

MUUNNOSSÄHKÖAUTON AKUSTON SUUNNITTELU

Ripatti Samuli

Opinnäytetyö
Huhtikuu 2011
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto
Tampereen ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu
Sähkötekniikan koulutusohjelma
Sähkövoimatekniikan suuntautumisvaihtoehto

RIPATTI, SAMULI: Muunnossähköauton akuston suunnittelu

Opinnäytetyö 35 s., josta liitteitä 5 s.
Huhtikuu 2011

Jatkuva pelko fossiilisten polttoaineiden loppumisesta ja niiden hinnan arvaamattomasta noususta lienee yksi tärkeimmistä syistä sähköautokehityksen vauhdittumiselle viime vuosina. Sähköistä liikkumista pidetään yleisesti myös ympäristöystävällisenä, koska se ei aiheuta pakokaasupäästöjä. Nykyisen sähköautokannan perusteella ei kuitenkaan voida varmasti tietää, millaisia ympäristövaikutuksia tulevaisuuden sähköautoilu aiheuttaa, koska akkujen tuotanto painottuu voimakkaasti Aasiaan.

Monet sähköautoilusta kiinnostuneet kyllästyivät jo vuosia sitten autonvalmistajien saamattomuuteen sähköauton kehityksessä, mistä syntyi harrastelijoiden muunnospajoja eri puolille maailmaa. Harrastajien on kuitenkin vaikea tehdä sähköautomuunnoksesta niin täydellistä, että se täyttäisi kaikki viranomaismääräykset niin tieliikenteen kuin sähköturvallisuudenkin osalta.

Moottori on ollut polttomoottoriautoissa yksi suurimmista kehityskohteista auton historian aikana. Sähköautoissa sen sijaan suurinta kehitystä tarvitaan akuston suhteen. Sähköakun yli 200-vuotisen historian aikana ei vielä ole saatu kehitettyä akkua, jonka energiasisältö olisi lähelläkään polttonesteiden arvoja. Nykyistä akkujen kehitystä voidaan verrata polttomoottorin kehitykseen 1900-luvulla. Silloin autonvalmistajat kilpailivat siitä, kenellä on tehokkain tai taloudellisin moottori. Sähkömoottorin hyötysuhde on nykyään lähes poikkeuksetta yli 90 % ja sen tehotehous on saatu polttomoottorin tehotehouteen suuremmaksi. Toisaalta nykyisten sähköakkujen energiatehous on vain murto-osa minkä tahansa polttonesteen arvoista.

Akkujen energiavaraston pienuutta voidaan toki korvata käyttämällä hybriditekniikkaa tai tuottamalla ajoneuvon sähköenergia polttokennoilla vedystä. Hybriditekniikka kuitenkin jättää auton riippuvaiseksi fossiilisista polttoaineista, vaikka niiden kulutus vähenee huomattavasti. Myös polttokennotekniikassa on edelleen suuria puutteita. Polttokenno toimii hyvin vain puhtaalla vedyllä, jolle ei ole kehitetty tankkausverkostoa. Jokaisen käyttäjän oma tankkauslaite taas olisi liian kallis hankinta. Monet myös pelkäävät vedyn käyttöä, koska se on huomaamaton räjähtävä kaasu. Lisäksi vedyn tuottamisen ja käyttämisen kokonaishyötysuhde on heikompi kuin sähköakutekniikalla.

Asiasanat: Sähköauto, akusto, litium, muunnos, ePorsche.

ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu
Tampere University of Applied Sciences
Degree Programme in Electric Engineering
Option of Electric Power Engineering

RIPATTI, SAMULI: Battery design for electric car conversion

Bachelor's thesis 35 pages, appendices 5 pages
April 2011

Nowadays people fear the end of fossil fuel sources and greenhouse gases are being accused for warming the Earth. This might be the main reason for growing interest into electric and hybrid electric vehicles. A small group of people have been interested in full electric vehicles for years and became frustrated in that car manufactures didn't offer electric versions of their car models. That's why the first electric car conversions were made. It's not easy or inexpensive to convert a car to fulfill all vehicle and electricity regulations. Luckily most of the car manufactures are starting to produce electric models in near future to respond the market's needs. Still there are some questions that need to be answered before we can stop burning fuel in cars.

In gasoline powered cars engine has been the main component in comparison of which car is better. In electric cars that component would be the battery pack. That makes research and development of battery systems a very interesting subject. As batteries' energy density is still just a fraction of energy density in liquid fuels, there should be lots of progress in battery systems in near future. On the other hand, electric car does not necessarily need electric batteries if the electricity could be transformed into some other form for storage. One possibility to store electric energy is to produce hydrogen with it and then use fuel cells in car to transform the hydrogen back to electricity. But hydrogen systems still have problems with efficiency and some people do not trust that an imperceptible gas would be safe to use.

Key words: Electric car, battery system, Lithium, conversion, ePorsche

SISÄLLYS

1 AKUSTON JA AUTON VÄLISET VAATIMUKSET	6
1.1 Sähköauton vaatimukset akustolle	6
1.2 Akuston vaatimukset autolle	7
2 AKKUTYYYPEJÄ.....	9
2.1 Tuttuja akkutyyppejä.....	10
2.2 Mielenkiintoisia vaihtoehtoja.....	11
3 LITIUMIONI AKUN RAKENNE JA OMINAISUUDET.....	12
3.1 Fyysinen ja kemiallinen rakenne (Whitacre. 2010)	12
3.2 Akun sähköiset ominaisuudet.....	13
3.3 Akkusarjan valinta (Whitacre. 2010)	15
4 REGENEROINTI	17
4.1 Regeneroinnin vaikutus akun elinikään	17
4.2 Optimaalinen akkujärjestelmä regeneroivaan sähköautoon.....	18
5 AKUSTON HALLINTA	19
5.1 Erilaisia hallintatekniikoita	19
5.2 Kennon ja kennosarjan hallinta.....	20
5.3 Varaustilan seuranta	21
6 EPORSCHEN AKKUJÄRJESTELMÄ.....	21
6.1 Valintaperusteet.....	21
6.2 Akkuvalinnan tulokset.....	22
6.3 BMS ja laturi	25
7 YMPÄRISTÖKYSYMYKSET	25
8 SÄHKÖAUTOJEN TULEVAISUUS	26
9 YHTEENVETO	27
LÄHTEET.....	29
LIITTEET	30

JOHDANTO

Tampereen seudun sähköautoharrastajat ovat aktiivisuudellaan herättäneet kiinnostusta sähköautomuunnoksia kohtaan. Aktiivisen toiminnan johdosta Tampereen kaupunki ja Tradea vuokrasivat osan vanhasta teollisuuskiinteistöstä sähköautoharrastajien ja Sähköautot - Nyt! -yhteisön käyttöön. Tästä joukosta eräs muunnoksen tekijä kääntyi TAMK:n puoleen, jotta saisi suunnitteluapua auton muuntamiseen bensiinikäyttöisestä sähkökäyttöiseksi. Näin joukko opiskelijoita sai aiheen opinnäytetyölleen.

Sähköautoilu jakaa voimakkaasti mielipiteitä. Monet epäilevät lähes kaikkea, mitä sähköautoon liittyy, kun taas toiset vaihtaisivat sähköön heti tilaisuuden tullen. Tampereellakin on aktiivista sähköautotoimintaa, jonka kehittymistä on mielenkiintoista seurata. Muunnossähköauton akuston suunnittelu on erittäin mielenkiintoinen aihe, koska se on alue, jonka pitäisi kehittyä eniten, jotta sähköisestä liikkumisesta tulisi kannattavaa. Sähköakuilla ja niihin liittyvillä järjestelmillä on edessään vielä pitkä kehitysmatka, vaikka nykyiset kokonaisuudet täyttävät jo monien ihmisten vaatimukset. Tämän työn laajuudessa on keskitytty lähinnä vain akkuihin, koska niihin liittyvät järjestelmät kuuluvat muiden opinnäytteiden aiheisiin.

1 AKUSTON JA AUTON VÄLISET VAATIMUKSET

1.1 Sähköauton vaatimukset akustolle

Akkujen käyttökohteita ja akkutyyppejä on monenlaisia. Ei ole lainkaan samantekevää, millaista akkua mihinkin tarkoitukseen käytetään. Sähköauto vaatii tehoa kymmentuhatkertaisesti moniin kulutuselektroniikan sovelluksiin nähden. Tarpeeksi suuresta akustosta saadaan auton tarvitsema teho. Akustosta ei kuitenkaan voida tehdä kohtuuttoman suurta, koska henkilöautossa on rajallisesti tilaa ja sen suurin sallittu kokonaisuudessa ylittyy helposti. Akustolla täytyy siis olla suuri tehotiheys, jotta se ei aiheuta ongelmia. Seuraava sähköauton vaatimus on riittävä ajosäde. Polttonesteillä toimivien autojen kantama on lähes poikkeuksetta yli 500 km, eivätkä monet autoilijat haluaisi tinkiä siitä. Jotta rajallisen kokoisen akuston sisältämä sähköenergia riittäisi kuljettamaan autoa riittävän matkan, on akuston energiatihedys oltava mahdollisimman suuri.

Sähköauton käytön aikana on tärkeää, että akustosta ei aiheudu vaaraa kenellekään. Tästä voidaan suurelta osin huolehtia akkukotelon ja sähköteknisten suojalaitteiden huolellisella suunnittelulla. Turvallisuutta voidaan lisätä käyttämällä akkutyyppejä, joka ei toimintansa aikana kuumene liikaa eikä muodosta palavia kaasuja. Onnettomuustilanteessa akku ei saisi palaa, räjähtää eikä mielellään myöskään vuotaa elektrolyyttiä, joka on haitallista ympäristölle ja vaarallista ihmisille.

Muutaman vuoden käytön jälkeen akuston käyttöiän tuomat rajoitukset tulevat ajankohtaisiksi. Akut vanhenevat sekä käyttöajan että -sykliin mukaan. Jos akkuja ladataan ja puretaan joka päivä, täyttyy niiden syklinen ikä ensin. Jos ne taas ovat käyttämättömänä pitkiä jaksoja, niiden rajallinen käyttöaika heikentää akuston suorituskykyä. Sähköautossa käyttösyklit kuluttavat todennäköisesti akustoa eniten, joten kannattaa valita akkutyyppejä, joka kestää tuhansia lataus- ja purkauskertoja.

