

Opinnäytetyö (AMK)

Elektroniikan koulutusohjelma

Elektroniikkasuunnittelu

2016

Leo Mäkinen

HARJATTOMAN TASAVIRTAMOOTTORIN NOPEUDENSÄÄDIN



OPINNÄYTETYÖ (AMK) | TIIVISTELMÄ

TURUN AMMATTIKORKEAKOULU

Elektroniikan koulutusohjelma

2016 | 26

Ohjaaja: Timo Tolmunen

Leo Mäkinen

Harjattoman tasavirtamoottorin nopeudensäädin

Radio-ohjausta käytetään monissa sovelluksissa maan päällä, ilmassa ja avaruudessa. Tässä työssä oli tarkoituksena tutustua harrastekäytössä oleviin radio-ohjattaviin pienoismalleihin ja niissä käytettäviin moottoreihin. Erityisesti keskityttiin harjattomiin tasavirtamoottoreihin, joiden käyttö on yleistynyt viime vuosina. Tavoitteena oli suunnitella harjattoman tasavirtamoottorin nopeudensäädin lennokkiin.

Työ toteutettiin etsimällä tietoa radio-ohjauksesta, ohjattavista laitteista ja pienoismalleissa käytetyistä moottoreista. Työssä kartoitettiin harjattoman tasavirtamoottorin ohjauksen ja nopeudensäätimen rakenteen vaihtoehtoja.

Harrastekäytössä hinta on olennainen kriteeri. Yleensä harrastelennokkien moottoreissa ei käytetä sensoreita. Sensoriton asennontunnistus säästää kuluissa, koska ei tarvita ylimääräisiä johtoja. Lennokeissa käytetään pääasiassa kolmivaiheisia, harjattomia tasavirtamoottoreita. Moottorin ohjauksessa käytetään katkottua tasajännitettä. Vaiheistetut jännitesignaalit tuottavat moottorikäämien magneettikentän, joka aiheuttaa kiertoliikkeen lennokin potkurin pyörittämiseksi.

Nopeudensäätimen yleisrakenne saatiin suunniteltua. Komponenttivalinnat ja ohjelmistosuunnittelu vaativat jatkossa tarkemman perehtymisen.

ASIASANAT: lennokit, radio-ohjattavat autot, kauko-ohjaus

BACHELOR'S THESIS | ABSTRACT

TURKU UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Electronics

2016 | 26

Instructors: Timo Tolmunen

Leo Mäkinen

Speed Controller for Brushless Direct Current Motor

Radio control is used in many applications on ground, in air, and in space. Radio controlled models are a versatile hobby which is gaining popularity with people of all ages.

The purpose of this thesis was to study radio controlled scale models as a hobby and motors used in these models. The specific objectives were firstly to understand brushless direct current motors and how to control them and secondly, to design a speed controller for a brushless direct current motor.

The objectives were achieved by searching for information about radio control in general, radio-controlled devices, and the motors used in model planes as well as exploring brushless direct current motor control options.

As a result, a general overview of radio-controlled scale models and motors used in them was compiled. A general structure of a speed controller was designed. Component selection and software design would require a further study in the future.

KEYWORDS: model planes, radio-controlled cars, remote controlling

Sisältö

1 JOHDANTO.....	1
2 RADIO-OHJATTAVAT LAITTEET.....	5
2.1 Historiaa.....	5
2.2 Tekniikkaa.....	6
2.3 Trendit.....	6
3 MOOTTORIT.....	7
4 HARJATON TASAVIRTAMOOTTORI.....	10
5 ELEKTRONIIKKA.....	16
5.1 Ohjauksen, tehoasteen ja asennontunnistuksen vaihtoehdot.....	16
5.2 Teholähteen vaihtoehdot.....	17
6 POHDINTA.....	20
7 YHTEENVETO.....	21
LÄHTEET.....	22

1 JOHDANTO

Radio-ohjattavat pienoismallit on hauska ja monipuolinen harrastus lähes kaikenikäisille. Alkuun pääsee helposti ja nopeasti lähes käyttövalmiiden pakettien ansiosta. Harrastaa voi monenlaisella budjetilla, halvimmat lelukauppojen mallit maksavat muutamia kymppejä ja näilläkin pääsee kokeilemaan, mistä on kyse. Kalleimmillaan harrastukseen saa kulutettua tuhansia euroja.

Yleisin vaihtoehto on radio-ohjattavat autot, joista pienimmät vaativat vain hyvin vähän tilaa ja ovat helppoja aloittelijoille ottaa käyttöön ja ohjata. Varsinkin sarjavalmistetut akkukäyttöiset lelut toimivat suoraan paketista vaikka sisällä. Seuraavaksi enemmän haastetta saadaan edistyneemmillä ja tehokkaammilla malleilla, jotka on tarkoitettu ulkokäyttöön tasaiselle alustalle. Erikoisempia vaihtoehtoja on maastoajoneuvoista tankkeihin. Muita yleisiä vaihtoehtoja ovat maa-ajoneuvojen jälkeen vedessä ja ilmassa liikkuvat laitteet, kuten veneet, sukellusveneet, lennokit ja helikopterit.

Oman kiinnostuksen ja kokemuksen johdosta tässä työssä keskitytään pienemmän kokoluokan radio-ohjattaviin lennokkeihin, joita kutsutaan myös puistolennokeiksi. Monet kohdat pätevät myös muihin radio-ohjattaviin pienoismalleihin.

Ennen kauko-ohjattavissa lennokeissa käytettiin pääasiassa pieniä polttomoottoreita, joilla saavutettiin hyvä teho-painosuhte. Polttomoottorit ovat kuitenkin melko sotkuisia käyttää polttoaine-öljyseoksen takia, koska käytössä lennokin pintaan tarttuu öljyä, jota voi olla työlästä puhdistaa. Polttomoottorit ovat myös melko äänekkäitä, mikä rajoittaa niiden käyttöä. Tiukentuneet vaarallisten aineiden kuljetussäädökset ovat heikentäneet polttoaineen saatavuutta. Lisäksi pienimmätkin koneet ovat melko kookkaita ja tarvitsevat lennätykseen paljon tilaa, kuten ison peltoaukean tai pienen lentokentän, joille on usein muutakin käyttöä ja tämä rajoittaa lennätystä.

