



CHALMERS

Mätning av elförbrukning i ett trådlöst energiöverförningssystem med dynamiska enheter

Examensarbete högskoleingenjörsprogrammen Data- och Elektroingenjör

Kristoffer Johnsson

Dima Kovalenko

Förord

Detta examensarbete har utförts på Chalmers tekniska högskola vid institutionen för Signaler och system. Examensarbetet är ett resultat av 3 års heltidsstudier på data- och elektroingenjörsprogrammet och omfattar 15 högskolepoäng.

Vi vill tacka vår handledare Sakib Sistek för all hjälp och stöd under examensarbetets gång. Ett stort tack går också till våra samarbetspartner vilka är Martin Alerman och Fredrik Jakobsson och även deras handledare Lennart Widén för uppbyggandet av projektet. Vill även tacka Victoriainstitutet och deras representant Håkan Burden för möjligheten att ha någon att fråga och använda som bollplank.

Sammanfattning

Teknikens utveckling har gjort det möjligt att ta fram nya lösningar som uppfyller på effektiv energiförbrukning och miljövänlighet, inte minst inom bilbranschen. I denna studie gjordes ett försök att skapa ett verklighetsanpassat testsystem som ska göra det möjligt att ladda bilar induktivt under drift. Systemet ska även klara av att läsa av hur mycket ström som överförs till bilen för att bilisten ska kunna betala för förbrukat ström på samma sätt som man betalar för strömmen i eluttaget hemma. Detta medför också att ett fordonidentifieringssystem har gjorts. Även tester kring trådlös kommunikation har gjorts för att hitta en enhet vars teknik är mest passande för de kraven som ställs. Arbetet resulterade i att det faktiskt är en tidsfråga när ett sådant system ska konstrueras och användas i verkligheten.

Abstract

Development of new technologies has made it possible to design new solutions which meet high requirements regarding effective energy consumption and sustainability. This project aimed to develop a reality adapted testing system for inductively charging model cars. In this system model cars will be wirelessly charged as they drive. Moreover the test system is designed to measure amount of current sent to a model car. These measurements will be sent to a payment system. The payment system will help car drivers to pay for transferred current, just as they pay for the current taken from electrical outlets at home. Model car identification and wireless communication systems have been developed. The result of this project, a working wireless energy transfer system for electrical vehicles can be developed and constructed in the near future.

Innehållsförteckning

Beteckningar.....	1
1. Inledning.....	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Syfte.....	2
1.3 Mål.....	2
1.4 Avgränsningar	2
2. Metod	3
2.1 Kunskapshämtning	3
2.2 Tillvägagångssätt.....	3
3. Teknisk Bakgrund	4
3.1 Reläkort	4
3.1.1 Mekaniska Reläer	4
3.1.2 Solid State Relä	4
3.2 Virtuellt Kluster.....	4
3.3 Fysiskt kluster.....	4
3.4 Arduino Uno	5
3.5 Arduino Due	6
3.6 Arduino Mega 2560.....	6
3.7 Arduino Pro Mini.....	6
3.8 Trådlös Kommunikation.....	6
3.8.1 RF	7
3.8.2 Xbee	8
3.8.3 NFC	10
3.8.4 nRF24L01 2,4 GHz Radio/Wireless Transceiver	11
3.9 SPI	11
3.10 Modulation	12
3.10.1 Analog modulation	12
3.10.2 Digital modulation.....	14
3.11 GFSK.....	17
3.12 QAM Quadrature Amplitude Modulation.....	17
3.13 PLL.....	18
3.14 Seriell kommunikation och parallell kommunikation	18
4. Genomförande	21
4.1 Systemets uppbyggnad	21
4.1.1 Identifiering	21
4.1.2 Påbörja energiöverföring	22
4.1.3 Avsluta energiöverföring	22
4.1.4 Sammanställning av energiöverföring	22
4.1.5 Arduino.....	22
4.2 Bilens system.....	22
4.2.1 Sekundärkrets med spole	23
4.2.2 Mätning av mottagen energi	23
4.2.3 Display.....	23

4.2.4 Sändaren	23
4.2.5 RFID-taggen	23
4.3 Tester av utrustning	24
4.3.1nRF24L01 2,4 GHz Radio/Wireless Transciever	24
4.3.2 Mobiltelefon och NFC tagg	25
4.3.3 STM32 X-NUCLEO-NFC01A1 reader/writer	25
4.3.4 RFID Module – SM130 Mifare (13,56 MHz) och RFID Shield.....	27
4.3.5 Analog-till-digital-omvandlare ADS1015	29
4.3.6 Strömsensor INA169	30
5. Resultat	31
5.1 Identifiering	31
5.2 Mätning av energiöverföring	31
6. Slutsats	32
6.1 Resumé	32
6.2 Diskussion	32
6.3 Fortsatt arbete	33
7. Referenser.....	34
7.1 Bildkällor.....	36
Appendix	37

Beteckningar

Inom kommunikationsteorin berättas om fyra typer av kommunikation:

Duplex kommunikation	kommunikation i två riktningar
Simplex kommunikation	kommunikation i en riktning
Halv-duplex	kommunikation i två riktningar men noder kan inte skicka information samtidigt
Full-duplex	kommunikation i två riktningar när alla noder kan skicka information samtidigt
MSB	<i>eng.</i> most significant bit, är den siffra som skrivs längs till vänster och representerar det största värdet
LSB	<i>eng.</i> least significant bit, är den siffra som skrivs längs till höger och representerar det minsta värdet
SDA	<i>eng.</i> Serial data line
SCL	<i>eng.</i> Serial clock line
ACK	<i>eng.</i> Acknowledge
NACK	<i>eng.</i> Negative Acknowledge
I/O	Input/output
USB	<i>eng.</i> Universal serial bus
PCB	<i>eng.</i> printed circuit board, är ett mönsterkort. OBS! Förkortningen ska inte förväxlas med industrikemikalien polychlorinated biphenyl, polyklorerade bifenyler.
MCU	<i>eng.</i> Microcontroller
SPI	<i>eng.</i> Serial peripheral interface
PLL	<i>eng.</i> Phase-locked loop, fastlåst slinga
GFSK	<i>eng.</i> A Gaussian filtered frequency shift keying, frekvensskiftsmodulation
SPI	<i>eng.</i> Serial Peripheral Interface bus, är en buss för synkron seriekommunikation
SCLK	<i>eng.</i> Serial clock (SPI)
MOSI/SIMO	<i>eng.</i> Master output, slave input (SPI)
MISO/SOMI	<i>eng.</i> Master input, slave output (SPI)
SS	<i>eng.</i> Slave select (SPI)
RF	Radiofrekvens
UMTS	<i>eng.</i> Universal mobile telecommunications system
EDGE	<i>eng.</i> Enhanced data rates for GSM (Global system for mobile communications) evolution
GPRS	<i>eng.</i> General packet radio services
WiMAX	<i>eng.</i> Worldwide interoperability for microwave access
NFC	<i>eng.</i> Near field communication

1. Inledning

1.1 Bakgrund

I situationen som mänskligheten just nu befinner sig i så tar miljöfrågan en allt större plats i samhället. Kravet är att försöka minska miljöpåverkan från alla möjliga industriella områden. Av denna anledning har man börjat utveckla elbilar för att minska användningen av bensin och diesel. Ett stort problem elbilar står inför är att batterier med stor kapacitet är mycket dyra, vilket gör att man inte väljer elbilar. Ett alternativt sätt till att ha stora batterier är att man skall kunna ladda dem ofta och det är där detta projekt kommer in. Tanken är att bilen skall kunna laddas under drift vilket skulle spara tid eftersom man inte behöver stanna och koppla in laddningskablar. Bilarna skall då laddas induktivt med hjälp av primärkretsar med spolar i vägbanan och en sekundärkrets och dess spole i bilen.

I betalningssystemkonceptet skrivet av Sakib Sistek (se bilaga 2) finns det ett förslag på hur identifieringssystemet skulle kunna se ut. Exempelvis, som det står i konceptet, kan en unik närfältkommunikations(NFC) tagg placeras i en bil. Den bilen kan i detta fall identifieras av en NFC läsare i banan så fort bilen åker förbi NFC-läsaren. Ett annat förslag från konceptet är att använda så kallade virtuella kluster för varje induktivladdningsbar bil som står på banan. Eftersom dessa förslag bygger på teori måste lösningar prövas i ett verkligt testsystem.

Utifrån konceptet kan projektets genomförande delas upp i flera delprocesser. För det första krävs det ett fungerande radiogränssnitt. Detta problem kan lösas om en trådlös kommunikationsmetod för testsystemets viktigaste komponenter, bilarna och banan, utvecklas. För det andra måste en styrkrets som kan identifiera bilar och kunder skapas. Denna styrkrets skulle också ta hand om primärkretsen med dess spolar. För det tredje måste det utvecklas ett sätt att mäta strömmen som överförs induktivt från bilar och vägbanan.