1.2 Akuston vaatimukset autolle

Vaikka edellisen kohdan perusteella kyettäisiin valitsemaan sähköautoon oikeanlainen akusto, on asiaa tarkasteltava myös toisinpäin. Akun valmistaja ilmoittaa akulle suurimmat sallitut virrat jatkuvalle kuormitukselle, hetkelliselle kuormitukselle ja lataukselle. Virta ilmoitetaan yleensä akun kapasiteettiin verrannollisena siten, että 1 C vastaa 5 Ah akulla 5 A virtaa ja 10 Ah akulla 10 A virtaa ja niin edelleen. Jos ilmoitetuilla virran arvoilla ei saavuteta haluttua tehoa, voidaan akkuja kytkeä rinnakkain, jolloin niiden virrat lasketaan yhteen, tai sarjaan, jolloin akuston jännite nousee ja samalla virralla saadaan suurempi teho. C-arvosta voidaan laskea myös aika, joka akun purkamiseen pitäisi vähintään kuluu, kun sitä puretaan virtarajojen puitteissa. 1 C virralla akku tyhjenee tunnissa, 3 C virralla 1/3 tunnissa ja niin edelleen. Eri valmistajat voivat mitata akun kapasiteetin hieman eri menetelmillä, joten eri merkkiset akut eivät ole täysin vertailukelpoisia, vaikka valmistajien ilmoittamat arvot olisivat samat.

Akun valmistaja ilmoittaa akulle myös lämpötilat, joissa sitä voi käyttää. Useimmat akut toimivat parhaiten huoneenlämmössä, mutta on myös olemassa akkuja, jotka toimivat vasta korkeissa lämpötiloissa. Kaikkien akkutyypin suorituskyky laskee kylmässä eikä kaikkia saa edes käyttää, jos niiden lämpötila laskee alle nollan. Myös liian kuumana käyvän akun suorituskyky laskee ja sen käyttöikä lyhenee. Akun suorituskyvyn myötä sen kapasiteettikin pienenee kylmissä ja kuumissa olosuhteissa, mikä on huomioitava sähköauton talvi- ja kesäkäytössä. Parhaan hyödyn saamiseksi akuille kannattaa tehdä lämpöeristetty kotelo, jota voidaan jäähdyttää kesällä ja lämmittää talvella.

Akuston sijoitus vaikuttaa paljon sähköauton turvallisuuteen. Esimerkiksi matkustamoon sijoitetut akut nostavat auton painopistettä ja voivat kolaritilanteessa aiheuttaa suurempia vaaroja matkustajille kuin tavara- tai moottoritalaan sijoitetut akut. Monissa uusissa täyssähköautoissa akusto onkin sijoitettu auton pohjaan, jossa se aiheuttaa vähiten vaaraa. Tällaista ratkaisua ei kuitenkaan voida tehdä muunnossähköautossa, koska korin alle ei ole suunniteltu tilaa, johon akut voisi laittaa. Koska akusto on yksi sähköauton kuluvista komponenteista, on sen suunnittelussa huomioitava myös vaihtomahdollisuus. Akustoa ei siis voi esimerkiksi hitsata kiinteästi auton

runkoon, vaan sen on oltava irrottavissa tai vähintään avattavissa huoltotoimenpiteitä ja kennojen vaihtamista varten.

2 AKKUTYYPPEJÄ

Sähkön kemiallisen varastoinnin kehitys alkoi vuonna 1800, kun italialainen fyysikko Alessandro Volta keksi sähköparin. Sen jälkeen kemistit ja fyysikot ovat pyrkineet kehittämään entistä parempia ja erilaisiin käyttökohteisiin soveltuvia akkuja ja paristoja. Taulukkoon 1 on koottu eräitä Voltan keksinnön jälkeisiä sähköpareja. Nimisarakeesta nähdään, että 1800-luvulla sähköpareja nimettiin lähinnä keksijänsä mukaan ja 1900-luvulla niissä käytetyn kemian mukaan, mikä selkeyttää sähköparin koostumusta kuluttajalle. 2000-luvulla yhtiöiden tuotenimet alkavat vallata sähköparien nimityksiä. Tämä vaikeuttaa kuluttajan ostopäätöstä, jos hän ei esimerkiksi halua ostaa raskasmetalleihin perustuvaa tuotetta.

TAULUKKO 1. Sähköparien kehityshistoriaa (Aifantis, Hackney, Kumar. 2010.

18. Muokattu)

Vuosi	Keksijä	Sähköparin nimi	Tyyppi
1800	A. Volta	Voltaic pile	Kertakäyttöinen
1836	J. F. Daniel	Daniel cell	Kertakäyttöinen
1844	W. R. Grove	Grove cell	Kertakäyttöinen
1859	R. G. Planté	Planté lead-acid cell	Ladattava
1860	Callaud	Gravity cell	Kertakäyttöinen
1866	G-L Leclanché	Leclanché wet cell	Kertakäyttöinen
1881	C. A. Faure	Improved lead-acid cell	Ladattava
1888	C. Gassner	Zinc-carbon dry cell	Kertakäyttöinen
1899	W. Jungner	NiCd cell	Ladattava
1899	W. Jungner	NiFe cell	Ladattava
WW 2	Ei tiedossa	Molten salt battery	Ladattava
1946	Union Carbide Company	Alkaline manganese	Ladattava
1955	L. Urry	Alkaline battery	Kertakäyttöinen
1970	Exxon laboratory	LiTi disulfide	Ladattava
1970	Ei tiedossa	Zinc-air battery	Kertakäyttöinen
1975	Sanyo Electric Co	LiMn cell	Kertakäyttöinen
1980	Moli Energy	LiMo disulfide	Ladattava
1990	Samsung	NiMH	Ladattava
1991	Sony	Li-ion	Ladattava
1999	Sony	Li polymer	Ladattava
2004	Panasonic Corporation	Oxyride battery	Kertakäyttöinen

Taulukossa 1 ei ole kaikkia maailman akku- ja paristotyyppejä, koska monet niistä ovat muunnelmia muista tyypeistä. Esimerkiksi litiumioniakuista on monia

variaatioita, joissa vain varausta säilövä yhdiste muuttuu. Näitä ovat mm. LiFePO_4 , LiMnO_2 ja LiCoO_2 . Seuraavissa kappaleissa tutustutaan muutaman erilaisen akkutyyppin ominaisuuksiin. Kertakäyttöisiä paristoja ei tässä työssä käsitellä, koska niitä ei tulla käyttämään sähköajoneuvojen energiavarastona.

2.1 Tuttuja akkutyppejä

Lyijyakku (eng. lead-acid battery) on vanhin akkutyyppi (taulukko 1) ja on edelleen käytössä etenkin ajoneuvojen käynnistysakkuina ja UPS-laitteiden energiavarastoina. Siitä on kehitetty runsaasti erilaisiin sovelluksiin sopivia variaatioita, kuten suurta virtaa tuottavia, tärinää kestäviä, syväpurkauksesta toipuvia ja nykyään suosittuja huoltovapaita malleja. Kaikille lyijyakuille on ominaista pieni energiatiheys, minkä vuoksi ne eivät sovellu sähköajoneuvojen ajoakkuiksi. Lyijyakuissa on myös runsaasti nestemäistä tai geeliin sidottua elektrolyyttiä, joka voi valua ulos akusta, jos sitä kallistaa liikaa.

Lyijyakun alkukehityksen jälkeen keksittiin ensimmäinen nikkelpohjainen ladattava paristo. Nikkeliparistot olivat aluksi avoimia, kunnes opittiin vähentämään niiden vedyntuottoa, mikä mahdollisti akkukennon suljetun rakenteen. Useimpia suljettuja kennoja voidaan asettaa mihin tahansa asentoon ilman, että niiden suorituskyky tai turvallisuus muuttuu. Nykyään yleisin nikkeliakkutyyppi on NiMH eli nikkeli-metallihydridi. Sitä käytetään myös ajoneuvojen energiavarastona mm. Toyota-hybridiautoissa. Pelkästään sähköllä toimiviin ajoneuvoihin nikkeliakut eivät sovellu kovin hyvin, koska ne ovat painavia. Energiatiheys on parempi kuin lyijyakuilla, mutta huonompi kuin litiumakuilla.

Litiumpohjaisten akkujen suosio sähköajoneuvoissa on kasvanut viime vuosina nopeasti. Niiden suosio perustuu akun keveyteen ja muihin akkutyppejä suurempaan energiatihyyteen. Litiumakkujen energia- ja tehosiheyksiä pyritään kasvattamaan entisestään, mutta samalla etsitään myös uusia ajoneuvokäyttöön sopivia akkutyppejä. Kaikilla suurilla autonvalmistajilla on vähintään konseptitasolla oleva täyssähköinen automalli, mikä ennustaa litiumakkujen kysynnän kiihtyvää kasvua lähivuosina.

2.2 Mielenkiintoisia vaihtoehtoja

Jos energiavarastosta halutaan ottaa suuria tehoja eikä ajomatka ole pitkä, voidaan akku korvata uudentyyppisillä kondensaattoreilla. Kondensaattorin käyttö auton voimanlähteenä voi kuulostaa mahdottomalta tai ainakin järjettömältä, mutta on olemassa erikoisrakenteisia kondensaattoreita, joilla tämä on mahdollista. Superkondensaattori on sähköisiltä ominaisuuksiltaan kondensaattori, mutta sen sisäinen rakenne muistuttaa hieman nykyaikaista litiumioniakkua ja se kykenee käsittelemään jopa tuhansien ampeerien virtapiikkejä. Ensimmäinen superkondensaattori keksittiin vahingossa ja ensimmäiset kaupalliset sovellukset olivat pieniä, kuten muistipiirien varmennuksia. Nykyään superkondensaattoreiden kapasitanssit ovat jopa tuhansia faradeja, mutta niiden jännitteenkesto on muihin kondensaattorityyppeihin nähden alhainen, alle 3 V. Superkondensaattoreista on rakennettu ajoakkuja sähköisiin kiihdytysautoihin ja tavallisissa sähköautoissa niitä voidaan käyttää jarrutustehon talteenotossa. Hybridityökoneissa niitä käytetään myös tehopiikkien tasaamiseen. Superkondensaattorista käytetään englanninkielisiä lyhenteitä EDLC, SC ja UC.

