan kytkeä kuvan 6 mukainen ulkoinen tasauspiiri, jolloin 6802-1:n MOSFET:t toimivat loogisina ohjaussignaaleina. [14]



Kuva 5. LTC6802-1 Yksinkertaistettu lohkokaavio perussovellutuksena ja tasauksesta vastaavat MOSFET:t.

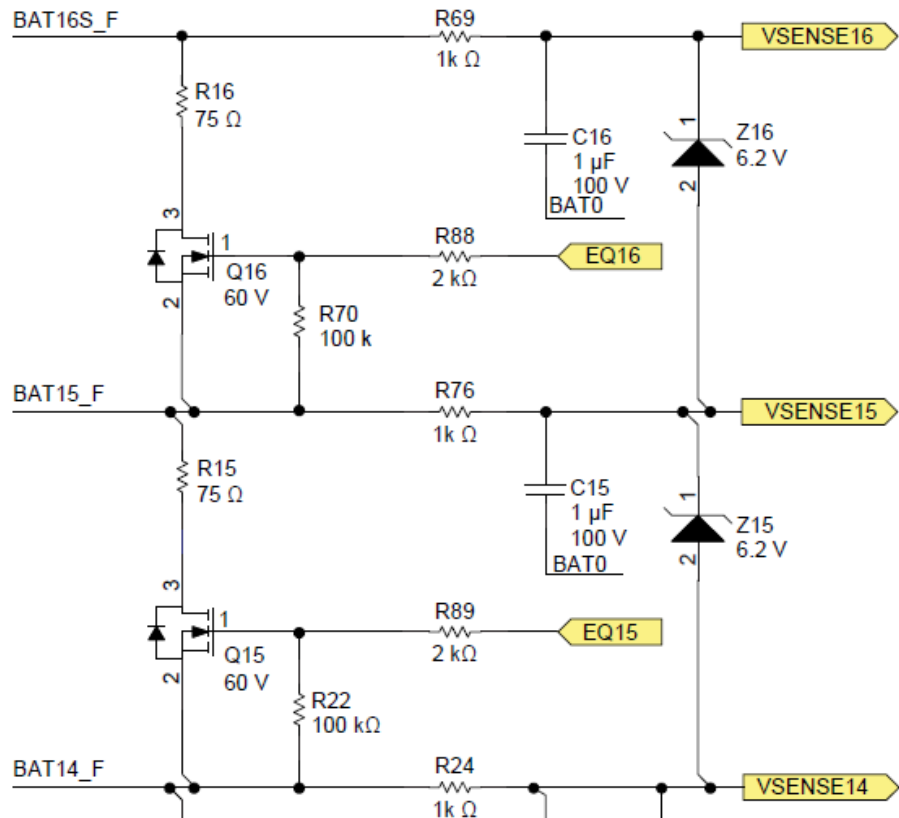


Kuva 6. Akkujen tasaamista tehostava lisäkytkentä (S(n) lähdöissä sisäinen $10\text{ k}\Omega$:n ylösvetovastuksen).

3.2. BQ76PL455A-Q1

Texas Instrumentin bq76PL455A-Q1 on tarkkailupiiri 16 solun akustoille, joiden jännitteet voivat olla 1,00 voltista 4,95 volttiin. 32 pareittain kytkettyä ikkunakomparaattoria tarkkailee akustoa. Parin toinen komparaattori seuraa ali- ja toinen ylijänniteisyyttä (AJ ja YJ). Virheensietoa on parannettu muodostamalla komparaattorien kynnysjännitteet DA-muuntimella. Muuntimet toimittavat komparaattoreille 4,5 V:n referenssijännitteen AJ- ja YJ-kynnyksen määrittämiseksi. Molemmat kynnykset voidaan asettaa 3,175 V:n seurantavälille 25 mV:n tarkkuudella (AJ 0,7–3,875 V ja YJ 2,0–5,175 V). [15]

