

Metropolia Ammattikorkeakoulu
Elektroniikan koulutusohjelma

Risto Arttola

Työajanseurantajärjestelmän lukija

Insinööriyö 26.4.2010

Ohjaaja: tutkimuspäällikkö Marko Mattila
Ohjaava opettaja: lehtori Janne Mäntykoski

Metropolia Ammattikorkeakoulu Insinööriön tiivistelmä

Tekijä	Risto Arttola
Otsikko	Työajanseurantajärjestelmän lukija
Sivumäärä	42 sivua
Koulutusohjelma	elektroniikka
Tutkinto	insinööri (AMK)
Ohjaaja	tutkimuspäällikkö Marko Mattila
Ohjaava opettaja	lehtori Janne Mäntykoski
<p>Insinööriyössä oli tavoitteena toteuttaa RFID-lukijalaite osaksi isompaa työajanseurantajärjestelmää. Työssä perehdyttiin standardiin ISO 14443, sekä integroidun HF-taajuudella toimivan lukijapiirin käyttöönottoon. Samalla tutkittiin mahdollisuutta käyttää useaa antennia yhden lukijapiirin kanssa. Yksi työn tavoitteista oli toteuttaa lukijalaite, jonka käyttöliittymää ohjattaisiin ainoastaan RFID-tunnisteilla. Työajanseurantajärjestelmän tavoitteena oli tehostaa työntekijöiden työtuntien seuranta Electriassa.</p> <p>Projektin alussa tutkittiin mahdollisuutta jakaa lukijan signaali käyttämällä multiplekseriä. Ominaisuuksiltaan sopivien komponenttien löydyttyä lähdettiin toteuttamaan piirilevyä 13,56 MHz taajuudella toimivalle lukijapiirille. Lukijapiirin käyttöönoton yhteydessä mitoitettiin ja valmistettiin antenni testikäyttöä varten. Lukijapiirin onnistuneen käyttöönoton jälkeen multiplekseri liitettiin piirilevylle jakamaan signaalia. Samalla mitoitettiin ja valmistettiin neljä kooltaan pienempää antennia. Multiplekserin käyttö signaalin jakamisessa toimi hyvin yhdessä neljän antennin kanssa.</p> <p>Käyttämällä neljää antennia pystyttiin toteuttamaan käyttöliittymä, jossa käyttäjä tekee valinnat RFID-tunnisteen avulla. Kun käytössä oli vain yksi lukijapiiri usean sijasta, saatiin valmistuksen komponenttikustannuksia laskettua ja piirilevyn kokoa pienemmäksi.</p> <p>Samaa tekniikkaa käyttämällä voitaisiin toteuttaa usean antennin lukijalaitteita, mutta säästää komponenttikustannuksissa sekä piirilevyn koossa.</p>	
Hakusanat	RFID, HF, lukija, ISO 14443, multiplekseri

Author	Risto Arttola
Title	Reader for a work hour management system
Number of Pages	42
Date	26 April 2010
Degree Programme	Electronics Engineering
Degree	Bachelor of Engineering
Instructor	Marko Mattila, Research Manager
Supervisor	Janne Mäntykoski, Lecturer
<p>The aim of this final year project was to design an RFID reader for a work hour management system. The aim was also to study the ISO 14443 standard and to implement a 13.56 MHz reader chip. There was also interest to study the use of one reader chip with multiple antennas. The goal of the project was to create an interface for the reader that could be operated by using RFID tags. The aim of the new work hour management system was to make the work hour management more efficient in Electria.</p> <p>The use of a multiplexer for routing the signal to the antennas was studied at the beginning of the project. After finding suitable components, a circuit board was designed. Also an antenna was designed and made for test purposes. After a successful initialization of the reader chip, the multiplexer was planted to the circuit board. At the same time four new and smaller antennas were made. The use of the four antennas with the multiplexer was successful.</p> <p>By using four antennas, an interface could be made where the choices are made with an RFID tag. And by using only one reader chip the building costs are lower and the circuit board can be made smaller.</p> <p>The same technology could be used for making single-chip reader devices with multiple antennas and at the same time reduce building costs and the circuit board size.</p>	
Keywords	RFID, HF, reader, ISO 14443, multiplexer

Sisältö

Tiivistelmä

Abstract

1 Johdanto	6
2 RFID yleisesti	7
2.1. RFID:n historia	7
2.2. RFID:n perustietoa	8
2.3. Standardi ISO/IEC 14443 A/B	11
3 Lukijalaite	14
3.1. Laitteen suunnittelu	14
3.2. Laitekoonpano	16
3.3. Piirilevy	19
3.4. Toiminta	21
3.5. Antennit	24
4 Mittaukset.....	26
4.1. Antennien mittaukset	26
4.2. Signaalien ja aaltomuotojen mittaukset	30
5 Ohjelma	35
6 Yhteenveto	38
Lähteet.....	39
Liitteet	41
Liite 1. Piirilevyn kytkentäkaavio	41
Liite 2. Piirilevyn layout	42

Lyhenteet

RFID	= Radio Frequency Identification
HF	= High Frequency
PSK	= Phase-Shift Keying
ASK	= Amplitude-Shift Keying
FSK	= Frequency-Shift Keying
ISO	= International Organization for Standardization
GPRS	= General Packet Radio Service
NFC	= Near Field Communication
NRZ	= Non-Return-to-Zero
QAM	= Quadrature Amplitude Modulation
CDMA	= Code Division Multiple Access
LED	= Light Emitting Diode
SPI	= Serial Peripheral Interface
ISP	= In-System Programming
FIFO	= First In First Out
ATQA	= Answer To Request, type A
REQA	= REQuest, type A
XOR	= eXclusive OR

1 Johdanto

Työn tavoitteena oli kehittää ja valmistaa RFID-tekniikkaa hyödyntävä lukijalaite. Lukijalaite oli osana isompaa, koko työajanseurantajärjestelmän kattavaa projektia, jonka avulla työntekijöiden työaikoja voitaisiin seurata tehokkaammin. Työssä perehdyttiin HF-taajuisen RFID-lukijapiirin käyttöönottoon sekä mahdollisuuteen käyttää useaa antennia yhdessä lukijassa. Yhtenä tavoitteena oli myös RFID-tunnisteilla toimivan käyttöliittymän kehittäminen ja valmistaminen. Työ tehtiin Metropolia Ammattikorkeakoulun hallinnoimalle Electrialle. Electria on elektroniikka-alan valmistus-, tutkimus- ja koulutuspalveluita tarjoava yksikkö, joka aloitti toimintansa vuonna 2004 (14).

2 RFID yleisesti

2.1. RFID:n historia

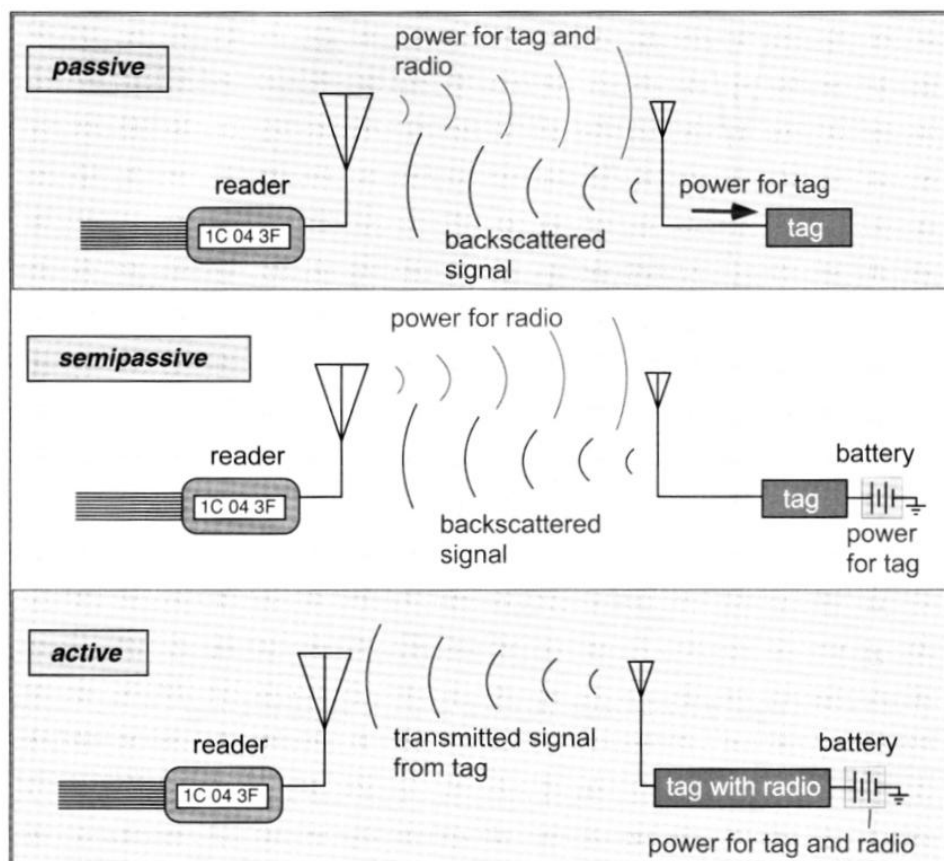
RFID:n edeltäjänä esineen tunnistuksessa voidaan pitää viivakoodijärjestelmää. Viivakoodeilla pystytään helposti ja edullisesti yksilöimään tuotteet. Viivakoodi sisältää tuotteen sarjanumeron, joka on koodattuna sarjaan viivoja. Sarjanumero pystytään lukemaan käyttämällä viivakoodinlukijaa. Viivakoodi sisältää muun muassa valmistajan ja tuotteen koodit. Viivakoodin huonona puolena on sen rajattu koko. Koska tuotekoodeja on rajattu määrä, joudutaan tuotekohtaisen numeroinnin sijasta käyttämään tuoteperhekohtaista numerointia. Tuotteiden viivakoodien lukeminen vaatii myös lähes aina ihmisen työtä, joka kasvattaa kustannuksia. Koska koodin on oltava luettavissa, on sen oltava myös näkyvissä, mikä altistaa sen likaantumiselle ja kulumiselle. (1, s. 41.)

RFID:n esi-isänä pidetään yleisesti tutkaa, jonka avulla voitiin tunnistaa lähestyvä ilma-alus jo ennen kuin siitä saadaan näköhavaintoa. Ennen toista maailmansotaa useat maat kehittivät toimivia tutkajärjestelmiä itsenäisesti. Englantilaiset onnistuivat skotlantilaisen fyysikon Sir Robert Alexander Watson-Wattin johdolla kehittämään ensimmäisen aktiivisen tunnistusjärjestelmän. Identify friend or foe (IFF) perustui lentokoneisiin asennettuihin transpondereihin, jotka lähettivät omaa signaaliaan, kun ne havaitsivat tutkan lähettämän signaalin. Tämän tunnistesignaalin avulla omat lentokoneet voitiin tunnistaa vihollisen koneista. Tätä yleisesti pidetään ensimmäisenä aktiivisena RFID-systeeminä. (2.)

Vuonna 1973 Mario Cardullo sai ensimmäisenä patentin aktiiviselle RFID-tunnisteelle Yhdysvalloissa. Samana vuonna Charles Walton sai patentin passiiviselle tunnisteelle, jota käytettiin oven avaamiseen. (1, s. 49-52; 2.)

2.2. RFID:n perustietoa

Tyypillinen RFID-sovellus koostuu kolmesta eri osasta. Ensimmäinen osa systeemiä on tunniste, jonka kulkua tai läsnäoloa halutaan seurata. Tunnisteita on pääasiassa kolmea eri tyyppiä: passiivisia, puolipassiivisia ja aktiivisia. Toinen RFID-systeemin pääosa on lukija, joka lähettää tunnistetyypistä riippuen dataa ja energiaa tai pelkästään dataa tunnisteelle sekä vastaanottaa tunnisteen lähettämän datan. Kolmantena osana järjestelmää on tiedonkeruujärjestelmä, joka vastaanottaa lukijalta tunnisteen datan ja käsittelee sitä. (2, s. 55-56.)