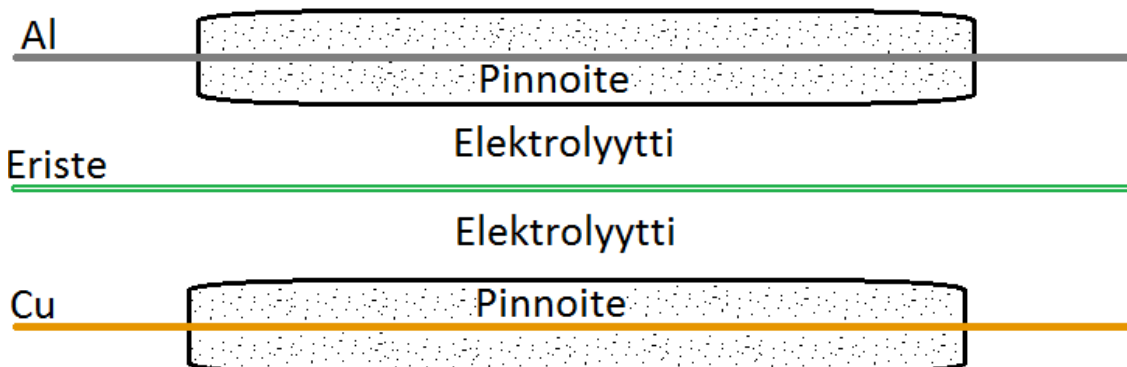
Toinen akkumaailman erikoisuus on akku, jonka toimintalämpötila poikkeaa selvästi muista akkutyypeistä. Ensimmäinen vain kuumana toimiva suola-akku eli "Molten salt battery" keksittiin toisen maailmansodan aikana (taulukko 1). Kuten nimikin kertoo, akun on oltava toimiakseen kuuma. Niin kuuma, että sen elektrolyytinä käytetty suola sulaa. Myös anodi ja katodi voivat sulaa, jolloin elektrodien ja elektrolyytin väliset tiheyserot määräävät kerrosten järjestymisen akussa. Yleinen nimitys näille akuille on Etelä-Afrikkalaisen tutkimusprojektin mukaan nimetty "ZEBRA". Kuumana käyvä akku sopii sovelluksiin, joissa sen varaustilaa muutetaan jatkuvasti, jolloin akun omat häviöt pitävät sen tarpeeksi kuumana. Japanissa kehitetään parhaillaan suola-akusta matalammassa lämpötilassa toimivaa versiota, jonka uskotaan syrjäyttävän litiumakut ajoneuvokäytössä (YTWHW.com. 2011)

3 LITIUMIONIAKUN RAKENNE JA OMINAISUUDET

Koska litiumioniakut ovat nykyään parhaiten sähköajoneuvokäyttöön sopivia energiavarastoja, ei tässä työssä tutustuta tarkemmin muihin akkutyyppihin. Kaikki seuraavaksi esitettävät yksityiskohdat eivät välttämättä koske kaikkia litiumakkutyyppejä ja monia litiumakun ominaisuuksia voidaan soveltaa myös muihin akkutyyppihin.

3.1 Fyysinen ja kemiallinen rakenne (Whitacre. 2010)

Litiumioniakut, kuten kaikki muutkin akut, koostuvat kolmesta pääosasta, jotka ovat anodi, katodi ja elektrolyytti. Akun ominaisuudet määräytyvät sen mukaan, mistä aineista nämä kolme osaa muodostuvat ja miten ne on suhteutettu toisiinsa akun rakenteessa. Kuviossa 1 on esitetty yksinkertainen malli nykyaikaisen litiumioniakun sisällöstä.



KUVIO 1. Periaatekuva litiumioniakun sisäisestä rakenteesta

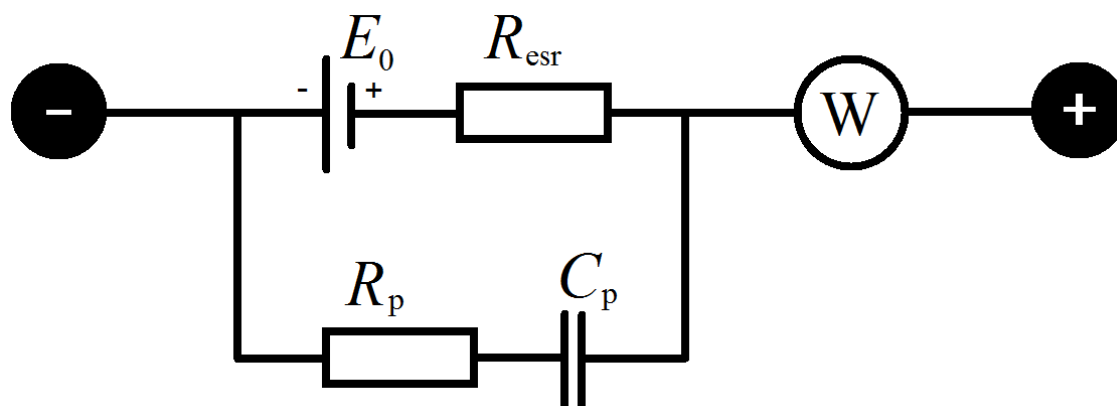
Käytetään esimerkkinä litiumrautafosfaattiakkua (LiFePO_4). Akun valmistusta varten tehdään alumiinista ja kuparista ohuita, noin 20...50 μm paksuisia folioita, jotka päällystetään elektrodimateriaaleilla. Alumiinifoliosta tulee akun positiivinen napa eli anodi, joka pinnoitetaan litiumrautafosfaattia sisältävällä aineella. Pinnoitteessa on lisäksi myös hiilipölyä parantamassa sähkönjohtavuutta ja PVDF-nimistä sidosainetta. Kuparifoliosta tulee akun negatiivinen napa eli anodi, joka pinnoitetaan kristallirakenteisella grafiitilla. Grafiitin käyttö katodilla parantaa akun vakautta, koska se ei muodosta

kemiallisesti vahvoja sidoksia muiden akun komponenttien kanssa ja sen kristallirakenne pysyy samanlaisena riippumatta akun varaustilasta. Pinnoituksen jälkeenkin elektrodit ovat korkeintaan 100 μm paksuisia.

Elektrodien välissä toiminnallisena osana on elektrolyytti, joka tässä akkutyypissä sisältää litiumheksafluorifosfaattia LiPF_6 , joka jakautuu elektrolyytissä positiivisiksi Li^+ -ioneiksi ja negatiivisiksi PF_6^- -ioneiksi. Elektrolyytin liuottimena käytetään jotakin orgaanista liuotinta, kuten etyleenikarbonaattia. Elektrolyytin koostumus on suurin yksittäinen akun vakauteen vaikuttava tekijä. Elektrodien välissä on myös huokoisesta muovista tehty eristekerros, jonka tehtävänä on estää elektrodien osuminen toisiinsa. Ionit kuitenkin pääsevät kulkemaan huokosten läpi elektrodilta toiselle. Tämän komponentin avulla elektrodit voidaan painaa mahdollisimman lähelle toisiaan, jolloin säästetään huomattavasti kallista elektrolyyttiä ja akusta saadaan fyysisesti pieni. Myös akun sisäresistanssi pienenee, kun sisäiset etäisyydet ovat pieniä

3.2 Akun sähköiset ominaisuudet

Käytännön sovelluksissa on hyvä tuntee myös akun sähköinen käyttäytyminen. Siksi akuista on olemassa sähköteknisistä komponenteista rakennettu sijaiskytkentämalli, joka on esitetty kuviossa 2.



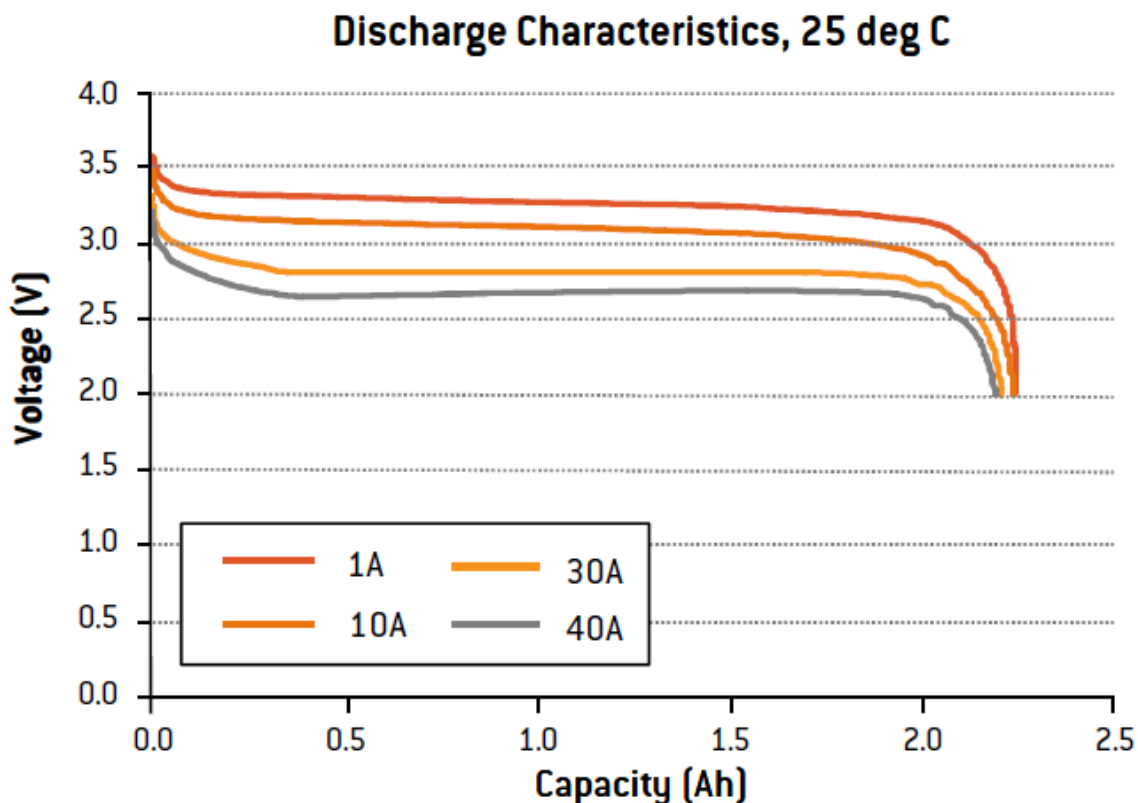
KUVIO 2. Akun sähköinen sijaiskytkentäpiiri