Mikropiirin lähtöihin voi tehdä passiivisen tai aktiivisen kytkennän akkujen tasaamiseksi. Passiiviseen tasaamiseen riittää n-kanavaisten FET:ien kytkentä, aktiiviseen käyttöön suositellaan EMB1428Q- tai EMB1499Q-piiriä. [16] Jokainen akuston kenno on kiinnitetty omaan tasauslähtöön. Kun bq76PL455A-Q1 havaitsee YJ:n kennon N, yhdistetään se kanavaan VSENSE(N) ja transistorin Q_N :n läpi puretaan jännitettä. Kun jännite on laskenut riittävälle tasolle, piiri sulkee Q_N :n, ja purkuvirta laskee nolnaan (kuva 7). [17]

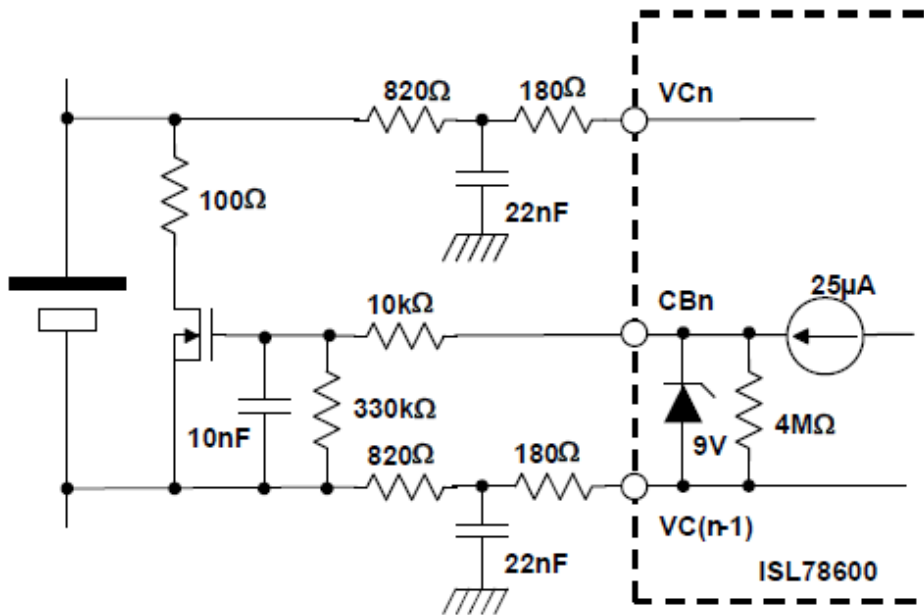


Kuva 7. TI:n bq67PL455A-Q1:n passiivinen tasauskytkentä kahdelle kennolle.[18]