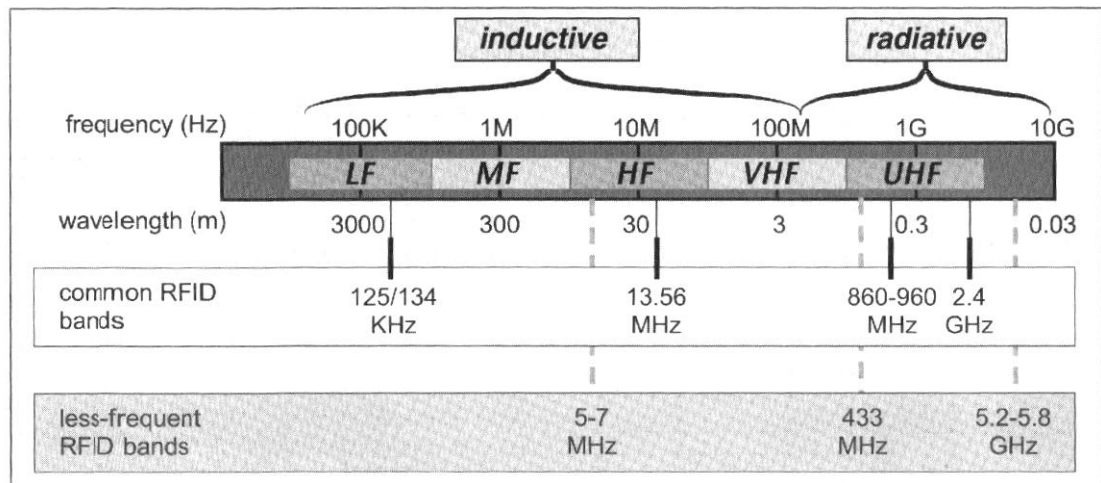
Kuva 1. Kolme eri tunnistetyyppiä. Ylhäällä passiivinen, keskellä puolipassiivinen ja alhaalla aktiivinen tunniste. (3, s. 35)

Passiiviset tunnisteet eivät sisällä omaa virtalähdettä tai radiolähetintä. Ne saavat tarvittavan energian toimintaansa lukijan signaalia tasasuuntaamalla ja suodattamalla. Passiivinen tunniste kommunikoi lukijan kanssa moduloimalla lukijan lähettämää

signaalia. Tämä tapahtuu tunnisteiden oman antennin sähköisiä ominaisuuksia muokkaamalla. Antennin ominaisuuksien muokkaaminen vaikuttaa takaisin siroutuneen signaalin taajuuteen tai lukijan antennin kuormaan. Koska passiiviset tunnisteet eivät sisällä paristoa, radiopiiriä tai vahvistinta, ovat ne rakenteeltaan yksinkertaisia ja halpoja. Koska passiivinen tunniste kerää energiansa lukijan signaalista, tarvitsee signaalin olla riittävän vahva. Vahvan signaalin tarve taas tarkoittaa lyhyttä lukumatkaa tai suurta lähetystehoa. (3, s. 34-38.)

Puolipassiivinen tunniste toimii kuten passiivinen tunniste, mutta se saa toiminnalle tarvitsemansa energian paristosta. Kommunikointi lukijalle tapahtuu passiivisen tunnisteiden tavoin lukijan signaalia moduloimalla. Koska puolipassiivisen tunnisteiden ei tarvitse kerätä lukijan signaalista energiaa, pystyy se reagoimaan heikompiin signaaleihin kuin passiivinen tunniste. Puolipassiivisilla tunnisteilla lukumatka voi olla kymmenistä metreistä jopa sataan metriin. Koska signaaliin reagoiminen on puolipassiivisessa tunnisteessa parempi, paranee myös lukuvarmuus. (3, s. 38-39.)

Aktiiviset tunnisteet eroavat passiivisista ja puolipassiivisista siinä, että ne sisältävät radiopiirin. Toisin sanoen aktiiviset tunnisteet voivat lähettää signaalia lukijalle riippumattomana lukijan lähettämästä signaalista. Koska aktiivisilla tunnisteilla on käytössä oma radiopiiri, mahdollistaa tämä myös monimutkaisempien modulointitekniikoiden käytön. Passiivisten ja puolipassiivisten tunnisteiden tapaan voidaan käyttää amplitudimodulointia, mutta myös PSK-, FSK- ja QAM-modulaatioita sekä CDMA-tekniikoita. Näiden tekniikoiden avulla voidaan käytettävissä olevaa taajuusaluetta käyttää tehokkaammin. Tekniikoita voidaan käyttää myös siirtonopeuden kasvattamiseen tai haitallisen kohinan vaikutuksen laskemiseen. Näiden asioiden takia aktiivisilla tunnisteilla voidaan saavuttaa huomattavan pitkiä lukumatkoja verrattuna muihin tunnistetyyppeihin. Koska aktiivinen tunniste sisältää oman virtalähteen lisäksi useita komponentteja, joita ei muissa tunnistetyypeissä ole, on hankintahinta myös korkeampi. (3, s. 39-42.)



Kuva 2. Yleisimmät RFID:ssä käytetyt taajuuskaistat. (3, s. 24)

RFID-järjestelmät voidaan eri tunnistetyyppien lisäksi jakaa ryhmiin toimintataajuuden mukaan. Yleisimmin käytetyistä taajuuksista 125/134 kHz sekä 13,56 MHz toimivat induktiivisella kytkeytymisellä, kun 860 – 960 MHz toimii säteilemällä. Yleisesti systeemit, joissa taajuuden aallonpituus on huomattavasti suurempi kuin antennin koko, toimivat induktiivisella kytkeytymisellä. Säteilemällä toimivissa RFID-systeemeissä antennien koko on verrattavissa käytetyn taajuuden aallonpituuteen. Esimerkiksi 13,56 MHz taajuudella aallonpituus on $300\,000\text{ km/s} / 13\,560\,000\text{ Hz} = 22$ metriä ja antennien koot muutamista sentteistä vajaan metrin. Induktiivisessa kytkeytymisessä antennilta saatava teho vähenee etäisyyden kuutiolla. Tämä tarkoittaa sitä, että pidempien lukuetaisyyksien saavuttaminen vaatisi huomattavaa tehonlisäystä lukijalta. Elektromagneettisen säteilyn avulla toimivissa systeemeissä antennilta saatava teho putoaa etäisyyden neliössä. (6, s. 22-23, 65.)

2.3. Standardi ISO/IEC 14443 A/B

ISO/IEC 14443 on standardi kontaktittomille lähilukukorteille, joiden lukumatka on noin 10 – 25 senttimetriä. Varsinainen ISO-standardi koostuu neljästä eri osasta, jotka käsittelevät älykorttien fyysisiä mittoja, toimintaa ja kommunikointia (4):

- ISO/IEC 14443-1 ID-kortit – Kontaktittomat sirukortit – Lähilukukortit
- Osa 1: Fyysiset ominaisuudet
- ISO/IEC 14443-2 ID-kortit – Kontaktittomat sirukortit – Lähilukukortit
- Osa 2: Radiotaajuinen teho- ja signaalirajapinta
- ISO/IEC 14443-3 ID-kortit – Kontaktittomat sirukortit – Lähilukukortit
- Osa 3: Alustaminen ja törmäysten hallinta
- ISO/IEC 14443-4 ID-kortit – Kontaktittomat sirukortit – Lähilukukortit
- Osa 4: Tiedonsiirtoprotokollat

Standardin kehitysvaiheessa kehityksessä mukana olleilla osapuolilla oli suuria näkemuseroja tunnisteiden ja lukijan välisistä kommunikointitavoista. Tästä syystä standardi sisältääkin oikeastaan kaksi eri standardia: ISO 14443-A ja ISO 14443-B. Nämä kaksi eri tyyppiä käyttävät kommunikoinnissa eri modulaatioita ja eri käskyjä. Tästä syystä ne eivät siis ole yhteensopivia keskenään. (1, s. 76; 4.)

Standardin ensimmäinen osa, ISO 14443-1, käsittelee tunnisteiden fyysisiä ominaisuuksia. Tunnisteiden nimelliset mitat on määritelty samoiksi kuin ID-1-korttien mitat ISO/IEC 7810 -standardissa. Mitat ovat siis samat tavallisen luottokortin kanssa eli 85,60 x 53,98 mm. ISO 14443-1 määrittelee myös sietokyvyn ultraviolettille, röntgensäteilylle, magneetti- ja sähkökentille sekä käyttölämpötilalle. Sietokyky tavutukselle ja staattiselle sähkökentälle määräytyy ISO/IEC 10373 -testimenetelmä-standardin mukaan. (4; 5.)

Toinen osa standardia määrittelee radiotaajuisen teho- ja signaalirajapinnan. Lukijalaitteen tuottaman kentän taajuus tulee olla 13,56 MHz +/- 7 kHz. Kommunikoinnin alustava dialogi on tyyppin A ja B tunnisteille samanlainen.

Ensimmäiseksi tunniste aktivoituu eli käynnistyy, kun se saapuu lukijan toimintakenttään. Tämän jälkeen tunnisteeseen tulee odottaa hiljaisena, kunnes lukija lähettää sille komennon. Komennon vastaanottamisen jälkeen tunnisteeseen on lähetettävä vastaus takaisin lukijalle. Standardissa käytetään nimitystä PCD (Proximity Coupling Device) lukijalaitteesta ja nimitystä PICC (Proximity Integrated Circuit Card) tunnisteesta. Tyypin A kommunikaatio lukijalta tunnisteelle, PCD → PICC, on tiedonsiirtonopeudeltaan 106 kbit/s. Data on Miller-koodattua ja se lähetetään 100 prosenttisesti ASK-moduloituna. Tunnisteelta lukijalle, PICC → PCD, tiedonsiirto on myös nopeudeltaan 106 kbit/s. Data on Manchester-koodattua ja ASK-moduloitua, ja modulointi tapahtuu kuormamodulaationa 847 kHz alikantoaallolla. Tyypin B kommunikaatio lukijalta tunnisteelle on NRZ-koodattua ja 10 prosenttisesti ASK-moduloitua nopeudella 106 kbit/s. Tunnisteelta lukijalle data tulee nopeudella 106 kbit/s, kuormamodulaationa alikantoaallolla 847 kHz, BPSK-moduloituna ja NRZ-koodattuna. (6, s. 240-244.)

Standardin kolmas osa keskittyy lukijan ja tunnisteeseen väliseen kommunikaatioon sekä törmäysten hallintaan. Törmäysten hallinnalla tarkoitetaan tilannetta, jossa useampi tunniste lähettää dataa samanaikaisesti lukijalle. Kun A- tai B-tyypin tunniste saapuu lukijan kenttään ja saa toimintaan tarvittavan energiansa, suorittavat ne käynnistysrutiininsa. Kun käynnistysrutiinit on suoritettu, tunnisteet siirtyvät niin kutsuttuun IDLE-tilaan ja pysyvät siinä niin kauan, kunnes lukija niitä kutsuu tai ne poistuvat kentästä.

Tyypin A tunniste herää IDLE-tilasta vasta kun se vastaanottaa REQA (Request A) -käskyn. Tähän käskyyn tunniste vastaa lähettämällä lukijalle ATQA (Answer To reQuest, type A) -lohkon, joka sisältää tietoa tunnisteesta. Jotta kentässä oleva tunniste ei tulkitseisi väärin toiselle tunnisteelle kulkevaa dataa, on REQA-käsky ainoastaan seitsemän bitin mittainen, normaalin kahdeksan sijasta. Kun tunniste on lähettänyt ATQA-vastauksen, se menee Ready- eli valmis-tilaan. Seuraavaksi lukija aloittaa törmäysten hallinta algoritmin lähettämällä SELECT-käskyn, jota seuraa NVB (Number of Valid Bits) -parametri. Törmäysten hallinnassa käytetään binäärihakupuu algoritmia, jonka avulla tunnisteiden sarjanumerot saadaan selville, vaikka kentässä olisi useampi

tunniste. ISO 14443 -standardi sallii A-tyyppin tunnisteille 4-, 7- tai 10-tavuisen sarjanumeron. Tästä syystä tunnisteesta riippuen voidaan suorittaa useita sarjanumeron lukukierroksia, jotta kaikenkokoisten tunnisteiden sarjanumerot tulevat kokonaan luetuiksi.

Tyyppin B tunnisteet odottavat käynnistymisen jälkeen REQB (Request B) -käskyä. REQB-käskyn vastaanottaminen aloittaa tunnisteissa törmäyksen hallinnan algoritmin. B-tyypissä käytetty törmäyksen hallinta perustuu aikaositettuun ALOHA-menettelyyn. REQB-käsky sisältää tiedon vapaista aikaosista tai aikaraoista. Käsky sisältää myös AFI (Application Family Identifier) -koodin, jolloin väärän AFI-koodin omaavat tunnisteet ovat vastaamatta. Oikean AFI-koodin omaava tunniste valitsee oman aikaraon, odottaa lukijalta oikeaa aikaraon merkkiä ja lähettää vastauksena ATQB:n (Answer To reQuest, type B). Tunnisteen vastaus sisältää 4-tavuisen sarjanumeron sekä muuta lukijalle tärkeää tietoa. Erona A-tyypin tunnisteen sarjanumeroon, B-tyypin sarjanumero saattaa muuttua jokaisella käynnistyskerralla. (6, s. 245-251.)

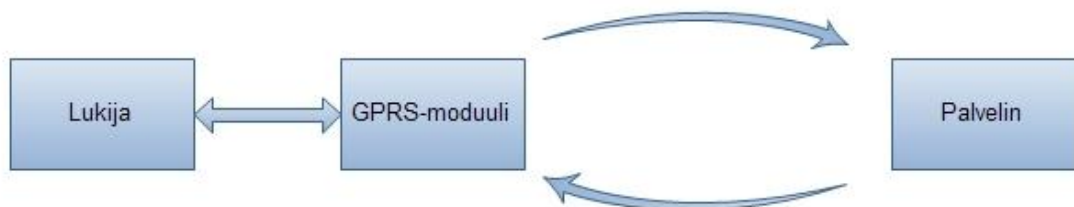
Standardin neljäs ja viimeinen osa käsittelee tiedonsiirron protokollia tunnisteen ja lukijan välillä. Tyyppin A tapauksessa törmäyksen hallinnan jälkeen tunniste lähettää SAK (select acknowledge) -viestin, joka kertoo tunnisteen yhteensopivuudesta standardin kanssa. Jos yhteensopivuus on, lähettää lukija RATS (request for answer to select) -pyynnön, johon tunniste vastaa ATS (answer to select) -viestillä. RATS- ja ATS-viestit sisältävät parametrejä tiedon välitykseen, kuten viestin maksimipituuden ja nopeuden. Tyyppin B tunnisteissa nämä tiedot lähetetään jo törmäyksen hallintavaiheessa.