Usein riittävän tarkka akun sijaiskytkentä saadaan lähdejännitteestä E_0 ja sen kanssa sarjaan kytketystä sisäresistanssista R_{esr} . Sisäresistanssi aiheuttaa akun lämpenemistä kuormitustilanteissa, minkä vuoksi se pyritään saamaan mahdollisimman pieneksi. Suuria virtoja kestävässä akuissa sisäresistanssi on vain joitakin milliohmeja. Tarkemmassa tarkastelussa sisäresistanssi voidaan jakaa ideaaliseen resistanssiin ja virtaa rajoittavaan tekijään W , joka aiheutuu ionien virtausvastuksesta akun sisällä. Ionien virtaus aiheutuu akun varaustilan muutoksista ja virtausvastukseen vaikuttavat lähinnä akun lämpötila ja sen rakenne. Akkujen testausmenetelmiin voi kuulua myös 1 kHz taajuisella vaihtojännitteellä mitattu impedanssi. Näin sijaiskytkentään voidaan piirtää myös kapasitiivinen haara, joka on sisäresistanssin ja lähdejännitteen rinnalla. Resistanssi R_p kuvaa kondensaattorin C_p sisäresistanssia, joka on tyypillisesti hyvin pieni. Myös kapasitanssi C_p on akkutyypistä riippuen vain muutamia millitai mikrofaradeja. (Whitacre. 2010)

Kuviossa 3 on esitetty erään 2,3 Ah litiumioniakun jännitekuvaaja kapasiteetin funktiona eri purkuvirroilla. Kuvaajasta nähdään, että suurella kuormitusvirralla jännite laskee noin 20 % nimellisjännitteestä, joka on 3,3 V. Jännitehäviö koostuu kuvion 2 sijaiskytkennän mukaisesti sisäresistanssista ja virran rajoituksesta. Kuvioista 3 voidaan päätellä, että kyseisen akkutyypin jännite laskee kuormituksen aikana enimmäkseen virtaa rajoittavan tekijän vuoksi, sillä kuormitusvirran kasvattaminen ei näytä juuri vaikuttavan akun kapasiteettiin, vaikka sen napajännite laskee kuormituksessa huomattavasti. Jos jännitehäviö tapahtuisi kokonaan resistanssissa, suuret virrat pienentäisivät akusta saatavaa kapasiteettia.

Kuvion 3 kaltaista kuvaajaa voidaan käyttää akuston jännitteenaleneman arviointiin eri kuormitustilanteissa. Kuvaajista voidaan lukea noin 20 % jännitteenalenema 40 A kuormituksella, mikä on kaksinkertainen verrattuna kiinteistösähköverkkojen sallittuun jännitteenalenemaan verrattuna. Tämä yhdistettynä 3,6 V latausjännitteeseen aiheuttaa noin voltin jännitevaihtelun kennoa kohti. Sadan kennon sarjassa jänniteheilahtelu voi siten olla 100 V, mikä on huomioitava akkujännitteeseen kytkettävien laitteiden valinnassa. Jännitteenaleneman vuoksi akusto kannattaa mitoittaa siten, että sen suurimpia

sallittuja kuormitusvirtoja ei saavuteta, jolloin jännitteenalenema ja -heilahtelu eivät kasva niin suuriksi.

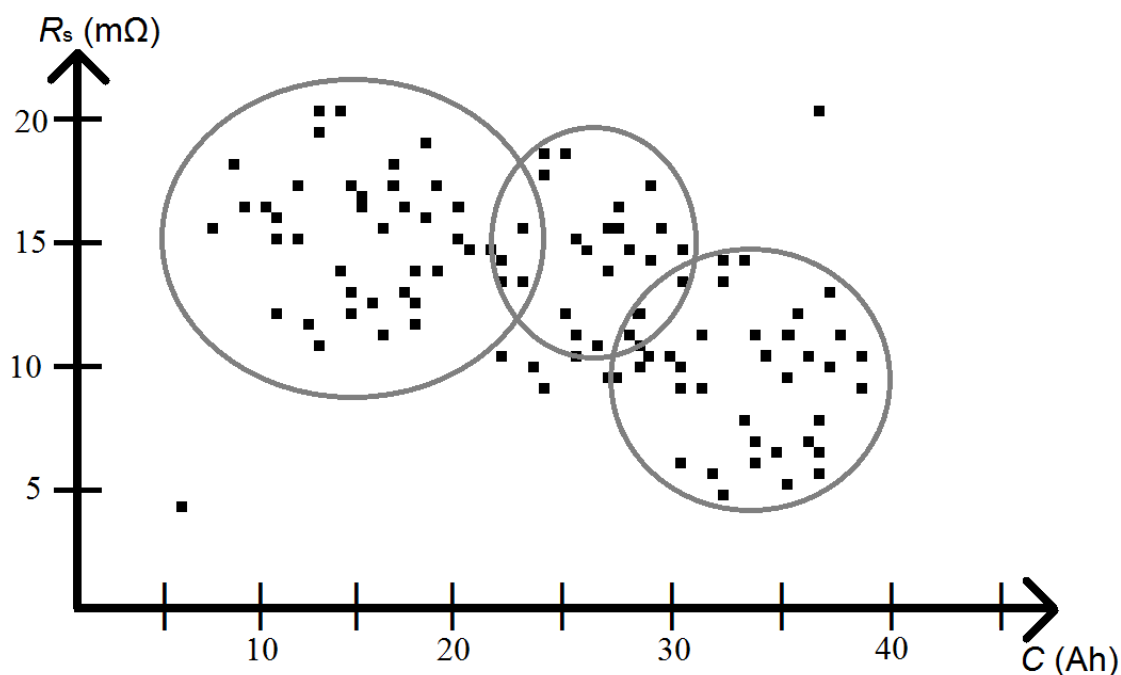


KUVIO 3. Akun jännite kapasiteetin funktiona eri purkuvirroilla (A123Systems. 2008)

Kuvion 3 mukainen ampeerituntikuvaaja ei kuitenkaan tarkoita sitä, että akusta saataisiin sama energiamäärä eri kuormitusvirroilla, sillä akusta saatu energia on jännitekuvaajan integraali eli käyrän ja X-akselin väliin jäävä pinta-ala. Tämä on toinen syy siihen, miksi akusto kannattaa mitoittaa siten, että sen suurimpia sallittuja kuormitusvirtoja ei saavuteta.

3.3 Akkusarjan valinta (Whitacre. 2010)

Kaikki saman myyntierän akut eivät välttämättä ole samasta valmistuserästä, minkä vuoksi niiden ominaisuuksissa saattaa olla pieniä eroja. Siksi samaan akkupakettiin tulevat kennot kannattaa testata ennen paketin kasaamista. Kuviossa 4 on esitetty periaate samaan akustoon valittavien akkujen keskinäisistä ominaisuuksista.



KUVIO 4. Akkujen ryhmittely kapasiteetin ja sisäresistanssin mukaan

Akkujen ensimmäisen käyttösyklin aikana jokaiselle akkukennolle voidaan määrittää kuvion 4 piirtämiseen tarvittavat arvot. Ensimmäinen sykli kannattaa siis tehdä jokaiselle kennolle erikseen ennen akkupaketin kasaamista. Tämä on työlästä, mutta voi pidentää akuston käyttöikää huomattavasti, jos huonoja yksilöitä saadaan karsittua pois. Suuntaa-antavia tuloksia saadaan jo ensimmäisen latauksen jälkeen, kun mitataan akun lähdejännite. Jännite-ero akkujen välillä tulisi olla korkeintaan $\pm 0,1$ V. Suurempi ero viittaa erilaisuuteen myös kennojen muissa ominaisuuksissa. Kun ensimmäisen käyttösyklin mittaustulokset on merkitty pisteillä kuvion 4 kaltaiseen kuvaajaan, voidaan valita mahdollisimman samanlaisia akkuja liitettäväksi toisiinsa. Mitä pienemmän ympyrän sisään valitut kennot kuuluvat, sitä yhdenmukaisempi akkupaketista tulee. Ensisijainen ryhmittelykriteeri etenkin sarjaan kytkettäessä on kapasiteetti, koska kaikki kennot purkautuvat sarjassa samansuuruisella virralla. Laadukkaissa akuissa hajontaa kummankin akselin suhteen tulisi olla korkeintaan yksi prosentti. Huonoissa akuissa hajontaa voi olla yli 5 %, jolloin akustoa täytyy balansoida voimakkaasti käytön aikana. Kuvion 4 akselien arvot ovat viitteellisiä ja ne riippuvat suuresti akkutyypistä. Kaikille akuille on kuitenkin tyypillistä, että sisäresistanssi laskee kapasiteetin kasvaessa.

4 REGENEROINTI

Regenerointi eli suoraan suomeksi käännettynä uudelleen tuottaminen on sähkö- ja hybridautojen ominaisuus, jota ei voida polttomoottoritekniikalla toteuttaa. Käytännössä tämä tarkoittaa, että suurin osa kiihdytykseen käytetystä energiasta voidaan ottaa hidastettaessa moottorijarrutuksella talteen ja käyttää taas seuraavaan kiihdytykseen.

