



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

KANNETTAVA KAIUTINYKSIKKÖ

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Tietotekniikka
Tietokone-elektronikka
Opinnäytetyö
Kevät 2014
Pave Jeskanen

Lahden ammattikorkeakoulu
Tietotekniikka

JESKANEN, PAVE:

Kannettava kaiutinyksikkö

Tietokone-elektroniikan opinnäytetyö, 45 sivua, 1 liitesivu

Kevät 2014

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja toteuttaa laite, jolla pystyy toistamaan audioraitoja miltä tahansa 3,5 millimetrin audioliitännän omaavalta laitteelta. Laitteen oli tarkoitus olla kannettava, eli sen oli oltava ladattava ja sen käyttöä yhdellä latauksella oli oltava mahdollisimman pitkä. Laitteessa oli myös tarkoitus olla pari aurinkopaneelia, jotka lataisivat akkuja.

Tarkoituksena oli tutustua eri komponentteihin ja piireihin teoreettisella tasolla. Teoreettisen tutustumisen jälkeen oli tarkoitus suunnitella ja luoda piirilevyt, valittava komponentit sekä tutustua reflow-tekniikkaan fyysisen kokonaisuuden tuottamiseksi. Tuloksia pyrittiin havainnollistamaan esimerkkien, kaavojen, kuvioiden ja taulukoiden avulla.

Laitteessa on kaksi akkupakettia, kaksi latausyksikköä, boost-hakkuri, vahvistin, mikrokontrolleriyksikkö ja lcd-näyttö, jota mikrokontrolleri ohjaa. Laitteessa oli tarkoitus olla myös pari aurinkopaneelia, joiden integroiminen laitteeseen jäi aikataulun puitteissa kesken. Mikrokontrollerin ohjelma tehtiin C-ohjelmointikielellä.

Asiasanat: ladattavat akut, aurinkopaneelit, akkujen lataaminen, boost-hakkuri, vahvistin, mikrokontrolleri, reflow

Lahti University of Applied Sciences
Information Technology

JESKANEN, PAVE:

Portable speaker system

Bachelor's Thesis in computer electronics, 45 pages, 1 page of appendices

Spring 2014

ABSTRACT

The objective of this Bachelor's Thesis' was to design and implement a device which can play audio tracks from any device that has a 3.5 millimeter audio jack. The device was meant to be portable so it should have batteries that are rechargeable and the batteries should last as long as possible with one charge. There was also meant to be a few solar panels to charge the batteries.

The first step was to examine different components and circuits to get theoretical information about them. The next step was to design and implement printed circuit boards, choose the required components to them and to examine reflow soldering to create the circuit boards. The results are demonstrated with examples, equations, figures and tables.

The device has two rechargeable battery packs, two charger units, a boost converter, an amplifier, a microcontroller unit and a liquid-crystal display which is controlled by the microcontroller. There was meant to be a few solar panels but they were not implemented because of lack of time. The program on the microcontroller was coded with the C programming language.

Key words: rechargeable batteries, solar panels, battery charging, boost converter, amplifier, microcontroller, reflow

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	AKKUPAKETTI	2
2.1	Akkutyypit	3
2.1.1	Nikkeli-kadmiumakku	3
2.1.2	Nikkeli-metallihydridiakku	4
2.1.3	Litium-ioniakku	4
2.1.4	Litiumpolymeeriakku	5
2.1.5	Litium-rautafosfaattiakku	6
2.2	Akkujen valinta	6
2.3	Akkujen kytkennät	7
2.4	Akkujen lataaminen	9
3	AURINKOPANEELI	10
3.1	Paneelityypit	11
3.1.1	Yksikidepaneeli	11
3.1.2	Monikidepaneeli	11
3.1.3	Ohutkalvopaneeli	11
3.2	Aurinkopaneelien kytkennät	12
4	LATAUSYKSIKKÖ	15
4.1	Microchip MCP73223	15
4.2	Piirilevy	17
5	BOOST-HAKKURI	19
5.1	Maxim Integrated MAX1771	19
5.2	Piirilevy	21
6	VAHVISTIN	23
7	MIKROKONTROLLERIYKSIKKÖ	25
7.1	Atmel ATmega328	25
7.2	Analogia-digitaalimuunnos	26
7.3	Jännitetason mittaaminen	27
7.4	Offsetting	28
7.5	Mikrokontrollerin ajastin	31
7.6	Ulkoisen laitteen lataaminen USB-portin kautta	34
7.7	Piirilevy	37

8	REFLOW-JUOTOSTEKNIikka	39
9	JATKOKEHITYSIDEAT	41
10	YHTEENVETO	42
	LÄHTEET	43
	LIITTEET	46

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aiheena on kannettava kaiutinyksikkö. Aiheen avulla on tarkoitus tutustua moniin eri osa-alueisiin, mitä sen toteuttamiseen tarvitaan.

Aluksi tutustuin akku- ja aurinkopaneelityyppeihin, joista valitsin sitten tähän opinnäytetyöhön parhaiten sopivat mallit. Valitsin jokaiseen yksikköön soveltuvan elektronisen piirin ja sovelsin piirien valmistajien datalehdissä antamia kytkentäkaavoja valitakseni tarvittavat komponentit ja suunnitellakseni mahdollisimman hyvät piirilevyt näille yksiköille. Erilaisia yksiköitä opinnäytetyössä on neljä: latausyksikkö, boost-hakkuri, vahvistin ja mikrokontrolleri-yksikkö, joilla jokaisella on oma tehtävänsä.

Latausyksikkö huolehtii akkujen latauksesta. Boost-hakkuri muuntaa akuilta tulevan jännitteen vahvistimelle sopivalle tasolle. Vahvistin ottaa vastaan pienivolyymisen audiosignaalin esimerkiksi kännykältä ja toistaa sen vahvistettuna kaiuttimien kautta.

Mikrokontrolleriyksikkö on suuressa asemassa tässä opinnäytetyössä, sillä se monitoroi monia eri osa-alueita, tärkeimpänä akkujen varaustilaa. Ladattavat akut eivät kykene antamaan jatkuvasti tasaista jännitettä, vaan niiden jännitetaso laskee akun varaustilan pienetessä. Tämä luo omat haasteensa, jotta jännitettä pystyisi lukemaan mikrokontrollerin ADC-toiminnolla. Toisaalta juuri tämä akkujen ominaisuus mahdollistaa kohtalaisen yksinkertaisen akkujen varaustilan monitoroinnin.

Opinnäytetyön piirilevyt on suunniteltu CadSoftin Eagle PCB -ohjelmalla, mikrokontrollerin suorittama ohjelma on tuotettu Atmelin Atmel Studio 6 -ohjelmalla sekä kytkentöjen simuloinnit on tehty National Instrumentsin Multisim 12 -ohjelmalla. Laitteiston kokonaisuus on esitetty vuokaaviona liitteessä 1.

2 AKKUPAKETTI

Akkupaketti toimii valmiin kokonaisuuden virtalähteenä, jonka pystyy lataamaan tarvittaessa. Ottaen huomioon, että laitetta tullaan käyttämään päätarkoituksellisesti ilman mahdollisuutta verkkovirtaan, on parempi käyttää ladattavia akkuja, kuin kertakäyttöisiä alkaliparistoja. Tällöin säästytään jatkuvalta paristojen vaihtamiselta, jolloin esimerkiksi liittimet eivät kulu. Markkinoilla on monia erilaisia akkuja, jotka on valmistettu erilaisista materiaaleista ja joiden ominaisuudet vaihtelevat usein paljonkin.

Tähän projektiin olisi tarkoitus saada akut, jotka kestävät pitkään yhdellä latauksella, jolloin akkuja ei tarvitsisi jatkuvasti ladata. Akkujen pitkäkestoisuuteen vaikuttaa suure milliampeeritunti (mAh), joka tarkoittaa sitä, kuinka monta tuntia akun varaus kestää tietyllä virrankulutuksella. Esimerkiksi 1000 milliampeeritunnin akku kestää yhden tunnin, kun virrankulutus on 1000 milliampeeria.

Toinen suuri kriteeri akkujen valinnassa on niiden käyttöikä, eli miten monta latausta ja purkua akut kestävät. Yleisimmille akuille tämä on noin 500 latausjaksoa. Koska kyseessä on kannettava laite, piti myös akkujen paino ottaa huomioon, eli mitä kevyempi, sen parempi. Myös akkujen energiatiheys oli hyvä ottaa huomioon. Energiatiheys kuvaa akun energiaa suhteessa sen massaan. Tämä on esitetty kaavassa 1.

$$w = \frac{E}{m} \quad \text{jossa} \quad (1)$$

w = energiatiheys (Wh/kg)

E = energia (Wh)

m = akun massa (kg)

Kaavassa 1 oleva energia lasketaan kaavalla 2 (Rapid Tables 2014).

$$E = Q * \frac{U}{1000} \quad \text{jossa} \quad (2)$$

E = energia (Wh)

Q = akun varaus (mAh)

U = akun jännite (V)

2.1 Akkutyypit

Valitsin tutkittavaksi kaksi nikkeli-tekniikkaan pohjautuvaa akkua, nikkeli-kadmium- sekä nikkeli-metallihydridiakut ja kolme litium-tekniikkaan pohjautuvaa akkua, litium-ioni-, litiumpolymeeri- sekä litium-rautafosfaattiakut. Nämä viisi ovat yleisimpiä akkutyyppejä, eli niitä käytetään paljon monissa eri sovelluksissa ja ovat täten helposti saatavilla kuluttajamarkkinoilta. Karsin akkutyyppeihin perehtymisen alkuvaiheissa pois lyijyakut niiden suuren painon ja huonon energiatiheuden takia.

2.1.1 Nikkeli-kadmiumakku

Nikkeli-kadmiumakut (NiCd) ovat yksiä vanhimmista akkutyypeistä. Niiden nimellinen jännitearvo on 1,2 voltia, ja niiden kapasiteetti on kohtalaisen suuri. Nämä akut kestävät paljon kaltoinkohtelua, eli ne eivät vahingoitu helposti esimerkiksi ylilatauksesta ja niitä voidaan kuormittaa yli kymmenkertaisella virralla niiden kapasiteettiin nähden. Esimerkiksi 1,2 ampeeritunnin akkua voidaan kuormittaa 12 ampeerilla. Tästä seikasta huomataan, että niiden sisäinen resistanssi on pieni. Turvallisuutensa ja kestävyytensä takia nikkeli-kadmiumakut ovat pitkäikäisiä; ne kestävät noin 400 - 1000 latausjaksoa ja niiden kapasiteetti laskee minimaalisesti latausjaksojen kertyessä. Nämä akut toimivat hyvin myös matalissa lämpötiloissa, ja ne voidaan säilyttää lataamattomina ilman niiden eliniän pienenemistä. (Battery University 2014d.)

Negatiivisina asioina mainittakoon, että nikkeli-kadmiumakut eivät ole kovin ympäristöystävällisiä. Niiden sisältämä kadmium on myrkyllinen metalli, ja tämän vuoksi ne ovat vertailtavista akuista myrkyllisin akkutyyppeistä, eli ne täytyy hävittää niille tarkoitetuin keinoin. Niillä on myös kohtalaisen matala energiatiheys uusimpiin akkutyyppeihin verrattuna, ja niiden varaus purkautuu nopeasti

itsestään (20 % kuukaudessa), joten ne täytyy ladata aina varastoinnin jälkeen. Ajan kuluessa nikkeli-kadmiumakut saattavat oikosulkeutua sisäisesti tehden niistä käyttökelvottomia. (Battery University 2014d.)

2.1.2 Nikkeli-metallihydridiaku

Nikkeli-metallihydridiakut (NiMH) ovat kevyempiä, niillä on suurempi kapasiteetti ja noin 30 % - 40 % suurempi energiatiheys verrattuna NiCd-akkuihin. NiMH-akut eivät sisällä myrkyllisiä metalleja vaan laimeita metalleja, joten ne ovat ympäristöystävällisempiä kuin NiCd-akut. Nikkeli-metallihydridiakujen nimellisjännite on 1,2 voltia, ja ne kestävät noin 500 - 1000 latausjaksoa menettämättä juuri ollenkaan kapasiteettiä latausjaksojen kertyessä. Nämä akut ovat halvempia ja turvallisempia kuin litium-ioniakut. (Battery University 2014d.)

NiMH-akuilla on matalampi energiatiheys verrattuna litium-ioniakkuihin. Ne myös purkautuvat kohtalaisen nopeasti itsestään, noin 30 % kuukaudessa, ja ne täytyy varastoida viileässä ja 40 % varauksessa käyttöön pidentämiseksi. Nikkeli-metallihydridiakut vaativat monimutkaisen latausalgoritmin, koska ne lämpenevät nopeassa latauksessa ja suurella purkuvirralla, eli niitä ei voida ladata nopeasti ilman käyttöön lyhenemistä. Tämän takia NiMH-akut ovat huomattavasti herkempiä vaurioitumaan ylilatauksesta ja eivät kestä kovinkaan paljoa kaltoinkohtelua verrattuna nikkeli-kadmiumakkuihin. (Battery University 2014d.)

2.1.3 Litium-ioniaku

Litium-ioniakkujen (Li-ion) nimellisjännite on 3,6 voltia. Tämä on reilusti suurempi verrattuna nikkeli-tekniikoilla toteutettuihin akkuihin, ja jotta niillä pääsisi samaan lukemaan, pitäisi niitä kytkeä kolme sarjaan. Litium-ioniakkujen energiatiheys on noin kaksi kertaa suurempi ja ne purkautuvat itsestään noin puolet vähemmän eli noin 10 % kuukaudessa, verrattuna nikkeli-kadmiumakkuihin. Litium-ioniakut kestävät noin 1000 latausjaksoa kapasiteetin pienenemisen pysyessä minimissä. (Battery University 2014c.)

Litium-ioniakut vaativat suojauspiirin turvallisen käytön ylläpitämiseksi. Tämä suojauspiiri rajoittaa piikkijännitteitä akuille latauksen aikana sekä estää akkujen jännitteitä putoamasta liian alas kuormituksessa. Nämä akut eivät ole myöskään kovin turvallisia, sillä ne voivat vääriinkäytöstä, oikosulusta tai vioittumisesta johtuen kuumeta ja räjähtää. Niitä ei pysty lataamaan kovin nopeasti, ilman että niiden käyttöikä lyhenisi. Kuten NiCd-akut, täytyy Li-ion-akutkin säilyttää viileässä ja ladattuna 40 %:iin niiden kokonaisvarauksesta. Tämä vähentää akkujen ikääntymistä ja täten pidentää niiden käyttöikää. (Battery University 2014c.)

Joissakin tapauksissa varauksen pieneneminen on selkeästi huomattavissa jo vuoden käytön jälkeen, olivat akut sitten käytössä tai eivät. Tämän takia niiden käyttöikä on hieman epävarma, joissain tapauksissa akut kestävät 2 - 3 vuotta ja toisissa jopa 5 vuotta. (Battery University 2014c.)