Varsinaisen datansiirtovaiheen viestimuodot ja pakettirakenteet ovat yhteneviä keskenään tyyppin A ja B tunnisteilla. Tässä kommunikaatiossa käytetään isäntä - orja (master - slave) -tyyppistä keskustelua, jossa lukija toimii isäntänä ja tunniste orjana. Lukija lähettää aina ensin komennon ja tunniste vastaa siihen. Tunniste ei saa koskaan aloittaa keskustelua. Varsinainen datapaketti koostuu protokollan kontrollitavusta, vapaaehtoisesta tunnistetavusta, lähetettävästä tiedosta ja 16-bittisestä CRC (*Cyclic redundancy check*) tarkisteesta. (6, s. 197, 251-255.)

3 Lukijalaite

3.1. Laitteen suunnittelu

Työssä käsitelty lukijalaite on osa isompaa työajanseurantajärjestelmää, johon kuuluu lukijan lisäksi GPRS-moduuli ja palvelintietokanta. GPRS-moduuli toimii GPRS-yhteyden avulla lukijan ja palvelimen välisenä tiedon välittäjänä. Lukijalaitteen lukemat tunnistetiedot lähetetään yhdessä käyttäjän tekemän valinnan kanssa GPRS-moduulille. GPRS-moduuli on kiinteästi kytkettynä lukijaan. Moduuli puolestaan lähettää tiedot langattomasti GPRS-yhteyden avulla palvelimelle, joka käsittelee ja tallentaa tiedot. Lopuksi palvelin lähettää GPRS-yhteyden avulla lukijalaitteelle vastauksena tietoa, jotka tulostuvat lukijan näytölle käyttäjän tiedoksi.



Kuva 3. Järjestelmän osat.

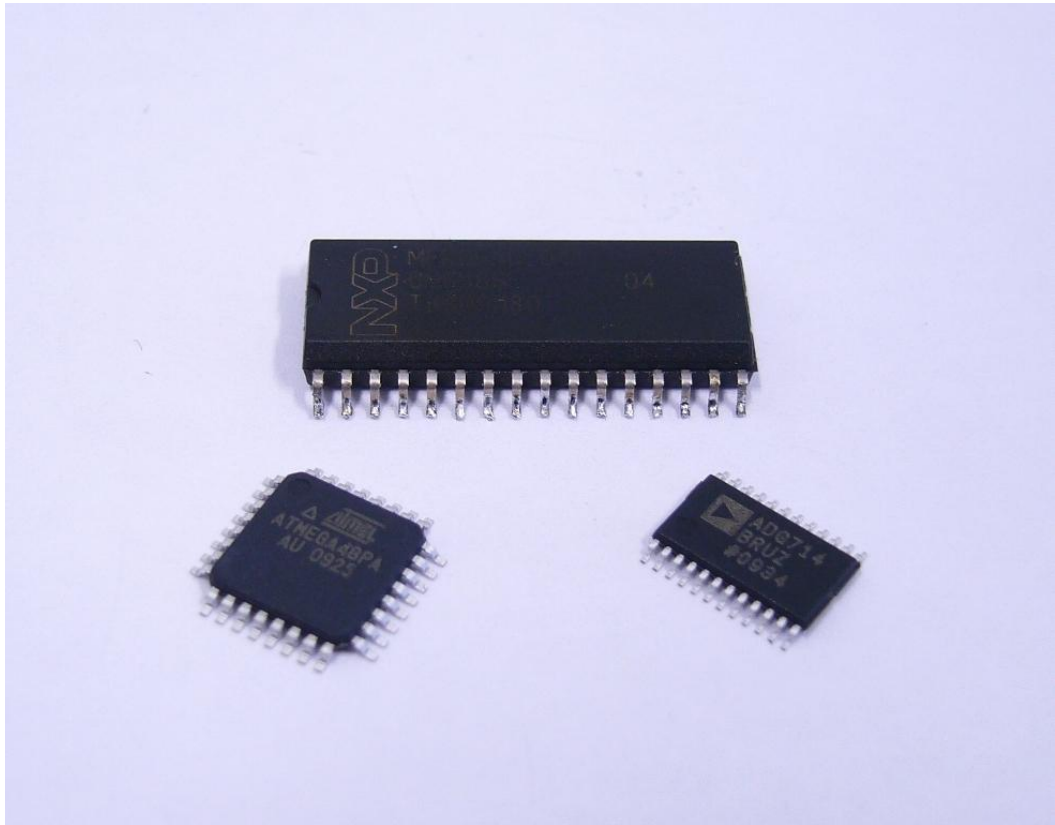
Laitetta suunniteltaessa kosketukseton käyttöliittymä asetettiin tavoitteeksi. Koska perinteisiä painikkeita tai hipaisukytkimiä ei haluttu käyttää, syntyi idea itse tunnisteiden käyttämisestä valintojen tekemiseen. Tällä ratkaisulla haluttu valinta käyttöliittymässä tehtäisiin asettamalla tunniste jonkin merkityn kohdan päälle. Jokaisella merkityllä lukualueella olisi oma funktionsa laitteen toiminnassa. Jotta tunniste voitaisiin lukea monesta eri kohdasta, tarvitaan useampia antennia. Tavallisesti HF-taajuuden RFID-lukijoissa on yksi antenni yhtä lukijapiiriä kohti. Usean lukijapiirin sijasta haluttiin tutkia mahdollisuutta käyttää vain yhtä lukijapiiriä usean antennin kanssa. Tässä ajatuksessa yhdistyisi piirilevyn yksinkertaistaminen sekä kustannusten lasku komponenttien määrän vähentyessä.

Laitteen suunnitteluvaiheessa mietittiin myös käytettävää taajuutta sekä standardia. Jo aloitusvaiheessa UHF (Ultra High Frequency) taajuuksien käyttäminen suljettiin pois. Syynä oli valmiiden lukijamoduulien huono saatavuus sekä hinta. Myös suunniteltu signaalin jakaminen olisi huomattavasti hankalampaa toteuttaa, lähes gigahertsin taajuudella. HF-taajuuksille löytyi useampia helposti käyttöön otettavia ja hinnaltaan kohtuullisia lukijapiirejä. HF-taajuuden hyvänä puolena voitiin pitää myös lyhyttä lukumatkaa. Lyhyt lukumatka poistaisi käytännössä virheelliset lukutapahtumat, esimerkiksi ohi käveltäessä. HF-taajuudelle, 13,56 MHz, löytyy useita standardeja: ISO 14443-A/B, ISO 15693 sekä ISO 18000-3. Suunnittelupalaverissa tuli myös esiin ajatus yhteensopivuudesta NFC (Near Field Communication) -teknologian kanssa. NFC on RFID:n kaltainen langaton tunnistusmenetelmä, jota NFC Forum -yhteenliittymä pyrkii edistämään. NFC on myös osittain yhteensopiva ISO 14443 -standardin kanssa. Lopulta komponenttien saatavuus, hinta sekä NFC-yhteensopivuus johtivat ISO 14443-A -standardin käyttöönottoon. (8; 6, s 240-269.)

Yhden lukijan signaalin ja usean antennin käyttäminen vaatii signaalin jakamista. Signaalia ei kuitenkaan voi jakaa kaikille antenneille yhtäaikaisesti, koska olisi vaikeaa määrittää, mikä antenni tunnisteen lukemisen suoritti. Signaali on siis jaettava jokaiselle antennille vuorotellen. Antennin vaihtamisessa on kuitenkin vaarana, että käynnissä oleva lukutapahtuma jää kesken vaihdon tapahtuessa. Antennin vaihtaminen täytyy siis tahdittaa käynnissä olevan lukutapahtuman mukaan.

Työn toisena haasteena oli korkeataajuisen signaalin jakaminen ilman suuria häviöitä tai ylikuulumista antennien välillä. Ylikuulumisella tarkoitetaan, että johdinta pitkin kulkeva signaali hyppää toiseen johtimeen, aiheuttaen näin häiriötä. Vaarana siis on, että yhdeltä antennilta vastaanotettu viesti tulkitaan tulleeaksi toiselta antennilta. Tämän seurauksena käyttäjän tekemä valinta saattaisi olla eri tapahtuneen toiminnon kanssa. (9.)

3.2. Laitekoonpano



Kuva 4. Työssä käytetyt komponentit. Ylhäällä lukijapiiri, vasemmalla kontrolleri ja oikealla multiplekseri.

Kun työt projektin parissa aloitettiin, keskityttiin ensin tulevan laitteen kriittisimmän osan eli lukijapiirin etsimiseen. Komponentin etsimisessä kiinnitettiin erityistä huomiota liitettävyyteen, saatavuuteen sekä hintatasoon. Yksi tärkeä tekijä oli myös komponentin korkea integraatioaste. Tämä tarkoittaa sitä, että laite vaatii mahdollisimman vähän ulkoisia komponentteja toimiakseen. Liitettävyydessä tässä yhteydessä tarkoitti lukijapiirin valmiutta kommunikoida muiden laitteiden kanssa sarjamuotoisesti. Lopulliseen kokoonpanoon valikoitui NXP:n MF RC530 -lukijapiiri.

Työn toisen kriittisen osan eli signaalin jakajaksi lähdettiin etsimään analogista multiplekseriä. Multiplekseri on toiminnaltaan verrattavissa kytkimeen, joka päästää tai ei päästä sähköä läpi. Multiplekserissä näitä kytkimiä on monta, ja niillä ohjataan signaali oikeaan suuntaan. Multiplekserin piti pystyä välittämään 5 voltin ja 13,56 MHz

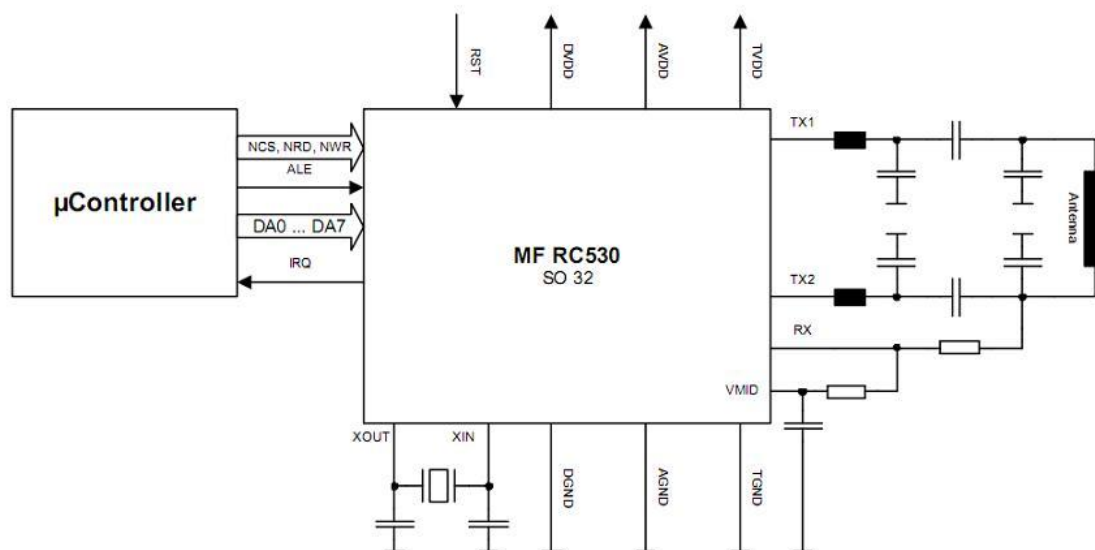
taajuinen signaali mahdollisimman muuttumattomana antennille. Kanavia multiplekserissä haluttiin olevan neljästä kahdeksaan. Huomiota kiinnitettiin myös kanavien vaihtonopeuksiin sekä sisäisiin vastuksiin. Jotta 13,56 MHz signaali saataisiin kulkemaan multiplekserin läpi muuttumattomana, täytyisi sillä olla tarpeeksi suuri kaistanleveys. Tästä syystä kaistanleveyden haluttiin oleva reilusti käytettävää taajuutta isompi. Multiplekserin kanavien sisäänmenon ja ulostulon välisen resistanssin haluttiin olevan mahdollisimman pieni, jotta signaalin vaimentuminen olisi pientä. Komponentilta vaadittiin myös riittävää tehonkestoa, jotta se kestäisi antennille kulkevan signaalin.