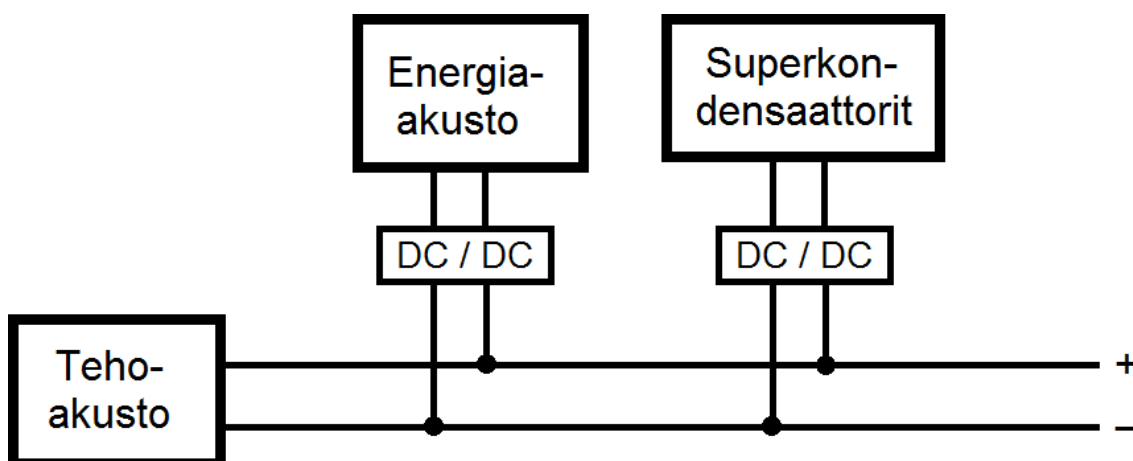
4.1 Regeneroinnin vaikutus akun elinikään

Kuten aiemmin jo mainittiin, akuilla on sekä ajan että syklityksen mukaan määräytyvä käyttöikä. Nämä ominaisuudet vaihtelevat eri akkutyypeillä ja niihin vaikuttavat myös syklin syvyys ja käytetyt virrat. Esimerkiksi Thunder Sky ilmoittaa LFP-akkujensa iäksi vähintään 2000 sykliä, kun syklin syvyys on 80 % ja vähintään 3000 sykliä, kun syklin syvyys on 70 % (Thunder Sky. 2007. 50). Tästä voidaan päätellä, että akku kestää syklejä sitä paremmin mitä pienempiä syklit ovat. Regeneroinnin tuottama latausenergia on yleensä vain pieni osuus akuston kokonaisenergiasta, jolloin se aiheuttaa akulle hyvin matalan syklin. Täten regeneroinnin ei pitäisi vaikuttaa akun käyttöikäen ainakaan lyhentävästi, koska se vähentää akun lataustarvetta ja siten syviä lataussyklejä.

Toisaalta regeneroinnin tuottama latausvirta poikkeaa huomattavasti litiumakulle määritellystä latausalgoritmista, jossa akkua ladataan ensin vakiovirralla ja sitten vakiojännitteellä (A123Systems. 2008). Tämä tuskin on hyväksi akulle. Litiumakkujen kestävydestä ajoneuvokäytössä ei vielä ole pitkäaikaista käytännön tietoa, koska suuret autonvalmistajat ovat vasta viime vuosina alkaneet suunnitella sähköautoja. Epäilyksiä litiumakun sopivuudesta regenerointiin herättää se, että ainakin Toyota käyttää hybridautoissaan edelleen NiMH-akkuja energian varastointiin, vaikka vastaava litiumioniakusto olisi halvempi. (Toyota. 2011).

4.2 Optimaalinen akkujärjestelmä regeneroivaan sähköautoon

Vaikka regeneroinnin aiheuttamat pienet lataussyklit ja virtapiikit eivät kuluttaisi akustoa enempää kuin tavallinen käyttö, voidaan sen kuormitusta pienentää siirtämällä regeneroinnin energiavirtaukset muualle. Kuviossa 5 on esitetty akkujärjestelmä, jossa tasajännitekiskoon on kiinteästi liitetty tehoakusto, joka tuottaa suurimman osan auton vaatimasta huipputehosta. Kiskoon on liitetty tasajännitemuuntimilla myös energia-akusto ja superkondensaattoripaketti. Tasajännitemuuntimia on käytettävä, jotta virtojen suuntia ja suuruuksia voidaan hallita, jolloin järjestelmästä saadaan suurin hyöty. Esimerkiksi kondensaattoripaketin jännite on suhteessa sen energiatasoon, jolloin sen jännite muuttuu voimakkaasti regeneroinnin aikana.



KUVIO 5. Kolmitasoinen akkujärjestelmä

Myös energia-akusto kannattaa liittää järjestelmään tasajännitemuuntimen avulla, koska kiinteästi liitettynä sen varaustasoa ei voida ohjata suhteessa tehoakustoon. Tällaisen järjestelmän ohjaus tarkkailisi eri haaroissa kulkevia virtoja ja säätäisi tasajännitemuuntimia sen mukaisesti. Energia-akuston ohjaus voisi olla sellainen, että se avustaa tehoakustoa jatkuvasti ajon aikana, mutta ei syötä suuria kiihdytykseen tarvittavia virtoja. Superkondensaattorit purettaisiin kiihdytyksen ja tasaisen ajon aikana lähes tyhjiksi, jotta pitkänkin jarrutuksen tuottama energia voidaan varastoida niihin. Regeneroinnin ja superkondensaattoreiden avulla auton kantama voi kasvaa, ajoprofiilista riippuen, jopa kymmeniä prosentteja. Eniten hyötyä regeneroinnista on mäkisessä maastossa, kun auton potentiaalienergian muutokset ovat suuria.

5 AKUSTON HALLINTA

Litiumakut kestävät väärinkäyttöä huomattavasti heikommin kuin esimerkiksi lyijyakut. Siksi niiden tilaa on syytä tarkkailla ja hallita jatkuvasti, jos halutaan toteuttaa pitkäikäinen litiumakusto. Litiumakut voivat tuhoutua sekä yli- että alilatauksen vuoksi. Alilataus vaurioittaa akun kemiallista rakennetta, jolloin sen kapasiteetti laskee ja voi hävitä jopa kokonaan. Myös ylilataus vaurioittaa akun kemiallista voi olla vaarallinen myös akun lähiympäristölle, koska yliladattu akku kuumenee ja voi vuotaa kaasua ja elektrolyyttiä. Elektrolyytti on usein palavaa nestettä ja akun kuori jotakin muovia, mikä voi johtaa akkupaketin sulamiseen ja palamiseen pitkän ylilatauksen seurauksena. Etenkin kobolttia sisältävät akut voivat myös räjähtää, koska ylilataus tekee akun kemiasta epävakaan. Akustonhallintajärjestelmistä käytetään yleisesti englanninkielistä lyhennettä BMS, joka tulee sanoista ”Battery Management System”.

5.1 Erilaisia hallintatekniikoita

Litiumakuston hallinta perustuu jännite- ja virtasuojaukseen sekä kennojännitteiden tasoitukseen eli balansointiin. Jännitesuojaus tarkoittaa akun jännitteen valvontaa siten, että se ei ylitä valmistajan ilmoittamaa huippuarvoa tai alita ilmoitettua vähimmäisjännitettä. Erillistä ylivirtasuojauksia ei tarvita, jos akusto on mitoitettu oikein suhteessa kuormitukseen, mutta monet BMS-järjestelmät tarjoavat mahdollisuuden virtarajojen asetteluun. Oikosulkuilanteessa akusto suojataan sulakkeella.

Hallintajärjestelmät voidaan karkeasti jakaa digitaalisiin ja analogisiin. Analogisilla järjestelmillä saadaan jännitetiedot, ylivirtasuojaus ja balansointi, mutta niitä on vaikea säätää toimimaan tarkasti ja niiden kommunikointi muiden laitteiden kanssa on puutteellista. Digitaalisia järjestelmiä voidaan mukauttaa tarpeen mukaan ja ne voivat kommunikoida muiden digitaalisten laitteiden kanssa.

5.2 Kennon ja kennosarjan hallinta

Ensimmäiset BMS-ratkaisut valvoivat sarjaan kytkettyjen kennojen kokonaisjännitettä, jonka perusteella voitiin arvioida yksittäisen kennon jännite. Tämän tekniikan heikkoutena on, ettei se kykene paljastamaan yksittäistä rikkoutunutta kennoa sarjan sisältä. Tällöin esimerkiksi yksi oikosulkeutunut akkukenno voi saada koko sarjan näyttämään alijännitteiseltä ja lataustilanteessa muut kennot ylilatautuvat.

Yksittäisen kennon hallinta sen sijaan tarkkailee jokaista akuston kennoa erikseen ja voi yli- tai alijännitehälytyksen sattuessa osoittaa hälytyksen aiheuttaneen kennon. Kennokohtainen tarkkailu parantaa myös balansointimahdollisuuksia, jolloin akuston käyttöikä kasvaa, kun kaikki kennot pysyvät keskenään samassa varaustilassa. Käytännössä balansointi tehdään vain ladatessa ja akusto pidetään latauksessa, kunnes BMS on tasoittanut kaikkien kennojen jännitteen samalle tasolle ja koko akuston varaustila eli SOC on 100 %. Jos käytetään akkuja, jotka kestävät syviä syklejä, voidaan balansointi tehdä myös purkamalla kaikki kennot minimijännitteeseen. Lataustilassa tehtävää balansointia kuitenkin pidetään yleisesti parempana tapana kuin purkutilan balansointia, koska syvä purkautuminen ei ole hyväksi akulle.

Balansoinnin tekniseen toteuttamiseen on kaksi yleistä tapaa. Helpompi tapa on täyteen latautuneiden kennojen ”shunttaaminen” eli ylimääräisen latausvirran johtaminen akkukennon ohi muille kennoille. Tästä aiheutuu latauksen loppuvaiheessa paljon häviötehoa, joka kuumentaa balansointipiiriä. Vaikeampi ja parempi tapa on jakaa latausvirtaa hakkuriteholähteen avulla täydemmiltä kennoilta tyhjemmille. Tämä tekniikka ei välttämättä tarvitse laturia toimiakseen, mutta sen käyttö muulloin kuin latauksen aikana syö akuston kapasiteettia. (Andrea. 2010)

5.3 Varaustilan seuranta

Sähköautossa akuston varaustila vastaa polttomoottoriauton tankin polttoainetasoa. Polttoainetaso on helppo mitata analogisesti ja tarvittaessa vaikka kokeilla tikulla, kuinka paljon nestettä tankissa on. Akkujen varaustilan mittausta ei ole näin yksinkertaista, koska akun jännite pysyy lähes samana varaustilan ollessa noin 10...90 %. Varaustila on siksi arvioitava laskemalla virta- ja jännitemittausten perusteella ja verrattava sitä akuston nimelliskapasiteettiin. Älykäs SOC-mittari huomioi myös akun lämpötilan ja iän vaikutukset käytettävissä olevaan kapasiteettiin. Laaja BMS-järjestelmä voi sisältää myös SOC-mittauksen, jolloin sitä ei tarvitse hankkia erikseen ja järjestelmien välille ei tule yhteensopivuusongelmia.