1.2 Syfte

Syftet med examensarbete är att utveckla ett fungerande mikroprocessorbaserat mätprogram för elförbrukning av ett trådlöst energiöverföringssystem som klarar av att kommunicera med olika dynamiska enheter.

1.3 Mål

Målet med examensarbetet är att skapa ett system som mäter energiöverföring och identifierar fordon som ska utnyttja den. De två systemen (bilen respektive banan) ska kommunicera med varandra med krav på att överföring ska ske stabilt och vara energisnål.

1.4 Avgränsningar

I examensarbetet kommer inte tas någon hänsyn för säkerhets- och krypteringsfrågor som skulle komma upp vid verklig implementering. Vad gäller betalningssystemet så kommer det enbart hållas av programmet och inte av någon bakomliggande, det vill säga inga direkta kopplingar till banker eller databaser.

2. Metod

2.1 Kunskapshämtning

För att utföra detta projekt på det mest optimala sätt och ha största möjligheterna att få fram ett resultat så kommer bland annat examensarbetet som har gjorts i detta område "Betalning för induktivt laddningsbara elbilar" [14] att användas och nya källor uppsökas.

2.2 Tillvägagångssätt

Man avser använda oss av ett flertal Arduinoenheter som skall programmeras för att kunna samla information om mängden mottagen energi, respektive skickad energi. Projektet ska använda sig av bilar som ska köra över en väg av spolar som ska ladda bilarnas batteri under drift. Man avser ha en Arduino på varje fordon och en eller flera för det centrala systemet som i sin tur avser sköta mätning av skickad ström ifrån huvudkretsen och ta emot värden från varje fordon. Dessutom skall avståndet mellan dem kontrolleras, eftersom spolarna måste ha chans att inaktiveras innan de kan aktiveras för nästkommande fordon. Bilarna i sin tur skall även de läsa av hur mycket energi som mottagits eftersom föraren vill ha möjligheten att se hur mycket batteriet har laddats. Av denna anledning skall en display anslutas till de Arduinokort som är placerade på fordonen. Dessa två mätningar skall synkroniseras med hjälp av kommunikation mellan enheterna. Båda mätningarna från bilen och banan måste bli lika stora. Eventuella skillnader mellan dessa mätningar är överföringsförluster som måste kompenseras. Det är därför dessa mätningar jämförs med varandra. Överföringsförlusterna kompenseras sedan med ökad ström till spolarna på primärsidan.

Man skall med hjälp av denna mätning av energi kunna lagra information om hur mycket energi var och en av bilarna har fått, och genom detta kunna ta betalt. Utifrån ett satt pris ska betalning ske, bland annat direkt från ett konto eller spara energimätningar för att senare skicka faktura. Detta kommer dock enbart göras lokalt som angetts i avgränsningar.

3. Teknisk Bakgrund

3.1 Reläkort

Ett reläkort med ett flertal reläer används för att styra spolarna, detta eftersom det skall vara möjligt att stänga av och sätta på spolarna. Problem som annars hade uppkommit hade varit att energi hade skickats ut i spolarna när ingen mottagare finns tillgänglig vilket är direkt förlust. Det hade även varit möjligt för ett oidentifierat fordon att ladda upp sina batterier utan att ha några betalningsmöjligheter tillgängliga. Istället används reläer för att slå på ett antal spolar framför de fordon som kan identifiera sig och stängs av bakom fordonet. Detta kommer medföra att varje bil enbart behöver betala för den energi som de tar emot. Antalet spolar som aktiveras framför fordonet kommer bestämmas av fordonets hastighet och hur snabbt reläerna kan slå om.

3.1.1 Mekaniska Reläer

Projektet använder sig av mekaniska reläer som består av rörliga delar som slår om när de får en spänning till sig. Det finns två principer där den ena enbart är aktiv/inaktiv när den ligger i kontakt med ström och andra som byter läge när den kommer i kontakt och sedan håller denna konstant tills nästa puls kommer. De som används i projektet är den förstnämnda.

3.1.2 Solid State Relä

Solid State-relä har inga rörliga delar utan använder sig istället av en krets med opto- isolator [23]. De har därför aldrig 100 % stängt eller öppet vilket medför att de har ett större problem med temperaturen och kan även behöva separata kylare [23]. De har dock inget ljud som den mekaniska har vid ändrad position men till skillnad från den mekaniska så har denna krets en mycket längre livslängd än vad den mekaniska motsvarigheten har [23].

3.2 Virtuellt Kluster

Ett virtuellt kluster består av bilens spole och ett antal spolar i fysiska kluster. Virtuella kluster följer bilens färdriktning.

Användandet av virtuella kluster skulle medföra att man lättare kan tända och släcka spolar för flera fordon som färdas i olika hastigheter över laddningsbanans spolar som tillhör fysiska kluster. Fordon kommer även varnas om ett fordon kommer för nära ett annat, vilket skulle medföra att det virtuella klustret av den bakre bilen skulle förflyttas in i den främres kluster. Detta ska hindras genom att ha varning och eventuellt stänga av energiöverföringen för bilen som kört ikapp den andra om de är så nära att man inte kan garantera att var och en av bilarna får rätt räkning. Ett exempel hade varit om två kluster ligger omlott på den positionen där den främre bilen kör, vilket skulle kunna medföra en extra kostnad för den bakre bilen och om spolarna inte stänger snabbt nog skulle det kunna innebära en extra kostnad för den främre av de två fordonen.

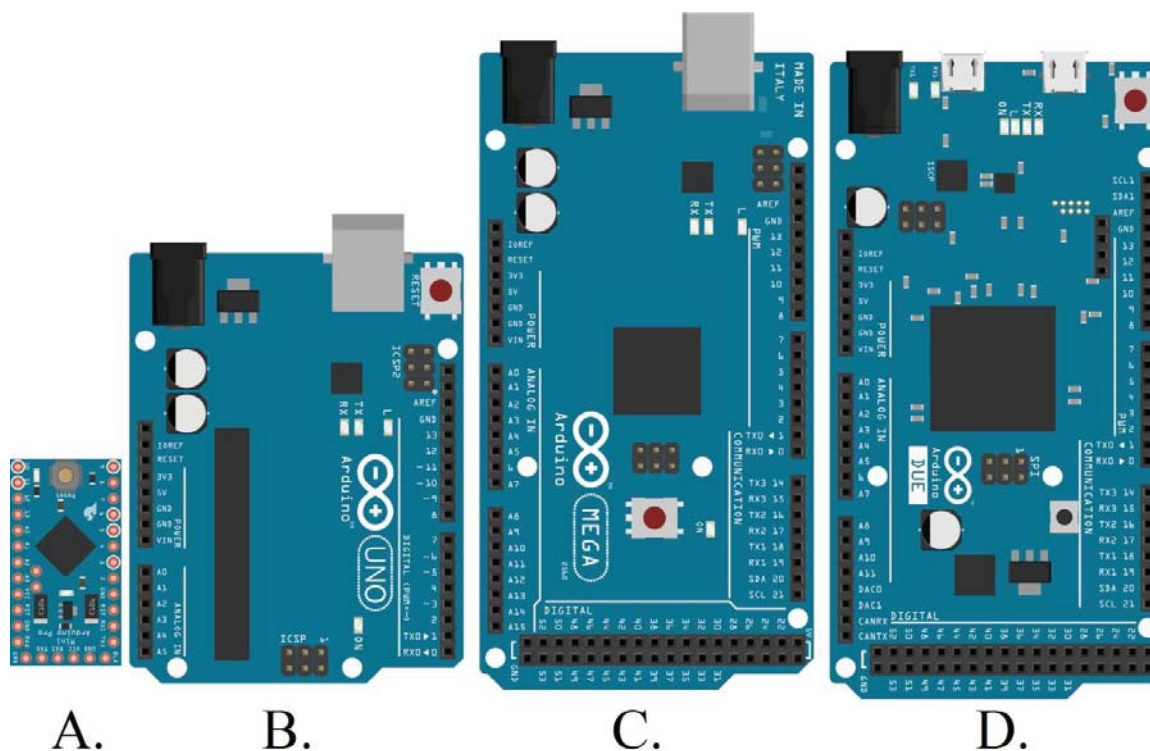
3.3 Fysiskt kluster

Ett fysiskt kluster är i detta samband en grupp spolar som fysiskt är sammankopplade i laddningsbanan och aktiveras respektive inaktiveras som en enhet med det virtuella klustret. Eftersom en ensam spole täcker upp en så liten del av en vägsträcka så kan man ha några sammankopplade då en bil skulle passera dem på mycket kort tid. Det skulle under sådana förutsättningar knappt märkas att man passerade en rad fysiska kluster istället för enkelkopplade spolar då övergången fortfarande skulle vara så ”mjuk”. Ett problem är dock om

ett fysiskt kluster blir för långt, det vill säga inkluderar för många spolar, skulle detta tvinga bilar att hålla mycket långa avstånd, mer än vad som skulle behövas om klustren var mindre. Mindre kluster skulle av denna anledning inte vara något problem då bilarna ändå måste hålla ett avstånd till framförvarande fordon på grund av trafiksäkerhet. Det är mycket viktigt att fysiska kluster ska försäkra att alla bilar inom deras område får tillräckligt med energi för laddning.