2.1.4 Litiumpolymeeriakku

Litiumpolymeeriakkujen (LiPo) nimellisjännite on 3,7 voltia, joka on suurin tutkittavien akkutyypin jännitteistä. Litiumpolymeeriakut ovat turvallisia, joten ne kestävät enemmän kaltoinkohtelua verrattuna litium-ioniakkuihin. Ne ovat myös erittäin ohuita ja kevyitä valmistustekniikkansa ansiosta. Tämän ansiosta ne ovat löytäneet markkinarakonsa luottokorttien paristoina. Litiumpolymeeriakkujen energiatiheys on niiden valmistustekniikan ansiosta suuri ja vain hieman matalampi verrattuna Li-ion-akkuihin. (Battery University 2014c.)

Litiumpolymeeriakkujen sisäinen resistanssi on kuitenkin suuri, jolloin ne eivät kykene toimittamaan tarvittavia virtamääriä nykyajan kannettaville laitteille. Niiden lämmittäminen noin 60 °C:seen parantaa sähkönjohtavuutta, mutta tämä ei ole sallittavaa kannettavissa laitteissa, joten niitä ei voi käyttää suuria virtoja vaativissa sovelluksissa. LiPo-akkujen kapasiteetti on hieman pienempi verrattuna Li-ion-akkuihin. (Battery University 2014c.)

2.1.5 Litium-rautafosfaattiakku

Litium-rautafosfaattiakkujen (LiFePO₄) nimellisjännite on 3,3 voltia, ja niiden energiatiheys on kohtalaisen suuri. Edellä mainitut ominaisuudet ovat vain hieman pienempiä kuin litium-ioni-akuissa, mutta litium-rautafosfaattiakut ovat paljon turvallisempia, joten ne kestävät paljon kaltoinkohtelua ja niitä voi ladata nopeasti, eli suurella virralla, ilman niiden vahingoittumista. Litium-rautafosfaattiakut kestävät noin 2000 latausjaksoa, jonka aikana niiden kapasiteetti pienenee todella vähän. LiFePO₄-akkujen varaus purkautuu todella vähän itsekseen, noin 5 % kuukaudessa, ja ne toimivat kohtalaisen hyvin myös matalilla lämpötiloilla. (Digital Reality Crew forums 2014.)

Litium-rautafosfaattiakut ovat näistä tarkastelluista akkutekniikoista kaikkein uusimpia, joten ne ovat myös kalliimpia kuin muut. Kohtalaisen korkeaan hintaan vaikuttanee myös näiden akkujen suuri turvallisuus ja käyttöikä. (Digital Reality Crew forums 2014.)

2.2 Akkujen valinta

Valitsin tähän opinnäytetyöhön litium-rautafosfaattiakut niiden turvallisuuden, eliniän, latauskertojen suuren määrän ja kohtalaisen suuren jännitteen takia. Tutustun ensimmäistä kertaa akkujen lataukseen, joten turvallisuus on tällöin avainasemassa. Lopullisessa fyysisessä kokonaisuudessa akkujen kestolla on myös väliä, eli mitä pidempään ja mitä useampia latauskertoja akut kestävät, sitä parempi. Jännitteen on hyvä olla kohtalaisen suuri jo yksittäisessä paristossa, jolloin paristojen määrä vähenee huomattavasti.

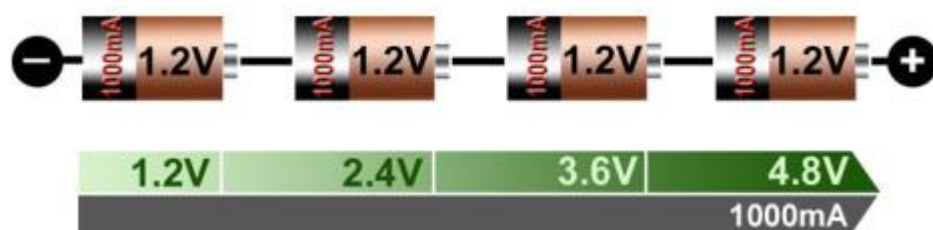
Valittujen akkujen nimellisjännite on 3,3 V ja kapasiteetti 3200 mAh. Vaikka näiden akkujen energiatiheys onkin keskitasoa käsitellyiden akkutyypin joukossa, ovat sen muut ominaisuudet sen verran hyvät, että se ei haittaa. Taulukossa 1 on esitetty tutkittavien akkutyypin ominaisuudet.

TAULUKKO 1. Akkutyypin tiedot (Wikipedia 2014)

Tyyppi	Jännite, V	Energiatiheys, Wh/kg	Teho, W/kg	Hyötysuhde, %	lts.purk, % / kk	Lat.kert.	Elinikä vuosina	Käyt.alk
NiCd	1,2	40-60	50-150	70-90	20	1500	3-5	1946
NiMH	1,2	30-80	250-1000	66	30	500-1000	2-4	1983
Li-ion	3,6	150-250	1800	99,90	5-10	400-1200	2-6	1990
LiPo	3,7	130-200	3000+	-	5	500-1000	2-3	1996
LiFePO4	3,3	80-120	1400	-	5	2000+	> 10	1997

2.3 Akkujen kytkennät

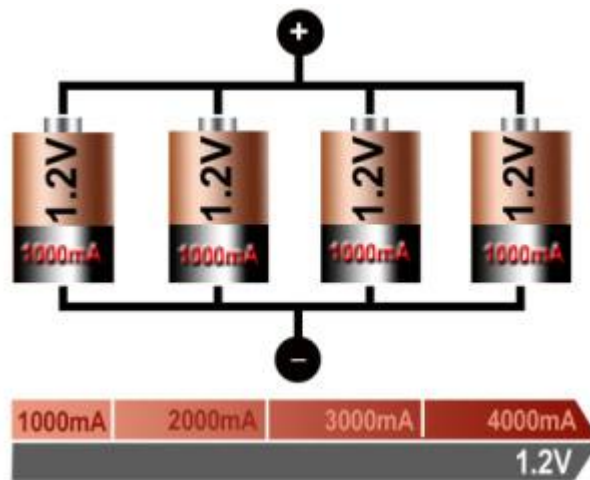
Sarjaankytkennällä saadaan aikaan suurempi käyttöjännite yhdistämällä ensimmäisen akun positiivinen napa seuraavan akun negatiiviseen napaan. Esimerkiksi kytkettäessä neljä 1,2 V:n, 1000 mA:n akkua sarjaan saadaan tulokseksi 4,8 V, 1000 mA. Kytkennällä aikaansaatava jännite on helppo laskea kertomalla akkujen määrä niiden nimellisjännitteellä. Sarjaankytkettyjen akkujen virta ei suurene. Sarjaankytkentä ja suureiden muutokset on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Akkujen sarjaankytkentä (Battery University 2014e)

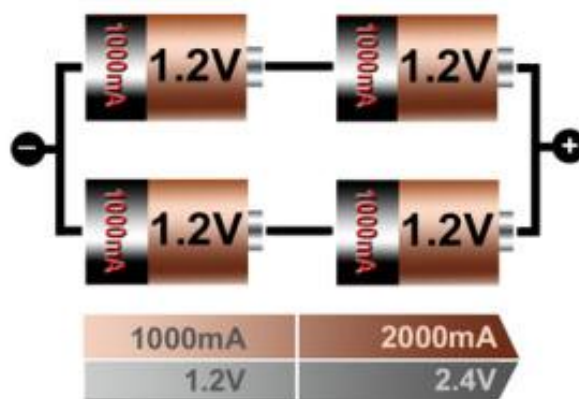
Rinnankytkennällä saadaan aikaan suurempi virta yhdistämällä akkupaketissa olevien akkujen positiiviset navat yhteen ja vastaavasti negatiiviset navat yhteen. Esimerkiksi kytkettäessä neljä 1,2 V:n, 1000 mA:n akkua sarjaan saadaan lopputulokseksi 1,2 V, 4000 mA. Kytkennällä aikaansaatava virta on helppo laskea kertomalla akkujen määrä niiden annetulla mA- tai mAh-luvulla. Kytkennällä saadaan aikaisiksi suurempi virta, eli akkupaketti kestää tällöin

pidempään, mutta akkupaketin jännitteeseen rinnankytkentä ei vaikuta. Rinnankytkentä ja suureiden muutokset on esitetty kuviossa 2.



KUVIO 2. Akkujen rinnankytkentä (Battery University 2014e)

Akkuja voidaan kytkeä sekä sarjaan että rinnan riippuen halutusta lopputuloksesta. Sarjaan- ja rinnankytkettyjä paristoja voidaan myös yhdistellä. Esimerkiksi jos yhdistetään kaksi 1,2 V:n, 1000 mA:n akkua sarjaan ja yhdistetään siihen vielä toiset kaksi samanlaista sarjaankytkettyä akkua rinnakkain, saadaan lopputulokseksi akkupaketti, jonka jännite on 2,4 V ja virta 2000 mA. KytKentä ja suureiden muutokset on esitetty kuviossa 3.



KUVIO 3. Akkupaketti (Battery University 2014e)

Tässä opinnäytetyössä on tarkoitus käyttää kuvion 3 esittämää kytkentää, jolloin akkupaketissa on neljä akkua ja sen nimellisjännitteeksi tulee 6,6 V ja

3 AURINKOPANEELI

Aurinkopaneelit ovat suuressa osassa nykykehityksessä, sillä kannettavat laitteet tarvitsevat yhä enemmän tehoa, esimerkiksi näyttöjen ja kameroiden sekä muiden suuria määriä virtaa tarvitsevien oheislaitteiden takia. Yleensä jos halutaan enemmän akkukestoa, laitetaan laitteeseen suurempi akku, mutta joissain tapauksissa kannettavan laitteen fyysisen koon suurentaminen ei tule kyseeseen. Jos taas laitteeseen lisättäisiin aurinkopaneeli, voitaisiin akun suurentaminen jättää pois. Kun akun varaustila hupenee, lataisi aurinkopaneeli sen taas täyteen tai ainakin se hidastaisi varaustilan pienenemistä tuottamalla jatkuvasti pienen määrän latausvirtaa akulle. Tällaista tekniikkaa on käytetty jo pitkään esimerkiksi joissain taskulaskimissa.

Aurinkopaneelit muuntavat auringosta tulevaa säteilyenergiaa sähköenergiaksi. Tämän muunnoksen tehokkuutta kutsutaan hyötysuhteeksi, eli miten suuri määrä sähköenergiaa voidaan tuottaa auringon säteilyenergiasta. Mitä suurempi lukema on, sitä tehokkaammin ja suuremman määrän aurinkopaneeli kykenee tuottamaan sähköä käytettävälle laitteelle. Hyötysuhde voidaan laskea jakamalla aurinkopaneelin nimellisteho paneelin pinta-alan ja säteilytehon tulolla. Hyötysuhteen laskeminen on esitetty kaavassa 3. (Finnwind 2014.)

$$\eta = \frac{P}{(A \cdot L_s)} \quad \text{jossa} \quad (3)$$

η = hyötysuhde

P = nimellisteho (W_p)

A = paneelin pinta-ala (m^2)

L_s = auringon säteilyteho ($1000 \text{ W}/m^2$)

Esimerkiksi jos paneelin nimellisteho on 150 W_p , pinta-ala $0,5 \text{ m}^2$ ja auringon säteilyteho $1000 \text{ W}/m^2$, saadaan kaavan 3 avulla paneelin hyötysuhteeksi 0,3. Tämä lukema tarkoittaa sitä, että 30 % kyseiseen aurinkopaneeliin kohdistuneesta auringon säteilyenergiasta muuttuu sähköenergiaksi.

3.1 Paneelityypit

Valitsin tutkittavaksi kolme erilaista aurinkopaneelia: yksikide-, monikide- ja ohutkalvopaneelit. Yleensä kuluttajalle riittää vertailla paneeleita niiden hinnan ja niiden tehon suhteen avulla (€/W_p), mutta tutustuin paneelityyppeihin hieman tätä syvemmin.

3.1.1 Yksikidepaneeli

Yksikidepaneelien tekniikka on vanhinta. Sillä on yli 50 vuoden kehitystyö takana. Vanhasta tekniikastaan huolimatta sen hyötysuhde on paras, tyypillisesti $135 - 170 \text{ W/m}^2$, eli se muuntaa suurimman määrän auringon säteilyenergiaa sähköenergiaksi. Yksikidepaneelit pärjäävät hyvin kylmissä olosuhteissa ja niillä on pitkä käyttöikä. Ne ovat hieman kalliimpia verrattuna monikidepaneeleihin, ja niiden hyötysuhde laskee noin $12 - 15 \%$ suuremmissa lämpötiloissa. Tämä on huono ominaisuus aurinkopaneeleissa, koska ne lämpenevät auringon valossa. Näitä paneeleita on yleensä käytetty sovelluksissa, jotka vaativat suurta luotettavuutta, kuten tietoliikenteessä. Näiden paneelien hinta on yleensä noin $9,50 \text{ \$/W}_p$. (Pierro Solar 2014; Planetary Power 2014; Solar Choice 2014.)

3.1.2 Monikidepaneeli

Monikidepaneelien hyötysuhde on tyypillisesti $120 - 150 \text{ W/m}^2$, joka on hinnan lisäksi hieman pienempi verrattuna yksikidepaneeleihin. Monikidepaneelien käyttöikä on pitkä, ja ne ovat yleisin käytetty paneelityyppi. Suuremmissa lämpötiloissa niiden hyötysuhde laskee reilusti, eli noin $14 - 23 \%$. Näiden paneelien hinta on yleensä noin $9,00 \text{ \$/W}_p$. (Pierro Solar 2014; Planetary Power 2014; Solar Choice 2014.)

3.1.3 Ohutkalvopaneeli

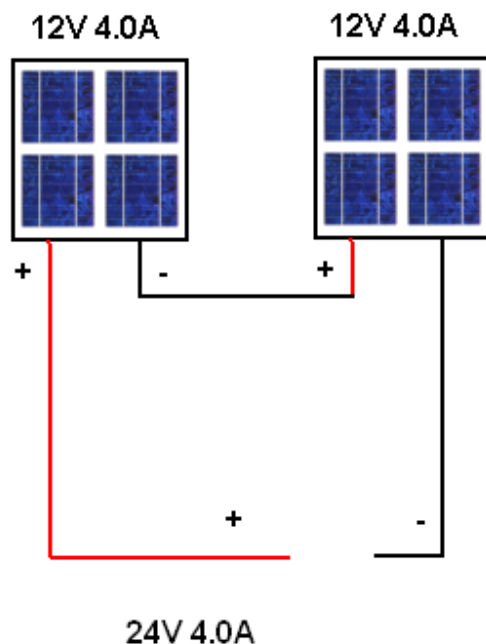
Ohutkalvopaneeli on tekniikaltaan huomattavasti erilainen verrattuna yksikide- ja monikidepaneeleihin. Ohutkalvopaneelit ovat taipuisia, ja niitä voi taivutella ilman että ne särkyvät, ja ne toimivat parhaiten kuumemmassa ilmastossa, joten ei ole haitallista, vaikka ne lämpenevätkin auringon valossa. Nämä paneelit

suoriutuvat hyvin epäsuorassa valossa, joten niitä ei välttämättä tarvitse suunnata, toisin kuin yksikide- ja monikidepaneelit täytyy. Ohutkalvopaneelien hyötysuhde on kuitenkin heikoin eli tyypillisesti 60 - 80 W/m² ja niiden suorituskyky heikkenee nopeammin ajan kuluessa. Viileässä niiden hyötysuhde on heikompi kuin lämpimänä. Ohutkalvopaneeleita on käytetty jo pitkään kannettavissa välineissä, kuten laskimissa. Näiden paneelien hinta on yleensä noin 10,00 \$/W_p. (Pierro Solar 2014; Planetary Power 2014; Solar Choice 2014.)