Käyttövoimana sähköä on yleensä helpommin saatavilla. Kuitenkaan aiemmin sähkömoottorit eivät ole olleet käytännöllinen vaihtoehto, koska niiden tarvitsemat akkupaketit ovat olleet melko kookkaita ja painavia. Kannettavan elektroniikan

yleistymisen myötä akkutekniikka on kehittynyt huomattavasti, ja vähitellen sähkömoottorit ovat saavuttaneet kilpailukykyisen teho-painosuhteen. Tämän jälkeen niiden käyttö on yleistynyt nopeasti ja ne ovat nykyään lähes syrjäyttäneet polttomoottorit.

Aluksi sähkömoottorit olivat tavallisia harjallisia tasavirta- eli DC-moottoreita, joita oli hyvin helppo ohjata. Ne toimivat periaatteessa suoraan akusta, jolloin ne pyörivät tasaisella nopeudella. Niiden pyörimisnopeuden säätö oli yksinkertaista: siihen riitti yksi puolijohdekytkin, joka katkoi syöttöjännitettä, ja moottorin nopeus seurasi melko tarkasti pulssisuhdetta. Tuohon aikaan oli erittäin yleistä ja melko helppoa tehdä nopeudensäädin itse ja niitä löytyi monenlaisia eri harrastesivuilla ja -lehdissä.

Myöhemmin alkoivat yleistymään harjattomat tasavirtamoottorit (BLDC, Brushless Direct Current), joilla oli parempi hyötysuhde, ne olivat tehokkaampia ja kestävämpiä, koska niissä ei ollut juurikaan kulumia osia. Huonona puolena oli niiden alkuaan kallis hinta, joka oli huomattavasti korkeampi kuin perinteisellä harjallisella moottorilla. Lisäksi hiiliharjat täytyi korvata elektronisella säätimellä, joka taas teki nopeudensäätimestä monimutkaisemman ja kalliimman.

Vaikka periaatteessa ohjaimen elektroniikka on melko yksinkertainen toteuttaa, yleensä vaaditaan kuitenkin tehokas mikrokontrolleri ohjaamaan kytkimiä. Tämä taas on aiheuttanut romahduksen itsetehtyihin säätimiin, kunnes ne taas aivan viime vuosina ovat taas alkaneet yleistymään ohjelmointitaidon yleistymisen ja helppokäyttöisten kehitysympäristöjen johdosta, joita myös tavallisilla kuluttajilla on varaa ostaa. Jotkin ohjelmat ovat jopa ilmaisia ja niiden lisäksi tarvittava rauta on hyvinkin edullista. Esimerkiksi Arduino on avoimeen laitteistoon ja koodiin perustuva edullinen elektroniikka-alusta, jota voidaan käyttää monissa mikrokontrolleria tarvitsevilla elektroniikkaprojekteissa.

Nykyään harjattomat tasavirtamoottorit ovat kaikista yleisin moottorityyppi, ainakin pienemmissä lennokeissa. Niiden käyttö on lisääntynyt räjähdysmäisesti muutaman viime vuoden aikana. Moottorien ja säätimien hinnat ovat tippuneet samaa tahtia kuin

niiden suosio on kasvanut ja nykyään ne ovat melko edullisiakin, tosin hintahaitari on melko laaja noin kymmenestä eurosta noin kolmeensataan euroon asti riippuen paljolti tehosta, koosta ja virtakelestä.

Aiheesta harjatoman tasavirtamoottorin ohjaus on tehty useita opinnäytetöitä Suomessa ja aiheeseen liittyviä töitä myös muualla maailmassa. Ensimmäisenä vastaan tuli Jussi Sirkiän vuonna 2006 tekemä diplomityö Harjattomien tasavirtamoottoreiden ohjainlennokkikäyttöön [1], joka on otsikkoa myöden juuri sitä mitä ajattelin tehdä. Kuitenkin aikaa on kulunut ja tekniikka on kehittynyt, joten jatkoin kuitenkin valitsemani aiheen tutkimista.

Sirkiä on toteuttanut ohjaimensa PIC-mikrokontrollerin ympärille ja saanut aikaan kohtalaisesti toimivan prototyypin. Kehitysehdotuksina hän listaa muunmuassa ohjelman suoritusnopeuden kasvattamisen prosessorityyppiä vaihtamalla ja keskeytysten hyödyntämisellä, käyttöjännitteen minimin laskemisen tehokytkinten ohjauksella parantamalla. Työssä tarvittiin akun jännitteen lisäksi 5 V prosessorille ja 12 V kytkinten ohjaukselle, nämä toteutettiin lineaariregulaattoreilla. Työssä mainitaan myös, että jännitteen voisi tuottaa myös hakkuritekniikalla jos tarvittaisiin vain yksi jännite. [1]

Myös Juha Koski on tutkinut harjatoman tasavirtamoottorin ohjausta ja suunnitellut omaa säädintään [2]. Moottoreita on tutkinut myös James Robert Mevey hyvin teoriapainoisesti ja on kerännyt työhönsä pitkäkhön kirjallisuuslistauksen [3].

Tämän työn tarkoituksena olisi perehtyä ensin hieman radio-ohjaukseen ja radio-ohjattaviin laitteisiin yleisesti jonka jälkeen tarkoituksena olisi syventyä radio-ohjattaviin pienoismalleihin harrastuksena erityisesti lennokeihin ja niiden moottoreihin.

Tavoitteena olisi tutustua harjattomien moottorien ohjaukseen ja rakentaa toimiva laite. Tarkoitus olisi rakentaa säädin Arduino UNO -alustan ympärille, ainakin protovaiheessa. Sirkiän [1] ehdotusten pohjalta tavoitteena olisi laskea laitteen käyttöjännitteen alaraja mahdollisimman alas toteuttamalla tehokytkimien ohjaus niin,

etteivät ne tarvitse toimiakseen yli viittä voltia. Tällöin riittäisi sama jännite mitä konrtrolleri ja vastaanotinkin tarvitsevat ja pärjättäisiin yhdellä regulaattorilla. Tämän voisi toteuttaa myös paremman hyötysuhteen omaavalla hakkuritekniikalla, jolla voitaisiin saada tarpeeksi tehoa myös vastaanottimelle ja servoille.