3.4 Arduino Uno

I tanken på mobilitet, liten effektförbrukning som inte kommer belasta batterier så är ett Arduino Uno kort med sin 16 MHz oscillator, driftström på 50 mA, matningsspänning på 5 V, inbyggd analog till digital omvandlare med 10 bitars upplösning, 14 läs- och skrivpinnar, en ATmega328 mikrokontroller med ett 32 KB Flash minne, 2 KB RAM och 1 KB EEPROM är en bättre lösning för styrning av reläer och övervakning av givare. Arduino Uno visas i figur 1 B. Därför ett Arduino Uno kort kommer att användas i vårt arbete.



Figur 1. Arduinofamiljen: A) Pro Mini, B) UNO, C) Mega 2560, D) Due.

Arduino IDE är den mjukvara som används för att programmera minnet, denna använder sig utav en förenklad version av C/C++. Program som skrivs i Arduino initieras vanligtvis i en setup funktion och körs i en loop.

Övriga fördelar med Arduinobaserade kort med sin öppna hårdvara är att det finns många färdiga kompatibla kretsar, givare och sensorer. Dessa givare, kretsar och sensorer sitter bland annat på kort som är skapade för att ansluta till Arduino. De kan kopplas direkt till en Arduino och användas utan några som helst problem precis som en plug-and-play-enhet. Vidare i arbetet ska man titta närmare på ett sådant kompatibelt kort från företaget Sparkfun.

3.5 Arduino Due

Till skillnad från andra Arduino-kort har Arduino Due en till USB ingång för programmering av den. Arduino Due är även utrustad med 66 portar, där 54 är digitala och 12 analoga [31]. Due arbetar på en högre frekvens än de andra Arduinoenheterna som inkluderats i projektet, nämligen på 84 MHz [31]. Den har även fördel över Arduino Mega vad gäller minne, då den har dubbelt så stor flashminne, 256 KB, och 12 gånger så stort SRAM (statiskt RAM-minne), 96 KB [31].

Due är en del av Arduinofamiljen och därför finns den representerad i figur 1 D.

3.6 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 är en Arduinoenhet som har lika många anslutningsmöjligheter som Due men som har samma processorserie och en frekvens på 16 Mhz [31] precis som Arduino Uno, detta gör att programmet som kördes på Uno fungerade utmärkt på Mega 2560. Visuella skillnader och likheter mellan Arduino Mega 2560 och andra enheter som ingår i Arduinofamiljen visas i figur 1 C.

3.7 Arduino Pro Mini

Arduino Pro Mini är en mycket liten Arduinoenhet med 14 I/O pinnar. Pro Minis storlek jämfört med andra Arduino kort kan ses i figur 1 A. Det krävs extra utrustning – en extra shield - för att kunna kommunicera med enheten via USB. Klockfrekvensen hos ATmega328 mikrokontroller som sitter på Arduino Pro Mini kan vara 8 MHz för 3,3 V modeller eller 16 MHz för 5 V modeller [20].

3.8 Trådlös Kommunikation

Det är lämpligt att använda en trådlös kommunikationsmetod mellan bilen och banan eftersom bilen kan köras i olika riktningar på banan. I verkligheten på långa avstånd skulle det aldrig räcka med att kommunicera via tråd.

Information kan överföras trådlös på flera sätt. Trådlösa teknologier som UMTS, EDGE, GPRS, WiMAX används för att överföra mycket information på mycket långa avstånd. Eftersom detta arbete bygger på en några meter lång bana och mängden information som måste skickas är maximalt 1 kbps behövs inga avancerade teknologier som ställer krav på överföringsmängd och överföringsavstånd. Det räcker med 1 kbps eftersom det finns bara en strömsensor i varje bil som periodvis skickar data till styrkretsen. Därför kommer detta examensarbete använda andra kommunikationsmetoder. Exempelvis IEEE 802 kommunikationsstandarden används i bland annat Wi-Fi, WiMAX, Bluetooth 2.0 och ZigBee. Förutom dessa kommunikationssätt finns även NFC och radiofrekventa ID (RFID). I tabell 1 jämförs dessa tre kommunikationsteknologier där IEEE 802 standarden representerar ZigBee.

Tabell 1. I tabellen jämförs tre trådlösa kommunikationsmetoder [11].

Trådlös kommunikation	Frekvens	Överföringshastighet	Räckvidd
802.15.4 ZigBee	2,4 GHz	250 kbps	upp till 120 m
NFC	13,56 MHz	106, 212, 424 kbps	0-4 cm
RFID	125-134 kHz (LF) 13,56 MHz (HF) 400-930 MHz (UF) 2,5 GHz och 5 GHz	1-200 kbps	20 cm för aktiva RF länkar 400 cm för passiva RF länkar

NFC kommunikation är lämplig för bilidentifiering eftersom avståndet mellan bilen och banan är just 0-4 cm. Passiva högfrekventa RFID länkar kan användas för dataöverföring mellan styrkretsen och bilen. Till skillnad från IEEE 802-enheter, så är NFC och RFID två teknologier som inte kräver höga effekter för dataöverföring. I absoluta tal handlar det om 0,0001 mW till 10 mW för RF länkar [9]. Det är viktigt att tänka på energiförbrukningen eftersom bilen är en autonom enhet som hämtar ut sin energi från ett litet batteri och höga överföringseffekter skulle leda till stora energiförluster även om bilen skulle laddas kontinuerligt under körning.

3.8.1 RF

Radiofrekventa länkar överför information på korta avstånd. Information överförs med hjälp av digital modulation: amplitude-shiftkeying (ASK), frequency-shiftkeying (FSK), phase-shiftkeying (PSK) [15].

En simplex kommunikationsmetod mellan två Arduino Uno kort via en RF sändare och en RF mottagare av typen WLS010520 och WLS107B4B har testats. RF sändare använder frekvensen 433 MHz för att skicka signaler. Denna frekvens är licensfri i Europa vilket innebär att den kan användas utan att söka tillstånd [27]. RF-länkar använder amplitude-shiftkeying.

Nackdelen med denna metod är att RF-sändaren alltid använder samma frekvens. Det finns dock RF sändare av samma typ som sänder signaler på 315 MHz. Om många sändare som använder samma frekvens skickar signaler samtidigt kan det bli svårt för mottagaren att identifiera rätt sändare. Räckvidden för RF länk kommunikation är begränsad till några meter. Det skulle kunna räcka för att skicka signaler mellan bilen och banan om kontrollenheten Arduino med inkopplad RF mottagare som befann sig på maximalt några meters avstånd från sändare. Å andra sidan om avståndet mellan sändare och mottagare blir för långt måste man använda andra typer av sändare och mottagare som kan kommunicera med varandra på ett längre avstånd.

Fördelen med att använda RF-kommunikation mellan sändare och mottagare är att RF länkar är mycket enkla och lätta att implementera. RF sändare och mottagare av denna typ är också billiga. Kretskort för RF-länken är inte bundna till någon specifik hård- eller mjukvara och kan därmed användas direkt på vilken mikrokontroller som helst. Den största fördelen är dock dess låga strömförbrukning på 3 mA som är viktigt att tänka på eftersom data skulle överföras från en autonom enhet [16].

Tabell 2. Pin konfiguration.