Koska sopivan komponentin löytäminen tuotti vaikeuksia, mietittiin myös muita ratkaisuja signaalin jakamiseksi. Yksi vaihtoehto olisi ollut yksittäisten MOSFET-transistorien käyttäminen kytkiminä ja niiden ohjaaminen ulkoisella signaalilla. Vaihtoehto kuitenkin hylättiin liian kalliina ja hankalana.

Lopulta tarkoitukseen sopiva komponentti ADG714 löytyi Analog Devicesilta. ADG714 on 8-kanavainen SPST-tyyppinen multiplekseri. SPST (single pole, single throw) vastaa käytännössä tavallista kytkintä toiminnaltaan, eli se on joko päällä tai pois päältä. Komponentin sisäinen resistanssi avonaisella kanavalla on 2,5 ohmia ja -3 dB kaistanleveys 155 MHz 50 ohmin kuormaan. -3 desibelin kaistanleveys kuvaa taajuutta, jolla läpi päässyt teho on pudonnut puoleen. Virtaa multiplekseri kestää hetkellisesti 100 mA. (11.)

Lukijapiiriksi valittu NXP:n MF RC530 on yhteensopiva ISO-standardin 14443-A-osan kanssa. Piiri on 32-nastainen, SO (small-outline) -koteloinen pintaliitoskomponentti. Kyseisen piirin valintaan vaikutti myös tieto siitä, että samalta valmistajalta löytyy lukijapiirejä toisille standardeille, mutta samalla nastajärjestyksellä. Näin jo suunniteltua piirilevyä voitaisiin hyväksikäyttää myös muiden lukijapiirien kanssa. Komponentti on kytkettävissä mikrokontrolleriin SPI (Serial Peripheral Interface) -väylää käyttämällä, mutta mahdollisuus 8 datalinjan rinnakkaiskytkentään on kuitenkin olemassa.

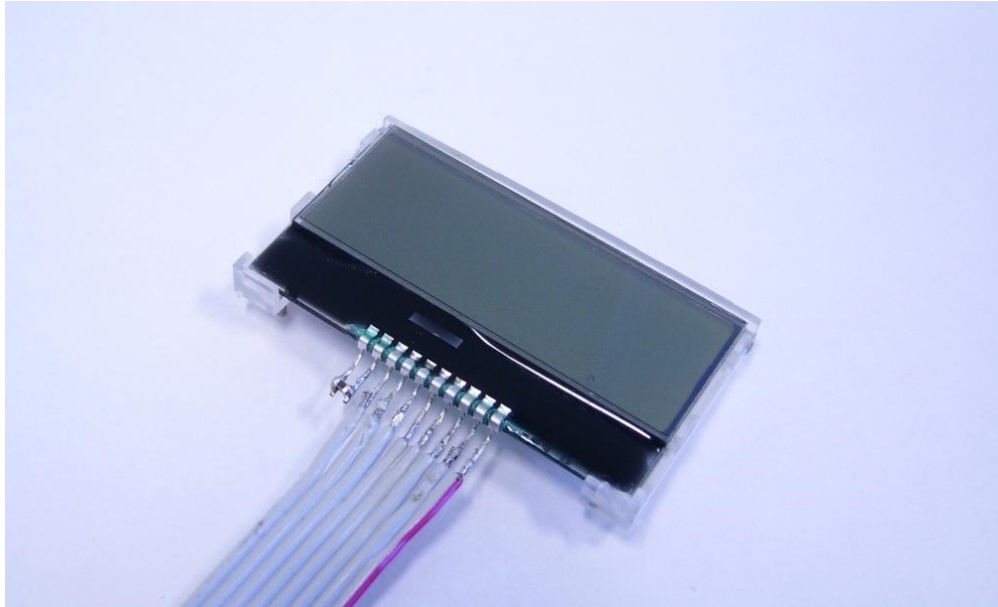
Lukijapiiri sisältää modulaatio- ja demodulaatiopiirit sekä antennin ajopiirin. MF RC530 tarvitsee vain muutamia ulkoisia komponentteja mikrokontrollerin lisäksi ollakseen toimintavalmis. Tarvittaviin komponentteihin sisältyvät kideoskillaattori, virran suodatuskomponentit ja antennin sovituskomponentit. Kuvassa 5 on valmistajan esimerkki lukijan peruskokoonpanosta. Piirin toimintaa ohjataan 64-tavuisen FIFO-puskurin kautta. Samaa puskuria käytetään piirin asetusrekisterien muokkaamiseen, komentojen antamiseen sekä datan lähettämiseen ja vastaanottoon. Piirissä on käytössä kaksi erillistä lähetyšnastaa ja yksi vastaanottonasta. Lähetyšnastoja TX1 ja TX2 voidaan käyttää yhdessä tai erikseen, ja molemmat niistä pystyvät lähettämään kantoaaltoa moduloituna datasiinaalilla. (10.)



Kuva 5. MF RC530 -lukijapiirin valmistajan esimerkkikokoonpano.(10)

Työssä käytetty mikrokontrolleri on Atmelin valmistama 8-bittinen, RISC-tyyppinen ATmega48PA. Komponentti on 32-nastainen, TQFP (Thin Quad Flat Pack) -koteloinen versio mikrokontrollerista. Mikrokontrollerissa on 4 kilotavua Flash-tyyppistä muistia ohjelmaa varten. Komponentissa on sisäinen 8 MHz RC-oskillaattori, joten ulkoista kidettä ei tarvita. ATmega48PA toimii työssä muita komponentteja ohjaavana osana. SPI-väylää käyttämällä se ohjaa lukijan, multiplekserin sekä näytön toimintaa. Se myös toimii tiedon välittäjänä lähettäessään lukijan vastaanottamat tiedot palvelimelle sekä ohjaa palvelimelta tulleet tiedot näytölle. Ohjelma, jota mikrokontrolleri suorittaa,

voidaan ajaa sisään SPI-väylää hyväksikäyttävän ISP (In System Programming) -liitännän kautta. Mikrokontrollerissa on 23 ohjelmoitavaa I/O-nastaa, joista SPI-liitäntä varaa kolme ja sarjaporttiliitäntä kaksi. (12.)



Kuva 6. LCD-näyttö.

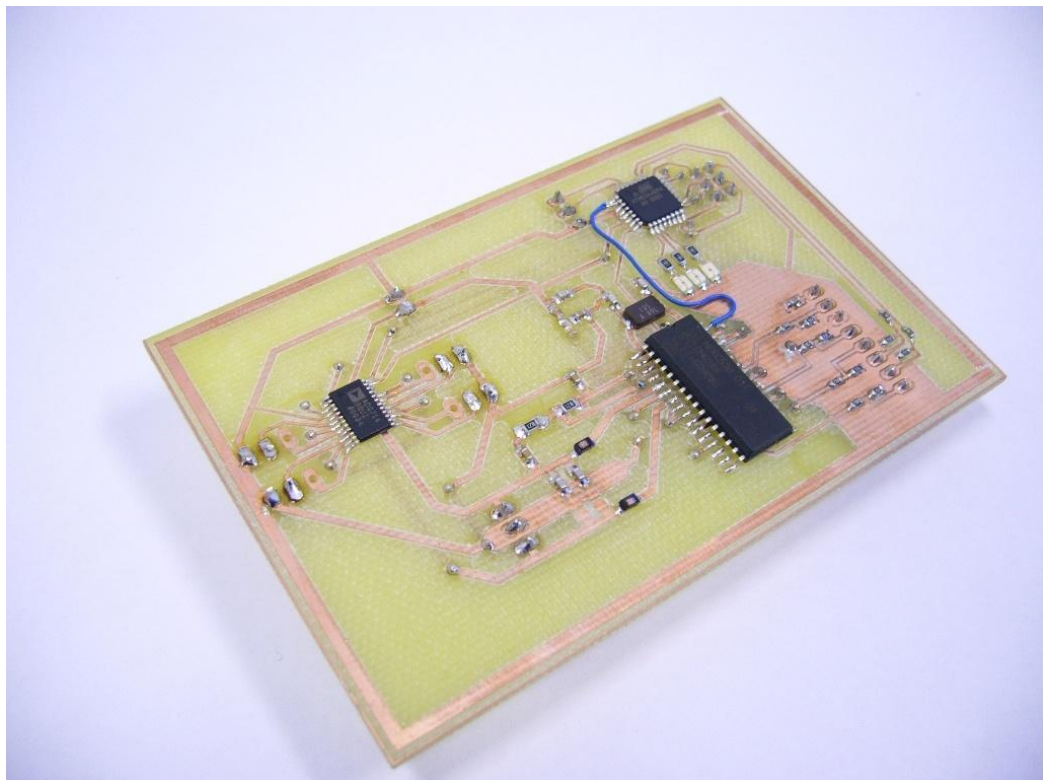
Käyttöliittymän näyttönä toimii Newhavenin LCD-näyttö. Näytössä on tilaa 2 x 16 merkillä, ja se on toteutettu SPI-liitännällä. SPI-liitännän ansiosta näyttö on helposti liitettävissä lukijan muihin SPI-yhteensopiviin komponentteihin. Näytössä on sisäänrakennettuna 256 eri merkkiä, joita se pystyy tulostamaan ruudulle. Taustavalaistus on toteutettu valkoisilla LED-valoilla. (13.)

3.3. Piirilevy

Lukijan piirilevy on tehty yleiselle FR4-piirilevymateriaalille. Levy työstettiin käyttämällä LPKF ProtoMat S62 -piirilevyjyrsintä. Piirilevyn kytkentäkaaviot ja vetojen sijoittelu tehtiin käyttämällä CadSoft Eagle 5.6 -piirilevyn suunnitteluohjelmaa. Aiemmin mainittujen komponenttien lisäksi piirilevylle sijoitettiin kolme pintaliitos-LEDiä, jännitteenjakovastukset näytölle ja liittimet sarjaportille, virransyötölle, näytölle ja ISP:lle.

LEDejä käytettiin ohjelmointivaiheessa virheenkorjaukseen, mutta niiden lopullinen käyttötarkoitus on kertoa käyttäjälle tapahtuman kulusta vihreällä, keltaisella ja punaisella valolla. Vihreä ja keltainen valo kertovat tehdystä valinnasta ja punainen virheestä tapahtumien kulussa. Värien käyttöä ohjaa GPRS-moduuli.

Lukija toimii viiden voltin tasajännitteellä, mutta LCD-näyttö vaatii käyttöjännitteeksi kolme voltia. Tästä syystä näytön virta- ja signaalijohtoihin laitettiin vastuksilla toteutettu jännitteenjako, jolla jännite putoaa noin kolmeen volttiin. Levyn kaikki liittimet on sijoitettu pohjapuolelle läpivientien vähentämiseksi ja käytön helpottamiseksi.



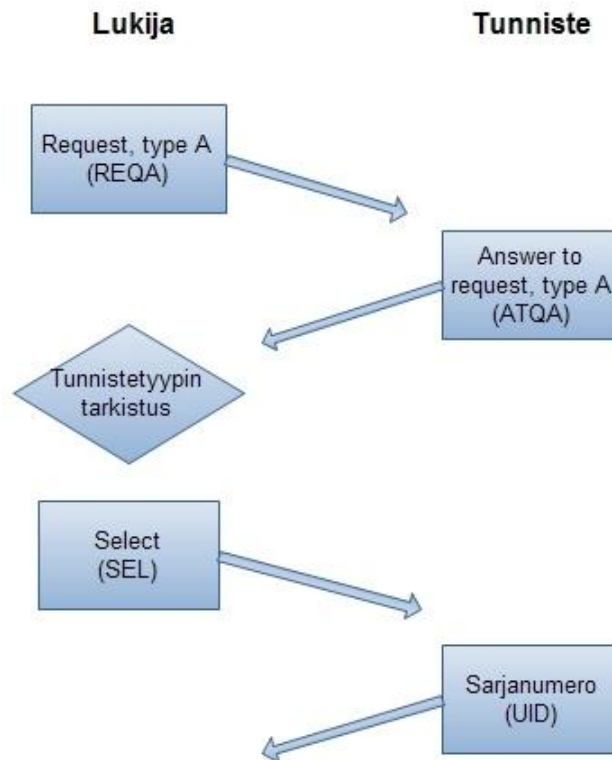
Kuva 7. Valmis lukijapiirilevy.

3.4. Toiminta

Lukijan sähköinen toiminta pääpiirteissään perustuu siihen, että se lähettää sinimuotoista signaalia taajuudella 13,56 MHz. Tämän signaalin antenni muuttaa magneettikentäksi. Tästä signaalista tunniste kykenee ottamaan toimintaan tarvitsemansa energian muuttamalla magneettikentän jännitteeksi. Lukijan ja tunnisteen antennit toimivat siis muuntajan tavoin. Tätä magneettikentästä jännitteeksi muunnettua energiaa tunniste käyttää lukijan käskyjen toteuttamiseen.

Työssä käytetyn NXP:n piirin tapauksessa varsinainen signaali, jota lukijapiiri lähettää, on kuitenkin sakara-aaltoa siniaallon sijasta. Lukijapiirin ja antennin väliin on sijoitettu alipäästösuodatin, joka suodattaa korkeammat taajuudet signaalista pois, niin että jäljelle jää lähes puhdasta siniaaltoa. Suodatettu siniaalto sisältää lähetettävän datan ja tunniste moduloi siihen myös oman vastaussignaalin.