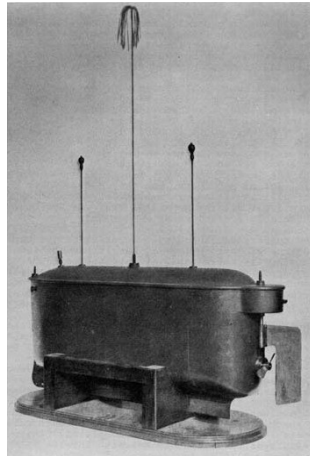
2 RADIO-OHJATTAVAT LAITTEET

Radio-ohjauksella tarkoitetaan yleensä jonkin laitteen kauko-ohjausta radiosignaalien välityksellä. Radio-ohjattavia laitteita on hyvin monenlaisia ja -tasoisia halvoista lasten leluista monikansallisena yhteistyönä toteutettuihin avaruusaluksiin, joiden hinnat ovat myös tähtitieteellisiä ja kaikkea siltä väliltä. Radio-ohjausta käytetään paljon teollisuudessa, tieteellisessä tutkimuksessa, harrastustoiminnassa ja armeijan toiminnoissa.

Edellä esitetty määritelmä radio-ohjauksesta kattaa laajasti ajateltuna esimerkiksi kauko-ohjattavat pistorasiat, autotallien ovet, sähkökiukaat, pesukoneet, lämmityslaitteet, hälytysjärjestelmät ja muut esineiden internettiin liittyvät langattomat laitteet joita voidaan ohjata sekä autojen ovien lukot, armeijan tiedustelulennokit ja jotkin avaruuden tutkimuksessa käytetyt laitteet joita voidaan ohjata maasta käsin. Tässä työssä keskitytään lähinnä radio-ohjattaviin pienoismalleihin.

2.1 Historiaa

Radio-ohjaus on ollut käytössä erilaisissa sovelluksissa ainakin siitä asti, kun Nikola Tesla esitteli kauko-ohjatun veneensä (kuvassa 1) vuonna 1898. Teslalle myönnettiin patentti [4] kyseisestä laitteesta. Toisen maailmansodan aikana radio-ohjaus yleistyi sotilaskäytössä erilaisten ohjattavien pommien muodossa. Myös kokeellisia radio-ohjattuja laivoja, lentokoneita ja tankkeja oli käytössä. Tämän ajan radio-ohjaus perustui usein tietyllä taajuudella resonoiviin metallikieliin ja releisiin. [5]



Kuva 1. Nikola Teslan kauko-ohjattava vene vuodelta 1898. [6]

2.2 Tekniikkaa

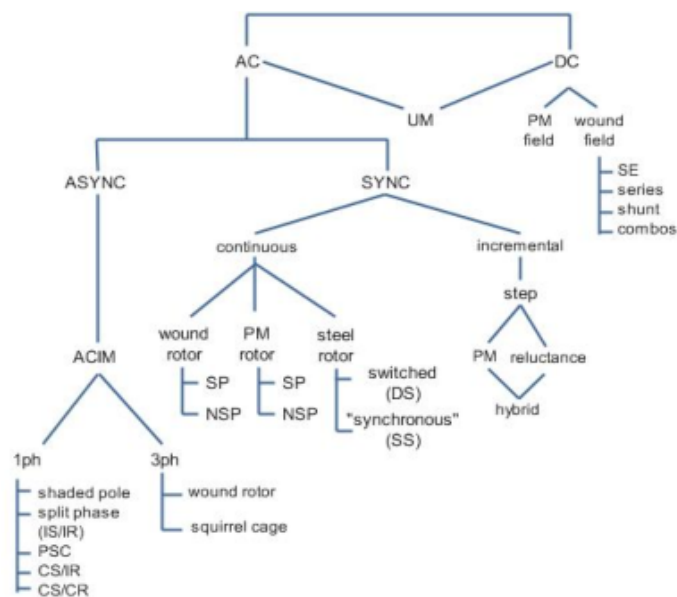
Lähetin on tavallisesti kädessä pidettävä laite, jonka avulla käyttäjä välittää komennot ohjattavalle laitteelle. Vastaanotin on ohjattavassa laitteessa oleva osa joka on vastuussa lähettimen signaalin vastaanottamisesta ja muuntamisesta servosignaaleiksi, joilla ohjataan laitteessa olevia toimilaitteita, kuten servoja. Servomoottori muuttaa saamansa sähköisen signaalin liikkeeksi. Ohjattavassa laitteessa tarvitaan lisäksi nopeudensäädin, jolla ohjataan sähkömoottorin pyörimisnopeutta.

2.3 Trendit

Radio-ohjattavat laitteet harrastuksena on aikaisemmin keskittynyt nimenomaan pienoismallien ohjaukseen näistä yleisimpänä pienoisautot, -veneet ja lennokit. Nykyään on yleistymässä myös muita laitteita, jotka voitaneen lukea radio-ohjattaviksi, koska ne käyttävät radioaaltoja käskyjen vastaanottamiseen esimerkiksi langattoman lähiverkon yli.

3 MOOTTORIT

Lennokeissa yleisimmin käytetyt moottorit voidaan jakaa käyttövoiman perusteella karkeasti kahteen ryhmään: polttomoottoreihin ja sähkömoottoreihin. Polttomoottoreista yleisimmin käytettyjä tyyppisiä ovat 2- ja 4-tahtimoottorit sekä bensamoottorit. Sähkömoottorit jakautuvat karkeasti kahteen ryhmään joita ovat harjalliset ja harjattomat moottorit. Yksityiskohtaisemmin sähkömoottorit on jaoteltu kuvassa 2.



Kuva 2. Moottorien jaottelua. [3]

Ennen pienet polttomoottorit olivat ainoa kustannustehokas ratkaisu lennokkeihin kokonsa, painonsa, tehonsa ja lentoajan perusteella verrattuna senaikaisiin isoihin sähkömoottori ja akku yhdistelmiin, joissa edes jonkinlaiseen lentoaikaan pääsyyn tarvittiin hyvin kookas ja painava akku, jonka lataaminen kesti kauan ja vaihtaminen saattoi olla työlästä. polttoainetankin täyttäminen kesti muutamia minuutteja ja lentotaika tankillisella oli pitempi kuin täydellä akulla. Tehoakin polttomoottoreista saatiin irti enemmän kuin vastaavan kokoisesta sähkömoottorista.