Valitsin tähän opinnäytetyöhön ohutkalvopaneelit niiden taipuisuuden sekä varsinkin sen takia, ettei niitä tarvitse suunnata kohti aurinkoa.

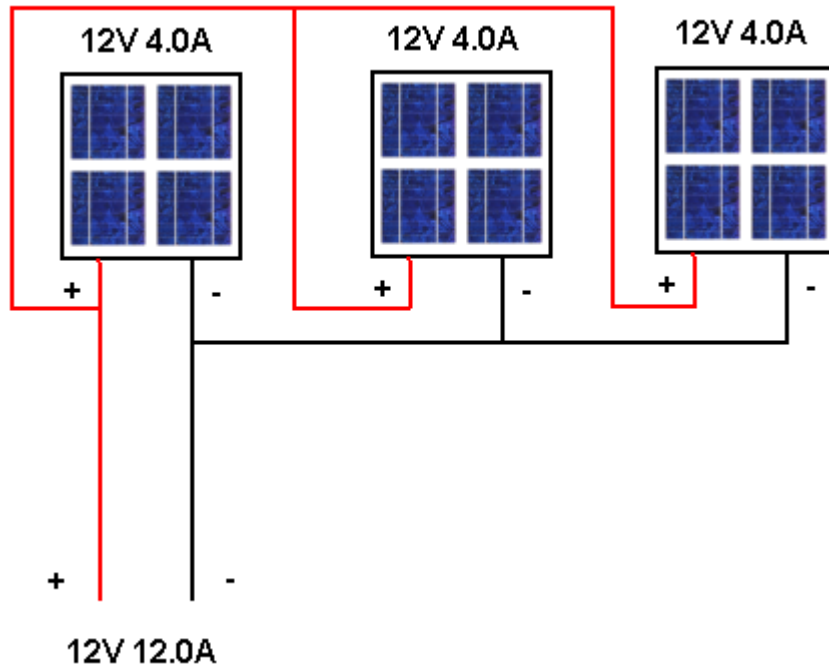
3.2 Aurinkopaneelien kytkennät

Aurinkopaneelit voivat toimia yksittäisinä yksiköinä tai niitä voidaan kytkeä sarjaan ja rinnakkain. Sarjaankytkentä lisää aurinkopaneeleista saatavan jännitteen suuruutta, mutta ei vaikuta virran suuruuteen. Esimerkiksi kahden paneelin sarjaankytkennässä ensimmäisen paneelin positiivinen napa kytketään seuraavan paneelin negatiiviseen napaan, jolloin lopputuloksena saadaan kaksinkertainen jännite mitattaessa ensimmäisen paneelin negatiivisen navan ja toisen paneelin positiivisen navan yli. Kytkentä sekä jännite- ja virta-arvot on esitetty kuviossa 4.



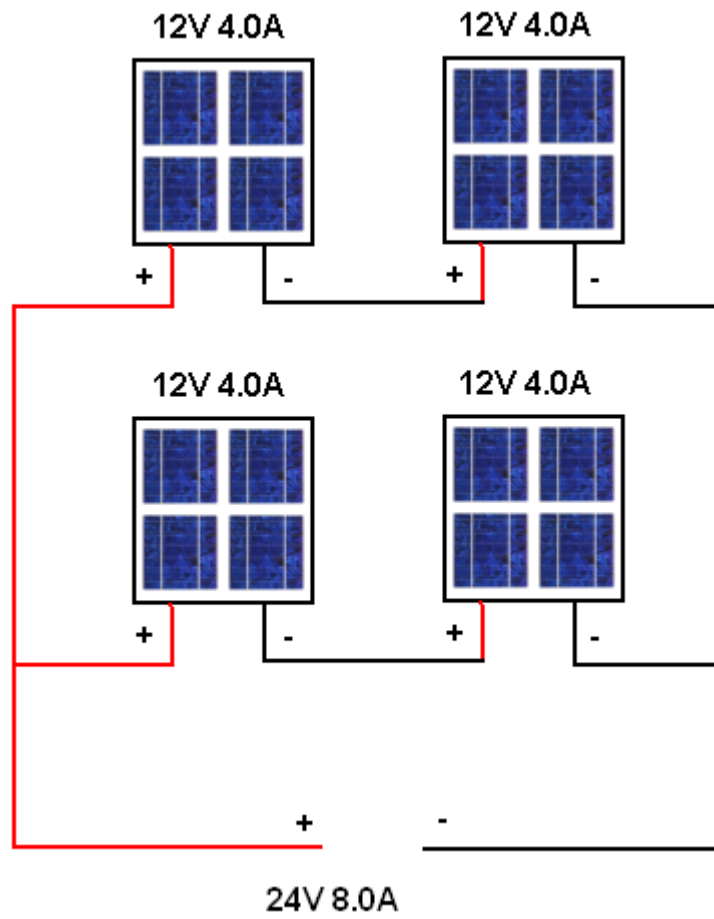
KUVIO 4. Aurinkopaneelien sarjaankytkentä (Solar System 2014)

Aurinkopaneelien rinnankytkentä suurentaa niistä saatavaa virtaa, mutta ei vaikuta jännitteen suuruuteen. Esimerkiksi kolmen paneelin rinnankytkennässä kaikkien paneelien positiiviset ja negatiiviset navat yhdistetään keskenään toisiinsa, jolloin lopputuloksena virran suuruus on kolminkertainen. Kytkentä sekä jännite- ja virta-arvot on esitetty kuviossa 5.



KUVIO 5. Aurinkopaneelien rinnankytkentä (Solar System 2014)

Näitä kahta erilaista kytkentätapaa voidaan myös käyttää yhdessä. Esimerkiksi jos kytketään kaksi kahden paneelin sarjaankytkentää rinnakkain, saadaan lopputulokseksi kaksinkertainen jännite sekä virta. Kytkentä sekä jännite- ja virta-arvot on esitetty kuviossa 6. (Solar System 2014.)



KUVIO 6. Sarjaan- sekä rinnankytketyt aurinkopaneelit (Solar System 2014)

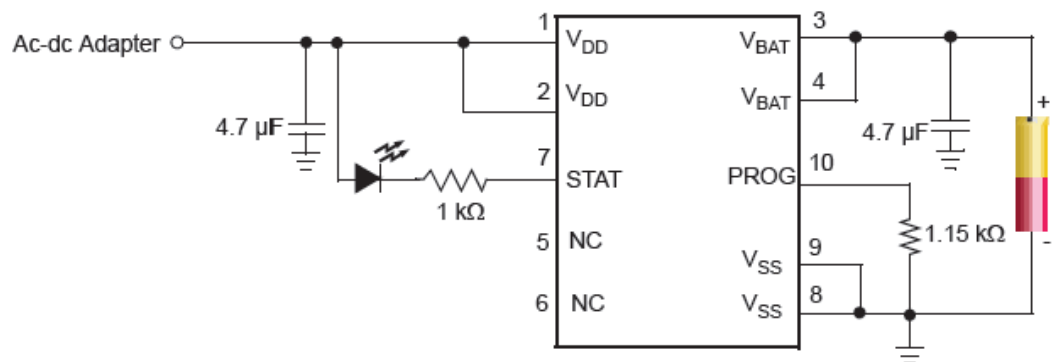
4 LATAUSYKSIKKÖ

Latausyksikön tehtävänä on ladata laitteessa käytettävää akkupakettia. Tarkoituksena on käyttää useampaa erillistä latausyksikköä lataamaan omaa akkupakettiaan, jolloin saadaan laitteen akut ladattua mahdollisimman lyhyessä ajassa. Jokaisen akkupaketin varausta ja latauspiirin tilannetta voidaan tällöin monitoroida erikseen mikrokontrollerilla.

4.1 Microchip MCP73223

MCP73223-piirissä on LiFePO₄-akuille sopivat latausalgoritmit, jotka saavat aikaa turvallisen latauksen ja jotka maksimoivat kapasiteetin mahdollisimman lyhyellä latausajalla. Piirin toiminta vaatii vain muutamia ulkoisia komponentteja, joten se on kokonaisuutena pieni ja helppokäyttöinen ja soveltuu myös hyvin käyttökohteisiin, joissa on käytössä vähän tilaa. (Microchip 2014.)

Piirin kytkentä on esitetty kuviossa 7. Kyseinen piiri kykenee lataamaan akkupaketin, jossa on maksimissaan kaksi akkua kytketty sarjaan, mutta siinä voi olla useampia akkuja kytketty rinnan, tällöin akkupaketin lataaminen täyteen vie enemmän aikaa.



KUVIO 7. Latauspiirin tyypillinen kytkentäkaavio (Microchip 2014)

Piirin käyttämä akkujen latausvirta voidaan valita kytkemällä vastus PROG-pinnin ja maan välille. Vastuksien arvot E96- ja E24-sarjojen mukaan ja niiden aikaansaamat latausvirrat on esitetty taulukossa 2. Valitsin sovellukseen 500 milliampeerin latausvirran käyttämällä 2,32 kilo-ohmin vastusta. Tämä virta on tarpeeksi suuri kohtalaisen nopeaan lataukseen ja käytettäessä useaa tällaista

samanlaista latausyksikköä, ei lataukseen käytettävän jännitelähteen tarvitse olla virrankestoltaan kohtuuttoman suuri.

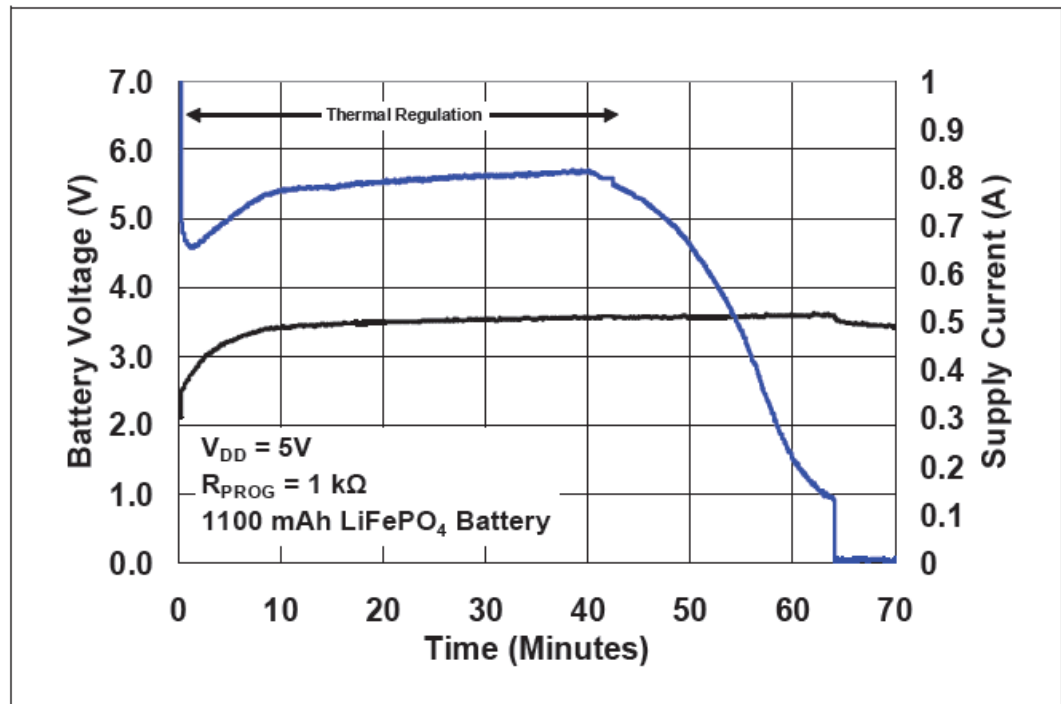
TAULUKKO 2. Vastuksien arvot ja niiden aikaansaamat latausvirrat (Microchip 2014).

Charge Current (mA)	Recommended E96 Resistor (Ω)	Recommended E24 Resistor (Ω)
130	10k	10k
150	8.45k	8.20k
200	6.20k	6.20k
250	4.99k	5.10k
300	4.02k	3.90k
350	3.40k	3.30k
400	3.00k	3.00k
450	2.61k	2.70k
500	2.32k	2.37k
550	2.10k	2.20k
600	1.91k	2.00k
650	1.78k	1.80k
700	1.62k	1.60k
750	1.50k	1.50k
800	1.40k	1.50k
850	1.33k	1.30k
900	1.24k	1.20k
950	1.18k	1.20k
1000	1.10k	1.10k
1100	1.00k	1.00k

Piiri lataa akkuja aluksi pienemmällä virralla, kuin mikä on valittu virranrajoitusvastuksella. Seuraavaksi piiri alkaa ladata akkuja tasaisella virralla (constant current.) Kun lähestytään latauksen loppuvaihetta, eli kun akkujen jännite on melkein piirille valmiiksi asetetun suuruinen (yhdelta akulle 3,6 V ja kahdelle sarjaankytketylle akulle 7,2 V), siirrytään lataamaan jälleen pienemmällä virralla. Kun akut on ladattu täyteen, putoaa latausvirta nolnaan. Tällä menettelyllä

saadaan aikaa mahdollisimman turvallinen ja akkuja rasittamaton lataus.

Tyypillinen latausprofiili on esitetty kuviossa 8.



KUVIO 8. MCP73223-piirin tyypillinen latausprofiili (Microchip 2014)

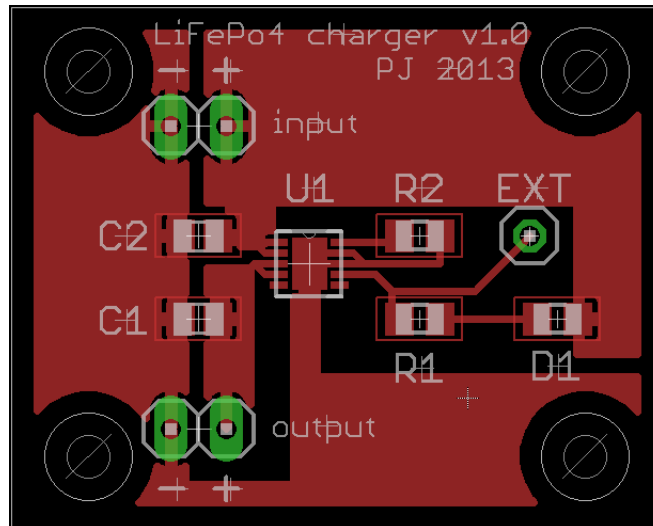
Piirissä olevalla STAT-pinnillä voidaan monitoroida latauksen tilaa. Tähän pinniin kytketty led-valo syttyy, kun lataus on käynnissä. Tätä pinniä voidaan myös lukea mikrokontrollerilla. Kun mikrokontrolleri lukee pinnin olevan ylätilassa, on lataus meneillään, ja kun pinni on alatilassa, on lataus joko valmis tai jännitelähdettä ei ole kytketty laitteeseen. Tämä lukemiseen tarkoitettu lähtö on esitetty kuviossa 9 nimellä EXT.