6 EPORSCHEN AKKUJÄRJESTELMÄ

6.1 Valintaperusteet

Koska ePorsche-projektin budjetti oli lähinnä sponsoroinnin ja apurahojen varassa, jouduttiin monen asian suhteen tekemään kompromisseja. Akustosta piti saada mahdollisimman edullinen, mutta silti suorituskykyinen, turvallinen ja kestävä. Onneksi raha rajoitti myös moottorin tehoa, jolloin akkupaketti voitiin suunnitella melko pieneksi. Projektin luonteen vuoksi varsinaisia mitoitusarvoja ei ollut, vaan jatkuvasti pyrittiin saamaan mahdollisimman paljon mahdollisimman vähällä. Jonkinlaisia tavoitteita kuitenkin asetettiin. Koska akkujen tiedettiin olevan kalliita, tavoiteltiin vain noin 50 km ajosädettä. Pienen ajosäteen vuoksi akkupaketin hinnasta voitiin tinkiä, mutta samalla akuille syntyi vaatimus nopeasta purkautumiskyvystä.

6.2 Akkuvalinnan tulokset

Sopivan akkutyyppin löytäminen kesti kuukausia, kun vähitellen kuultiin lisää erilaisista akkutyypeistä. Aluksi etsittiin mahdollisimman edullisia akkuja. Niiden tehotehiheys ei kuitenkaan riittänyt muunnoksen tarpeisiin, joten alettiin etsiä tehokkaita akkuja. Monet tehokkaat akut osoittautuivat paloherkiksi, minkä vuoksi niitä ei haluttu ottaa projektiin. Lopulta löydettiin akku, joka on tehokas, turvallinen ja suhteellisen edullinen. Ensimmäisen vaiheen akusto tullaan siis toteuttamaan Headway 38120P -sylinteriakuilla. Sylinteriakkujen nimeäminen on vakiintunut siten, että nimestä näkee suoraan kennon mitat. Esimerkiksi 38120P:n halkaisija on 38 mm ja pituus 120 mm. Datalehdessä (liite 1) käy kuitenkin ilmi, että kyseinen akkumalli on oikeasti hieman pidempi kuin 120 mm, koska kennon päihin on lisätty ruuviliittimet. Numerosarjan perässä oleva kirjain P on valmistajakohtainen ja tarkoittaa tässä tapauksessa suuren tehotehiheyden akkutyyppiä.

Liitteessä 1 on valitun akkumallin datalehti. Siitä löytyvien tietojen avulla voidaan laskea akuston sähköiset ominaisuudet. Sähköautojen akustojännitteet ovat usein 300...400 V, joten ePorschen akusto päätettiin tehdä 105 kennon sarjoista. Akuston nimellisjännite U_N muodostuu kaavan 1 mukaisesti.

$$U_N = n_s \cdot U_n = 105 \cdot 3,2 \text{ V} = 336 \text{ V} \quad (1)$$

jossa n_s on sarjankytkettyjen kennojen lukumäärä

U_n on yhden kennon nimellisjännite

Ladattaessa akuston jännite nousee huomattavasti nimellisarvostaan, mikä on huomioitava erityisesti laturin valinnassa, jotta lataus voidaan tehdä loppuun asti. Akuston suurin sallittu latausjännite U_{CHR} lasketaan kaavan 2 mukaisesti.

$$U_{CHR} = n_s \cdot U_{chr} = 105 \cdot 3,65 \text{ V} = 383 \text{ V} \quad (2)$$

jossa U_{chr} on yhden kennon suurin sallittu latausjännite

Myös akuston purkamisen loppuvaiheessa sen jännite alkaa laskea voimakkaasti. Akustoa käyttävät sähkölaitteet tulisi valita siten, että ne kytkeytyvät pois päältä ennen minimijännitteen saavuttamista. Näin vältetään

syväpurkautumiselta, joka on haitallista akustolle. Akuston pienin sallittu purkujännite U_{OFF} lasketaan kaavan 3 mukaisesti.

$$U_{OFF} = n_s \cdot U_{off} = 105 \cdot 2,0 \text{ V} = 210 \text{ V} \quad (3)$$

jossa U_{off} on yhden kennon pienin sallittu purkujännite

Akuston sisältämä energia E_{TOT} , joka määrää suurelta osin auton ajosäteen, lasketaan kaavan 4 mukaisesti.

$$E_{TOT} = n_p \cdot U_N \cdot C = 2 \cdot 336 \text{ V} \cdot 8 \text{ Ah} = 5,4 \text{ kWh} \quad (4)$$

jossa n_p on rinnankytkettyjen kennosarjojen lukumäärä

Valmistaja ilmoittaa yksittäiselle akulle suurimman sallitun jatkuvan purkuvirran, josta saadaan koko akuston suurin sallittu purkuvirta I_{DIS} kaavalla 5. Datalehden mukaan akkua voidaan hetkellisesti kuormittaa suuremallakin virralla, mutta pyrimme mitoittamaan sähköjärjestelmän siten, että jatkuvan kuormitusvirran ylärajaa ei ylitetä edes hetkellisesti. Näin menetellään, koska tiukempien kuormitusrajojen asettamisen oletetaan lisäävän akuston käyttöikä.

$$I_{DIS} = n_p \cdot I_{dis} = 2 \cdot 120 \text{ A} = 240 \text{ A} \quad (5)$$

jossa I_{dis} on yhden kennon suurin sallittu jatkuva purkuvirta

Nimellisjännitteen ja maksimivirran perusteella voidaan laskea akuston huipputeho kaavan 6 mukaisesti. Käytännössä kuormitusvirta aiheuttaa jännitehäviöitä johtimissa ja akkukennoissa, jolloin laskennallista huipputehoa ei aivan saavuteta.

$$P_{MAX} = U_N \cdot I_{DIS} = 336 \text{ V} \cdot 240 \text{ A} = 80,6 \text{ kW} \quad (6)$$

Myös suurin sallittu latausvirta on ilmoitettu. Akuston suurin sallittu latausvirta I_{CHR} , joka on aina purkuvirtaa pienempi, lasketaan kaavalla 7.

$$I_{CHR} = n_p \cdot I_{chr} = 2 \cdot 40 \text{ A} = 80 \text{ A} \quad (7)$$

jossa I_{chr} on yhden kennon suurin sallittu latausvirta

Akun valmistaja ilmoittaa kennolle joko sisäisen resistanssin, impedanssin tai molemmat. Headway ilmoitti vain impedanssin. Akuston kokonaisimpedanssi Z_{ESR} lasketaan kaavan 8 mukaisesti.

$$Z_{ESR} = \frac{n_s \cdot Z_0}{n_p} = \frac{105 \cdot 5 \text{ m}\Omega}{2} = 0,26 \Omega \quad (8)$$

jossa Z_0 on yhden kennon sisäimpedanssi

Oikosulkuutilanteessa akku kykenee antamaan melko suuren oikosulkuvirran. Oikosulun jatkuessa akun rakenne alkaa rajoittaa virtaa ja akun lämpötila kohoaa runsaasti, mikä voi vaurioittaa sitä. Siksi suojalaitteilla olisi huolehdittava, että virtapiiri katkeaa vikatilanteessa. Oikosulkuvirran alkuarvo I_{K0} voidaan laskea kaavan 9 mukaisesti. Oikosulkuvirran suuruus on riippumaton vikapaikan sijainnista.

$$I_{K0} = \frac{U_N}{Z_{ESR}} = \frac{336 \text{ V}}{0,26 \Omega} = 1280 \text{ A} \quad (9)$$

Muunnossähköauton rakentamisessa on tiedettävä akuston massa, jotta auton akseli- ja omamassa voidaan säilyttää suunnilleen alkuperäistä vastaavina. Akuston kennojen massa lasketaan kaavalla 10. Kennojen lisäksi akuston massaan vaikuttavat liitäntätarvikkeet, suojalaitteet ja akuston kotelointi.

$$m = m_1 \cdot n_s \cdot n_p = 0,3 \text{ kg} \cdot 105 \cdot 2 = 63 \text{ kg} \quad (10)$$

jossa m_1 on yhden akkukennon massa

Kaavoilla 1...10 lasketut arvot kirjattiin taulukkoon 2.

TAULUKKO 2. Akkukennoston ominaisuudet

Suure	Arvo	Suure	Arvo
U_N	336 V	P_{MAX}	80,6 kW
U_{CHR}	383 V	I_{CHR}	80 A
U_{OFF}	210 V	Z_{ESR}	0,26 Ω
E_{TOT}	5,4 kWh	I_{K0}	1280 A
I_{DIS}	240 A	m	63 kg

6.3 BMS ja laturi

Muunnosprojekti on näiden osa-alueiden osalta vielä kesken, koska laturin toimittaja vetäytyi viime hetkellä eikä suunnitteluryhmään toistaiseksi kuulu henkilöä, joka ymmärtäisi täysin BMS-järjestelmien toiminnan. BMS-järjestelmät ovat usein kalliita, minkä vuoksi projekti tarvitsee aiheesta asiantuntemusta, jotta turhilta investoinneilta vältyttäisiin.

7 YMPÄRISTÖKYSYMYKSET

Sähköautoilun kuvitellaan olevan täysin päästötöntä ja lähes ilmaista. Tähän mielikuvaan kuuluu kuitenkin vain sähköauton paikallinen vaikutus. Sähköautojen hankintahinnat ovat ainakin toistaiseksi huomattavasti polttomoottorimalleja kalliimpia. Myöskään ympäristöystävällisyydestä ei ole täyttä varmuutta, koska lähes kaikki litiumakkutehtaat sijaitsevat Aasiassa, jossa ympäristöpolitiikka ei tunnetusti ole kovin rajoittavaa. Akkujen ympäristöystävällinen valmistus on kuitenkin mahdollista ja ainakin Tesla Motors:illa on Kinsbursky Brothers -yhtiön kanssa kierrätysuunnitelma, jonka mukaan 60 % käytetystä akusta voidaan kierrättää. Tulevaisuudessa, kun akut yleistyvät ja niiden kierrättämisestä tulee kannattavampaa, voidaan kierrätysastetta kasvattaa huomattavasti. (Tesla Motors).