Polttomoottorien huonoihin puoliin voidaan lukea kovaäänisyys. Polttoaineen saatavuus voi olla paikoin huono, varastointi saattaa olla hankalaa tai mahdotonta, lennokeihin syntyy öljyjäämiä lennätyksen aikana, joten koneet täytyy puhdistaa joka lennon jälkeen liuottimilla. Ja tämä saattaa sotkea vaatteita tms. Isot koneet tarvitsevat myös paljon tilaa lennätykseen, joten tarvitaan iso peltoaukea tai pieni lentokenttä lennätykseen. Näitä ei kaikkialla ole tai niiden käytöllä on usein rajoituksia.

Tekniikan kehittyessä sähkömoottorien teho suhteessa painoon on parantunut ja samalla akkutekniikka on kehittynyt kevyempään suuntaan kapasiteetin kasvusta huolimatta. Nykyään saadaan siis enemmän virtaa pienemmässä ja kevyemmässä paketissa.

Sähkömoottorit ovat suhteessa hiljaisempia eivätkä tarvitse sotkuista polttoainetta. Sähköä on yleensä saatavilla. Sähkömoottoreita on hyvin monen kokoisia, joten pienemmät lennokit ovat yleistyneet eikä tarvita enään lentokenttää lennätykseen. Pieni kenttä tai takapiha riittää ja pienimpiä voi lennättää sisälläkin. Joissakin liikuntasaleissa tai -halleissa on joskus järjestetty sisälennätysvuoroja, jolloin harrastajat ovat kokoontuneet lennättämään pieniä koneita sisätiloihin. Näin tuuli ei vaikuta kevyisiin koneisiin.

Sähkömoottoreita on hyvin monenlaisia ja niitä voidaan jaotella monilla tavoilla. Tässä työssä käytetään jaottelua AC- ja DC-moottoreihin aiotun käyttövoiman perusteella. Lisäksi voidaan molemmat jakaa harjallisiin ja harjattomiin malleihin. Lennokeissa yleensä käytetään DC-moottoreita. Ennen käytettiin yksinomaan harjallisia nykyään lähinnä harjattomia. Jotkut moottorit pystyvät toimimaan molemmilla jännitemuodoilla lähes yhtä hyvin, mutta niitä ei yleisesti tehdä pienikokoisina monimutkaisemman rakenteen takia ja koska parempiakin vaihtoehtoja on.

Teoriassa myös AC-moottoria voidaan ajaa DC-lähteestä, mutta se tarvitsee monimutkaisemman säätimen ja optimitoimintaan täytyisi generoida kolmivaiheinen sinisignaali ja tämä on usein epäkäytännöllistä halvemmissä harrastesovelluksissa joissa pienempikin tarkkuus riittää. Sinimuotoiselle signaalille optimoidut moottorit saattavat toimia myös sopivasti katkotulla DC-jännitteellä, mutta tähän käyttöön on olemassa

trapezoidiselle jännitteelle optimoitu moottorityyppi BLDC, joka voidaan toteuttaa monella tapaa joista yleisin käämintätapa ainakin itsetehdyissä moottoreissa on kehittäjiensä mukaan nimetty LRK (Christian Lucas, Ludvig Retzbach ja Emil Kuerfuss) [1].

Kun sähkömoottoreita alkoi ilmestyä polttomoottorien rinnalle ne olivat yksinomaan harjallisia tasavirtamoottoreita, joissa mekaaniset hiiliharjat muuttivat akusta saatavan tasajännitteen sopivaksi moottorille kytkemällä jännitteen vain osaan moottorin käämityksistä samanaikaisesti. Moottorien ohjaus oli helppoa toteuttaa laskevalla katkojalla joka laski moottorille menevän jännitteen keskiarvoa pulssinleveyttä säätelemällä ja moottorin nopeus seurasi riittävällä tarkkuudella tätä keskiarvojännitettä/pulssisuhdetta.

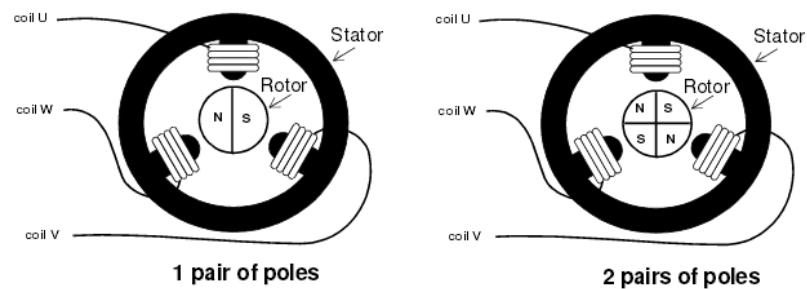
4 HARJATON TASAVIRTAMOOTTORI

Harjaton tasavirtamoottori koostuu keloista ja voimakkaista kestopagneeteista. Kelat pysyvät paikoillaan eli muodostavat moottorin staattorin. Magneetit pyörivät eli muodostavat moottorin roottorin. Roottori voi olla joko staattorin sisä- tai ulkopuolella (inrunner / outrunner). Näistä ensimmäinen on sisäpyöräjä, jolla saavutetaan suurempi pyörimisnopeus verrattuna jälkimmäiseen ulkopyöräjä, jolla taas saavutetaan suurempi vääntömomentti. Kuvassa 3 on yksinkertainen kaksinapainen tuuletinmoottori.



Kuva 3. Kaksinapainen harjaton moottori [7]

Figure 2. Three phase, three coil BLDC motor stator and rotor

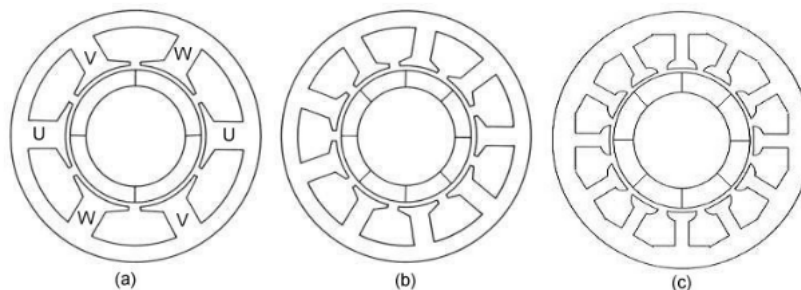


AVR194

Kuva 4. Kolmivaihemoottori (<http://www.atmel.com/images/doc8138.pdf>)

Yksinkertaisimmillaan kolmivaiheisen moottorin staattori koostuu kolmesta kelasta ja roottori yhdestä parista magneettisia napoja. Usein molempia on enemmän, mutta ohjauksen yksinkertaistamiseksi kelat on kytketty siten, että moottorin ulkopuolelle tulee vain kolme johtoa ja nämä on sitten jaettu moottorin sisällä sopivasti. Tämä näkyy kuvissa 4 ja 5.