4.2 Piirilevy

Piirilevyn suunnittelussa on pyritty käyttämään mahdollisimman paljon Lahden ammattikorkeakoulussa opittuja menetelmiä. Vedot on pyritty pitämään mahdollisimman lyhyinä ja maataso mahdollisimman yhtenäisenä.

Suodatuskondensaattorit on pyritty laittamaan mahdollisimman lähelle MCP73223-piirin tulo- ja lähtöjännitepinnejä. Piirilevyllä on suunniteltu tulo- ja lähtöjännitteille liittimien paikat. Tällöin johtojen kiinnittäminen käy helpommin ja voidaan käyttää mahdollisesti paksumpaakin monisäikeistä johtoa.

MCP73223-piirin ympärille on pyritty jättämään hieman tilaa, koska se kuumenee latauksen ollessa käynnissä. Tämä täytyy ottaa myös huomioon, kun piirilevyä kiinnitetään koteloon, jolloin täytyy jättää tarpeeksi suuret jäähdytysvälit, ettei piiri kuumenisi liikaa. Latausyksikön piirilevy on esitetty kuviossa 9.



KUVIO 9. Latausyksikön piirilevy

5 BOOST-HAKKURI

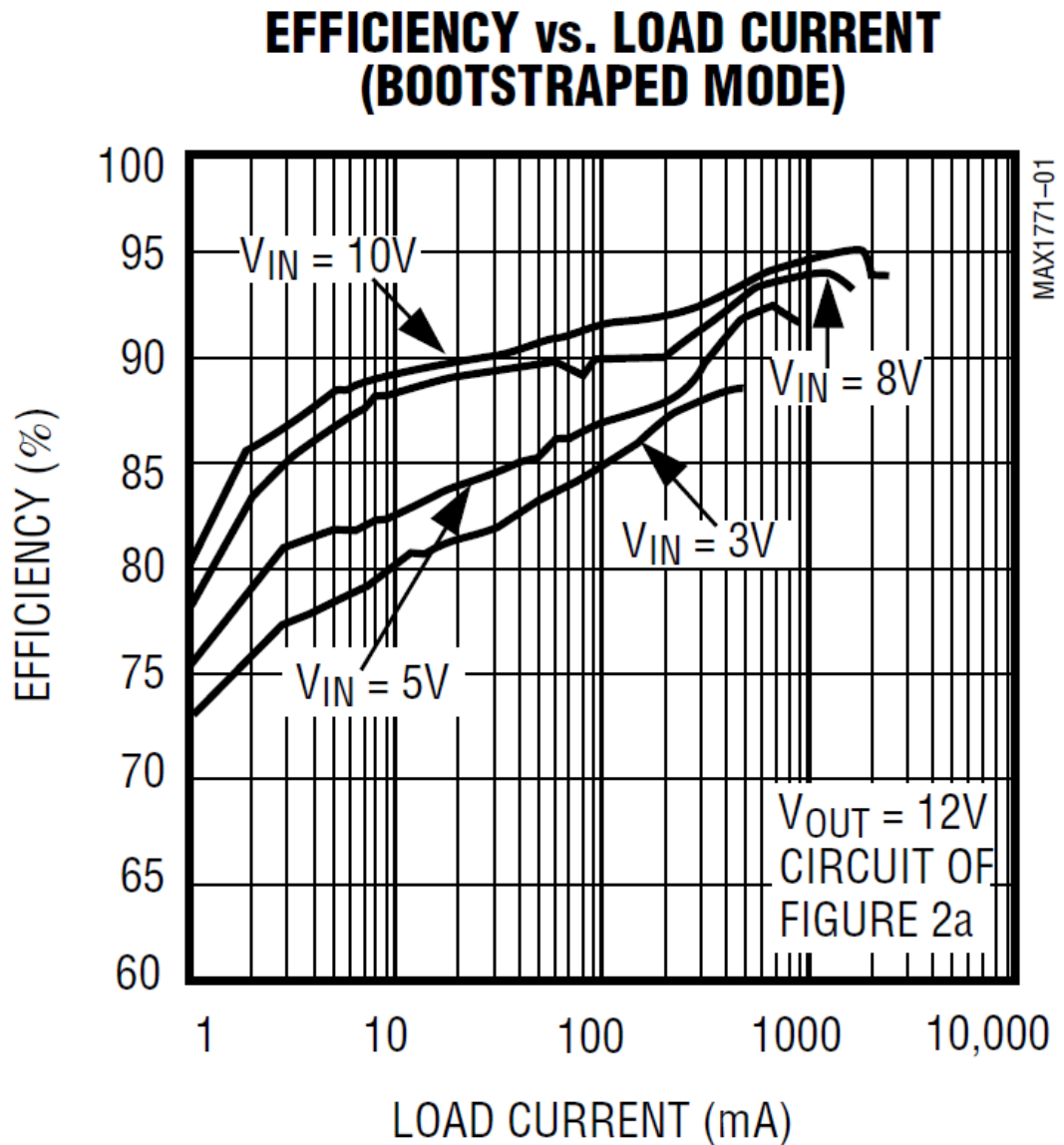
Boost- eli jännitettä nostavan hakkurin tarkoituksena on saada nostettua matalalla oleva jännitetaso suuremmaksi. Tässä opinnäytetyössä akkupaketeilta tuleva 6,4 voltia on laitteistossa käytettävälle vahvistimelle liian alhainen, joten käytetään hakkuria nostamaan jännitetaso haluttuun jännitelukemaan eli 12 volttiin. Samaisen ongelman olisi saanut ratkaistua kytkemällä tarpeeksi akkuja sarjaan ja käyttämällä esimerkiksi regulaattoria saamaan aikaiseksi haluttu jännitetaso, mutta tällöin olisi pitänyt suunnitella akkujen lataus kokonaan uudelleen.

Boost-hakkurit ovat myös hyötysuhteeltaan reilusti parempi vaihtoehto verrattuna kytkentään, jossa on käytetty regulaattoria. Suurin ongelma olisi kuitenkin ollut akkujen jännitetason laskeminen. Käytettäessä tarvittavaa sarjaankytkentää sekä regulaattoria olisi akkujen jännitetaso tullut sen verran alaspäin, että regulaattori ei enää johtaisi virtaa, jolloin vahvistin sammuisi. Tätä ongelmaa ei boost-hakkurissa ole. Tähän opinnäytetyöhön valitussa Maxim Integratedin MAX1771-hakkurissa alin jännitetaso, jolla saadaan haluttu 12 voltin käyttöjännite, on 2,35 voltia. Tämä jännitelukema on reilusti alempana, kuin mitä hakkurin tulojännitteenä tullaan käyttämään.

5.1 Maxim Integrated MAX1771

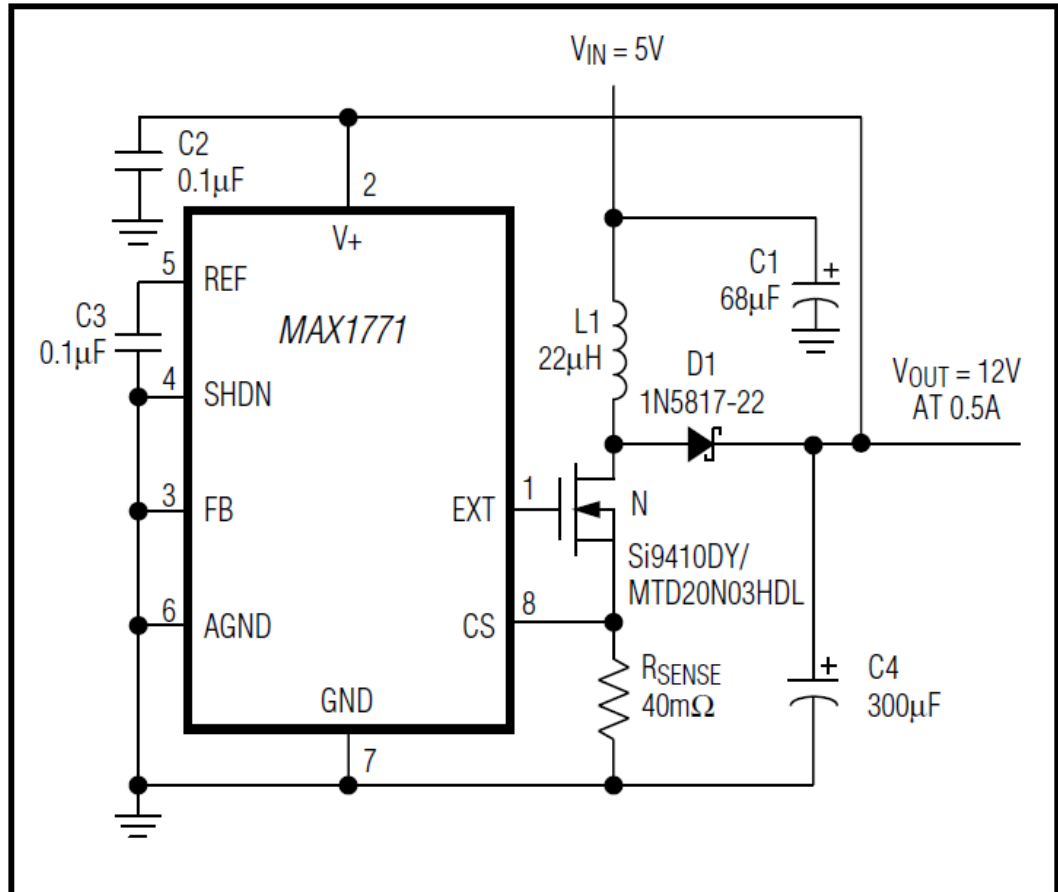
Päädyin käyttämään Maxim Integratedin MAX1771-ohjauspiiriä boost-hakkurin toteuttamisessa. Tälle piirille on esiasetettu sovellukseen tarvittava 12 voltin käyttöjännite, jolloin lähtöjännitettä ei tarvitse säätää erikseen jänniteensäätövastuksilla. Tämä tarkoittaa sitä, että hakkuri saadaan pienempään tilaan, koska ulkoisten komponenttien määrä vähenee.

Piiri käyttää sekä PFM- että PWM-kontrollereiden hyviä puolia yhdistämällä PWM-kontrollereiden hyvän hyötysuhteen suurilla kuormavirroilla (90 %, 30 mA - 2 A) PFM-kontrollereiden todella pieneen käyttövirtaan (110 μ A). Käytettäessä PWM-kontrolleria käyttövirta olisi huomattavasti suurempi (2 mA - 10 mA). Hyötysuhteen suhde kuormavirtaan on esitetty kuviossa 10. (Maxim Integrated 2014.)



KUVIO 10. Hyötysuhteen suhde kuormavirtaan käytettäessä bootstrapped-moodia (Maxim Integrated 2014)

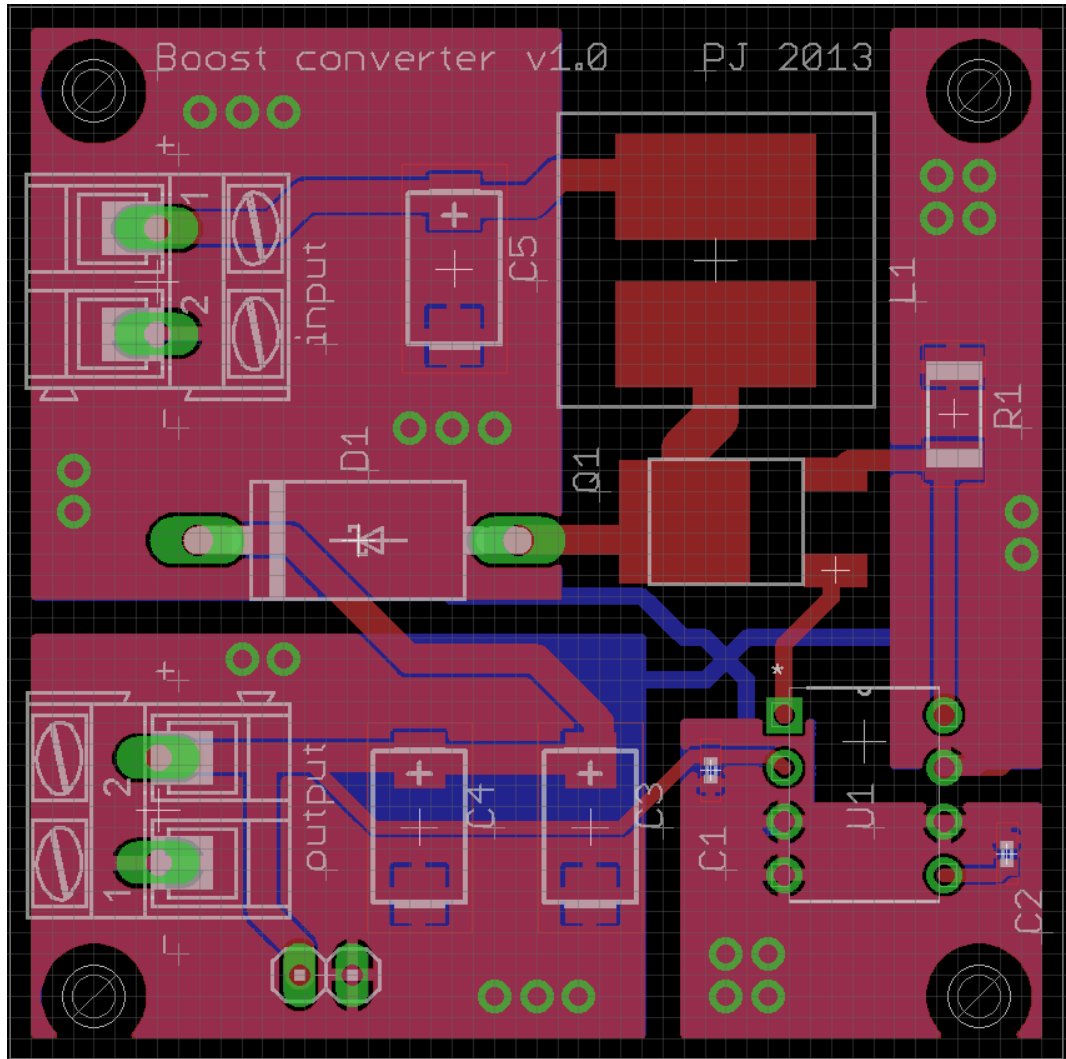
Piirissä on valittavissa kaksi toimintamoodia: bootstrapped- ja non-bootstrapped-moodit. Valitsin käytettäväksi bootstrapped-moodin, koska siinä käyttöjännitealue on matalammalla ja tätä moodia käytettäessä ei tarvitse ulkoisia jännitteensäätövastuksia. Bootstrapped-moodissa saadaan aikaiseksi myös suurin hyötysuhde. KytKentä on esitetty kuviossa 11.