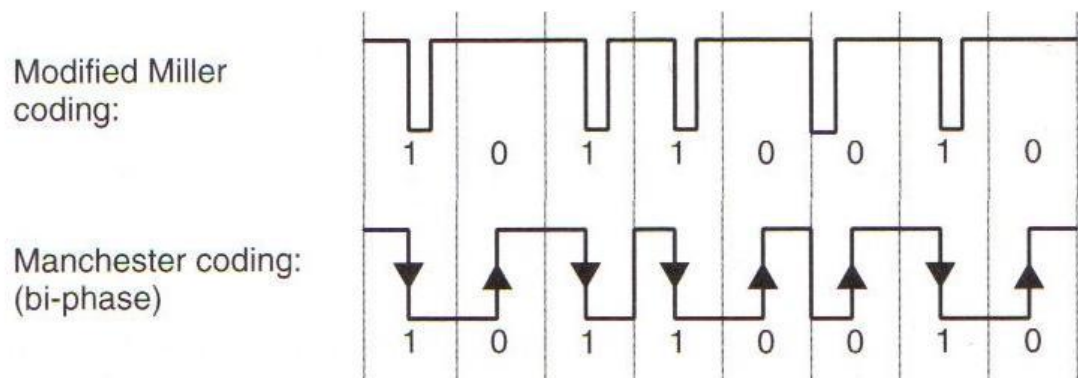
ISO 14443 -standardin tunnisteissa on usein muistia muutamista tavuista useisiin kilotavuihin. Tunnisteessa olevaa muistia voitaisiin käyttää tiedon talletukseen, tai tunnisteen muistissa jo olevaa tietoa voitaisiin lukea. Tässä työssä ideana oli kuitenkin pelkkä käyttäjän tunnistus, joten muistia ei käytetty. Lukijalaite lukee ainoastaan tunnisteen sarjanumeron ja lähettää sen eteenpäin. Kun käyttäjille jaetut tunnisteet ovat henkilökohtaisia ja sisältävät uniikin sarjanumeron, ei sekaannusta pääse tapahtumaan. Kuvasta 8 voi nähdä, kuinka yksinkertainen vuoropuhelu lukijan ja tunnisteen välillä käydään. (6, s. 252-253.)



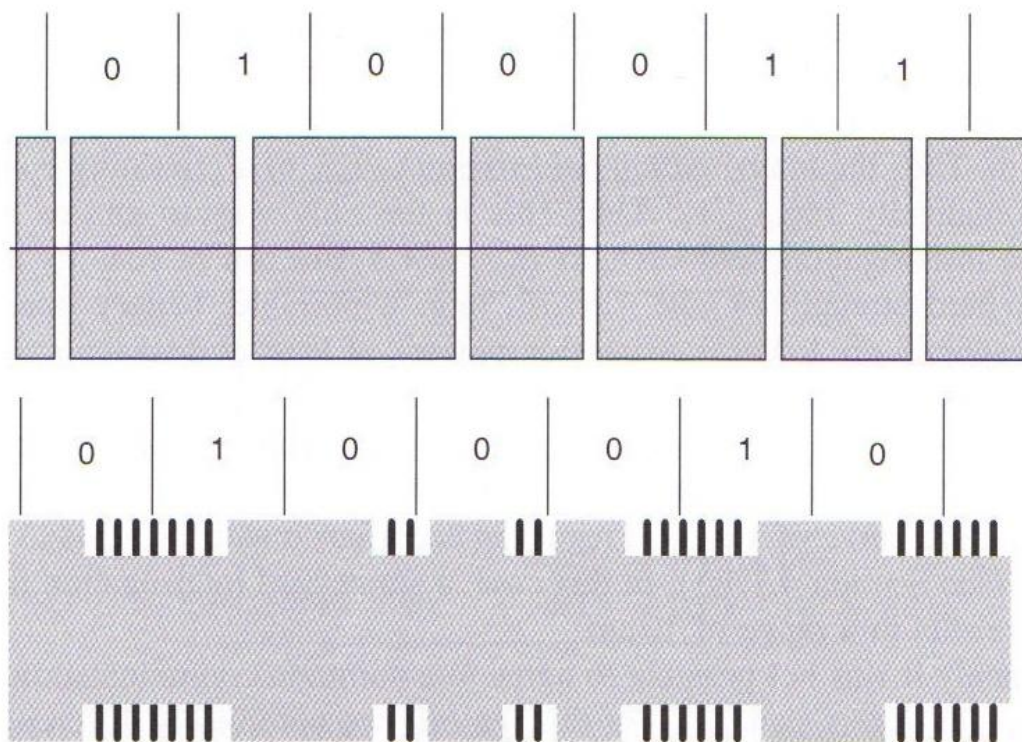
Kuva 8. Lukijan ja tunnisteen välinen kommunikaatio. (6, s. 246)

Lukijapiirin tunnisteele lähettämät komennot on koodattu muokatulla Miller-koodauksella. Tämä tarkoittaa käytännössä, että bitit 0 ja 1 erottuvat eripituisina viiveinä. Varsinainen modulaatio on 100 % amplitudimodulaatiota, jossa lukijan lähettämä signaali käytännössä katkeaa lähetettävän datan mukaan.

Myös tunnisteen lähettämä data on moduloitu amplitudimodulaatiolla, mutta modulaatioaste on huomattavasti pienempi. Tunnisteen datan koodauksessa käytetään Manchester-koodausta Miller-koodauksen sijaan. Tunniste moduloi lukijan signaalia muuttamalla kuormansa 847 KHz taajuudella. Datan koodaustavat näkyvät kuvassa 9 ja signaalien modulointi kuvassa 10.



Kuva 9. Lukijan ja tunnisteiden datan koodaustavat. Lukijan koodaus ylhäällä ja tunnisteiden alhaalla. (6, s. 184)

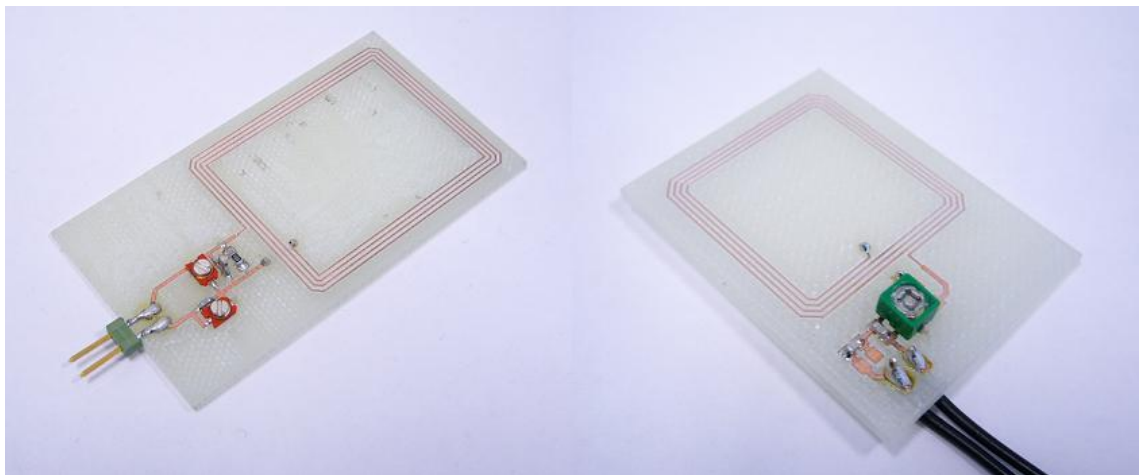


Kuva 10. Lukija ja tunnisteiden signaalien modulaatiotavat. Lukijan modulaatio ylhäällä ja tunnisteiden alhaalla. (6, s. 242)

3.5. Antennit

Lukijan antennit perustuvat kelan synnyttämään magneettikenttään. Kun kelalle syötetään sinimuotoista jännitettä, virranmuutokset luovat muuttuvan magneettikentän. Kun kelan kanssa rinnan sijoitetaan kondensaattori, syntyy resonoiva piiri, jossa jännite ja virta kulkevat vuorotellen kondensaattorilta kelalle ja kelalta kondensaattorille. Kun resonanssitaajuus säädetään oikean kokoisella kondensaattorilla samalle taajuudelle syötetyn signaalin kanssa, vahvistuu resonanssi entisestään. Kun antennin kenttään sijoitetaan tunnistin, ottaa se tehoa antennin luomasta magneettikentästä. Tällöin tunnistin toimii lukijan antennin kuormana. Kun tunnistin muuttaa omaa kuormaansa kuormamoduloinnilla, näkyy tämä muutos lukijan antennissa jännitteen muutoksena. Tätä lukijassa syntyvää jännitteen muutosta lukijapiirin vastaanotto seuraa ja tulkitsee.

Laitteen piirilevyä suunniteltaessa ja testattaessa rakennettiin kaksi erilaista antennia. Ensimmäiseksi toteutettiin isompi antenni laitteen testausta varten sekä lukijapiirin ja antennin yhteistoiminnan testausta varten. Koska ensimmäinen antenni oli puhtaasti testikäyttöä varten, sijoitettiin komponentit etäälle toisistaan, jotta niiden vaihtaminen olisi vaivattomampaa. Toinen antenni suunniteltiin lopullista käyttöä silmälläpitäen. Tästä syystä jälkimmäinen antenni suunniteltiin huomattavasti pienemmäksi tilan säästämiseksi. Pieniä antennia tehtiin neljä kappaletta.



Kuva 11. Iso ja pieni antenni, eri mittakaavassa.

Koska resonanssin virittäminen kondensaattorin arvoa muuttamalla on helppoa, on järkevintä mitoittaa kelan induktanssi ensin. Lukijapiirin valmistajalta saaduissa datalehdissä sopivaksi kelan induktanssiksi ilmoitettiin 300 - 2000 nanohenryä. Induktanssien arvot antennille laskettiin suuntaa antavina, koska piirilevymateriaalin ja vetojen tarkkuuden aiheuttamia muutoksia induktanssiin on hyvin vaikea arvioida. Induktanssin laskemiseen käytettiin kaavaa 1, suuntaa antavana kaavana (6, s. 68).

$$L = N^2 \cdot \mu_0 \cdot R \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot R}{d}\right) \quad (1)$$

L	on induktanssi (H)
N	on kelan kierrosten määrä
μ_0	on tyhjiön permeabiliteetti ($4\pi \cdot 10^{-7}$ Vs/(Am))
R	on kelan säde (m)
d	on johtimen halkaisija (m)

Ensimmäisen antennin kelaa lähdettiin mitoittamaan arvoon noin 1500 nH, jolloin heitto suuntaan tai toiseen induktanssissa ei ajaisi ulos halutulta alueelta. Jälkimmäisiä, kooltaan pienempiä antennia lähdettiin mitoittamaan arvoon noin 1200 nH.

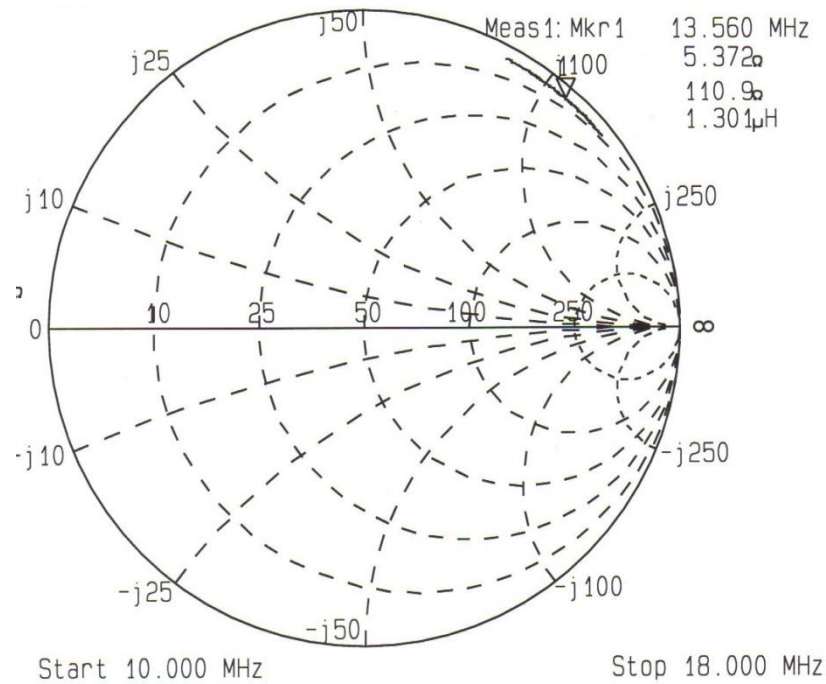
Mitoituksen lopputuloksena syntyi kaksi antennia, jotka näkyvät kuvassa 11. Ison antennin ulkomitat olivat 35 mm * 65 mm ja pienen antennin ulkomitat 30 mm * 40 mm.