Vaikka akkujen kierrätys olisi täydellistä, miettii moni käytettävän sähkön ympäristöystävällisyyttä. Energiapolitiikkaan ei tässä työssä oteta kantaa, mutta yleisesti voidaan todeta, että sähköauton aiheuttama hiilidioksidipäästö kilometriä kohti on aina pienempi kuin vastaavalla polttomoottoriautolla. Vaikka sähköauto ladattaisiin fossiilisilla polttoaineilla tuotetulla sähköllä, niin sähköntuotantolaitoksen hyötysuhde saadaan paremmaksi kuin auton polttomoottorin hyötysuhde. Sähkö- ja hybridiautoissa voidaan hyödyntää myös jarrutusenergian talteenottoa, joka parantaa auton energiatehokkuutta.

8 SÄHKÖAUTOJEN TULEVAISUUS

Sähköautoilun tulevaisuus näyttää valoisalta, koska hiilidioksidi ja kasvihuoneilmiö ovat energiapolitiikan voimasanoja. Suuret autonvalmistajat ovat jo tehneet alusta asti sähköautoksi suunniteltuja malleja, jolloin autot on voitu todeta turvallisiksi. Tämän hetken suurin ongelma on akusto, jonka hinta ja energiasisältö eivät tyydytä kuluttajaa. Tähän voidaan kuitenkin odottaa muutosta lähivuosina, koska akkujen kehitykseen on investoitu runsaasti sähköautojen suosion kasvaessa.

Muunnossähköautojen tulevaisuus sen sijaan näyttää heikolta ainakin Suomessa. Ajoneuvoihin liittyvä lainsäädäntö on monimutkaista ja viranomaiset ovat tarkkoja vaatimusten täyttymisestä. Sähköautomuunnoksen tekeminen ei ole taloudellisesti kannattavaa ja muunnoksen tekeminen vaatii pitkäaikaista omistautumista projektille. Näiden asioiden vuoksi polttomoottoriautoja muunnetaan sähköisiksi vain innokkaissa harrastajapiireissä. Jos autotehtaat alkavat tuottaa edullisia sähköautoja, jäänee muunnostoiminta tarpeettomaksi ja muunnoskomponenttien hinnalla voi saada varmatoimisen ja tieliikennekäyttöön hyväksytyt sähköauton.

Nykyään sähköauton omistajat ovat vähemmistössä, mutta lähivuosikymmenten aikana tilanne voi kääntyä päinvastoin. Etenkin Euroopassa on jo muutettu autojen verotusta siten, että paljon polttonestettä kuluttavan auton omistaja joutuu maksamaan moninkertaisesti veroja verrattuna esimerkiksi hybridautoilijaan. Keski-Euroopassa suuripäästöisillä autoilla ei edes saa ajaa kaikkiin kaupunkiin. Tämänkaltaiset poliittiset päätökset ohjaavat tehokkaasti ihmisten autoilutottumuksia ja tietyt automallit päätyvät entistä useammin romuttamolle, koska ne eivät enää kelpaa kenellekään. Täten voidaan sanoa, että tulevaisuuden autokannan rakenne on poliitikkojen päätettävissä.

9 YHTEENVETO

Projektin alkuvaiheessa oli jo aistittavissa, ettei muunnosta saada toteutettua ennen kesää. Aikataulun pettämiseen vaikutti suuresti projektin pieni budjetti, jonka vuoksi komponentteja pyrittiin ensisijaisesti hankkimaan sponsorisopimusten kautta. Asioiden kulkua ei myöskään nopeuttanut se, että muunnosprojektiryhmän jäsenet olivat ensimmäistä kertaa mukana tällaisessa projektissa eikä projektia tehty täysipäiväisesti. Toisaalta täysipäiväinen työskentely projektin parissa ei ehkä olisi ollut tarpeen, koska tietoa välitettiin paljon sähköisesti. Opinnäytetöiden valmistuessa autosta puuttuu edelleen mm. moottori ja laturi, jotka ovat kriittisiä komponentteja projektin edistymisen kannalta.

Akkuvalinta varmistettiin ja valitut akkukennot tilattiin juuri ennen kesää, joten akuston kasaaminen siirtyy syksyyn, jolloin ehkä lisää opiskelijoita osallistuu projektiin. Datalehtien ja keskustelupalstojen perusteella Headway 38120P - akkukennot vaikuttavat sopivan hyvin ePorschen energiavarastoksi ja valmista sähköautomuunnosta odotetaan tieliikennekäyttöön vuoden 2012 aikana.

SANASTOA JA LYHENTEITÄ

Ah	Ampeeritunti, akun kapasiteetin yksikkö
BMS	Battery management system, akustonhallintajärjestelmä
C (suure)	Akun kapasiteetti
C (yksikkö)	Akun kapasiteettiin verrannollinen virta
DOD	Depth of discharge, akun purkauksen syvyys
EDLC	Electric double-layer capacitor, superkondensaattori
LFP	LiFePO ₄
LiFePO ₄	Lithium-iron phosphate, Litiumrautafosfaatti
Li-ion	Lithium-ion, litiumioni
Lipoly	Lithium polymer, litiumpolymeeri
SC	Super capacitor, superkondensaattori
SOC	State of charge, akun varauksen taso
SOH	State of health, akun kunto
UC	Ultra capacitor, superkondensaattori
Anodi	Akun positiivinen elektrodi / napa
Katodi	Akun negatiivinen elektrodi / napa
Primary battery	Kertakäyttöinen paristo
Secondary battery	Ladattava paristo

LÄHTEET

A123Systems. 2008. ANR26650 datalehti. Luettu 23.12.2010
http://www.flinkenberg.fi/batteries/material/a123/ANR26650M1_Datasheet_MARCH_2008.pdf.

Aifantis K.E., Hackney S.A., Kumar R.V. 2010. High Energy Density Lithium Batteries. Weinheim. WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

Andrea D. 2010. Battery Management Systems. USA. Artech House.

Tesla Motors Inc. 2011. Recycling our Non-Toxic Battery Packs
Luettu 18.4.2011.
<http://www.teslamotors.com/blog/mythbusters-part-3-recycling-our-non-toxic-battery-packs>

Thunder Sky. 2007. Thunder Sky Instruction Manual. Luettu 31.3.2011.
<http://dl.dropbox.com/u/11903742/Thunder%20Sky%20Catalog%20-%20Instruction%20manual.pdf>

Toyota. 2011. Toyota Prius hybridi HSD. Luettu 31.3.2011.
http://www.toyota.fi/cars/new_cars/prius/index.aspx.

Whitacre J. 2010. Lithium-Ion Batteries. Robotics Institute, Carnegie Mellon University. Luento. Katsottu 23.12.2010.
http://www.ri.cmu.edu/video_view.html?video_id=60&menu_id=387.

YTWHW.com. Uutisartikkeli. Luettu 5.3.2011.
<http://www.ytwhw.com/2011/0304/New-Sumitomo-Electric-Battery-90-Cheaper-Than-Lithium-Ion-Nikkei.html>.

LIITTEET

1 - Headway 38120P datalehti

1、 Range of application

This Specifications is apply to the Li-ion battery.

2、 kinds of models

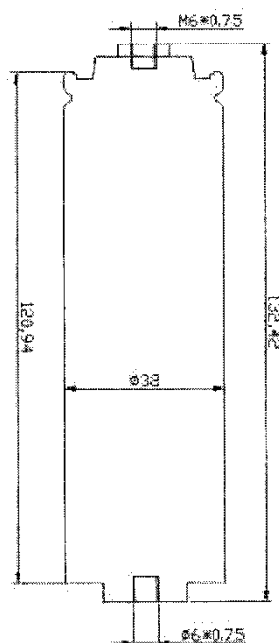
2.1 kind: Cylindrical Li-FePO4 battery

2.2 model: HW 38120P

3、 technoolgy parameter

No.	Item	specification	
3-1	normal capacity	8000mAh (0.5c)	
3-2	normal voltage	3.2V	
3-3	Inter impedance	$\leq 5m\Omega$	
3-4	Maximum Charge Current	5C (40A)	
3-5	Maximum Charge Voltage	$3.65 \pm 0.05V$	
3-6	Maximum continous Discharge Current	15C (120A)	
	Maximum Discharge Current	20C (160A)	
3-7	discharge stop voltage	2.0V	
3-8	dimension	diameter	$38 \pm 1mm$
		height	$122 \pm 1mm$ ($132 \pm 1mm$)
3-9	weight	Appro. 300g	
3-10	Work temperature	charge	0~45°C
		discharge	-20~60°C
3-11	Store temperature	In one month	-20~45°C
		In sit month	-20~35°C