KUVIO 11. MAX1771-piirin kytkentä käytettäessä bootstrapped-moodia (Maxim Integrated 2014)

5.2 Piirilevy

Hakkurin piirilevyn suunnittelussa on otettava huomioon sen toiminta suurilla taajuuksilla. Oikeanlainen piirilevysuunnittelu ja komponenttien sijoittelu takaa toimivan hakkurin. Herkkiä analogisia maita täytyy suojata kytkemällä ne tähtimaa-tyylillä. Maahan johtuvien häiriöiden minimoimiseksi kannattaa yhdistää piirin GND-pinni, tulojännitteen suodatuskondensaattorin maapinni sekä lähtöjännitteen suodatuskondensaattorin maapinni yhdessä pisteessä tähtimaa-tyylillä. Vetojen pituus kannattaa pitää myös mahdollisimman lyhyinä. Kuvion 11 mukaan suunniteltu piirilevy on esitetty kuviossa 12. (Maxim Integrated 2014.)

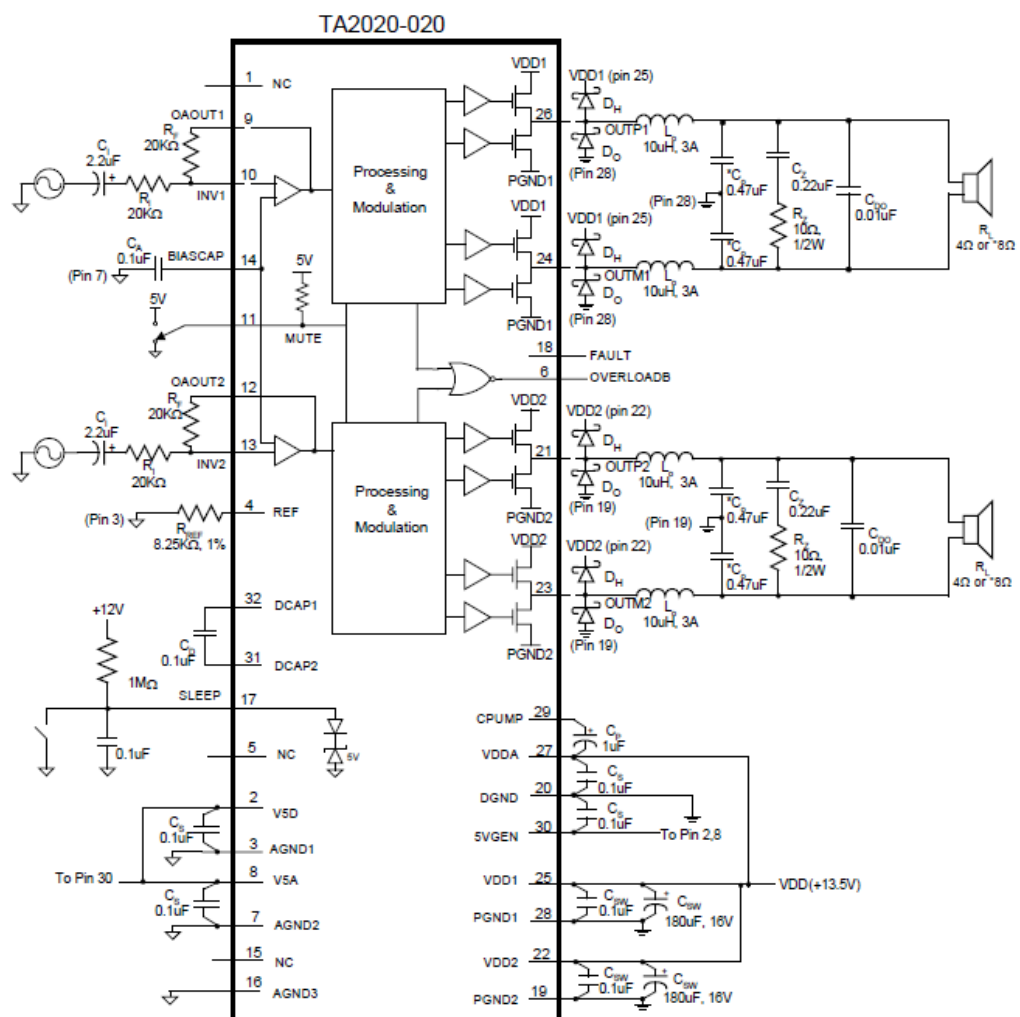


KUVIO 12. Boost-hakkurin piirilevy

6 VAHVISTIN

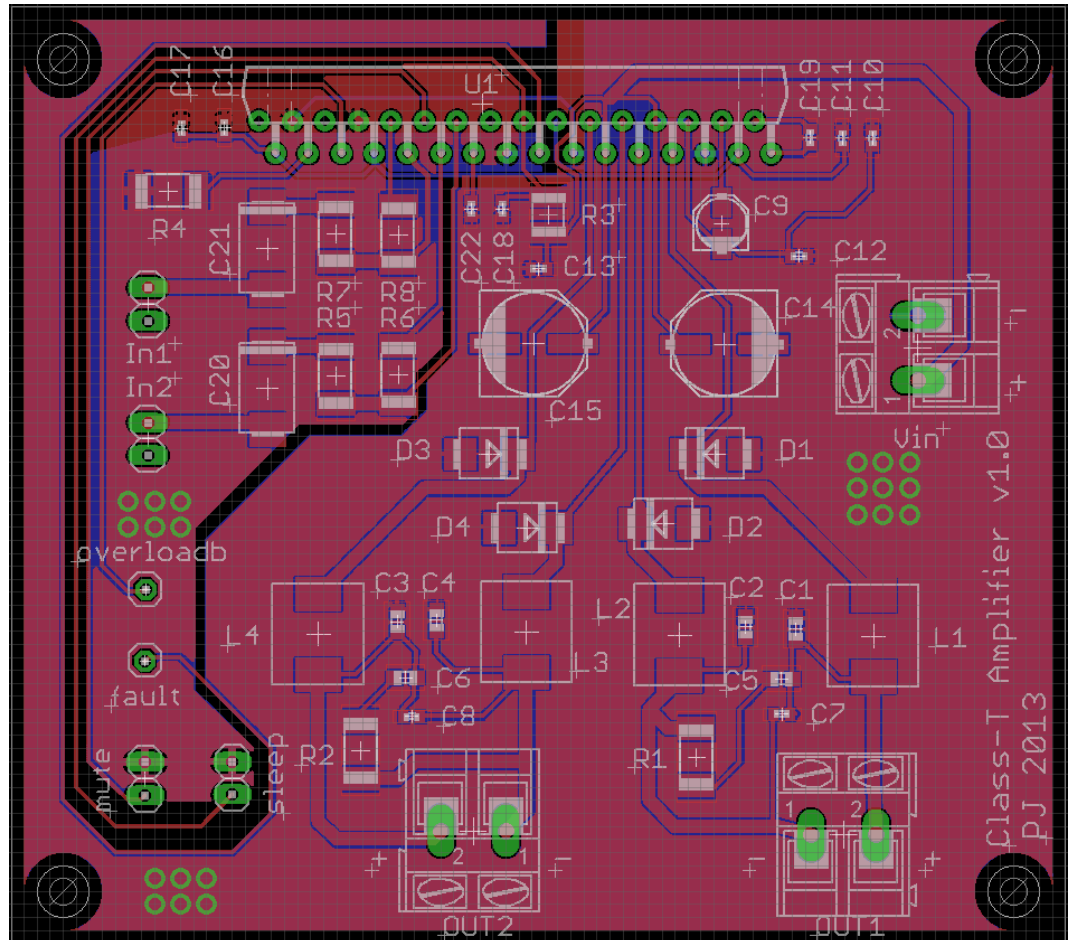
Vahvistimen tehtävä on vahvistaa laitteeseen tulevaa audiosignaalia ja syöttää se edelleen kaiuttimille. Tuloksena saadaan reilusti suurempi amplitudinen signaali, jolloin ulostulevan signaalin volyyymi on suurempi. Vahvistinluokkia on monia erilaisia, joista valitsin Tripathin lisensoiman T-luokan vahvistimen.

T-luokan vahvistin tarjoaa sekä AB-vahvistintyyppin hyvän audion toistokyvyn että D-luokan vahvistintyyppin hyötysuhteen. T-luokan vahvistin on myös helpompi suunnitella kuin D-luokan vahvistin. Tripathin TA2020-020-piiri on kaksikanavainen T-luokan vahvistinpiiri, joka kykenee toistamaan audiosignaalia jatkuvalla 20 W:n teholla molempien kanavien kautta. Piirin kytkentäkaavio on esitetty kuviossa 13. (Tripath Technology, Inc 2014.)



KUVIO 13. Tripath TA2020-020-piirin kytkentäkaavio (Tripath Technology, Inc 2014)

Kuvion 13 pohjalta suunniteltu piirilevy on esitetty kuviossa 14. Piirilevyn maataso on pyritty pitämään mahdollisimman yhtenäisenä molemmilla puolilla levyä häiriöiden vähentämiseksi. Piirin analoginen- sekä digitaalinen maa on yhdistetty yhdellä vedolla piirin pinnien 3 ja 20 välillä. Komponenttien väliset vedot on pyritty pitämään mahdollisimman lyhyinä ja suorina. Tulojännitteen suodatuskondensaattorit on sijoitettu mahdollisimman lähelle piirin pinnejä mahdollistaen parhaan suodatuksen.



KUVIO 14. Sovelluksessa käytettävän vahvistimen piirilevy

7 MIKROKONTROLLERIYKSIKKÖ

Mikrokontrolleriyksikön tarkoituksena on monitoroida laitteen eri osien toimintaa ja sen ominaisuuksia. Se lukee akkupakettien varausta ja niiden latauksen tilaa, jolloin akkujen varauksen pudottua tarpeeksi alas voi mikrokontrolleri kytkeä kuorman eli muun laitteiston, pois lukien itsensä, pois päältä. Tällöin akkujen varaus ei putoa enää juuri ollenkaan. Tämä toimintatapa säästää akkuja ja pidentää niiden elinikää, kun akkuja ei kuluteta täysin tyhjäksi asti.

Mikrokontrolleri tarkkailee myös laitteeseen kytkettävien liittimien, latausadapterin ja 3,5 millimetrin audioliittimen tilaa. Tämä tarkoittaa sitä, että kun laite kytketään lataukseen, kytketään akuilta tuleva jännite pois päältä. Tällöin laitetta voi käyttää suoraan latausadapterin jännitteellä ja akut latautuvat mahdollisimman nopeasti, kun niitä ei kuormiteta. Kun audioliitin kytketään laitteeseen, muuttaa mikrokontrolleri vahvistimen MUTE-pinnin ylätilasta alatilaa, jolloin vahvistin alkaa toistaa sinne syötettyä audiosignaalia kaiuttimien kautta. MUTE-pinnin ollessa ylätilassa on vahvistin vaimennustilassa, eikä tällöin toista sisään tulevaa audiosignaalia. Tällä toiminnolla saadaan liittimen kytkennästä aiheutuvat häiriösignaalit karsittua pois, jolloin kaiuttimista ei kuulu epämiellyttävää särähdystä audiolaitteen kytkentähetkellä.

Mikrokontrolleri ohjaa myös siihen liitettyä lcd-näyttöä, jolle tulostuu akkujen varaustilat prosentteina sekä tieto siitä, onko laite latauksessa vai ei.

7.1 Atmel ATmega328

ATmega328 on 28-pinninen Atmelin valmistama mikrokontrolleri, joka toimii tässä sovelluksessa laitteen osien tarkkailijana ja näytön ohjaajana. Valitsin tämän mikrokontrollerin sen takia, että olen käyttänyt sitä aiemmin, siinä on tarvittavat ominaisuudet ja tarvittava pinnimäärä tähän sovellukseen.

7.2 Analogia-digitaalimuunnos

Analogia-digitaalimuunnos, eli ADC-muunnos, on toiminto, jolla muunnetaan analoginen jännite digitaaliseen muotoon, koska mikrokontrollerit ymmärtävät vain digitaalista dataa. Tällä tavoin mikrokontrollerit pystyvät lukemaan myös analogisia jännitteitä. ATmega328-mikrokontrollerissa on valittavissa 10-bittinen ja 8-bittinen tarkkuus ADC-muunnokseen. 10-bittisessä jännitteen tulkintaväli on 0 - 1023 ja 8-bittisessä samainen väli on 0 - 255. ADC-muunnoksessa jännitteen vertailutaso voidaan valita kolmella eri tavalla. Vertailutasoksi voidaan ottaa joko mikrokontrollerin ulkoinen jännite kontrollerin AREF-pinnillä, mikrokontrollerin käyttöjännite tai mikrokontrollerin sisäinen referenssi, joka on ATmega328-mikrokontrollerissa 1,0 voltia.

Valitsin tähän projektiin ADC-muunnoksen tarkkuudeksi 10 bittiä ja referenssijännitteenä käytän mikrokontrollerin sisäistä referenssiä, eli 1 V:n, koska tämä vertailutaso pysyy vakaana, toisin kuin käyttöjännite. Toisena syynä oli, että ei tarvitse luoda erillistä jännitetasoa AREF-pinnille. Kun luettava analoginen jännitetaso on 1 V, lukee mikrokontrolleri sen lukemana 1023 ja tällöin tuo 1 V jännite on jaettu tasaisesti 10-bittiselle leveydelle. Esimerkiksi puolet, 0,5 V, luetaan lukemana 511. Lukemat on laskettu kaavalla 4 ja haluttujen asetusten alustaminen ohjelmakoodissa on esitetty kuviossa 15.

$$ADC = 2^n * \frac{V_{ADC}}{V_{ref}} - 1 \quad \text{jossa} \quad (4)$$

ADC = ADC-muunnoksen tulos

n = muunnoksen tarkkuus bitteinä

V_{ADC} = muunnettava analogiajännite (V)

V_{ref} = referenssijännite (V)

```
// configure ADC
ADCSRA |= 1 << ADPS2;           // enable a prescaler
ADMUX  |= 1 << REFS0;           // use AVcc as reference
ADCSRA |= 1 << ADEN;           // turn on the ADC

sei();                           // enable the global interrupts

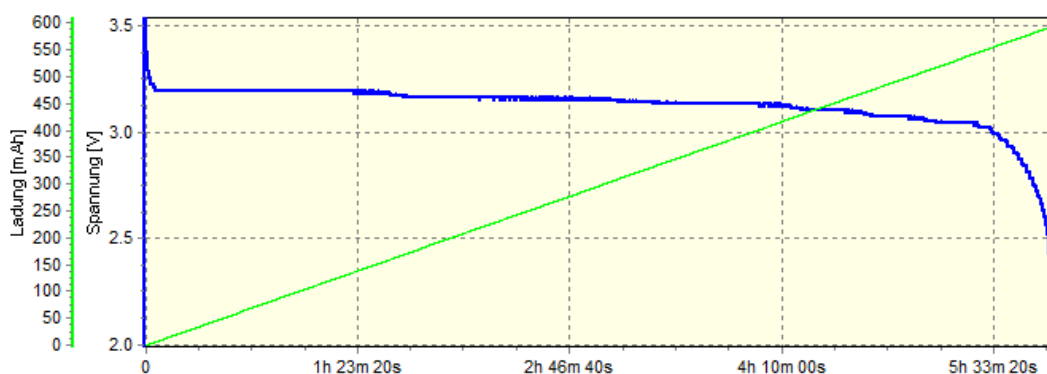
MCUCR |= 1 << SM0;             // turn on the noise reduction mode
```

KUVIO 15. ADC-muunnoksen alustukset koodissa

Ohjelman koodissa asetetaan ADPS2- ja ADEN-bitit, jolloin otetaan käyttöön haluttu esijakaja sekä asetetaan ADC-muunnos päälle. ADMUX-rekisterissä sijaitsevalla REFS0-bitillä asetetaan mikrokontrollerin käyttöjännite referenssijännitteeksi. Näitten ADC-muunnokselle tarpeellisten käyttöönottojen lisäksi asetetaan SM0-bitti MCUCR-rekisterissä. Tällä bitillä saadaan vähennettyä häiriöitä, joita mahdollisesti esiintyy ADC-linjalla.