4 Mittaukset

4.1. Antennien mittaukset

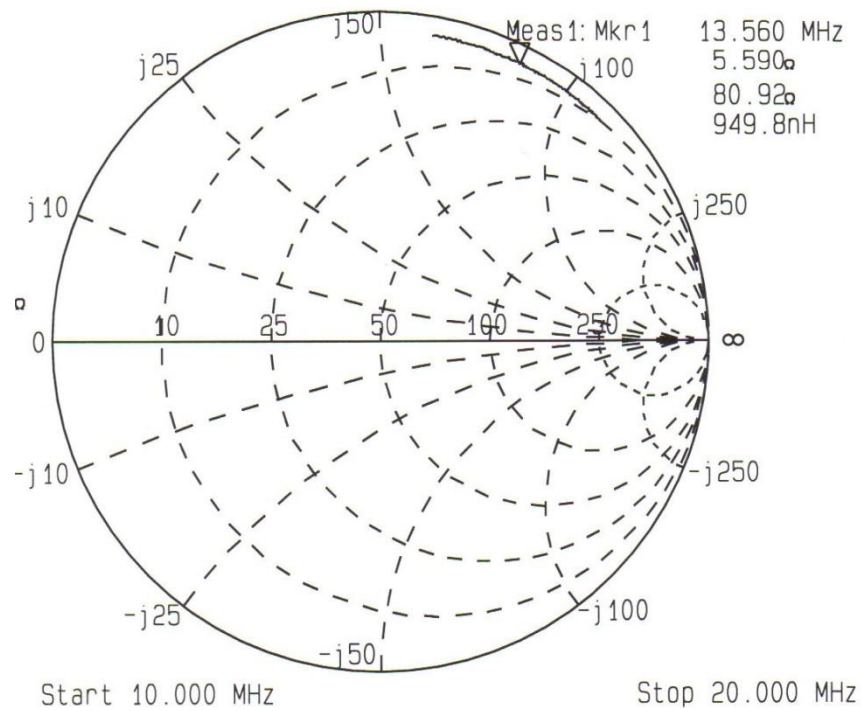
Lukijan suunnittelun ja rakentamisen ensimmäinen mittauksen ja mitoituksen kohde oli antenni. Antenni koostuu yksinkertaistettuna kelasta ja kondensaattorista, joista kela toimii varsinaisena signaalin välittäjänä. Antennien mittaukset suoritettiin Hewlett Packard 8714ET RF -piirianalysaattorilla, taajuusväleillä 10,00 - 18,00 MHz sekä 10,00 - 20,00 MHz. Antennin induktanssia mitattaessa oltiin kiinnostuneita laitteen toimintataajuudesta 13,56 MHz, sillä komponenttien arvot saattavat vaihdella taajuuden muuttuessa. Näin taajuudesta riippuvat resonanssilaskut voitiin suorittaa oikeilla arvoilla.

Mitattaessa ison antennin induktanssia ensimmäistä kertaa ihmetystä tuottivat oudot mittaustulokset. Antennin induktanssi muuttui voimakkaasti jokaisella mittauskerralla ja jopa kesken mittauksen. Syylliseksi paljastui mittauksessa käytetty suojaamaton mittajohto, jonka kahden johtimen liikkeet vääristivät tuloksia. Asia korjaantui, kun johto vaihdettiin suojattuun mittakaapeliin. Kaapelin vaihdon jälkeen tulokset pysyivät muuttumattomina mittauskertojen välillä.



Kuva 12. Ison antennin impedanssi Smithin kartalla.

Kuvassa 12 näkyy, kuinka antennin impedanssi muuttuu taajuuden funktiona. Nuoli kuvan oikeassa yläreunassa osoittaa 13,56 MHz taajuutta. Smithin kartan keskeltä kulkeva vaakaviiva osoittaa impedanssin reaali-osaa ja kehät imaginääriosaa. Vaakaviivan yläpuolinen osa kuvaa positiivista imaginääriosaa eli induktanssia. Vaakaviivan alapuoli taas kuvaa negatiivista imaginääriosaa eli kapasitanssia. Imaginääriosasta voitaisiin laskea induktanssin tai kapasitanssin suuruus, mutta mittauksessa käytetty Hewlett Packardin piirianalysaattori laskee tämän arvon automaattisesti. Ison antennin induktanssiksi saatiin mittauksessa 1,301 uH eli 1301 nH. Laskettu arvo, 1500 nH, ja mitattu arvo siis eroavat noin 200 nH.



Kuva 13. Pienen antennin impedanssi Smithin kartalla.

Pienen antennin induktanssiksi saatiin mitattaessa noin 950 nH, joka erosi lasketusta arvosta noin 250 nH. Seuraava vaihe oli laskea mitattujen induktanssien perusteella sopivat kapasitanssin arvot rinnan kytkettävälle kondensaattorille. Kondensaattorin arvo saadaan laskettua resonanssin kaavasta (6, s.74):

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \rightarrow \quad C = \frac{1}{(2\pi f)^2 L} \quad (2)$$

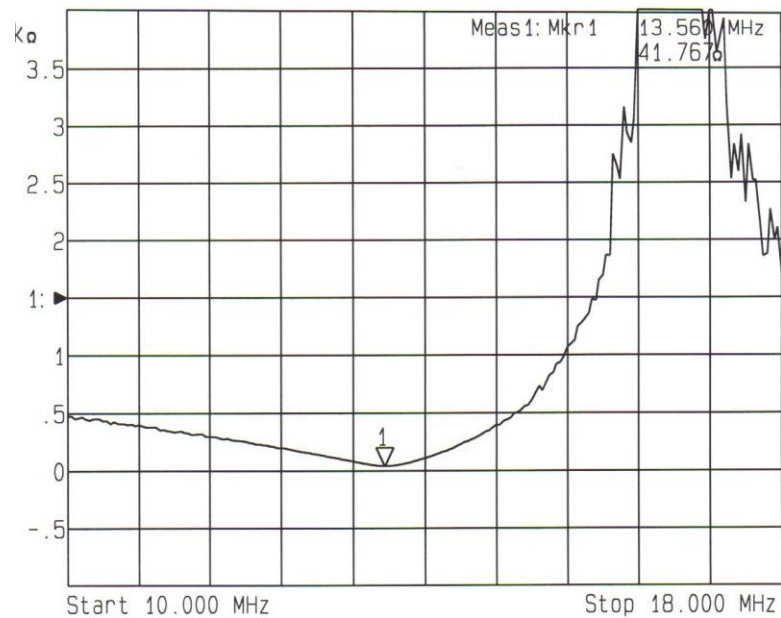
f on taajuus (Hz)

L on induktanssi (H)

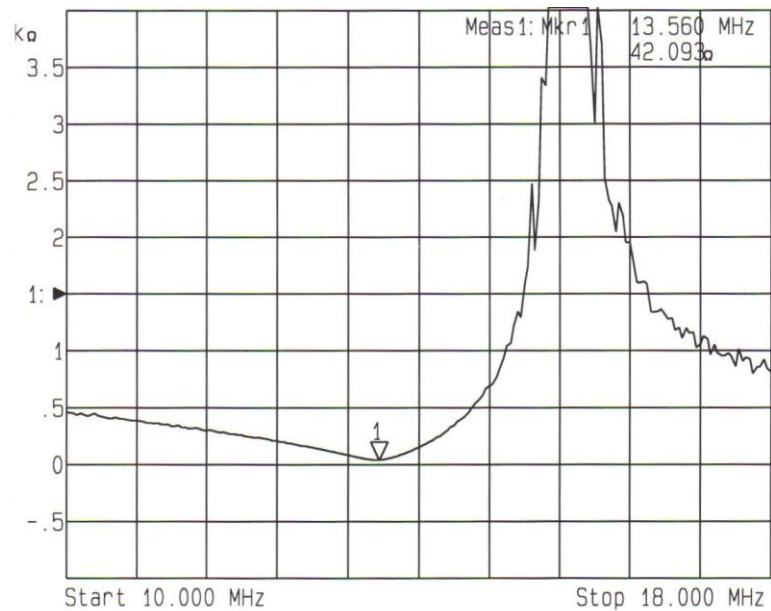
C on kapasitanssi (F)

Kaavasta 2 laskemalla tarvittavan kondensaattorin arvoksi saatiin noin 140 pF. Antennilevylle sijoitettiin rinnankytkennällä 110 pF kondensaattori sekä 5 – 35 pF säädettävä kondensaattori. Säädettävän kondensaattorin avulla kokonaiskapasitanssia saatettiin muuttaa välillä 115 – 145 pF. Näin antennin resonanssi voitiin säätää oikealle taajuudelle ilman kondensaattorien vaihtamista.

Lukijapiirin valmistajalta saaduista datalehdissä ei selvinnyt komponentin lähetysnastojen varsinaista impedanssia. Valmistaja oli kuitenkin tehnyt Excel-taulukon, joka suoritti sovituskomponenttien laskutoimituksen automaattisesti, kun taulukkoon syötti antennin mitatun induktanssin ja vastusarvon. Kyseinen antennin sovituskomponentti oli antennin kanssa sarjaan kytketty kondensaattori. Ensimmäisenä valmistettuun isoon antenniin sijoitettiin myös säädettävä kondensaattori kiinteäarvoisen sovituskondensaattorin tilalle. Näin antennin toimivuutta voitiin testata eri arvoilla portaattomasti. Jälkeenpäin valmistettuihin pienempiin antenneihin sovituskondensaattorit voitiin toteuttaa kiinteäarvoisilla kondensaattoreilla. Kun antennit oli säädetty toimimaan mahdollisimman hyvin, oli molempien antennien impedanssit noin 42 ohmia. Kuvissa 13 ja 14 asteikko pystysuunnassa on 0,5 kilo-ohmia ruutua kohden



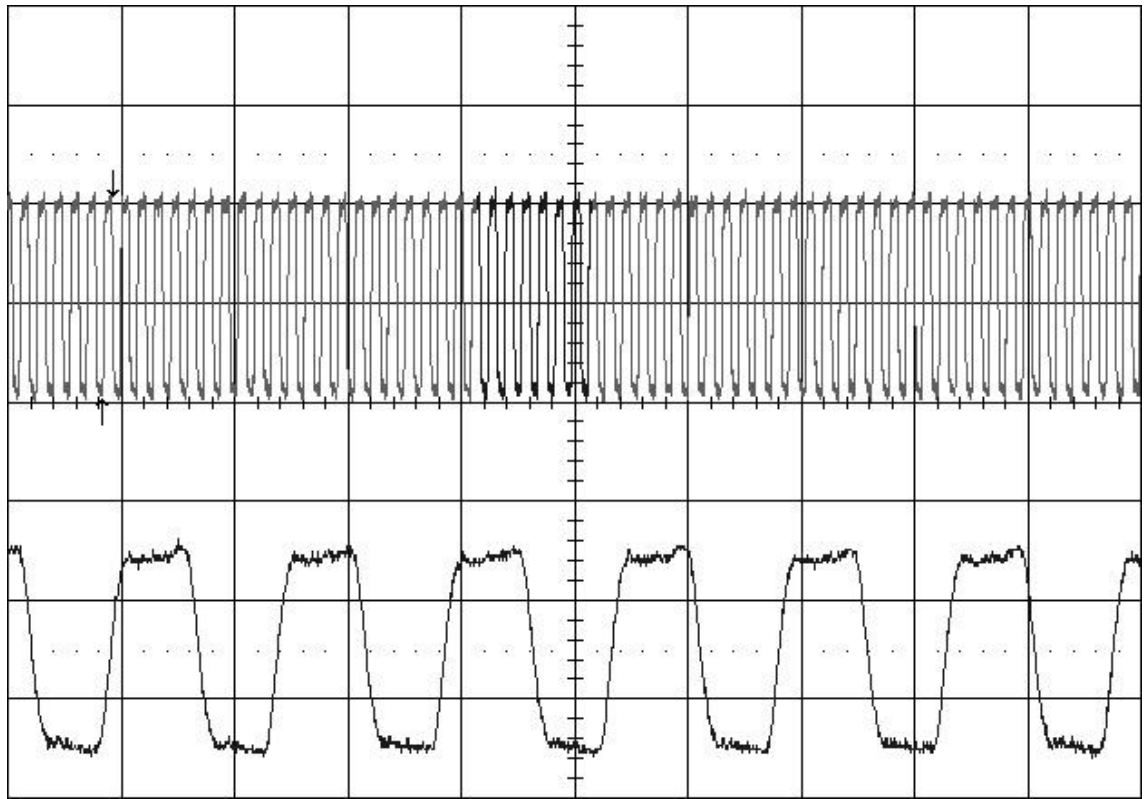
Kuva 14. Ison antennin impedanssikäyrä.