Figure 1-1. BLDC motors of different types. Motor (a) has two fundamental sets of coils and four poles, (b) has three sets of coils and eight poles and (c) has four sets of coils and eight poles.



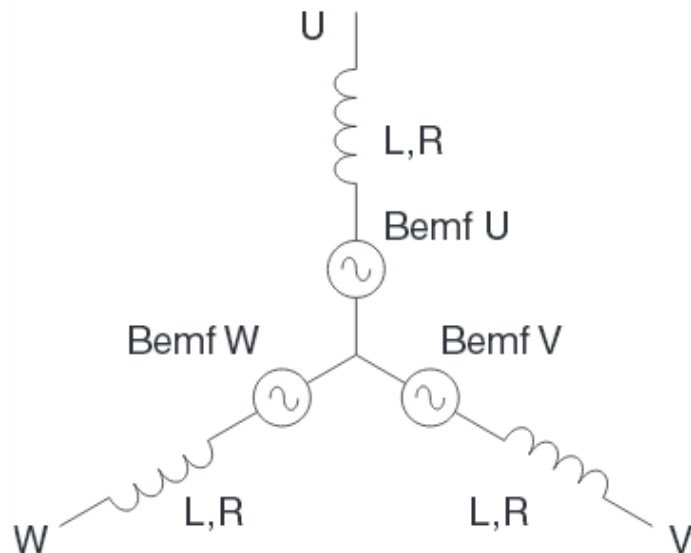
The fact that the coils are stationary while the magnet is rotating makes the rotor of the BLDC rotor lighter than the rotor of a conventional universal DC motor where the coils are placed on the rotor.

Kuva 5. Erilaisia rakenteita (http://www.atmel.com/Images/Atmel-2596-Sensor-based-Control-of-Three-Phase-Brushless-DC-Motors_Application-Note_AVR443.pdf)

Kuvassa 6 näkyy moottorin yksinkertaistettu sähköinen vastinkytkentä, jossa näkyy moottorin käämit ja takaisinkytketty sähkömotorinen voima (B_{emf}). Kuvassa 7 näkyy yksinkertaistettu kolmivaihemoottorin ohjaimen järjestelmäkaavio, jossa

sisääntulona on nopeusohje ja ulostulona moottorin kolme vaihejännitettä. Pääkomponentit ohjausjärjestelmässä ovat mikrokontrolleri, moottorin tehoaste ja takaisinkytketty sähkömotorisen voiman havainnointikytkentä.

Figure 1. Stator Electrical Configuration (Three phases, three coils)



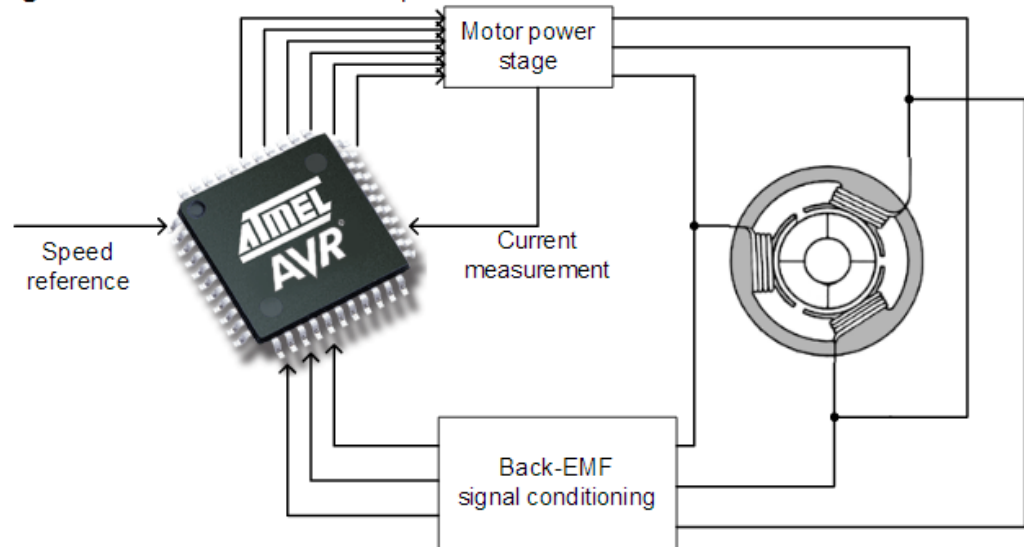
*Kuva 6. Moottorin yksinkertainen sähköinen sijaiskytkentä
(<http://www.atmel.com/images/doc8138.pdf>)*

AVR444

- Speed reference input
- Current measurement circuit

The interconnection of these parts is shown in Figure 3.