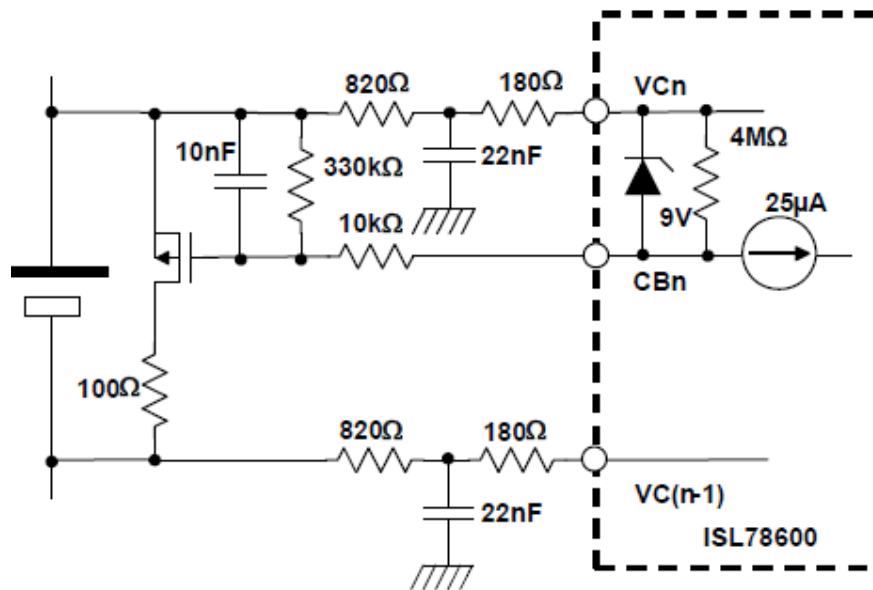
3.3. ISL78600

Intersil:n isl78600 on 12 sarjakytketyn litium-akun tarkkailupiiri. Akkukennojen jännitteet voivat olla maksimissaan 5,0 V. Mikropiiri tarjoaa kolme eri tasausmoodia: manuaalisen, ajoitetun sekä automaattisen. Manuaalisessa tilassa piirin mikrokontrolleri purkaa kennon jännitteen MOSFET:n läpi haluttuun jännitetasoon. Ajoitetussa tilassa kontrolleri suorittaa määrätyn mittaisen tasaussyklin valitulle kennolle. Tasaus lopetetaan koodatun aikamäärän jälkeen, vaikkei jännite-ero olisi halutulla tasolla. Automaattinen tila purkaa määritetyn varauseron FET:ien läpi. Automaattisessa tilassa mikroprosessori seuraa akkukennojen varausta samalla kun kennon ylijännitteisyys puretaan. Prosessori seuraa kennon nykyistä varausmäärää ja vertaa sitä haluttuun kennon varausmäärään. Kun varauksien erotus on nolla, mikropiiri lopettaa jännitteen purun.

Kennojen 1 – 9 tasauskytkennöissä käytetään n-kanavan FET:jä (kuva 8.) ja kennoissa 10 – 12 käytetään p-kanavaisia (kuva 9).



Kuva 8. Ulkoisten FET:ien kytkentä kennoille 1 – 9.



Kuva 9. Ulkoisten FET:ien kytkentä kennoille 10 – 12.

Eri FET:jä käyttämällä varmistetaan riittävä jännite transistorien toiminnalle. Virtalähteillä ohjataan tasauspiirin tilaa. Virtalähteiden ollessa pois päältä piiri ei ole toiminnassa.

4. YHTEENVETO

Työssä verrattiin kolmea akuston kunnan mittaukseen tarkoitettua mikropiiriä. Niiden toiminnalle yhteistä on varausmäärän määrittäminen, suora jännitemittaus. Akkukennon tasaamisesta indikoivana arvona käytetään mikropiirien tuottamaa referenssijännitettä. Piirit ovat pitkälti samanlaisia toimintamalleiltaan. Niiden ominaisuudet on kerrattu taulukossa 2.

Varausmäärän määrittäminen jännitemittauksen perusteella on helpoin ja halvin tapa, mikä näkyy markkinoilla olevissa tuotteissa.

Litium-akkujen jännite-varausmäärä -käyrän tasaisuuden avulla voidaan määrittää akuston käyttöikä kennon jännitteen mittausvirheen perusteella. Oletetaan akuston saavuttavan 15 vuoden käyttöiän, kun varausmäärästä käytetään 40 % lataus-purku - sykliä kohden. Litium-ioni -akun jännite-varausmäärän muutos on 1,25 mV/%SoC. Näistä arvoista voidaan laskea piirin todellinen käyttökapasiteetti, jotta haluttu käyttöikä saavutetaan. Linear Technologyn 6802-1:n mittausvirheen ollessa 4,3 mV voidaan akuston kapasiteetista käyttää 36,6 % yhdellä latauskerralla (kaava 2). [19]

$$\text{Käyttökapasiteetti} = 40 \% - 4,3 \text{ mV} \frac{1 \%}{1,25 \text{ mV}} \quad (2)$$

Samaa kaava käyttämällä saadaan TI:n mikropiirille arvo 39,4 % ja ISL:lle 38,8 %. Prosenttiarvo tarkoittaa käytettävissä olevaa kapasiteettia yhdellä latauskerralla, halutun käyttöiän saavuttamiseksi.

Taulukko 2. Eriteltyjen mikropiirien ominaisuuksia

Ominaisuus	Mikropiiri		
	LTC 6802-1	TI bq76PL455A-Q1	ISL 78600
SoC-määrittäystapa	Suora jännitteenmittaus	Suora jännitteenmittaus	Suora jännitteenmittaus
Akuston yli- ja alijännitteisyys määrittäminen	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kennojen tasausmenetelmät	Passiivinen	Passiivinen ja aktiivinen	Passiivinen
Jännitteen mittauksen tarkkuus	±4,3 mV	±0,75 mV	±1,5 mV
Akuston käyttökapasiteetti ¹	36,6 %	39,4 %	38,8 %

¹ Kuinka paljon varausta voidaan purkaa yhdellä latauksella (kaava 2).