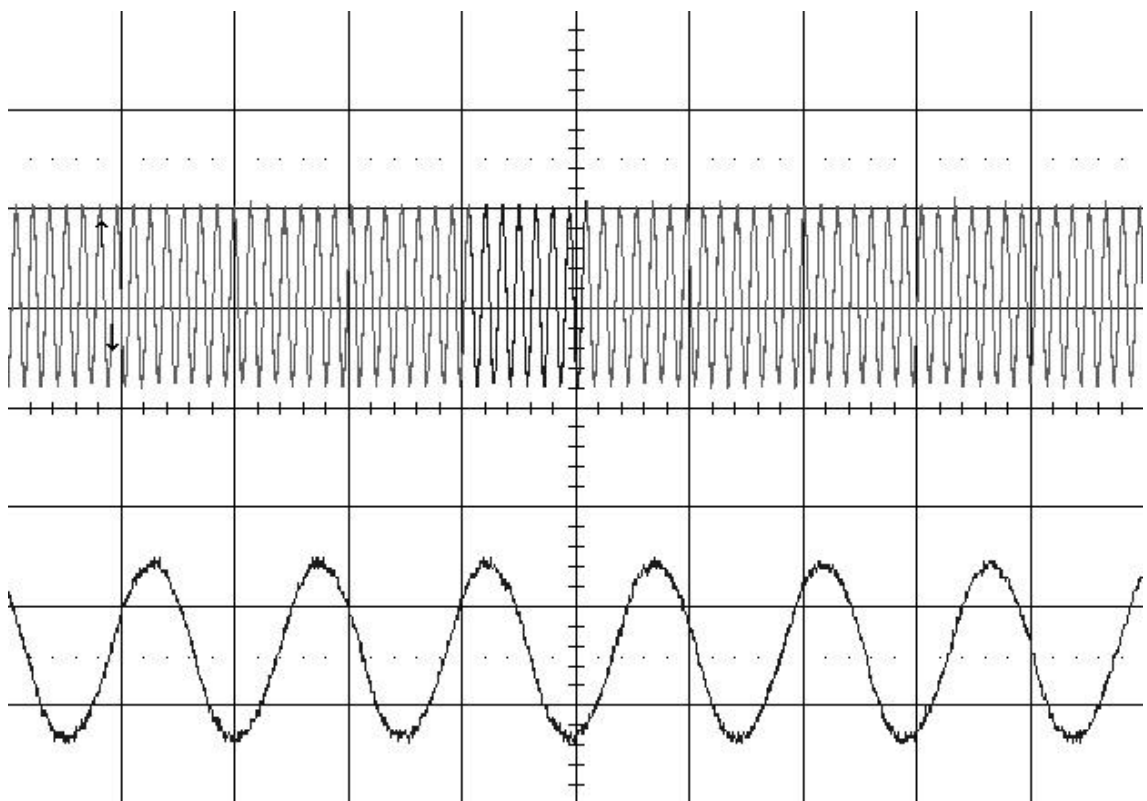
Kuva 15. Pienen antennin impedanssikäyrä.

4.2. Signaalien ja aaltomuotojen mittaukset

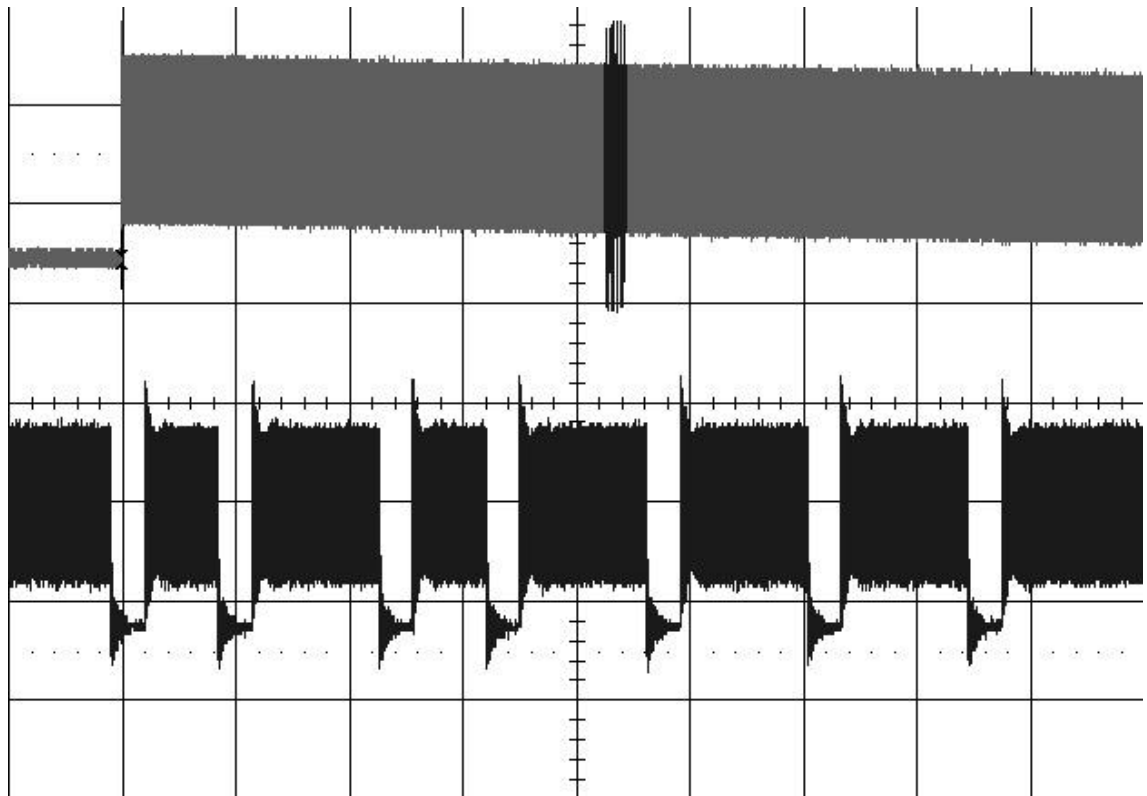
Moduloimaton signaali, jota lukijapiiri lähettää antennille, on 13,56 MHz taajuista siniaaltoa. Sinimuotoinen signaali syntyy, kun lukijapiirin lähettämästä 13,56 MHz sakara-aallosta suodatetaan korkeammat taajuudet pois. Jäljelle jää 13,56 MHz taajuista siniaaltoa. Kuvissa 16 ja 17 näkyy lukijan signaali ennen suodatusta ja sen jälkeen. Lukijan signaalien ja aaltomuotojen mittauksissa käytettiin Lecroy LC584A -oskilloskooppia. Kuvissa 16 - 19 näkyy yläpuolella varsinainen mitattu signaali ja alapuolella signaalista otettu tarkennus. Kuvissa 16 - 19 yksi ruutu pystysuunnassa vastaa kahta voltia.



Kuva 16. Lukijan signaali ennen suodatusta.



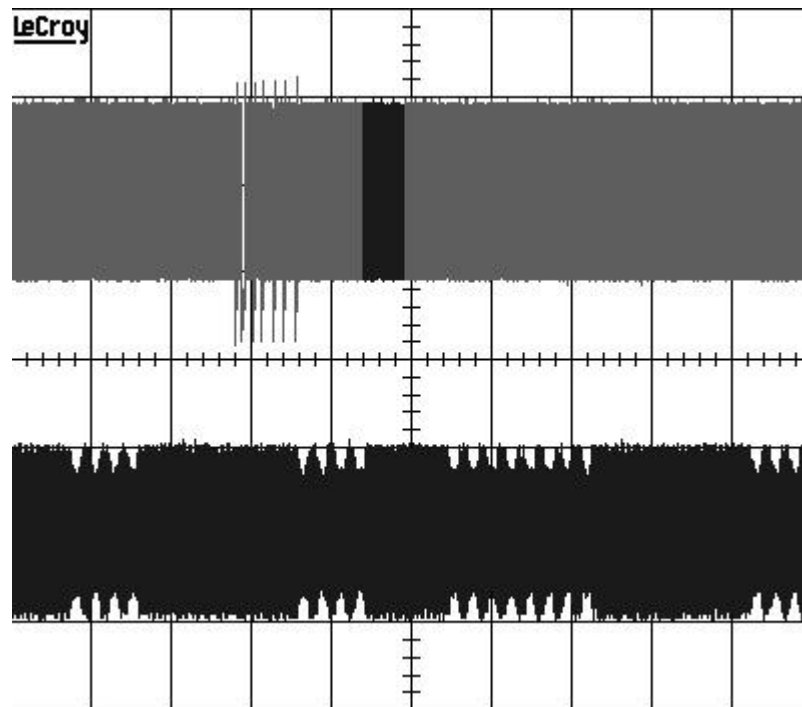
Kuva 17. Lukijan signaali suodatuksen jälkeen.



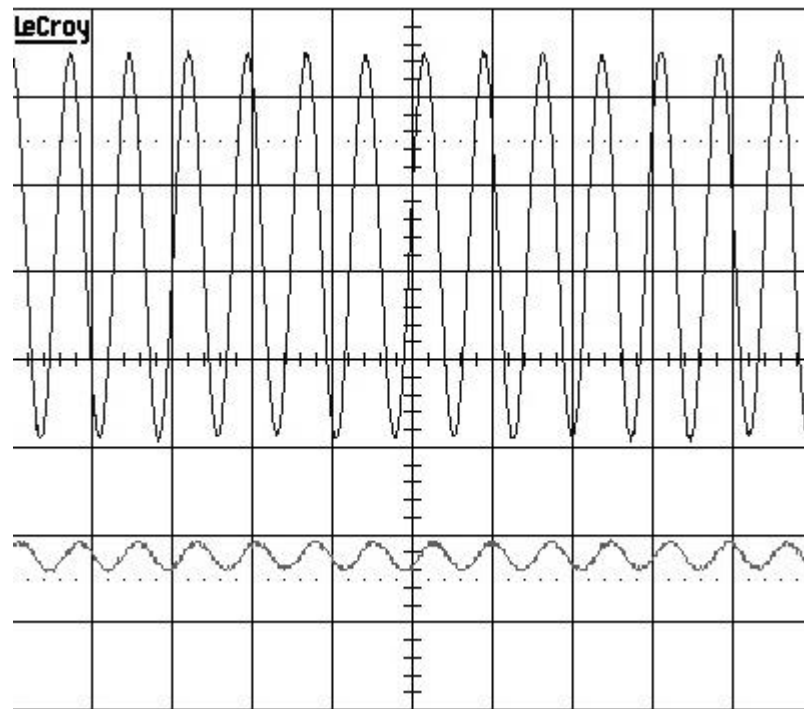
Kuva 18. Lukijan amplitudimoduloitu signaali.

Kuvassa 18 näkyy lukijan lähettämä signaali ja siinä amplitudimoduloitua (ASK) dataa. Koska modulaatiotyyppi on 100 % ASK, katkeaa lukijan kantaalto käytännössä täysin. Itse data on lukijan lähettämässä signaalissa Miller-koodattua, joka näkyy kuvassa pitkinä ja lyhyinä jaksoina kantaallossa modulaatioaukkojen välissä.

Kuvassa 19 näkyy tunnisteiden aiheuttamaa kuormamodulaatiota lukijan kantoaallossa. Tunnisteiden kuormamodulointi aiheuttaa lukijan signaalin jännitetasoon muutoksia, jotka lukijapiirin vastaanotto pystyy havaitsemaan. Tunnisteiden kuormamodulaatio erottuu kuvan 19 alemmassa signaalissa piikkiriveinä. Piikkirivit syntyvät, kun tunniste käyttää kuormamodulaatiota 847 kHz taajuudella. Kuvan ylemmässä signaalissa erottuvat myös lukijan lähettämän datan aiheuttamat jännitepiikit.



Kuva 19. Tunnisteiden kuormamodulaatio lukijan signaalissa.



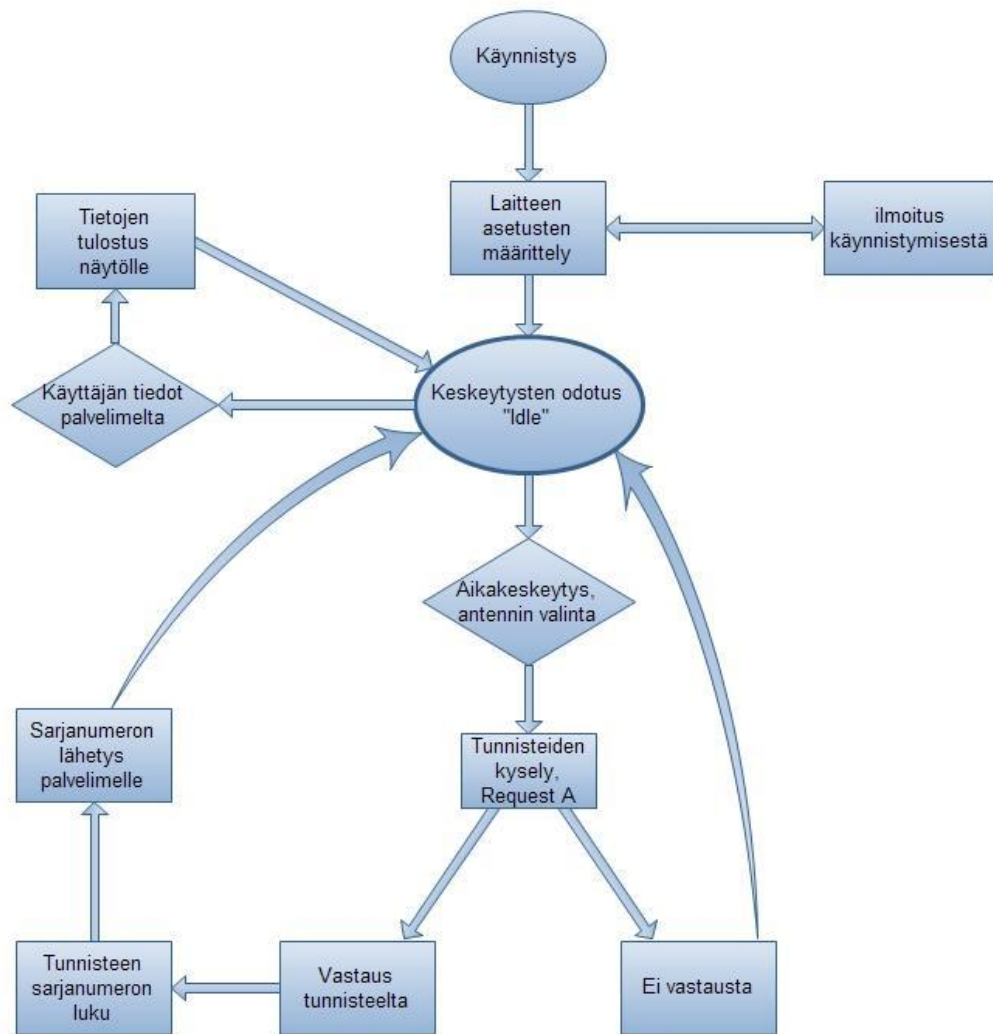
Kuva 20. Multiplexerin kahden eri kanavan jännitetasot. Ylempi signaali mitattu aukinaisalta ja alempi signaali kiinni olevalta kanavalta.