Figure 3. Sensorless control setup



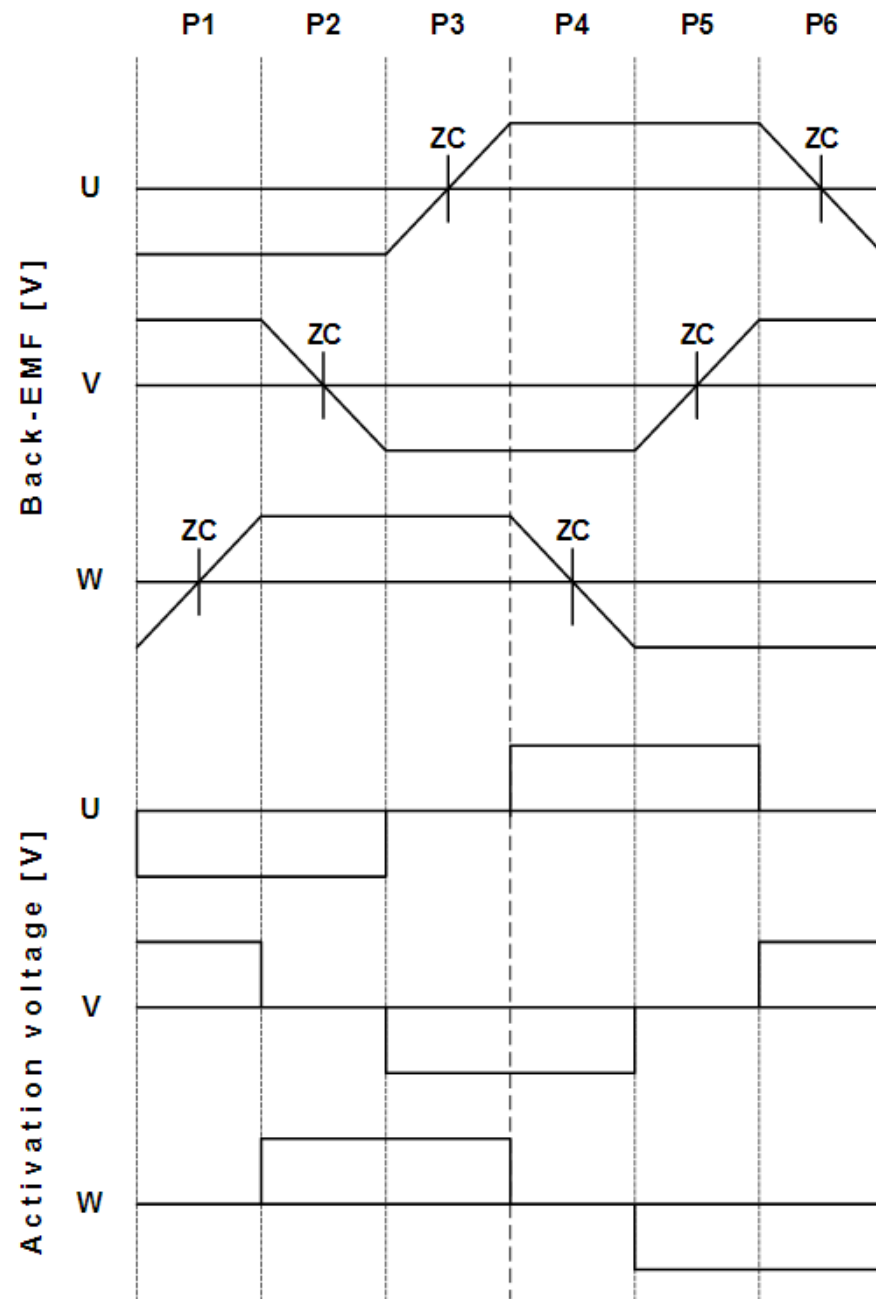
*Kuva 7. Sensoriton moottorinohjausjärjestelmä
(<http://www.atmel.com/images/doc8012.pdf>)*

Moottorin tehoasteen periaatekuva on esitetty kuvassa 9. Se koostuu kuudesta kytkimestä, jotka on kytketty kolmeksi puolisillaksi yksi jokaista moottorin vaihetta kohden. Kytkiminä käytetään usein tehomosfettejä, koska usein virrat ovat suuriakin ja mosfeteilla on pieni resistanssi päällä ollessaan. Tällöin häviöt jäävät pienemmiksi ja tarvitaan vähemmän jäähdytystä ja hyötusuhte paranee.

Jokaisella vaiheella on kolme mahdollista tilaa (kuva 8), joko vaihe kelluu tai on kytkettynä positiiviseen tai negatiiviseen/nolla jännitteeseen. Tilanne jossa molemmat kytkimet ovat kiinni samanaikaisesti ei ole toivottu, koska se kytkee jännitelähteen navat yhteen hyvin pienen resistanssin kautta. Tällöin virta kasvaa suureksi ja tehoaste todennäköisesti hajoaa.

AVR444

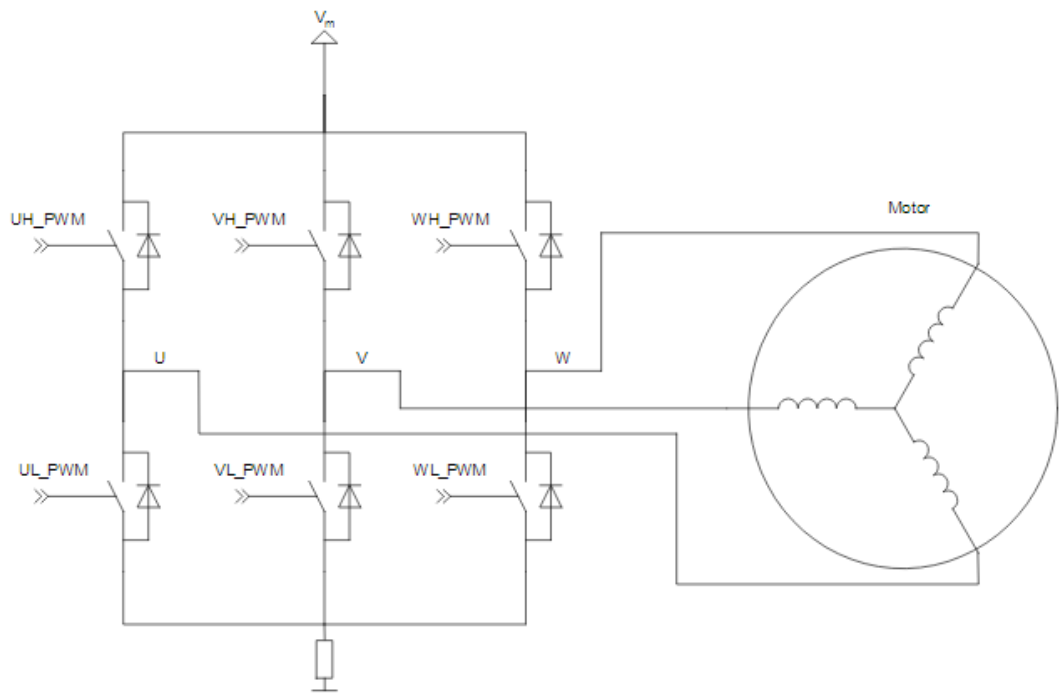
Figure 1. Waveforms



Kuva 8. Ajojännitteet ja takaisinkytketty jännite
(<http://www.atmel.com/images/doc8012.pdf>)