Mikropiirit ovat toiminnaltaan hyvin samanlaisia. Merkittävimmät erot piirien välillä ovat käyttötarkoituksessa. Lt6802-1 ei tarjoa erityisiä lisäominaisuuksia. TI bq76PL455A-Q1:een on mahdollista kytkeä myös alijännitteisten akkujen lataamiseksi toinen mikropiiri (esim. EMB1428Q). Isl78600 tarjoaa monipuolisemmat työkalut purkuvirran hallintaan, kolmen toimitilan muodossa. Tarjolla olevien mikropiirien on paljon, mutta toiminnaltaan ne ovat hyvin samanlaisia, jolloin piiriä valitessa eniten ratkaisee käyttäjän yksilöllinen tarve.

5. LÄHTEET

- [1] Luotola J. (luettu 28.8.2016) Sähköä sukanvarteen – Teslan Powerwall-kotiakku saa kilpailijan Ruotsista. URL: <http://www.tekniikkatalous.fi/tekniikka/energia/sahkoa-sukanvarteen-teslan-powerwall-kotiakku-saa-kilpailijan-ruotsista-3483778>.
- [2] Cheng K.W.E., Divakar B.P., Wu H., Ding K. & Ho H. (2011) Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles. IEEE transactions on vehicular technology 60, s. 76 – 78.
- [3] Renesas Electronics America Inc. (2012) Who's in Charge -Solutions for HEV/EV Battery Cell Management. DevCon, October 22 – 25, Orange County, California, Renesas Electronics America Inc., 11 s.
- [4] Cheng K.W.E., Divakar B.P., Wu H., Ding K. & Ho H. (2011) Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles. IEEE transactions on vehicular technology 60, 78 s.
- [5] Bhangu B.S., Bentley P., Stone D.A. & Bingham C.M. (2005) Nonlinear Observers for Predicting State-of-Charge and State-of-Health of Lead-Acid Batteries for Hybrid-Electric Vehicles. IEEE transactions on vehicular technology 54, 784 s.
- [6] Bhangu B.S., Bentley P., Stone D.A. & Bingham C.M. (2005) Nonlinear Observers for Predicting State-of-Charge and State-of-Health of Lead-Acid Batteries for Hybrid-Electric Vehicles: IEEE transactions on vehicular technology 54, s. 787 – 789.
- [7], [8] Cheng K.W.E., Divakar B.P., Wu H., Ding K. & Ho H. (2011) Battery-Management System (BMS) and SOC Development for Electrical Vehicles. IEEE transactions on vehicular technology 60, 80 s.
- [9] Datalehti EMB1428Q, Texas Instrument, 10 s.
- [10] Kultgen M. & Munson J. (2009) Battery Stack Monitor Extends Life of Li-Ion Batteries in Hybrid Electric Vehicles. Linear Technology Magazine 19, 3 s.
- [11] Datalehti ltc6802-1, Linear Technology, 11 s.
- [12] Kultgen M. & Munson J. (2009) Battery Stack Monitor Extends Life of Li-Ion Batteries in Hybrid Electric Vehicles. Linear Technology Magazine 19, 4 s.
- [13] Datalehti ltc6802-1, Linear Technology, 34 s.
- [14] Datalehti ltc6802-1, Linear Technology, 14 s.
- [15] Datalehti bq76PL455A-Q1, Texas Instrument, 42 s.
- [16] Datalehti bq76PL455A-Q1, Texas Instrument, 1 s.
- [17] Datalehti bq76PL455A-Q1, Texas Instrument, 28 s.
- [18] Datalehti bq76PL455A-Q1, Texas Instrument, 114 s.
- [19] Kultgen M. & Munson J. (2009) Battery Stack Monitor Extends Life of Li-Ion Batteries in Hybrid Electric Vehicles. Linear Technology Magazine 19, 4 s.