Kuvassa 20 näkyy mittaustulos, kun mitattiin multiplexerin kahden eri kanavan signaalin jännitettä, kun toinen kanavista on auki ja toinen kiinni. Kuvassa 20 ylempänä näkyvä signaali on mitattu aukinaisalta kanavalta ja alempi signaali kiinni olevalta kanavalta. Kuvassa yksi ruutu pystysuunnassa vastaa yhtä volttia. Auki olevan kanavan signaali on amplitudiltaan noin 4,4 volttia, kun kiinni olevalla kanavalla signaali on voimakkuudeltaan vain noin 0,4 volttia. Kiinni olevalle kanavalle ylikuuluva signaali on siis vain noin 1/11 varsinaisesta signaalista. On siis hyvin epätodennäköistä, että lukija saisi luettua tunnistetta väärältä kanavalta.

5 Ohjelma

Mikrokontrollerin suorittama ohjelma kirjoitettiin C-kielellä Atmelin AVR Studio 4 -ohjelmointiympäristössä. Ohjelman kirjoitus aloitettiin heti projektin alussa, kun ensimmäiset komponentit oli saatu piirilevyn ensimmäiseen versioon kiinni. Koodin kirjoittamisessa edettiin komponentti kerrallaan. Ensimmäiseksi pyrittiin saamaan kommunikaatio toimimaan saumattomasti mikrokontrollerin ja lukijapiirin välillä, seuraavaksi mikrokontrollerin ja multiplekserin välillä ja viimeiseksi mikrokontrollerin ja näytön välillä. Kommunikaatio kaikkien komponenttien välillä tapahtuu SPI-väylää käyttämällä. SPI (Serial Peripheral Interface) on Motorolan kehittämä tiedonsiirtoväylä, jossa dataa siirretään sarjamootoisesti. Kommunikaatiossa on aina kaksi osapuolta, isäntä (Master) ja yksi tai useampi orja (Slave). SPI-väylä toimii full duplexina, mikä tarkoittaa, että dataa voidaan lähettää ja vastaanottaa samanaikaisesti. (7.)

Lukijapiiri toimii mikrokontrollerin lähettämien käskyjen varassa. Kun kaikki tarvittavat asetukset lukijapiirin rekistereissä on aluksi määritelty, voidaan dataa lähettää ja vastaanottaa vain muutamalla toimenpiteellä. Ensimmäiseksi lukijan FIFO-puskuriin kirjoitetaan data, joka halutaan lähettää. Tämän jälkeen vain annetaan käsky suorittaa lähetä/vastaanota-toiminto. Lähetä/vastaanota-käsky suorittaa puskurissa olevan datan lähetyksen ja siirtää lukijan automaattisesti vastaanottomoodiin. Kun vastaanotto havaitsee tunnisteelta tulevan viestin, se tallettaa datan FIFO-puskuriin. Lukijan rekistereistä voidaan määrittää, että vastaanotettu viesti aiheuttaa keskeytyksen. Keskeytys aiheuttaa tilan muutoksen lukijan keskeytysnastassa, joka viestittää mikrokontrollerille vastaanotetusta datasta.



Kuva 21. Vuokaavio laitteen toiminnasta.

Kun lukija on käynnistetty ja käynnistystoimenpiteet asetuksineen suoritettu, siirtyy se tyhjäkäyntitilaan. Tässä tilassa vain odotetaan keskeytyksiä. Keskeytyksen voi aiheuttaa ainoastaan ajastin tai GPRS-moduulilta tuleva viesti. Ajastin käynnistetään, kun lukija on suorittanut käynnistystoimenpiteet, ja sitä käytetään tahdittamaan tunnisteiden lukemista. Kun ajastin aiheuttaa keskeytyksen, ohjelma siirtyy keskeytysfunktioon, jossa valitaan ensin käytettävä antenni ja sen jälkeen lähetetään Request A-komento, heksadesimaali 26 h. Tähän komentoon antennin kentässä oleva tunniste vastaa ATQA-viestillä. Jos vastausta ei tule, tiedetään, että tunnisteita ei ole lukualueella ja ohjelma siirtyy takaisin Idle-tilaan odottamaan uutta keskeytystä.

Kun lukija vastaanottaa tunnisteelta dataa, se aiheuttaa keskeytyksen mikrokontrollerille. Mikrokontrolleri lukee datan lukijan FIFO-puskurista ja tarkistaa, onko se oikea Answer To Request, type A -viesti. Jos vastaanotettu viesti on oikea, ohjelma jatkaa lähettämällä Select (SEL) -käskyn, jota seuraa, heksadesimaalin 52 h. Käskyn perässä on myös Number of Valid Bits (NVB) -attribuutti, joka sisältää sanoman pituuden. Nyt tunnisteiden tulisi vastata käskyyn omalla sarjanumerollaan. Sarjanumeron viimeisenä tavuna tunniste lähettää BCC-tavun, joka sisältää kaikki edelliset tavut summattuna loogisella XOR-operaatiolla. Näin mikrokontrolleri voi suorittaa saman laskutoimituksen ja varmistaa, että vastaanotettu viesti on tullut muuttumattomana perille. Mahdollisuus, että tunnisteiden lähettämä viesti tulisi virheellisesti perille, mutta vastaanotettu data ja BCC vastaisivat toisiaan, on olemassa. Tämä on kuitenkin erittäin epätodennäköistä.

Kun lukija on vastaanottanut tunnisteiden sarjanumeron ja varmistanut sen oikeellisuuden, se lähetetään sarjaportin kautta palvelimelle. Sarjanumeron perään lisätään lähetysvaiheessa sen antennin numero, jolta tunniste luettiin. Näin palvelin tietää, minkä valinnan käyttäjä on tehnyt. Sarjanumeron lähetyksen jälkeen mikrokontrolleri jää odottamaan vastausta palvelimelta. Vastausta odotetaan noin kolme sekuntia, jonka jälkeen siirrytään takaisin normaaliin toimintaan, jos vastausta ei tule. Jos vastausta ei kolmen sekunnin aikana tule, lähettää GPRS-moduuli tiedon lukijalle yhteyden ongelmista. Tämä tieto tulostetaan näytölle käyttäjälle tiedoksi. Kun vastausviesti palvelimelta tulee, tulostetaan se näytölle.

6 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli HF-taajuutta käyttävän lukijapiirin käyttöönotto ja toimivan lukijalaitteen valmistus. Tavoitteena oli myös tutkia usean antennin ja yhden lukijapiirin yhdistämistä toimivaksi kokonaisuudeksi. Työn erikoisuutena voidaankin pitää usean antennin avulla toteutettua käyttöliittymää.

Työ aloitettiin sopivien komponenttien etsimisellä. Haasteena oli löytää lukijapiirin lisäksi sopiva multiplekseri signaalin jakamiseksi. Tämän jälkeen jatkettiin suunnittelemalla ja valmistamalla piirilevy, jolle sijoitettiin mikrokontrolleri, lukijapiiri ja näyttö oheiskomponentteineen. Näin voitiin keskittyä lukijapiirin käyttöönottoon ennen multiplekserin liittämistä laitteeseen. Seuraavaksi ryhdyttiin mitoittamaan ja suunnittelemaan antennia valmistajalta saatujen dokumenttien avulla. Kun lukijapiiri ja antenni oli saatu tyydyttävästi toimimaan, multiplekseri otettiin käyttöön lukijapiirin ja antennin välissä. Suureksi yllätykseksi multiplekserin sijoittaminen lukijan ja antennin väliin ei näyttänyt vaikuttavan laitteen toimintaan millään tavalla, vaan tunnisteidien lukeminen onnistui täysin normaalisti. Kyseisen multiplekserin valintaa voitiin siis pitää onnistuneena.

Suurimman työmäärän projektissa tuotti mikrokontrollerin ohjelmoiminen. Ohjelmointi aloitettiin jo työn varhaisessa vaiheessa, kun eri komponentteja otettiin käyttöön ja niiden toimintoja yhdistettiin. Lopullisen ohjelman tuli pystyä hallitsemaan lukijapiiriä, multiplekseriä ja näyttöä oikeassa tahdissa. Tämän lisäksi sen tuli pystyä kommunikoidaan GPRS-moduulin kanssa tarvittaessa. Laitteen suunnittelussa tai ohjelmoinnissa ei kiinnitetty huomiota virrankulutukseen, koska laite tulisi olemaan kiinteästi asennettuna ja kytkettynä verkkovirtaan.

Työn tavoitteena ollut yhden lukijapiirin ja usean antennin yhdistäminen onnistuttiin toteuttamaan neljällä antennilla. Samaa tekniikkaa laajentamalla voisi kuitenkin lukijassa olla kahdeksan tai kuusitoistakin antennia. Tämä voisi mahdollistaa laajempien valikoiden tai esimerkiksi suuren näppäimistön toteuttamisen RFID-tekniikalla.

Lähteet

1. Shepard, Steven. RFID Radio Frequency Identification. McGraw-Hill. 2005.
2. The History of RFID Technology. (WWW-dokumentti) RFID Journal.
<http://www.rfidjournal.com/article/view/1338/1/129> Luettu 4.4.2010.
3. Dobkin, Daniel M. The RF in RFID, Passive UHF RFID in Practice. Newnes. 2008
4. Boussouira, Rabah. Kontaktittomien älykorttien standardien tila ja sisältö. Selvitys ISO 14443 standardin tilasta ja sisällöstä. Advantec Oy. (WWW-dokumentti) VTT.
http://virtual.vtt.fi/virtual/proj6/fits/julkaisut/hanke1/Raportti_ISO14443_v111.pdf 29.7.2002. Luettu 11.4.2010.
5. ISO/IEC 7810. Wikipedia. (WWW-dokumentti)
http://en.wikipedia.org/wiki/ISO/IEC_7810 . Luettu 11.4.2010.
6. Finkenzeller, Klaus. RFID Handbook. 2nd Edition. John Wiley & Sons Inc. 2003
7. Kalinsky, David & Kalinsky, Roee. Introduction to Serial Peripheral Interface. (WWW-dokumentti) Embedded.com.
<http://embedded.com/columns/beginnerscorner/9900483> . 1.2.2002. Luettu 17.4.2010.
8. Frequently Asked Questions. (WWW-dokumentti) NFC Forum. <http://www.nfc-forum.org/resources/faqs> . Luettu 19.4.2010.
9. Crosstalk (electronics). Wikipedia. (WWW-dokumentti)
http://en.wikipedia.org/wiki/Crosstalk_%28electronics%29 . Luettu 19.4.2010.
10. NXP MF RC530 datalehti. (WWW-dokumentti)
http://www.silica.com/fileadmin/02_Products/03_Technology-Gateways/RFID/datasheets/MIFARE_MF_RC_530_M067420.pdf . Luettu 20.4.2010.
11. Analog Devices ADG714/ADG715 datalehti. (WWW-dokumentti)
http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADG714_715.pdf . Luettu 20.4.2010.

12. Atmel ATmega48PA datalehti. (WWW-dokumentti)
http://www.atmel.info/dyn/resources/prod_documents/doc8271.pdf . Luettu 20.4.2010.
13. Newhaven Display International NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3 datalehti.
(WWW-dokumentti) <http://www.newhavendisplay.com/specs/NHD-C0216CZ-FSW-FBW-3V3.pdf> . Luettu 20.4.2010.
14. Electria, kotisivut. (WWW-dokumentti)
<http://electria.metropolia.fi/index.php?id=105> . Luettu 23.4.2010.

Liite 2. Piirilevyn layout