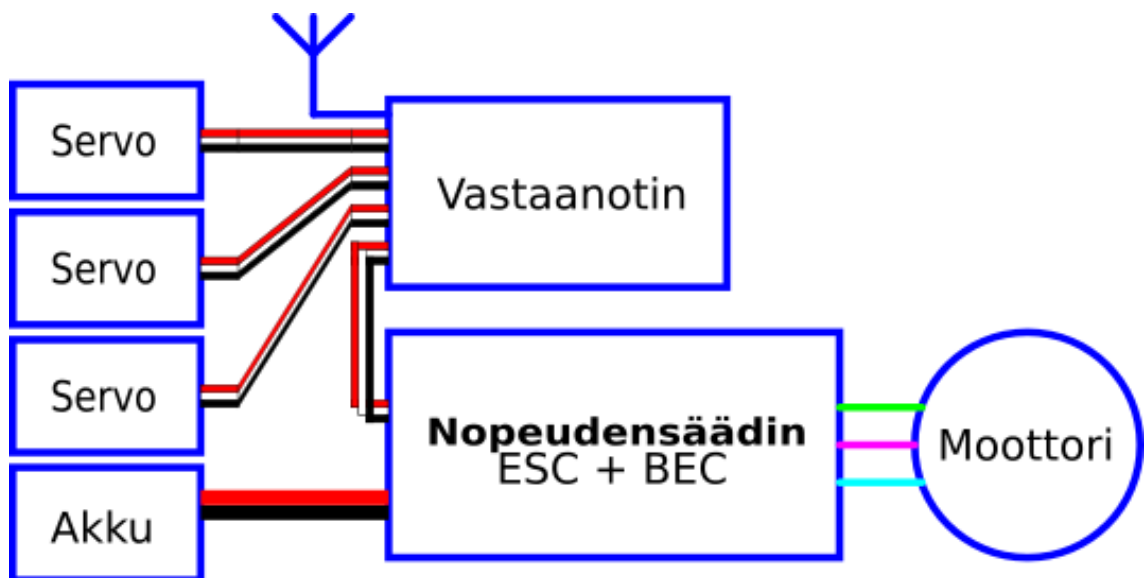
Figure 4. Power stage



Kuva 9. Tehoasteen kytkentäperiaate (<http://www.atmel.com/images/doc8012.pdf>)

5 ELEKTRONIIKKA

Lennoikin sähköjärjestelmä sisältää yleensä ainakin vastaanottimen, moottorin nopeudensäätimen, ajoakun, moottorin ja usein kahdesta neljään kappaletta servoja. Kuvassa 10 on havainnollistava kaaviokuva tämän järjestelmän kytkennöistä.



Kuva 10. Lennoikin sähköjärjestelmä.

5.1 Ohjauksen, tehoasteen ja asennontunnistuksen vaihtoehdot

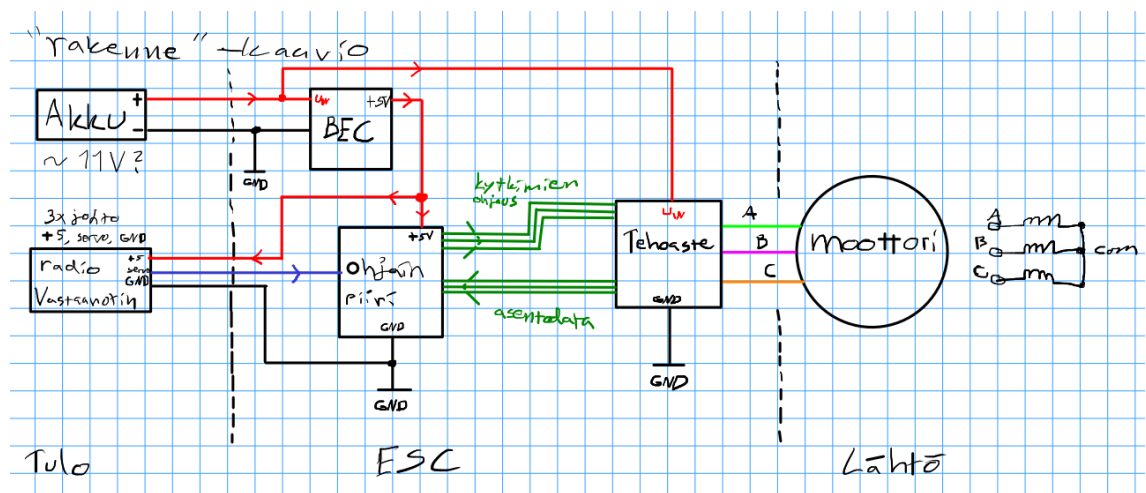
Ohjaus toteutetaan usein mikrokontrollerilla ja tarvittaessa tehoasteen hilaohjauspiirillä jos kontrollerin ulostulot eivät riitä aukaisemaan tehotrankkuja riittävästi/riittävän nopeasti tai halutaan varmistaa etteivät ne vahingossa, vikatilanteessa, käynnistettäessä tai tilan vaihtuessa oikosulje jännitelähdettä.

Tehoasteena on yleensä tehotransistoreista (MOSFET) koostuvat kolme puolisiiltaa.

Moottorin asennon tunnistukseen on kaksi paljon käytettyä menetelmää, sensorillinen ja sensoriton. Sensorillinen käyttää hall-antureita ja sensoriton menetelmä käyttää hyväkseen passiiviseen vaiheeseen indusoitunutta jännitettä. Suurin osa lennokkimoottoreista on sensorittomia, koska niiden tarkka sijainti oikealla kohdalla on erittäin tärkeää ja ne monimutkaistavat moottorin kytkemistä ohjaimeen koska tarvitaan kolmelle sensorille datakaapeli sekä käyttö sähkö joka on eri kuin moottorille tuleva, joten siitä aiheutuu vähintään viisi ylimääräistä johtoa.

5.2 Teholähteen vaihtoehdot

Akusta saadaan joku jännite, joka riippuu akun kennojen lukumäärästä ja varaustasosta ja valitaan yleensä moottorin mukaan. Vastaanotin, servot, logiikka ja mikropiirit kuitenkin tarvitsevat 5 V:n jännitteen. Tämä voidaan saada joko vastaanottimen akusta tai reguloimalla moottorin akusta jolloin ei tarvita kahta akkua joka vähentää painoa toisaalta joissain tapauksissa häiriöiden takia halutaan erottaa moottori ja ohjaus toisistaan galvaanisesti käyttämällä optoisolaattoria tms. jolloin tarvitaan muulle elektronikalle oma akku. Kuvassa 11 on nopeudensäätimen rakennekaavio, josta nähdään miten vastaanottimen korvaava integroitu teholähde (BEC, Battery Eliminator Circuit) kytkeytyy muihin komponentteihin.