7.3 Jännitetason mittaaminen

Kuviossa 16 on esitetty tässä projektissa käytetyn vastaavanlaisen, mutta pienemmällä kapasiteetilla varustetun yhden akun purkautumiskäyrä. Purkautumiskäyrä on muuten samanlainen, mutta jännitetasot ovat puolet pienempiä verrattuna akkupakettiin, jossa on kaksi akkua kytkettynä sarjaan. Koska purkautumiskäyrä on tarpeeksi tasainen, saadaan tästä akkujen tilan monitorointiin tarvittava tieto eli akun varaustila.



KUVIO 16. Akun varauksen purkautumiskäyrä 100 milliampeerin kuormalla (BudgetLightForum 2014)

Akkujen jännitetaso on tässä tapauksessa suurempi kuin asetettu referenssijännite, jolloin mikrokontrolleri lukisi yli 1 V:n jännitetasot maksimituloksena.

Jännitetasoa saadaan laskettua jännitteenjaolla, joka on esitetty kuviossa 23 ja jännitteenjaon laskeminen kaavassa 5.

Akkujen jännite ei kuitenkaan koskaan putoa noltaan volttiin. Kuvioista 16 voidaan huomata, että LiFePO4-akut ovat melkein tyhjät jo 2,5 voltin kohdalla. Kahdelle sarjaankytketylle akulle tämä arvo on 5 voltia. Tästä huomataan, että ADC-muunnokseen valittu referenssijännite eli suurin arvo, joka voidaan lukea,

on reilusti suurempi, kuin mikä halutaan lukea akuilta. Jos mitattavan lähteen jännitetaso laskisi nolnaan, olisi jännitteenjako sopiva menettelytapa. Tässä sovelluksessa täytyy käyttää menettelytapaa nimeltä ”offsetting.”

7.4 Offsetting

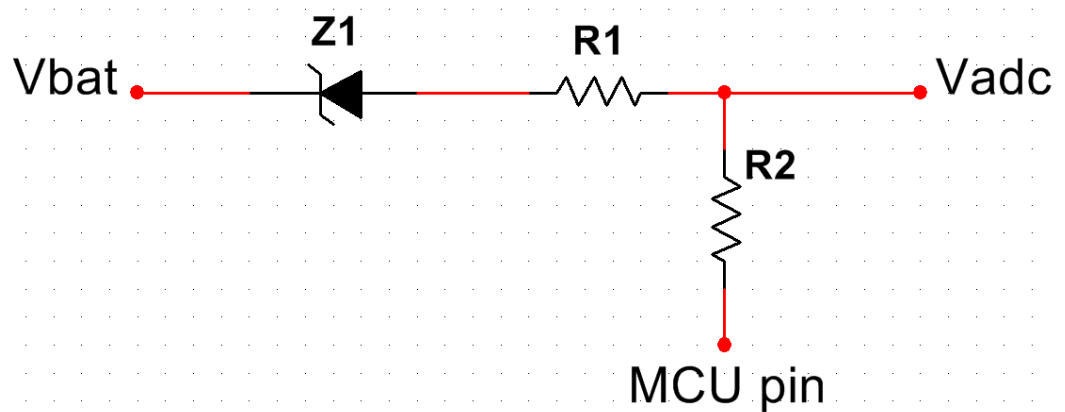
”Offsettauksella” saadaan pudotettua jännitettä halutun verran, jolloin tutkittava jännitealue saadaan sopivaksi ADC-muunnokselle. Tässä sovelluksessa halutaan tutkia jännitealuetta 5 V - 6,6 V. Viiden voltin kohdalla akut ovat siis melkein tyhjä, eli tämä on pienin luettava arvo, ja akkujen jännite täyteen ladattuina on 6,6 voltia, eli tämä on suurin luettava arvo. Mikrokontrolleri pystyy lukemaan jännitearvot väliltä 0 V - 1 V, kun mikrokontrollerin referenssijännitteeksi on valittu sen sisäinen referenssijännite. Jännitetasoa on pudotettava 5 voltia, jolloin mikrokontrolleri lukee tämän jännitetason nolaksi, eli akut ovat tällöin käytännössä tyhjä.

Jännitetason pudottaminen voidaan toteuttaa zenerdiodilla, joka toimii päästösuuntaan tavallisen diodin tavoin, mutta estosuuntaan zenerdiodi alkaa johtaa virtaa vasta, kun sen ominainen jännite eli zenerjännite ylittyy. Zenerdiodin ominaiseksi jännitteeksi halutaan mahdollisimman tarkkaan 5 voltia, jolloin saadaan asetettua akkupaketin jännitetason vaihteluväli ADC-muunnokselle sopivalle alueelle. Zenerdiodin jälkeen voidaan lukea jännitealue 0 V - 1,6 V, joka ei ihan mahdu ADC:n mittausvälille. Tämä saadaan kuitenkin säädettyä jännitteenjaolla.

Zenerdiodin vaatii tietyn suuruisen virran, että se alkaa johtaa estosuunnassa. Tämä arvo on helpoin valita mikrokontrollerin I_{sink} -arvon mukaan eli sen suuruisen virran mukaan, minkä jokainen mikrokontrollerin pinni pystyy turvallisesti ja vahingoittumatta ottamaan vastaan. Tämän arvon selvittämisen jälkeen voidaan valita halutut ehdot täyttävä komponentti. I_{sink} -arvo on ATmega328-mikrokontrollerille 20 milliampeeria käytettäessä 5 voltin käyttöjännitettä.

Koska zenerdiodi vaatii kohtalaisen ison virran johtaakseen estosuunnassa, kuluttaa se hieman virtaa, ja koska kyseessä on kannettava laite, halutaan

virrankulutus minimoida. Ratkaisuna tähän on kytkeä mitattava jännitelinja estosuunnassa kytketyn zenerdiodin ja jännitteensaon jälkeen maan sijasta yhteen mikrokontrollerin pinniin. Tällöin tämä linja voidaan kytkeä johtavaksi mikrokontrollerin avulla silloin, kun halutaan mitata akun varaustilaa. Mikrokontrollerin pinni asetetaan output-tilaan, kun halutaan mitata jännitettä. Muun ajan pinni on input-tilassa, eli korkeaimpedanssisessa (hi-z) tilassa, jolloin linja ei johda virtaa, ja tällöin akkujen varauksen lukeminen vähentää akkujen kestoja mahdollisimman vähän. Kytkeä on esitetty kuviossa 17.



KUVIO 17. Akkupakettien jännitetason mittaukseen käytetty kytkentä

Tiedetyt jännite- sekä virta-arvot on listattu taulukkoon 3. Jännitteensaossa käytettyjen komponenttien arvot on laskettu kaavoilla 5, 6 ja 7.

TAULUKKO 3. Laskuissa käytetyt arvot

V_{batmax}	6,6 V
V_{batmin}	5,0 V
V_{ref}	1,0 V
V_z	5,0 V
I_{sink}	0,020 A

$$R_{tot} = \frac{V_{batmax} - V_z}{I_{sink}} \quad jossaa \quad (5)$$

R_{tot} = vastusten kokonaisarvo ($R_1 + R_2$)

V_{batmax} = akkupaketin maksimijännite (V)

V_z = zenerjännite (V)

I_{sink} = mikrokontrollerin pinnan suurin sallittu virta (A)

Kaavan 5 avulla lasketaan jännitteenjaossa käytettyjen vastusten yhteenlaskettu suuruus. Tulokseksi taulukon 3 arvoilla saadaan 80 Ω .

$$R_1 = \frac{V_{batmax} - V_z - V_{ref}}{V_{ref}} * R_2 \quad jossaa \quad (6)$$

R_1 = sarjaankytketyn vastuksen resistanssi (Ω)

V_{batmax} = akkupaketin maksimijännite (V)

V_z = zenerjännite (V)

V_{ref} = referenssijännite (V)

R_2 = rinnankytketyn vastuksen resistanssi (Ω)

Kaavan 6 avulla lasketaan vastuksen R_1 suhde vastukseen R_2 . Tulokseksi saadaan $R_1 = 0,6 * R_2$.

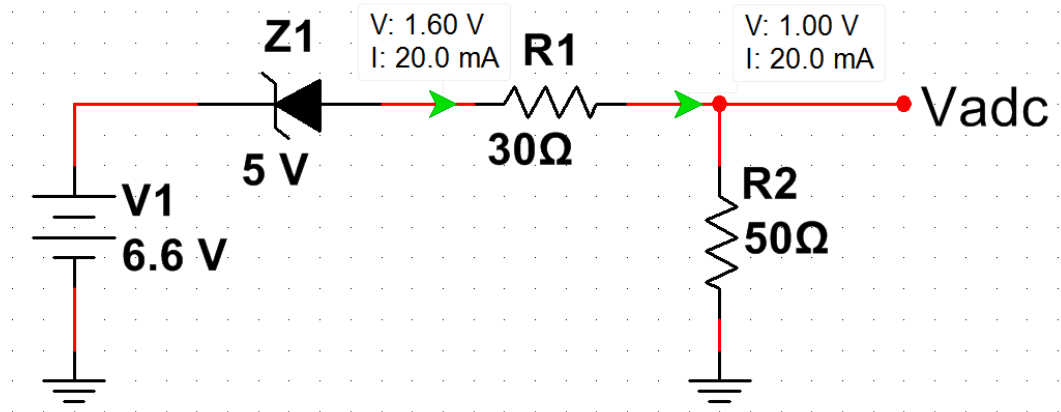
$$R_1 + R_2 = R_{tot} \quad jossaa \quad (7)$$

R_1 = sarjaankytketyn vastuksen resistanssi (Ω)

R_2 = rinnankytketyn vastuksen resistanssi (Ω)

R_{tot} = vastusten kokonaisarvo (Ω)

Kaavan 7 avulla lasketaan vastuksien R_1 ja R_2 arvot. Vastukselle R_1 saadaan tulokseksi 30 Ω ja vastukselle R_2 saadaan tulokseksi 50 Ω . Saadut arvot sekä kytkennän simulointi on esitetty kuviossa 18.



KUVIO 18. Kytkennän simulointi, simuloinnin tulokset ja lasketut vastusarvot

Kuviosta 18 nähdään, että akun jännitteen ollessa arvossa 6,6 V, zenerdiodin jälkeen jännite on pudonnut haluttuun maksimiarvoon ja jännitteenjaon jälkeen virta- ja jännitelukema ovat halutun suuruisia. Laskelmat pitävät tällöin simuloinnin kannalta paikkansa.

7.5 Mikrokontrollerin ajastin

Jokainen mikrokontrolleri tarvitsee jonkinlaisen kellotaajuuden pystyäkseen suorittamaan komentoja tietyssä tahdissa. Kellotaajuus siis määrää laitteen toimintanopeuden. Yleisesti Atmelin mikrokontrollereissa, kuten tässä opinnäytetyössä käytettävässä ATmega328:ssa, on vakiona yhden megahertsin kellotaajuus. Lisää nopeutta ja tarkkuutta vaativissa sovelluksissa voidaan käyttää sisäisen kellotaajuuden sijasta ulkoista kellotaajuutta, joka tuodaan mikrokontrollerille erillisellä komponentilla, kuten kiteellä tai resonaattorilla. Tämä komponentti kytketään mikrokontrollerin XTAL1- ja XTAL2-pinnien väliin. Tähän opinnäytetyöhön kuitenkin riittää mikrokontrollerin sisäinen kellotaajuus.

Mikrokontrollerin ajastimia voidaan käyttää esimerkiksi suorittamaan keskeytyksiä tietyillä ajanhetkillä. Ajastimien laukaisevien keskeytysten avulla voidaan suorittaa tietty toiminto tai ohjelma halutulla ajanhetkellä ohjelman pääkoodin suorittaessa jotain muuta. Ajastin täytyy kuitenkin ensin asettaa halutunlaiseksi eli kuinka nopeasti yksi kellojakso suoritetaan.

ATmega328-mikrokontrollerissa on käytettävissä kolme erilaista ajastinta. Siinä on kaksi 8-bittistä ajastinta, TIMER0 ja TIMER2, sekä yksi 16-bittinen ajastin, TIMER1. Näistä valitsin käytettäväksi ajastimen TIMER1, koska se pystyy laskemaan arvoon 65535 asti, eli tällä saadaan paljon tarkempi resoluutio ajastukselle. Tämä tarkoittaa sitä, että kun käytössä on 16-bittinen ajastin ja kellotaajuutena on yksi megahertsi, laskee ajastin suurimpaan mahdolliseen lukemaan 0,065535 sekunnissa. Tulos on laskettu kaavalla 8.

$$t = \frac{1}{f} * (2^n - 1) \quad \text{jossa} \quad (8)$$

t = aika (s)

f = kellotaajuus (Hz)

n = ajastimen suuruus bitteinä

Saatua aikaa voidaan hidastaa käyttämällä esijakajaa. Tämä hidastaa laskemista jakamalla kellotaajuuden tietyn suuruisella lukemalla. Esijakaja saadaan asetettua käyttämällä CS12-, CS11- ja CS10-bittejä TCCRxB-rekisterissä, jossa x on käytetyn ajastimen numero. Käytettävissä olevat esijakajat ja niiden asetukset on esitetty kuviossa 19.