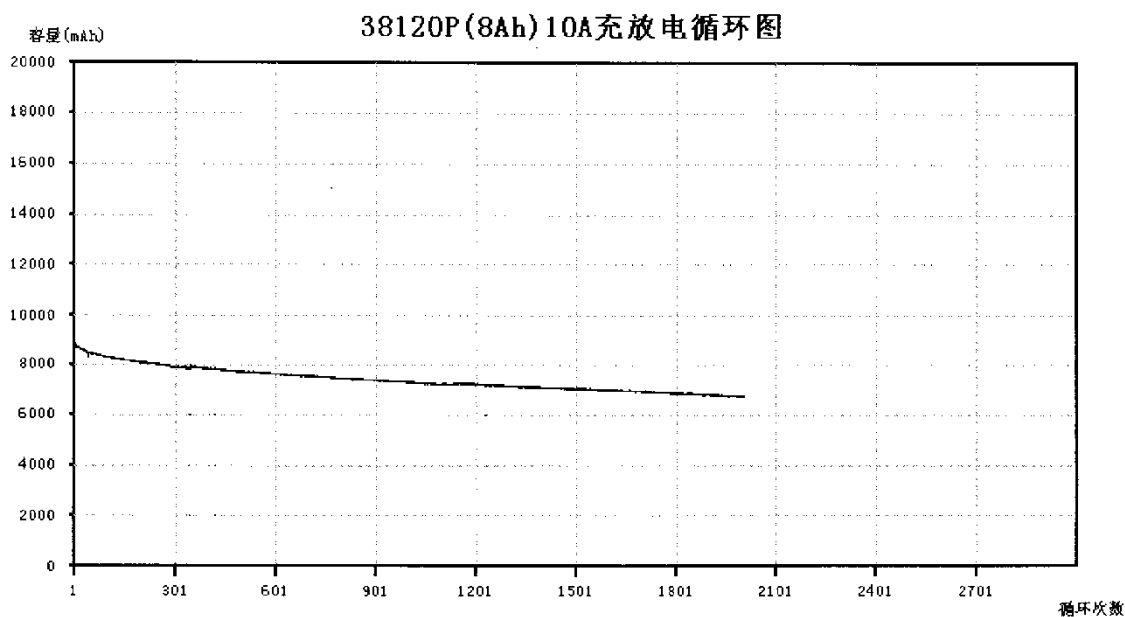
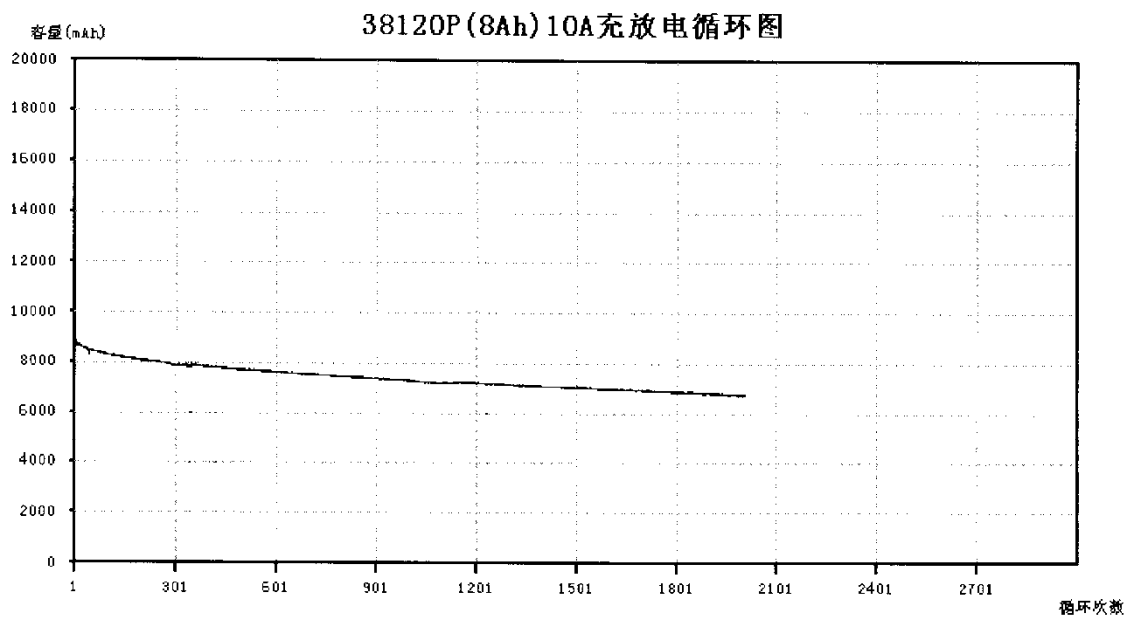
*The battery need to be in the condition of half full charge or the voltage about 3.2-3.3

Dimension of battery

HeadWay

版本: A1

编号: HeadWay-WI-RD-01



4. Standard test conditions

Measurements are carried out at $20 \pm 5^\circ\text{C}$ and relative humidity of $65 \pm 20\%$. Accuracy of voltmeters

4. Test conditions

4.1 experiment and test should at the normal temperature ($20 \pm 5^\circ\text{C}$) or the normal humidity (65

HeadWay

版本: A1

编号: HeadWay-WI-RD-01

±20%) .

Normal charge: adopt to constant current then constant voltage: constant current is 0.5C(5000mA), constant voltage is 3.65V, charge is stopped when the current low to 160mA during constant voltage process.

Normal discharge: discharge with constant current 5000mA and discharge to 2.0V.

4.2 the equipments of Test

Voltmeter Impedance >1000Ω /one

Ammeter total resistance (ammeter and line) <0.01Ω

Vernier caliper precision 0.02mm

5. Li-ion Battery Characteristics

Test item	Test conditions	Requirements
(1)Outside Appearance	Visual check	No abnormal stain, Deformation nor damage
(2) starting voltage	Starting voltage in an hour After the normal charge	≥3.3V
(3) Standard charge	Battery shall be charged continuously at the constant current of 0.2C ₅ mA to 3.65V, then charge at the constant voltage of 3.65V until the end current of 0.01C ₅ mA	
(4)Standard discharge	Battery shall be discharged continuously at the constant current of 0.2C ₅ mA to 2.0V	
(5)Rated Capacity	Battery shall be charged in Item (3) and discharged in Item (4) within 10 minutes after full charged. If the discharge capacity does not reach the specified value, the test may be repeated up to three times in total.	Capacity≥8000mAh
(6)Cycle Life(20℃)	Battery shall be charged continuously at the constant current of 0.5C ₅ mA to 3.65V then charge at the constant voltage of 3.65V until the current of 200mA and discharged continuously at the constant current of 0.5C ₅ mA to 2.0V. A cycles defined as one charge and discharge, carry out cycles until discharge capacity <70% C ₅ Ah.	≥2000cycles
(7)High temperature discharge	Battery shall be charged in Item (3) and discharged at the constant current of 1.0C ₅ mA to 2.0V within 10 minutes after full charged. If the discharge capacity does not reach the specified value, the test may be repeated up to three times in total.	Capacity≥7200mAh
(8)Low temperature discharge	Battery shall be stored under -10℃±2℃ for 4h after charged in Item (3), then discharged at constant current of 0.5C ₅ mA to 2.0V	Capacity≥5400mAh
(9)Drop Test	Drop 100% charged test sample from 1 meter above onto concrete board with more than 5cm thickness two times	No rupture, fire, smoke, Nor critical damage ≥ 90%

HeadWay

版本: A1

编号: HeadWay-WI-RD-01

	each for every direction after rated charge. After test , cells are discharge at constant current of 0.2 CmA	CmA
(10)Vibration Test	Vibrate test sample for 90minutes per each of the three mutually perpendicular axis(x, y, z)after rated charge. Amplitude: 0.38mm(10-30Hz) ; 0.19mm (30-55Hz) Frequency: 10-55Hz (loct/min)Direction: X, Y, Z.	No rupture, fire, smoke, Nor critical damage $\geq 90\%$ CmA
(11)Hot Oven Test	The charged batteries are to be heated in a gravity convection or circulating air oven. The temperature of the oven is to be raised at a rate of $5\pm 2^{\circ}\text{C}$ per minute. The oven is to remain for 30 minutes at $130\pm 2^{\circ}\text{C}$ before the test is discontinued.	No fire, Nor explosion
(12)Over charge	Battery should be tested at $20\pm 5^{\circ}\text{C}$, Battery shall be discharged at 1C5mA current until end voltage. then connect cathode on DC powe, adjust the output current to 15I5A , output voltage shouldn't lower than 10V . charging is continued for 7 hours or voltage will not improve and the current will reached 0.	No fire, Nor explosion
(13)Over discharge	Battery is tested at $20\pm 5^{\circ}\text{C}$, Battery discharged continuously with 15A to end voltage. then Reverse charge 90 min. with 5I5A.	No fire, Nor explosion
(14)Short Circuit Test	Battery shall be charged in item(3), Connect battery terminals with electric wire(electric resistance: 50m Ω or less), short circuit , when the temperature will be lower than 10, the test will be end.	No fire, Nor explosion
(16)Storage characteristics	Battery shall be charged in Item (3) , and stored in a temperature-controlled environment at $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ for 30 days. After storage, Battery shall be discharged in Item (4) to obtain the remaining capacity.	Remaining capacity $\geq 90\%$ CmA

6. Remark

- 6.1 please don't let the battery near to hot, fire etc.
- 6.2 please use special charger.
- 6.3 polarity is not reversed.
- 6.4 The battery has the safe equipment, please don't dissect the battery or change the structure of battery for your safe.
- 6.5 Ban to connect directly anode and cathode of battery with the metal.
- 6.6 Ban to beat or throw the battery.
- 6.7 Battery should keep it in the dry and cool place. ban to put the battery into the water
- 6.8 Charging before using if the battery haven't be used in 6 month.

7. Quality guarantee period

- 7.1 quality guarantee period: 2 years from the date of original shipment.

HeadWay

版本: A1

编号: HeadWay-WI-RD-01

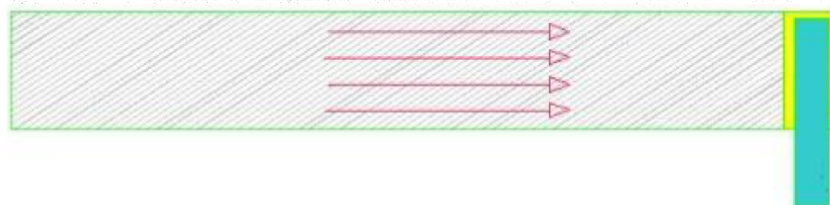
7.2 our company has no responsibility, if using the battery without regulation ways,

5、 transport

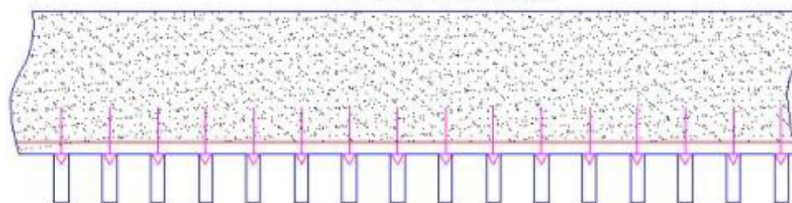
battery should avoid to Vibration , impact , exposed to the sun and rain. And battery is half-full capacity on passage.

HeadWay**Technical comparing**

1. Traditional small cylindrical cell technical
The current was collected lengthways



2. patent technology



The current was collected with Horizontal, current is uniform distribution