Vänster RF länk (sladd)				Höger RF länk			
RF		Arduino		RF		Arduino	
Porttyp	Pin	Porttyp	Pin	Porttyp	Pin	Porttyp	Pin
GND	0	Digital (PWM)	2	VCC	0		8
VCC	1	Digital (PWM)	3	GND	1		9
NC	2	Digital (PWM)	4	DATA	2		10
SIG	3	Digital (PWM)	5	ANT	3		11

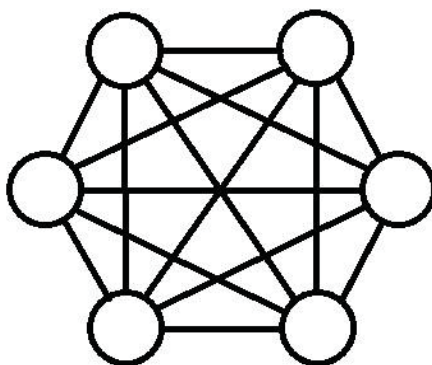
I tabell 2 visas vilka pinnar hos WLS01052O som används av sändare respektive mottagare för anslutning till en Arduinoenhet. Detta för att Arduino ska få rätt signal från mottagaren. I samma tabell visas till höger vilka pinnar hos WLS107B4B mottagaren som ska kopplas in till Arduinoenheten för att enheten ska få rätt signal.

3.8.2 Xbee

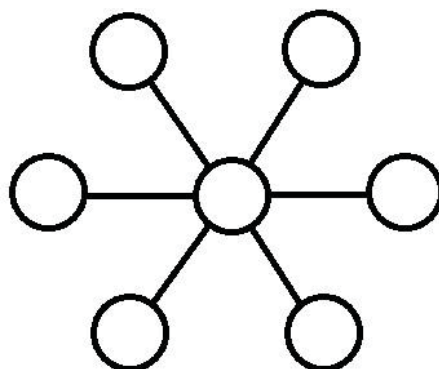
Ett annat sätt att skicka information trådlöst är att använda radiomodulen XBee. Den första XBee modulen presenterades för allmänheten för 10 år sedan. I dagens läge finns XBee radiomoduler tillgängliga i många olika varianter. De första modulerna från XBee Serie 1 skickar information enligt IEEE 802.15.4 standarden. IEEE 802.15.4 är en vanlig kommunikationsmetod för att skicka data trådlöst mellan två olika enheter.

Moderna XBee moduler från Serie 2 kan också skapa full-duplex så kallade Mesh nätverk. Radiomoduler som används för att skapa Mesh nätverk kallas ZigBee.

Mesh nätverk är ett nätverk som skapas av många trådlösa enheter. Dessa enheter är noder som oftast kan kommunicera direkt med närliggande noder eller en master nod. Den största fördelen med Mesh-nätverk är att det kan vara decentraliserat och om en nod inte är tillgänglig för kommunikation skickas information via en annan nod. Om exempelvis alla noder har direkta kommunikationslänkar till alla andra noder bildar de en så kallad komplett graf som visas i figur 2 nedan.



Figur 2. Ett Mesh nätverk där alla noder är direkt kopplade till varandra.



Figur 3. Stjärntopologi.

Det vanligaste kommunikationssättet mellan olika noder är dock stjärntopologin som presenteras i figur 3.

ZigBee specifikation för trådlös kommunikation är baserad på IEEE 802.15.4 kommunikationsstandarden.

I projektet testas två XBee ZB Serie 2 för datakommunikation mellan bilar och styrkretsen på banan.

Tabell 3. Databladet för XBee.

3.3V @ 40mA
250kbps Max data rate
2mW output (+3dBm)
400ft (120m) range
Built-in antenna
Fully FCC certified
6 10-bit ADC input pins
8 digital IO pins
128-bit encryption
Local or over-air configuration
AT or API command set

Från databladet i tabell 3 framgår att räckvidden för XBee ZB är 120 meter vilket är mer än nödvändigt för testbanan. Överföringshastigheten är 250 Kb/s vilket är också mycket mer än vad som krävs i projektet.

Det finns ytterligare fördelar med XBee ZB-enheter. Exempelvis att all information som skickas via moduler är krypterad. Den inbyggda antennen gör att kortet blir mindre vilket också är bra.

Överföringshastigheten via RF länkar är betydligt mindre. De klarar av att skicka 2000 bitar per sekund och all information som skickas är inte krypterad. RF sändarens antenn är oftast en spiraltråd som sitter på kortet.

För att bygga ett Mesh nätverk med XBee ZB radiomoduler måste en av modulerna konfigureras som master nod – Coordinator. Efter omprogrammeringen i XCTU-konfigurationsplattformen för XBee – kan master noden kontrollera nätverks

kommunikation och underhållet av detta. I ett datanät med stjärnformat måste den centrala enheten vara konfigurerad som Coordinator.

3.8.3 NFC

Närfältskommunikation – NFC – är ett trådlöst halv-duplex kommunikationsprotokoll för dataöverföring mellan olika enheter. Kommunikationen sker vid 13,56 MHz och avståndet mellan två enheter som skickar information till varandra måste vara 0-4 centimeter. Till skillnad från andra trådlösa kommunikationsmetoder överför NFC därmed data på mycket korta avstånd. En NFC-antenn genererar RF vågor som utbyter information med en annan NFC enhet. Bland dessa NFC-enheter finns till exempel NFC-taggar.

En NFC-tag är en passiv enhet som kan lagra data. En sådan tagg visas i figur 18 A. Om en läsenhet skickar förfrågningar svarar NFC-taggen och skickar lagrad information. NFC-taggar är helt passiva, de kan inte fungera som aktiva läsenheter och skicka förfrågningar till andra enheter [10].

Exempelvis så kan två NFC kompatibla mobiltelefoner skicka över upp till några hundra kbit data per sekund till varandra med hjälp av inbyggda antenner som används för överföring [11].

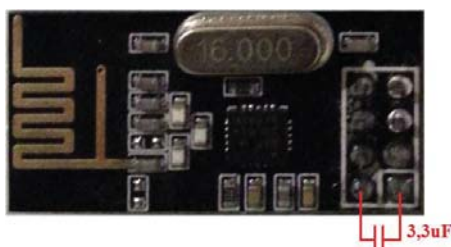
3.8.4 nRF24L01 2,4 GHz Radio/Wireless Transceiver

nRF24L01 i figur 4 är en enhet som kan skicka och ta emot GFSK modulerade signaler på 2,4 GHz.



Figur 4.nRF24L01.

Överföringshastigheten är upp till 2 Mbps. Det krävs ström på 22 μ A för att få den i drift. Enheter fungerar inte när matningsströmmen är mindre än 900 nA. Med en matningsspänning som varierar mellan 1,9 till 3,6 V kan enheten matas in direkt från Arduinos 3,3 V port. På kretsen sitter en MCU som kommunicerar med kringutrusning via SPI. Modulen kan klara av att kommunicera med andra enheter på upp till 100 meters avstånd. För detta krävs dock att en extern antenn måste vara inkopplad. Aktionsradien för modulen är ofta begränsad om den används inomhus. Anledningen till detta är att vissa föremål, till exempel väggar, utgör ett hinder för signalen [32].



Figur 5.nRF24L01 pins och kondensator.

I vissa fall kan en nRF24L01-radiomodul sluta fungera om den drivs från Arduinos 3,3V port. Problemet löses om en kondensator på 3,3 μ F kopplas in för att öka strömtillförseln enligt ritningen i figur 5.

3.9 SPI

SPI är ett seriellt full-duplex kommunikationsprotokoll som används när exempelvis mikrokontroller kommunicerar med kringutrusning. En enhet måste vara konfigurerad som masterenhet. En masternod kan kommunicera med en eller flera slavnoder. Det krävs fyra trådar för att upprätthålla SPI kommunikation. En tråd SS används för att välja rätt slavnod. Kommunikationen med rätt slavenhet sker när den är LÅG. Eftersom SPI är ett synkront kommunikationsprotokoll används en tråd för SCLK. Det är alltid en masternod som genererar klockpulser. Klockfrekvensen anpassas efter slavenhetens kommunikationsfrekvens och kan vara några MHz. Masternoden måste också välja rätt klockpolaritet och fas för att kunna kommunicera med slavnoder. Så fort slav- och masternoder är synkroniserade väljs rätt slavnod för dataöverföring. Eftersom SPI är av typen full-duplex kan data för varje klockcykel tas emot och skickas samtidigt. Oftast skickas data som antingen 8 eller 16 bitars block. Den minst

signifikanta (MSB) biten skickas först och när den tas emot så hamnar den i ett shift register. I shift-registret skiftas data så att alla bitar hamnar på rätt position. När detta är gjort så är kommunikationscykeln avslutad och med varje ny klockpuls kan samma process börja om igen [33].

I Arduino finns det ett inbyggt bibliotek för SPI kommunikation. Till skillnad från I2C-kommunikation krävs det minst 4 trådar för att kunna kommunicera via SPI. Med tanke på finns ett begränsat antal I/O pinnar på Arduino, så är I2C som enbart behöver två trådar för kommunikation att föredra.