Kuva 11. Nopeudensäätimen rakennekaavio.

Jonkun verran on vaihtelua siinä käytetäänkö nopeudensäätimeen integroitua regulaattoria vai onko se erillisenä laitteena. Integroiduissa malleissa on usein melko pieni ulostulovirta, joka rajoittaa käytettävien servojen ja muun oheiselektronikan käyttöä, jolloin saatetaan suosia ulkoista piiriä tai omaa akkua.

Varsinkin nykyään kun uudemmat digitaaliset servot ottavat melko suuria virtapiikkejä ja muun elektronikan määrä kasvaa on varmempaa käyttää erillisiä akkuja moottorille ja muulle elektronikalle. Muu elektronikka, joka lisää virrankulutusta, on esim. kameroita, FPV-laitteita, mittareita, lähettimiä ja valoja. Multikopterit ja itselentävät dronet eli monipotkuriset helikopterit yleistyvät. Myös monimoottorisuus (usein 4...8 kpl) lisää virrankulutusta.

Kun koneessa on useampi erikseen ohjattava moottori kannattavampaa on käyttää nopeudensäätimiä joissa ei ole BEC piiriä ja käyttää joko erillistä BECiä tai vastaanottimelle erillistä akkua. Sama pätee myös jos koneeseen tulee erityisen paljon oheiselektronikkaa tai halutaan välttää suuritehoisen moottorin aiheuttamia häiriöitä vastaanotinpuolella. Kuitenkin jos käytössä on vain yksi moottori, eikä virtaa tarvita kuin vastaanottimelle ja enintään kolmelle servolle, kannattaa harkita integroitua regulaattoria tai hakkuripiiriä.

Servot ottavat lyhyitä yli ampeerin virtapulsseja lähtiessään liikkeelle ja vaihtaessaan suuntaa. Tällöin tarvitaan nopeasti reagoiva virtalähde, joka useimmiten on suuri kondensaattori. Myös muu piiri pitää kestää useamman ampeerin virtaa esim. n. 3 A, koska kuormitettuna servot ottavat keskimääräistä suurempaa virtaa esim. taitolentoliikkeitä tehtäessä ilmapainaa ohjauspintoja suurella voimalla ja kasvattaa servojen kuormitusta, jolloin ne ottavat enemmän virtaa.

Nykyään on myös paljon muita lisälaitteita joista osalla on oma vastaanotin/lähetin kaksisuuntaiseen viestintään tai datan välitykseen lennättäjälle ja oma akku, jottei koneen ajoakku tyhjenisi ennen aikaisesti ja aiheuttaisi maahansyöksyä. Pienempiin koneisiin ei tosin voi lisätä juurikaan painoa, joten nämä rajoittuvat lähinnä isompiin koneisiin jotka jaksavat kuljettaa ylimääräistä painolastia.

Ohjauselektroniikan tarvitseman jännitteen muodostukseen on kaksi yleisesti käytettyä tapaa: lineaariregulaattori ja hakkuriteholähde. Lineaariregulaattorin rakenne on yksinkertainen yleensä yksi integroitu piiri, joka tarvitsee vain vähän oheiskomponentteja. Ongelmana ovat suuret hukkatehot, jotka pienentävät hyötysuhdetta ja lämmittävät laitetta.

Hakkuriteholähteen rakenne on monimutkaisempi kuin lineaariregulaattorin. Hakkurissakin on yleensä integroitu piiri, joka hoitaa monia tehtäviä, mutta oheiskomponentteja tarvitaan enemmän. Hakkurin hukkateho on pienempi, joten hyötysuhde on parempi ja hukkalämpöä ei synny yhtä paljon kuin lineaariregulaattorissa.

6 POHDINTA

Työlle asetetut tavoitteet saavutettiin osittain. Aluksi käytiin läpi radio-ohjausta ja sen historiaa yleisesti ja seuraavaksi syvennyttiin radio-ohjattaviin pienoismalleihin ja niissä käytettyihin moottoreihin. Saatiin selvitettyä harjattoman tasavirtamoottorin ohjauksen perusperiaatteet ja suunniteltua yleisrakenne, mutta prototyypin rakentaminen jäi tekemättä.

7 YHTEENVETO

Työssä käsiteltiin radio-ohjattavia pienoismalleja harrastuksena ja harjattoman tasavirtamoottorin ohjausta. Työ osoitti, että radio-ohjattavat pienoismallit on todella laaja-alainen harrastus johon voi syventyä haluamallaan tasolla rennosti valmiilla ratkaisuilla tai haastaa itseään tekemällä lähes kaiken itse ja kaikkea siltä väliltä oman kiinnostuksen mukaan. Myös se selvisi, että harjattoman tasavirtamoottorin ohjaus ei olekkaan ihan helppoa.

Työtä voisi jatkaa viemällä kehitysprojektin loppuun rakentamalla ja testaamalla prototyypin.

LÄHTEET

- [1] Sirkiä, Jussi, Harjattomien tasavirtamoottoreiden ohjain lennökkikäyttöön, pro gradu, diplomityö, Teknillinen korkeakoulu, 2006, 60, [10] s., <<http://urn.fi/urn:nbn:fi:tkk-007532>>
- [2] Koski, Juha, Harjattoman DC-moottorin ohjaus, opinnäytetyö, Vaasan ammattikorkeakoulu, 2010, 33 s., <<http://urn.fi/URN:NBN:fi:amk-2010060411435>>
- [3] Mevey, James Robert, Sensorless field oriented control of brushless permanent magnet synchronous motors, Master of Science, Kansas State University, 2009, 355 s., <<http://hdl.handle.net/2097/1507>>
- [4] Nikola Tesla, Method of and apparatus for controlling mechanism of moving vessels or vehicles, U.S. Patent 613809, Nov 8, 1898, 13 s.
- [5] Wikipedia contributors, Radio control, Wikipedia, The Free Encyclopedia., [www-dokumentti]. Saatavilla: <https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Radio_control&oldid=732556140>. (Päivitetty: 1.8.2016 18:59 UTC)
- [6] Nikola Tesla, Nikola Tesla Museum, Public Domain, 1898, <<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=19206860>>
- [7] AVR442: PC Fan Control using ATtiny13, Atmel Corporation, 2325 Orchard Parkway San Jose, CA 95131, USA, 2005, <<http://www.atmel.com/Images/doc8005.pdf>>