CS12	CS11	CS10	Description
0	0	0	No clock source (Timer/Counter stopped).
0	0	1	clk _{I/O} /1 (No prescaling)
0	1	0	clk _{I/O} /8 (From prescaler)
0	1	1	clk _{I/O} /64 (From prescaler)
1	0	0	clk _{I/O} /256 (From prescaler)
1	0	1	clk _{I/O} /1024 (From prescaler)
1	1	0	External clock source on T1 pin. Clock on falling edge.
1	1	1	External clock source on T1 pin. Clock on rising edge.

KUVIO 19. Ajastimen esijakajat ja niiden edellyttämät bittien asetukset (Atmel 2014)

Tämä ei kuitenkaan vielä anna hallittavissa olevaa lukemaa, vaan keskeytys saadaan aikaiseksi vain silloin, kun ajastin saavuttaa maksimiarvonsa. Jotta saadaan haluttu aika kulumaan jokaisessa keskeytyksen laukaisussa, on otettava käyttöön mikrokontrollerin CTC-asetus (clean timer on compare match). Tässä

asetuksessa ajastin vertaa omaa arvoansa OCR1A-rekisteriin säilöttyyn arvoon. Kun molempien arvot ovat samat, suorittaa mikrokontrolleri keskeytyksen. Pyrin saamaan kellojakson pituudeksi yhden sekunnin. Tiedettyjen arvojen avulla voidaan laskea tarvittava rekisteriin säilöttävän luvun suuruus, joka on sama kuin mikrokontrollerin laskemien kellojaksojen määrä. Tarvittavien kellojaksojen määrä on laskettu kaavalla 9.

$$c = t * \frac{f}{x} - 1 \quad \text{jossa} \quad (9)$$

c = kellojaksojen määrä

t = haluttu aika (s)

f = mikrokontrollerin kellotaajuus (Hz)

x = esijakajan suuruus

Kokeilujen avulla valitsin esijakajan arvoksi 64, jolloin kellojaksojen määräksi sain 15624. Mikrokontrollerin ajastimen saavuttaessa tämän arvon suoritetaan keskeytys sekunnin välein. Keskeytyksen suorittamisen jälkeen mikrokontrolleri nollaa ajastimen arvon ja alkaa laskemaan seuraavaa keskeytystä varten.

Ajastimen suurin käyttötarkoitus projektissa on lukea akkuja tiettyinä ajanhetkinä. Yksi sekunti on helposti hallittavissa ohjelmassa, mutta se on kuitenkin liian lyhyt aikaväli, jolla akkuja luetaan. Tätä voidaan kuitenkin helposti hallita mikrokontrollerin ohjelmalla. Ajastimen alustukset on esitetty kuviossa 20 ja keskeytyksen suorittama ohjelma kuviossa 21.

```
// initialize TIMER1
TCCR1B |= (1 << WGM12);           // configure TIMER1 for CTC mode
OCR1A = 15685;                   // set compare match register to desired timer count
                                  // timer reaches this value every second
TIMSK1 |= (1 << OCIE1A);         // Enable CTC interrupt
TCCR1B |= ((1 << CS10) | (1 << CS11)); // set CS10 and CS11 bit for 64 prescaler
```

KUVIO 20. Ajastimen alustukset

```

// timer interrupt routine
ISR(TIMER1_COMPA_vect)
{
    refresh_seconds++;           // this will be incremented every second
    // will be triggered every wanted minute defined by refresh_timer
    if (refresh_seconds == (refresh_timer * 60))
    {
        refresh_seconds = 0;     // reset variable for next refresh
        Battery_Level();         // execute program to read battery level
    }
}

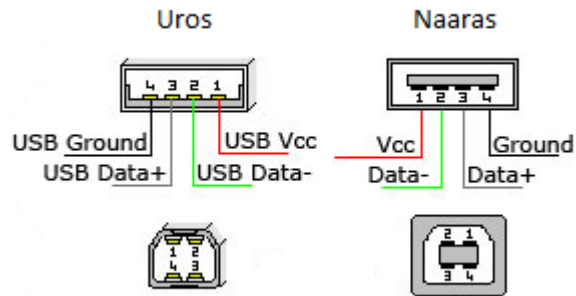
```

KUVIO 21. Keskeytyksen suorittama koodi

Kuvion 21 keskeytys suoritetaan joka sekunti. Ohjelman muuttujaa ”refresh_seconds” suurennetaan joka kerta, kun suoritetaan keskeytys. Tällä saadaan aikaiseksi pidempiä aikoja, jolloin voidaan selkeästi kontrolloida akkujen varaustilan lukemiseen käytettävää aikaväliä. Ohjelmaan on määritelty muuttuja ”refresh_timer”, jolla määritellään, kuinka mones minuutti halutaan lukea akkujen varaustilaa. Tällöin voidaan yhden muuttujan lukemaa muuttamalla vaihtaa varaustilan lukemiseen käytettävää aikaväliä. Asetin aikaväliksi kymmenen minuuttia, koska se on mielestäni tarpeeksi tiheä aikaväli. Virrankulutusta täytyy vielä testata ja mahdollisesti muuttaa aikaväliä testauksista saatujen tulosten pohjalta.

7.6 Ulkoisen laitteen lataaminen USB-portin kautta

USB-porttia (universal serial port) käytetään yleensä datan siirrossa erilaisten laitteiden, kuten kännykän tai kameran ja tietokoneen välillä. Nykypäivänä on kuitenkin yleistynyt mahdollisuus ladata laitteita joko tietokoneen USB-portista tai verkkojännitteestä USB-portilla varustetun adapterin kautta. USB-portissa on neljä eri linjaa: ”Vcc”, ”D-”, ”D+” ja ”GND”, eli maa. Eri linjojen värit ja paikat USB-liittimessä on esitetty kuviossa 22.

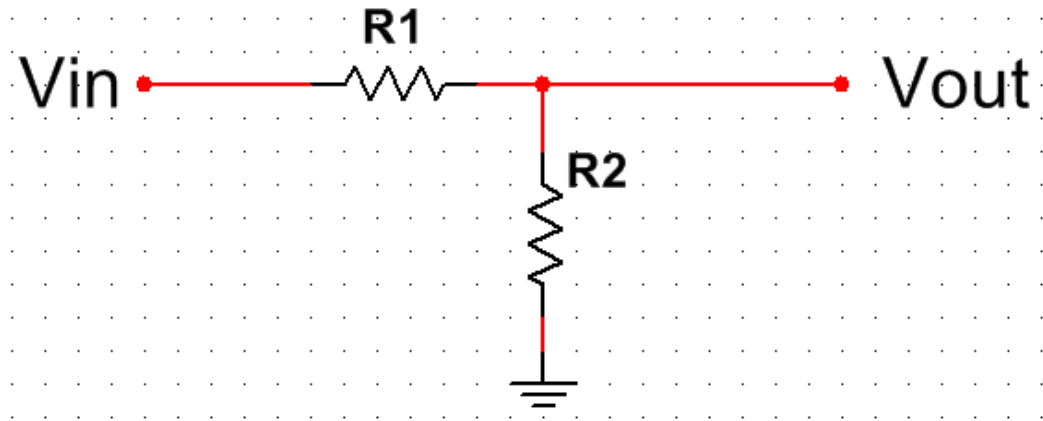


KUVIO 22. USB-portti. Johdon väritä ”ground” on musta, ”D+” on valkoinen, ”D-” on vihreä ja ”Vcc” on punainen (Pinouts 2014)

Nykypäivän kännyköiden akkukestot ovat kohtalaisen matalalla, joten suunnittelin tähän opinnäytetyöhön kännykän latausmahdollisuuden USB-portin kautta. USB-portin valinta oli selkeä, koska todella monet nykypäivän kännykät käyttävät kyseistä porttia lataamiseen tarkoitetuissa johdoissa. Törmäsin kuitenkin testausvaiheessa ongelmaan, että kännykkä ei latautunutkaan suoraan positiivisen ja negatiivisen navan kytkemisen jälkeen, mikä riittäisi vanhemmissa ja yksinkertaisemmissa sovelluksissa, käytettäessä viiden voltin latausjännitettä USB-portin kautta. Nykypäivän kännykät vaativat positiiviseen napaan 5 V:n jännitteen, ”D-”-napaan noin 2 V:n jännitteen ja ”D+”-napaan noin 2,7 V:n jännitteen, että lataus käynnistyisi.

Hakkurilta tuleva 12 voltin jännite muunnetaan regulaattorin avulla 5 voltiksi, josta saadaan tarvittavat pienemmät jännitteet jännitteenjaon avulla.

Jännitteenjako on esitetty kuviossa 23 ja jännitteenjaon laskeminen kaavassa 10.



KUVIO 23. Jännitteenjako

$$V_{out} = \frac{R2}{(R2+R1)} * V_{in} \quad \text{jossa} \quad (10)$$

V_{out} = lähtöjännite (V)

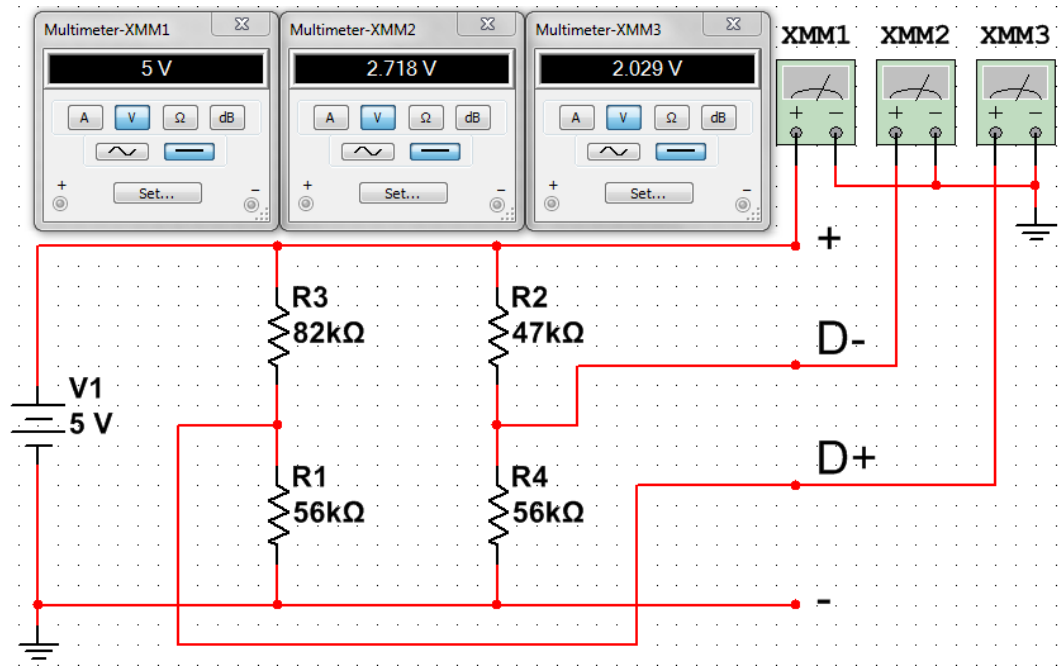
$R1$ = sarjaankytketty vastus (Ω)

$R2$ = rinnankytketty vastus (Ω)

V_{in} = tulojännite (V)

Positiiviselle navalle ei tarvitse käyttää jännitteenjakoa, koska sille saadaan 5 V:n käyttöjännite suoraan regulaattorilta. ”D-”-navalle halutaan lähtöjännitteeksi noin 2,7 V. Tiedetään, että tulojännite on 5 V, joten tehtäväksi jää toisen vastuksen valinta, joka voidaan määrätä halutunlaiseksi. Valitsin ensimmäiseen jännitteenjakoon rinnankytketyn vastuksen arvoksi 56 k Ω . Tämä arvo löytyy suoraan E12-sarjasta. Tästä voidaan laskea sarjaankytketyn vastuksen arvo kaavalla 5. Arvoksi saadaan noin 47,7 k Ω , joka kuitenkin pyöristetään lähimpään E12-sarjassa esiintyvään vastusarvoon. Lopulliseksi arvoksi saadaan 47 k Ω .

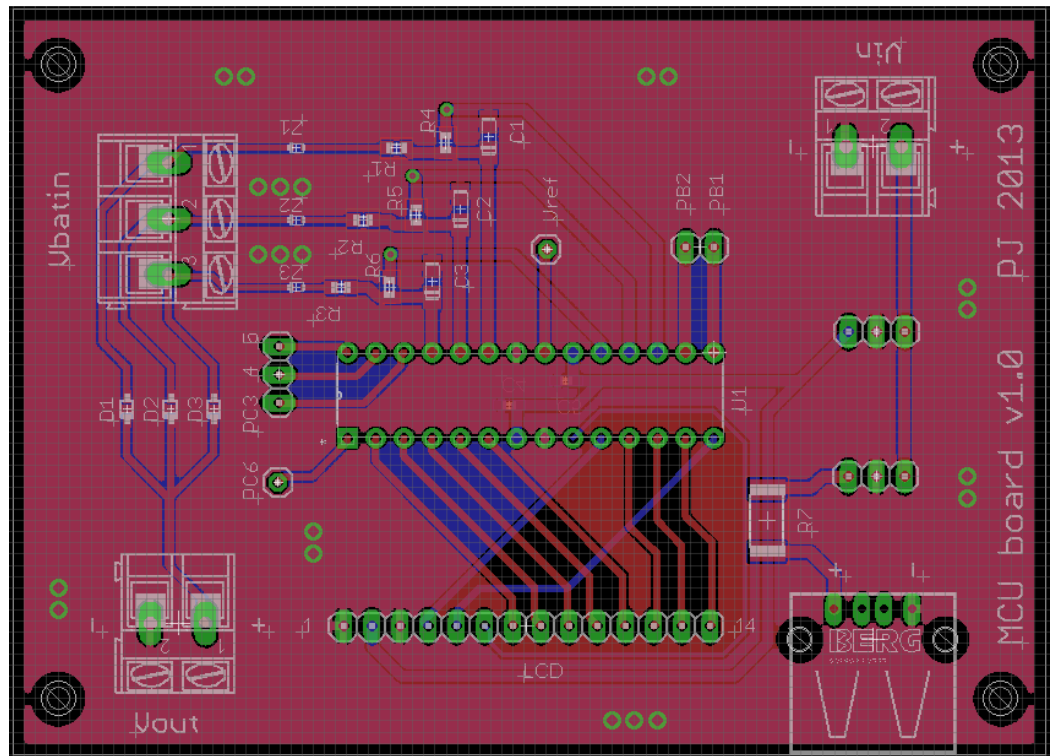
Samalla tavalla voidaan laskea tarvittavat vastusarvot ”D+”-navalle, jolle halutaan 2,0 V. Tiedetään, että tulojännite on 5 V. Valitsin tähänkin rinnankytketyn vastuksen arvoksi 56 k Ω . Kaavan 5 avulla toisen vastuksen arvoksi saadaan 84 k Ω , joka pyöristetään lähimpään E12-sarjan arvoon. Lopulliseksi sarjaankytketyn vastuksen arvoksi saadaan 82 k Ω . Laskut pitävät paikkansa sekä simuloitaessa, että mittaustulosten perusteella myös lopullisessa fyysisessä kytkennässä. Simulaatio suoritettiin National Instrumentsin Multisim 12.0 -ohjelmalla Kytkentä, simulaation tulokset ja valitut vastusarvot on esitetty kuviossa 24.