3.10 Modulation

Modulation är en omvandlingsprocess som gör om en sinussignal till en varierande signal. Denna signal kan komma att variera i period, amplitud eller fas beroende på om en etta eller nolla tas emot. Signalen demoduleras sedan av en annan enhet när signalen nått sin slutdestination. Modulering görs för att kunna skicka signaler längre sträckor respektive trådlöst.

Kommunikation via mobiltelefoner och radio hade inte funnits om det inte fanns vågor. När någon pratar i sin mobiltelefon omvandlas talarens ljudvågor via en elektretmikrofon till elektriska signaler. Bär vågssignalen moduleras innan den skickas till mottagaren som kan demodulera den mottagna signalen och återskapa ursprunglig information.

Bär vågen kan beskrivas med en formel:

$$E_c \cos 2\pi f_c t \quad (1)$$

där E_c står för bär vågens amplitud. Bokstaven c står för engelskans *carrier* – bär våg. Signalen beskrivs som en cosinus-signal över tid, där f_c är bär vågens frekvens, π är en konstant som är ungefär lika med 3,14 och t är tiden.

Bär vågen skall sedan moduleras med en informationssignal som betecknas med $m(t)$.

Det finns två typer av modulation. Det ena är analog modulation och den andra typen är digital modulation.

3.10.1 Analog modulation.

Analog modulation är modulation som låter en kontinuerlig sinussignal variera i takt med informationssignalen. Den kontinuerliga analoga signalen är representerad med fas, frekvens eller amplitud.

Det finns tre typer av analog modulation:

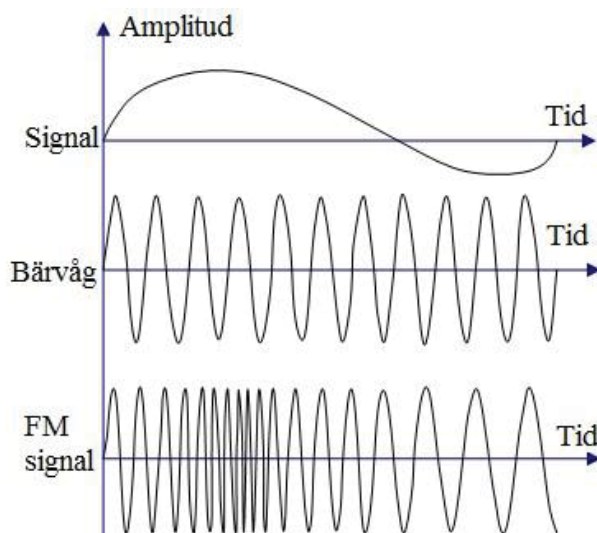
- ❖ Frekvensmodulation
- ❖ Fasmodulation
- ❖ Amplitudmodulation

Frekvensmodulation (FM)

Vid frekvensmodulering ändras bärvågens frekvens proportionellt mot informationssignalen:

$$E_c \cos 2\pi [f_c + k_f m(t)] t \quad (2)$$

I detta fall multipliceras meddelandesignalen $m(t)$ med en konstant k_f och adderas till frekvens f_c . Mottagaren som ska demodulera signalen måste kunna återskapa den ursprungliga signalen med en FM-demodulator.



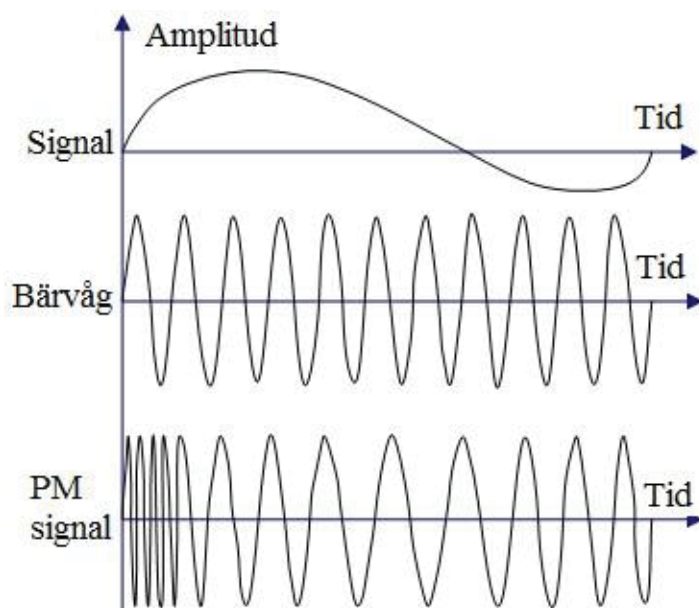
Figur 6. Frekvensmodulation.

Figur 6 visar en schematisk bild av hur FM-signalen påverkas av meddelandesignalen.

Fasmodulation (PM)

Vid fasmodulering ändras bärvågens fas proportionellt mot informationssignalen:

$$E_c \cos [2\pi f_c t + k_\phi m(t)] \quad (3)$$



Figur 7. Fasmodulation.

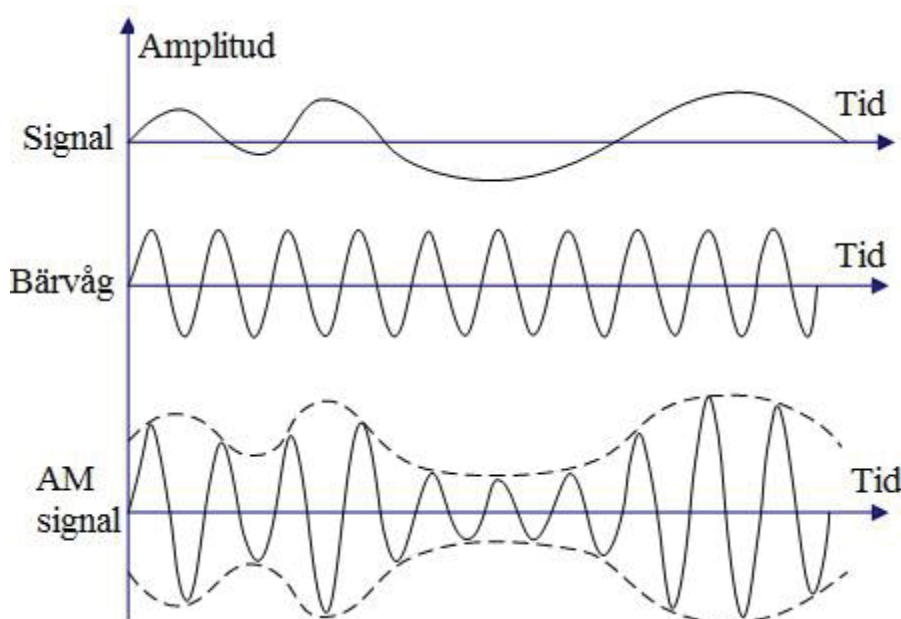
Figur 6 ovanför visar att en PM-signal har högst frekvens när tidsderivatan hos meddelandesignalen är som störst.

Amplitudmodulation

Vid amplitudmodulering ändras bärvågens amplitud proportionellt mot informationssignalen:

$$[E_c + k_a m(t)] \cos 2\pi f_c t \quad (4)$$

Amplitudkomponenten E_c blandas med informationssignalen $m(t)$. Informationssignalen har också en viss storlek som representeras med amplitudkonstanten k_a . Amplitudsignalens toppar har direkt samband med informationssignalens storlek som blandas med bärvågen.



Figur 8. Amplitudmodulation.

I figuren 8 ovanför representeras den amplitudmodulerade signalen med en informationssignal. Amplitudens storlek är proportionell mot signalkurvan [34].

3.10.2 Digital modulation

Digital modulation är modulation som låter en sinusformad signal variera i takt med informationssignalen. Precis som vid analog modulation kan en sinussignal bli representerad med amplitud, fas eller frekvens.

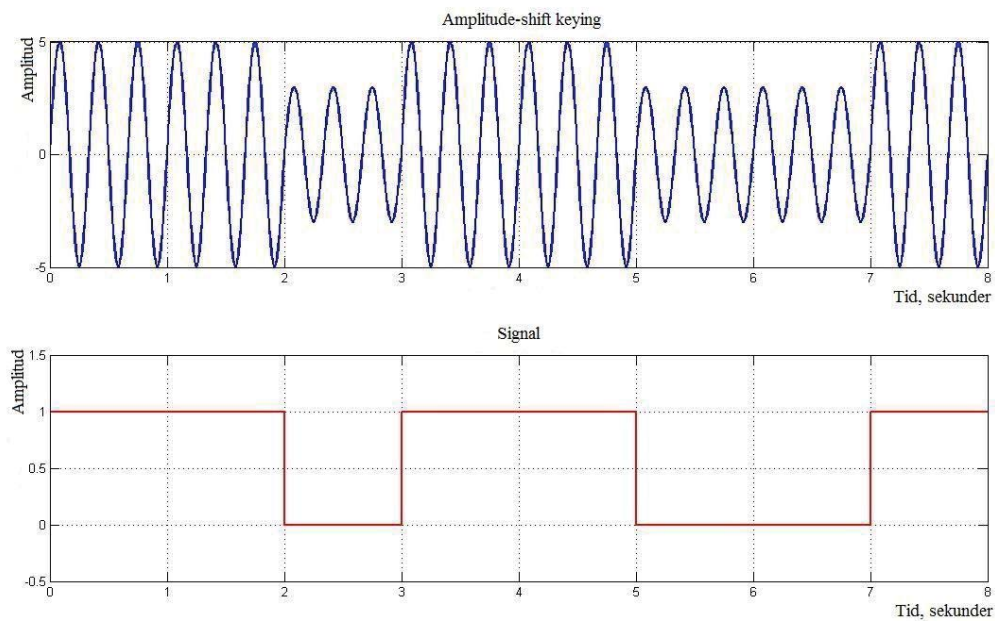
Det finns tre typer av analog modulation:

- ❖ Amplitude-shift keying
- ❖ Frequency-shift keying
- ❖ Phase-shift keying

Amplitude-shift keying (ASK)

ASK använder sinussignalen som bärvåg för att skicka digitala signaler. Digitala binära ettor kan representeras med en amplitud och digitala binära nollor kan representeras med en annan amplitud. Binära nollor eller ettor skickas över en viss tid. Tidsfaktorn är den tredje komponenten som mottagaren måste ta hänsyn till för att ta emot rätt antal binära nollor eller

ettor. Ibland kan en viss frekvens från sändare representera ett förbestämt antal binära nollor eller ettor.



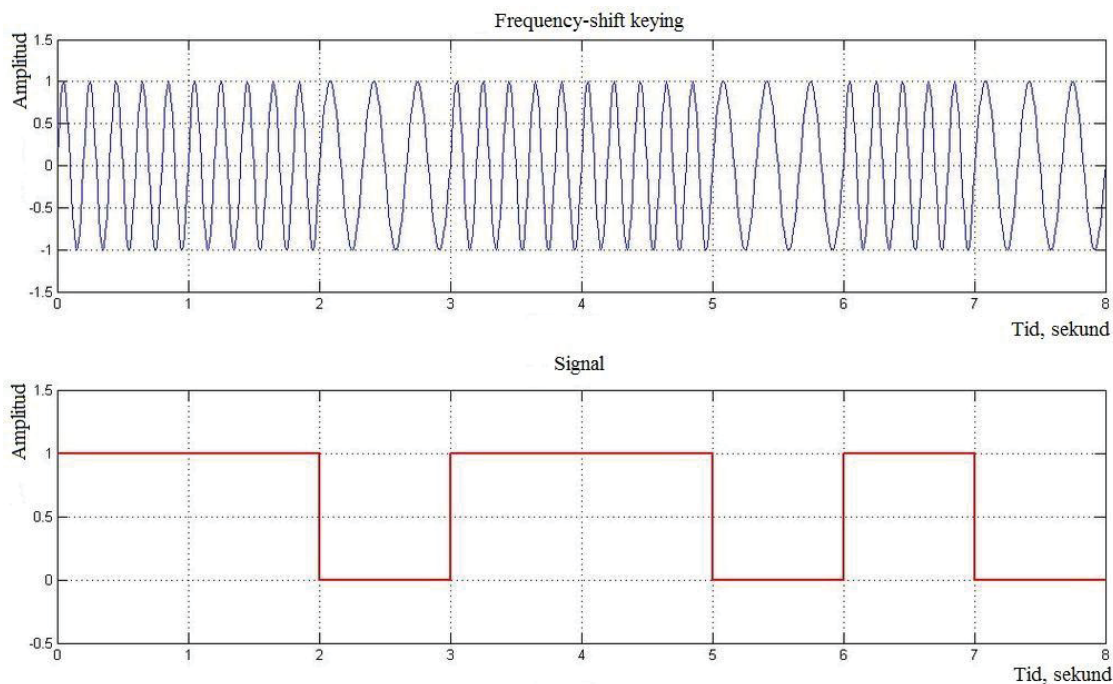
Figur 9. Amplitude-shift keying.

I figur 9 visas en fyrkantsignal som modulerar en sinusformad bärvåg. Den sinusformade bärvågen ändrar amplituden i takt med den fyrkantsignalen. I detta fall en stor amplitud representerar binära ettor och en liten amplitud representerar binära nollor.

Frequency-shift keying (FSK)

FSK är en modulationsmetod där frekvensen förändras i takt med den signalen som skall moduleras.

Binära ettor kan till exempel representeras med hög frekvens och binära nollor kan vara representerade låga frekvenser.

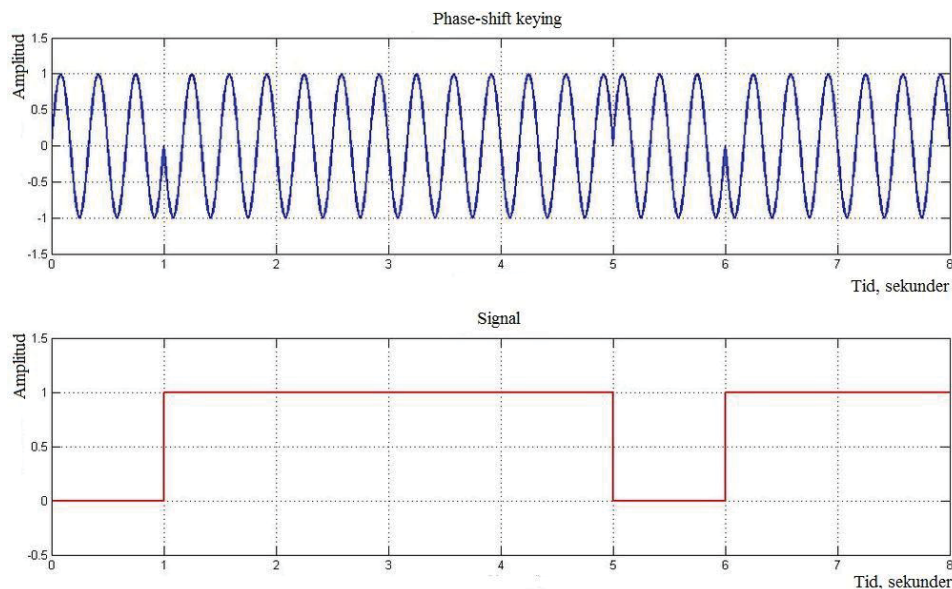


Figur 10. Frequency-shift keying.

I figuren 10 ovanför representeras binära ettor som ett högre antal svängningar i sinuskurvan. Binära nollor representeras däremot med ett minskat antal svängningar i sinuskurvan.

Phase-shift keying (PSK)

Fasshiftmodulering betyder att signalen ändrar sitt fasläge i takt med den signalen som ska moduleras. När signalens fasläge ändras så trycks sinuskurvan ihop eller dras isär. Den första fasändringen representerar ett antal binära ettor och den nästkommande fasändringen kan representera nollor.



Figur 11. Phase-shift keying.

I figur 11 representeras varje ändring i signalen av fasändringar i den sinusformade bärvågen. För att kunna demodulera den signalen som ligger i den sinusformade bärvågen måste mottagare jämföra den modulerade signalen med en referenssignalens fas [34].

3.11 GFSK

Gaussian frekvensmodulering är frekvensmodulering där signalen passerar ett så kallat Gaussianfilter som jämnar ut den digitala signalen som annars är mycket kantig och därför svårare att konvertera till analog [24]. Frekvensmodulering är en metod som används för att skicka digitala signaler över analoga medium, detta genom att sänka frekvensen på signalen när en 0-bit överförs och på samma sätt öka frekvensen när en 1-bit överförs [24].