KUVIO 24. Kytentä, simulaation tulokset sekä vastusarvot

7.7 Piirilevy

Mikrokontrollerin piirilevyllä erityisesti ADC-pinnien, mutta myös muiden pinnien vedot on pyritty pitämään mahdollisimman lyhyinä. Kaksikerroksisen levyn molemmille puolille on pyritty jättämään mahdollisimman yhtenäinen maataso häiriöiden minimoimiseksi. Mahdollisimman lähelle ADC-pinnejä on asetettu tantaalikondensaattorit vähentämään linjoilla esiintyviä häiriöitä. Mikrokontrollerin käyttöjännitepinnien lähelle on asetettu suodatuskondensaattorit, jotta saadaan aikaiseksi häiriötön ja tasainen käyttöjännite.

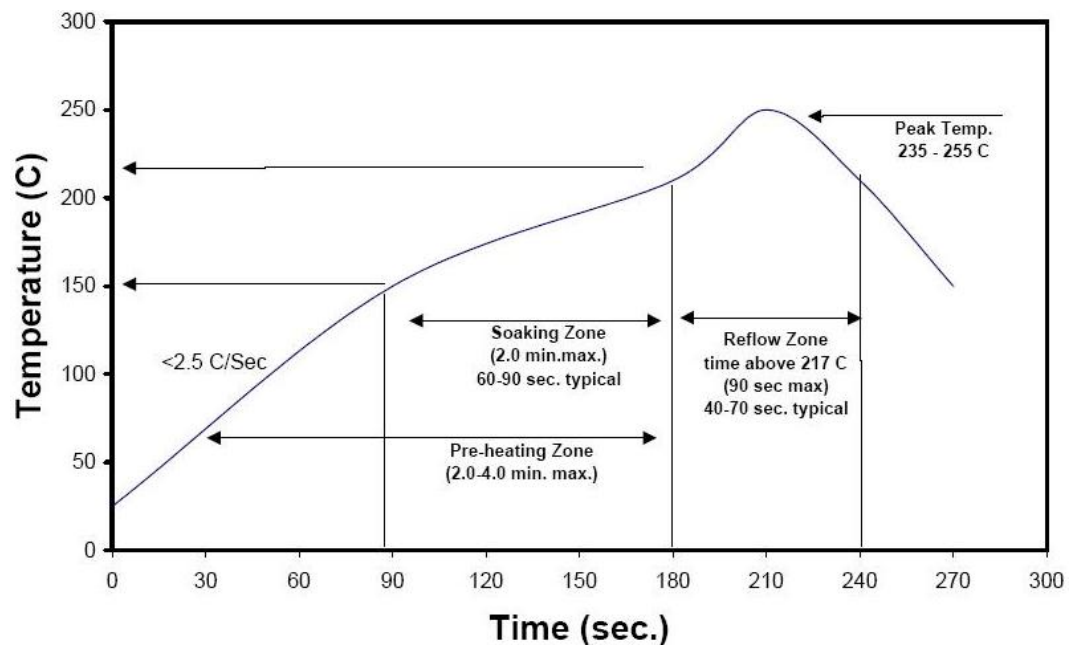


KUVIO 25. Mikrokontrolleriyksikön piirilevy

8 REFLOW-JUOTOSTEKNIikka

Jokaisessa tämän sovelluksen piirilevyssä on käytetty suurimmaksi osaksi tai kokonaan pintaliitoskomponentteja niiden pienuuden takia. Pintaliitoskomponentteja käytettäessä saadaan aikaan reilusti pienempiä piirilevyjä. Näitä komponentteja on kuitenkin vaikea juottaa piirilevyyn kiinni kolvilla, joten on käytettävä juotospastaa ja reflow-juotostekniikkaa. Käytännössä tämä tekniikka tarkoittaa sitä, että piirilevyn juotettaviin kohtiin laitetaan tarvittava määrä juotospastaa, ladotaan komponentit juotospastojen päälle ja asetetaan piirilevy joko kuumenevaan uuniin (reflow oven) tai kuumenevalle levyille (hot plate reflow.)

Reflow-juotostekniikkaan kuuluu neljä vaihetta, jotka on esitetty kuviossa 26. Kuvaajat, lämpötila- sekä aika-arvot poikkeavat hieman käytettäessä lyijyistä tai lyijytöntä juotospastaa. Keskityn tässä projektissa lyijyttömään juotospastaan, koska käytin itse sitä tässä opinnäytetyössä.



KUVIO 26. Reflow-juotostekniikan vaiheet (PUI Audio 2014)

Esilämmitysvaihe (pre-heating phase) valmistee piirilevyn reflow-vaiheeseen. Siinä levyiltä poistuu ylimääräinen juoksute ja tasaisesti lämmitettäessä piirilevy ja komponentit eivät altistu mahdolliselle shokille, joka aiheutuisi liian nopeasta

lämmityksestä, jonka tuloksena piirilevy voisi halkeilla tai osat voisivat vioittua. Tämä vaihe kestää yleensä 2 - 4 minuuttia. (Indium Corporation Blogs 2014.)

Esilämmitysvaiheen lopussa on esi-reflow-vaihe (soaking phase), joka aktivoi juoksutteen. Tarkoituksena on poistaa piirilevyn ja komponenttien juotettavilta pinnoilta sekä käytettävästä juotospastasta oksidit. Tämä vaihe sisältyy yleensä esilämmitysvaiheeseen ja on tyypillisesti pituudeltaan 60 - 90 sekuntia. Tämän vaiheen alkaessa lämpötila on noin 150 astetta. (Indium Corporation Blogs 2014.)

Reflow-vaiheessa (reflow phase) juotospasta sulaa kokonaan ja muodostaa mekaanisen ja sähköisen liitoksen piirilevyn ja siihen liitettyjen komponenttien välille. Tämä vaihe kestää tyypillisesti 40 – 70 sekuntia. Tämän vaiheen maksimilämpötila on 235 – 255 astetta. (Indium Corporation Blogs 2014.)

Viilennysvaihe (cooling phase) määrittää kiteiden rakenteen, kun juotospasta jäähtyy reflow-vaiheen maksimilämpötilasta kiinteään tilaan. Tyypillisesti halutaan nopea viilenemisvauhti, jolloin juotospastaan syntyy hienojakoinen kiderakenne, jolloin liitos on kestävin ja johtaa parhaiten. Suositeltava viilenemisvauhti on 4 °C/s. (Indium Corporation Blogs 2014.)

9 JATKOKEHITYSIDEAT

Boost-hakkurin piirilevyn voisi suunnitella uudelleen, sillä tämänhetkinen hakkuri tuottaa lähtöjännitteeseen lievää häiriötä, jonka voi huomata kaiuttimista kuuluvana pienenä ja korkeataajuisena ininänä. Toisena lisäyksenä hakkurikorttiin olisi hakkurin virranrajoitusvastuksen mitoittaminen paremmin. Tämä täytyy tehdä silloin, kun tiedetään tarkalleen, kuinka paljon virtaa kuorma ja koko sovellus vaatii. Latausyksikön piirilevylle olisi hyvä lisätä jonkinlainen diodikytkentä, jolloin välttyttäisiin piirin polttamiselta, jos akut kytketään piirilevylle väärin päin.

Mikrokontrolleriyksikössä sijaitsevan USB-latausliittimeen lisätyt tarvittavat vastukset voisi integroida itse kortille, sillä tällä hetkellä ne ovat erillisenä yksikkönä. Tässä opinnäytetyössä käytettyä akkujen varaustilan tarkkailua voisi parantaa, koska se ei ole täysin tarkka. Mahdollisesti tarkempi vaihtoehto olisi monitoroida kuorman virrankulutusta ja laskea tätä kautta mikrokontrollerilla akkujen varaustila. Mahdollisesti näytöllä voisi näyttää myös akkukesto minuutteina prosenttien lisäksi. Jos sovellukseen haluaisi tarkan kellon, tai tarkan ajastuksen, pitäisi mikrokontrollerille lisätä ulkoinen kide. Mikrokontrollerin oma sisäinen kello on kohtalaisen epätarkka.

Tutustuin erilaisiin aurinkopaneelityyppeihin ja niiden kytkentään, mutta niiden integroiminen tähän sovellukseen jäi vasta suunnitteluasteelle. Ajattelin aluksi, että aurinkopaneelit toimisivat suunniteltujen latausyksikköjen kanssa, mutta näin ei kuitenkaan käynyt ja niille pitäisi suunnitella oma ohjausyksikkönsä.

Sovellukseen voisi lisätä bluetooth-yhteyden, jolloin olisi mahdollista toistaa ääniraitoja langattomasti. Tämä kuitenkin veisi enemmän virtaa, jolloin akkukestoja pitäisi pohtia uudemman kerran.

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön aiheena oli kannettava kaiutinyksikkö ja sen toteuttaminen. Tarkoituksena oli tuottaa toimiva ja hyvin suunniteltu kokonaisuus monesta eri osa-alueesta ja onnistuin siinä mielestäni hyvin. Kaikille yksiköille suunnitellut piirilevyt ja niille valitut komponentit muodostavat erilliset yksiköt, jotka suunnittelujen perusteella toimivat hyvin sekä erillisinä että yhdessä. Näitä yksiköitä on siis mahdollisuus valmistaa ja käyttää vielä tulevilla projekteilla.

Opinnäytetyön aiheen tiimoilta tutustuin moneen uuteen aihealueeseen, jotka kartuttivat tietouttani elektroniikasta entisestään. Varsinainen fyysinen kokonaisuus ja lopullinen ohjelma mikrokontrollerille eivät ehtineet aivan valmistua ennen opinnäytetyön palautusta. Tämä kuitenkin antaa mahdollisuuden vielä laitteen jatkokehitykseen. Fyysisen kokonaisuuden vielä puuttuessa oli vaikeaa perehtyä laitteen käyttöikään ja sen tiimoilta laitteen virrankulutukseen. Tätä kuitenkin aion testata fyysisen kokonaisuuden valmistuessa.

Opinnäytetyö onnistui mielestäni suurimmaksi osaksi erittäin hyvin. Ainoat negatiiviset asiat ovat, että fyysinen kokonaisuus ei valmistunut, mikrokontrollerin ohjelma jäi hieman kesken ja aurinkopaneelien integroiminen muuhun kokonaisuuteen jäi pois. Toisaalta aurinkopaneelien tuli tutustuttua ja tämän teoretian avulla on helppo perehtyä jatkokehitysvaiheeseen siihen, että saa paneelille suunniteltua niiden tarvitseman ohjaus- tai latausyksikön.

LÄHTEET

Atmel. 2014. Atmel 8-bit Microcontroller with 4/8/16/32KBytes In-System Programmable Flash [viitattu 15.2.2014]. Saatavissa:

http://www.atmel.com/images/atmel-8271-8-bit-avr-microcontroller-atmega48a-48pa-88a-88pa-168a-168pa-328-328p_datasheet.pdf

Battery University. 2014a. Battery Definitions [viitattu 15.1.2014]. Saatavissa:

http://batteryuniversity.com/learn/article/battery_definitions

Battery University. 2014b. Charging with a Power Supply [viitattu 15.1.2014].

Saatavissa:

http://batteryuniversity.com/learn/article/charging_with_a_power_supply

Battery University. 2014c. Is Lithium-ion the Ideal Battery? [viitattu 10.1.2014].

Saatavissa:

http://batteryuniversity.com/learn/article/is_lithium_ion_the_ideal_battery

Battery University. 2014d. Nickel-based Batteries [viitattu 10.1.2014]. Saatavissa:

http://batteryuniversity.com/learn/article/Nickel_based_batteries

Battery University. 2014e. Serial and Parallel Battery Configurations [viitattu

15.1.2014]. Saatavissa:

http://batteryuniversity.com/learn/article/serial_and_parallel_battery_configurations

BudgetLightForum. 2014. Test / Review: Coolook, Powerlion and Soshine 14500 (AA) LiFePO4 [viitattu 7.2.2014]. Saatavissa:

<http://budgetlightforum.com/node/20415>

Digital Reality Crew forums. 2014. Cordless power tool batteries: NiCd vs NiMh vs LiIon [viitattu 11.1.2014]. Saatavissa: <http://forum.drc.su/cordless-power-tool-batteries-nicd-vs-nimh-vs-liion-vt4187.html>

Finnwind. 2014. Usein kysyttyä aurinkopaneeleista, aurinkopaneelien asennuksesta jne [viitattu 19.1.2014]. Saatavissa:

<http://www.finnwind.fi/aurinkovoima>

Indium Corporation Blogs. 2014. Profiling Basics – Reflow Phases [viitattu 15.3.2014]. Saatavissa: <http://blogs.indium.com/blog/ed-briggs/profiling-basics-reflow-phases>

Maxim Integrated. 2014. 12V or Adjustable, High-Efficiency, Low IQ, Step-Up DC-DC Controller [viitattu 9.3.2013]. Saatavissa: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1771.pdf>

Microchip. 2014. Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) Battery Charge Management Controller with Input Overvoltage Protection. [viitattu 29.1.2014]. saatavissa: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/22191D.pdf>

Pierro Solar. 2014. Pros and Cons of Different Types of Solar Cells [viitattu 19.1.2014]. Saatavissa: <http://www.pierrosolar.com/why/about-solar-panels/types>

Planetary Power. 2014. Solar Panels [viitattu 19.1.2014]. Saatavissa: http://www.planetarypower.com.au/solar_panels.htm

Rapid Tables. 2014. How to convert mAh to Wh [viitattu 10.1.2014]. Saatavissa: <http://www.rapidtables.com/convert/electric/mah-to-wh.htm>

Solar Choice. 2014. Which solar panel type best suits your needs – monocrystalline, polycrystalline or amorphous thin film? [viitattu 19.1.2014]. Saatavissa: <http://www.solarchoice.net.au/blog/which-solar-panel-type-best-suits-your-needs-monocrystalline-polycrystalline-or-amorphous-thin-film/>

Solar System. 2014. Solar Energy, Power, Electricity [viitattu 29.1.2014] Saatavissa: <http://www.solarsystem.pk/solarenergy.html>

Tripath Technology, Inc. 2014. Stereo 20W (4Ω) Class-T™ Digital Audio Amplifier Driver Using Digital Power Processing (DPP™) Technology [viitattu 10.3.2014]. Saatavissa: <http://www.e-ele.net/DataSheet/TA2020.pdf>

Pinouts. 2014. USB pinout [viitattu 8.2.2014]. Saatavissa: <http://pinouts.ru/visual/USB.jpg>

PUI Audio. 2014. Lead Free Reflow Profile [viitattu 15.3.2014]. Saatavissa: http://www.puiaudio.com/images/reflow_profile.jpg

Wikipedia. 2014. Rechargeable battery [viitattu 11.1.2014]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Rechargeable_battery

LIITTEET

LIITE 1. Kannettavan kaiutinyksikön lohkokaavio