3.12 QAM Quadrature Amplitude Modulation

En variant av amplitudmodulering är kvadraturamplitudmodulering, som är en mycket vanlig moduleringstyp. Med denna modulering kan två signaler skickas helt oberoende av varandra med samma bärvåg. Detta blir möjligt om den ena signalen är 90° fasförskjuten i förhållande till den andra signalen. Ekvationen för en sådan signal kan då beskrivas som en summa av en sinus och en cosinus signal med varsitt meddelande:

$$[E_c + k_a m(t)] \cos 2\pi f_c t + (-[E_c + k_a m(t)] \sin 2\pi f_c t)$$

där

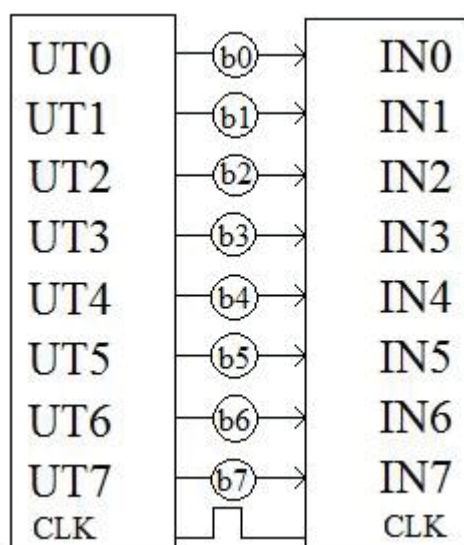
$$\cos(2\pi f_c t + 90^\circ) = -\sin 2\pi f_c t$$

3.13 PLL

PLL är en återkopplad krets som reglerar signalens frekvens och fas [13]. En PLL krets består av en fasdetektor, lågpasfilter, oscillator och frekvensdelare. Den inkommande signalens frekvens går genom en fasdetektor som är återkopplad med signalens frekvens som gått genom hela systemet. Med andra ord används utsignalens frekvens som referensfrekvens för den inkommande signalen. De två in- och utsignalerna blandas med varandra innan de passerar ett lågpasfilter som eliminerar alltför höga frekvenser. I nästa steg går signalen genom en spänningsstyrd oscillator. Förr eller senare kommer den inkomna signalen att anpassa sig efter referensen och låsa sig vid denna frekvens och fas.

3.14 Seriell kommunikation och parallell kommunikation

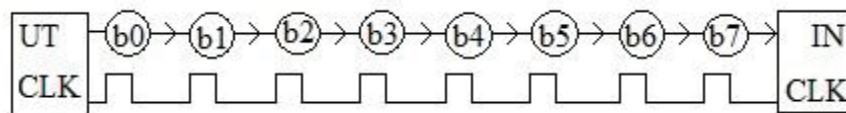
Information mellan en kommunikationsenhet till en annan skickas i de flesta fall antingen parallellt eller seriellt. I figur 12 visas att vid parallell kommunikation skickas många bitar samtidigt. Parallell kommunikation kräver att tjocka bussar med många trådar skall vara inkopplade mellan kommunicerande enheter. En tråd som kopplar samman sändarens och mottagarens klockor skall också finnas. Information i detta fall överförs mycket snabbt jämfört med seriell kommunikation.



Figur 12. Parallell kommunikation.

På alla Arduino kort som används för att bygga banan finns det ett begränsat antal I/O-pinnar. Både på Arduino Pro Mini och på Arduino Uno sitter inte mer än 14 pinnar som kan användas för parallell dataöverföring. Förutom parallell dataöverföring så skulle andra pinnar användas för trådlös kommunikation. RF-sändare och RF-mottagare tar fyra pinnar i anspråk och det krävs många pinnar för relästyrning. Med tanke på att det inte krävs hög dataöverföringshastighet mellan den primära styrkretsen och sekundära kretsar så är parallell dataöverföring inte nödvändig. Det finns nämligen ett annat kommunikationssätt som passar bättre.

Information kan också överföras seriellt på en enda tråd då alla bitar skickas efter varandra. För att göra detta möjligt måste mottagaren förstå vilka bitar som tas emot. Till skillnad från parallell dataöverföring skickas bara en bit per klockslag vid seriell dataöverföring. I figur 13 visas hur kommunikationsprincipen för seriell dataöverföring ser ut.



Figur 13. Seriell kommunikation.

Det krävs inte alls många trådar i bussen för seriell dataöverföring. Det räcker med två trådar i en buss för halv-duplex – en för synkroniseringsklockan och en för dataöverföring.

Det bästa sättet att skicka över data mellan två Arduinokort med tanken på ett begränsat antal I/O-pinnar är att koppla Arduino-korten för seriell dataöverföring. Då kommer inte många pinnar tas i anspråk och det blir möjligt att använda lediga I/O-pinnar för styrning av reläer och trådlös kommunikation [18].

Arduinos UART – universal asynchronous receiver/transmitter – är implementerad för seriell dataöverföring.

Det är också värt att nämna om att data kan överföras synkront och asynkront. Data överförs synkront mellan två noder om båda noder använder samma klocka. Om två eller flera noder använder olika klockor för dataöverföring överförs databitar asynkront. För att möjliggöra asynkron dataöverföring krävs det oftast extra kod för att ta emot data på ett säkert sätt. I ett av testerna har ett antal XBee ZigBee 2S-enheter testats. Dessa enheter kommunicerar med varandra asynkront. Vid I2C kommunikation sker dataöverföring däremot synkront. I2C används bland annat i Arduino-kort.

3.15 Kommunikation I²C

I²C är en multimaster buss för seriell full-duplex dataöverföring. För att överföra data måste två ledare användas. Den ena ledaren krävs för *serial data line* (SDA) och den andra för *serial clock line* (SCL). Alla enheter som kopplas in till en I²C buss använder unika identifikationsadresser. Det måste finnas en eller flera masternoder för att styra andra inkopplade så kallade slavnoder. Dataöverföringshastigheten är upp till 5 Mbit/s [17].

Antal noder som kan kopplas till bussen bestäms av bussens kapacitans. Av samma skäl begränsas bussens längd med några meter. Om antalet noder som kopplas in till bussen överstiger tillåtna gränser upphör kommunikation vid given frekvens. Om frekvensen inte är viktig då kan man i vissa fall koppla in fler noder än bussen tillåter.

Dataöverföringen startar när både SDA och SCL bussar är i läget HÖG. Först skickas en START-bit som initierar överföringen. START-biten måste komma från en master-nod. Det måste alltså finnas en master och en slav-enhet för att kunna möjliggöra kommunikationen. Efter startbiten skickas en 7 bitars adress med MSB först och en bit som ansvarar för läsning eller skrivning samt nästa bit nummer 9 är en NACK/ACK. Så fort den nionde biten tas av mottagaren startas överföring av meddelandet. Om ACK-biten inte har mottagits på rätt sätt på grund av störningar eller misslyckad synkronisering kommer inte mottagaren att kunna tolka mottagen information på rätt sätt.

I nästa steg när kommunikationen har upprätthållits skickas databitar. Varje gång master-noden genererar en puls skickas en bit. Antal bitar som kan skickas varierar. Om antal bitar som tas emot av en slavnod överstiger det maximala antalet bitar i en buffert ökas bufferts storlek automatiskt.

Dataöverföring avslutas med en STOP bit [19].

I²C protokollet kan vara konfigurerad på olika sätt. Det kan finnas en enkel master-nod, multi-masternoder och slavar. I vissa fall används 10 bitars slav adresser istället för 7.

4. Genomförande

4.1 Systemets uppbyggnad

Systemet är uppbyggt av en vägsträcka som består av spolar, en avläsare för RFID-taggar för identifiering och några Arduinoenheter med RF-sändare respektive mottagare. Bilen är radiostyrd och kom med motor, batteri och handkontroll. Till det ansluts även en Arduino mini Pro och en sekundärspole. En övergripande bild på hur systemet ser ut presenteras i figur 14, där

A är laddningsbar bil med sekundärkrets med dess spole.

B är banans primärkretsar med spolar.

C är identifieringsplatta.

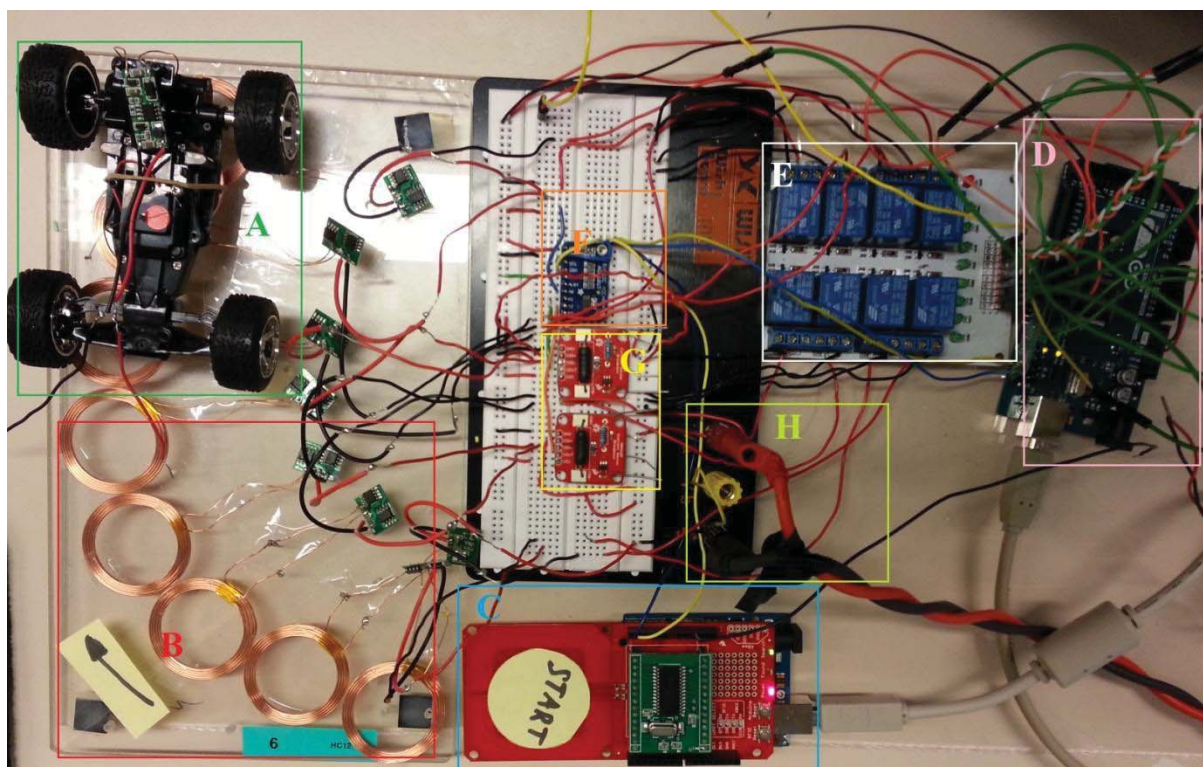
D är serverenhet.

E är reläer.

F är analog till digital omvandlare.

G är strömsensorer.

H är anslutning till nätaggregat.



Figur 14. Systemets uppbyggnad.

4.1.1 Identifiering

Identifieringssteget utförs genom att en bil passerar en RFID-läsare som läser av taggen. Taggen är placerad på lämpligt ställe, till exempel under bilen. Taggens data jämförs med en array av godkända ID-nummer som finns i en Arduino. Vid godkänd tagg kommer spolarna att tändas och vara aktiva en kort tid. Om det istället är så att taggen inte finns med i listan så kommer spolarna bli inaktiva och ingen energi kommer överföras via spolarna.

4.1.2 Påbörja energioverförning

När identifieringen är avklarad kommer spolarna att aktiveras. Bilen kör sedan över första spolen och energioverförningen påbörjas och mäts av en strömsensor. Denna strömsensor skickar information till en server, som i detta fall representeras av en Arduino, som kommer lagra den data som mottagits. Detta görs separat över de fysiska kluster som fordonet passerar och läggs sedan samman i servern.

4.1.3 Avsluta energioverföring

När fordonet lämnar laddningsbanan så kommer den att skicka information via RF om hur mycket energi den har mottagit. Denna information synkroniseras med servern så att mottagen energimängd är inom felmarginalerna. Värdet som bilen använder sig av är det som kommer från fuel gauge eftersom den läser av mängden ström som passerat.

4.1.4 Sammanställning av energioverföring

Efter avslutad kommunikation kommer servern jämföra de två energivärdena och vid behov, om de skiljer sig för mycket, så kommer den att synkronisera genom att ta ett snittvärde mellan det som den har fått fram från strömsensorn och det bilen skickade till servern. Detta är inget optimalt sätt att synkronisera, eftersom att både bilen och servern inte kommunicerar i båda riktningar, men det är nog för projektet som enbart gör en mindre demo på hur det skulle kunna se ut.

4.1.5 Arduino

Arduino Due testades först med ett av exempelprogrammen för att kunna dra slutsatsen att den fungerade. Programmet laddades in genom programmeringsporten, eftersom Due till skillnad från många andra Arduinoenheter har 2 portar [31]. Exempelkoden fungerade som det skulle vilket innebär att en liten diod började blinka. Efter att det lilla testet var utfört gjordes ett försök att ladda in huvudkoden som fungerade fint på Uno-enheten, men där uppkom ett problem. Det är nämligen så att VirtualWire-biblioteket [30] som man använder sig av inte är kompatibelt med Due. Kompilatorn gav felmeddelande för koden som var i VirtualWire för Due, något som inte hände när uppladdning till Uno utfördes.

Det var av denna anledning som Arduino Mega 2560 valdes. Det fanns enbart en Due tillgänglig och det behövdes en enhet för identifieringsplattan och en som serverenhet. Båda dessa var tvungna att kunna utnyttja VirtualWire för att implementeringen skulle fungera.

4.2 Bilens system

Mest troligt så kommer bilen användas som den är eftersom man inte vill gå in och ändra i dess motor, batteri och fjärrkontroll. Då uppstår istället ett problem, eftersom batteriet i bilen är mycket litet vad gäller kapacitet så skulle det kunna bli problem att driva en Arduino med den. I så fall ska man ansluta ett separat batteri som inte ska laddas under färd och som bara är ansluten till Arduino. Tanken bakom det är att man ska kunna demonstrera att det går att ladda den samtidigt som bilen kör. Om Arduino och motor hade tagit all energi som överfördes så skulle batteriet inte laddas och det skulle bli omöjligt att fortsätta färden bortom spolarna.

4.2.1 Sekundärkrets med spole

Sekundärspolen och dess krets är den viktigaste delen i denna överförning, då det är den som tar emot energin över det elektromagnetiska fältet som uppkommer kring spolarna på vägen. Utan sekundärkrets hade det varit av liten betydelse att ha mätutrustning för energiupptagning. Spolen placeras på undersidan av bilen eftersom ökade avstånd mellan primär och sekundär spole gör att mindre effekt kan tas emot och man vill hålla systemet så optimerat som möjligt [35].

4.2.2 Mätning av mottagen energi

På fordonet kommer sitta en så kallad "fuel gauge" som mäter strömmen. Strömmen tas emot ifrån laddningskretsen och som sedan går till batteriet. Batteriet i sin tur driver motorn efter att fordonet lämnat laddningsbanan. Batteriet har ett eget laddningsskydd som gör så att det inte kan överladdas eller laddas ur helt. Samma funktion har även laddningskretsen som tar emot energi från sekundärspolen och distribuerar den till "fuel gauge" och Arduino. Laddningskrets med dess laddningsskydd kan stänga av Arduino efter att batteriet blivit fulladdat. Detta problem kan åtgärdas genom att programmet blockerar dess möjlighet att stänga av sig.

4.2.3 Display

En display sitter på fordonet som visar nuvarande mängd energi i batteriet i ett procentuellt värde. När spänningen sjunker i batteriet så läses det av och uppdateras på skärmen och detsamma gäller vid laddning då spänningen ökar. Om fordonet rör sig blir det dock svårt att avläsa värdena på skärmen då den är mycket liten men då kan man istället ta emot värdet via RF och visa det på en datorskärm.

4.2.4 Sändaren

Sändaren används i första hand för att skicka information från fordonet till laddningskretsen om hur mycket energi som tagits emot. Den används även för att skicka värden för displayen till systemet som i sin tur kan skrivas ut på den seriella monitorn på datorskärmen.

4.2.5 RFID-taggen

På fordonet sitter en RFID-tag som sitter helt separat från all elektronik på bilen, detta eftersom den inte behöver någon effekt. Det är bra då mängden energi är begränsad i bilens system.

4.3 Tester av utrustning

4.3.1 nRF24L01 2,4 GHz Radio/Wireless Transceiver

nRF24L01 anslutningsmöjligheter, radiomodulens räckvidd och prestanda har testats. En radiomodul anslöts till bilen och en annan till banans styrenhet.

Tabell 5. Pin konfiguration för nRF24L01.

Pinnummer	1	2	3	4	5	6	7	8
Signal	GND	Vcc	CE	CSN	SCK	MOSI	MISO	IRQ

I tabell 5 visas signaler, vilka används för dataöverföring.

Förutom två inmatningspinnar måste 6 andra pinnar anslutas till en Arduino enhet. Det är inte nödvändigt att ansluta pinne 8 till Arduino eftersom IRQ aldrig används i programkoden. En programkod är också ett krav för att Arduino ska kunna kommunicera med radiomodulen.

Pinnar 4 till 7 är reserverade för kommunikation via SPI. Pinne 3 (CE) bestämmer om enheten är mottagare eller sändare. Högt läge för sändare och lågt för mottagare.

Med den programkod som användes i vårt test kunde radiomoduler skicka och ta emot signaler på upp till korta avstånd. I stadsmiljön i universitetsområdet kunde data från sändarsidan tas emot utan förluster på mottagarsidan på upp till 100 meters avstånd. Detta är tillräckligt mycket för att testsystemet ska kunna fungera som det ska. Testet visar att minst 8 pinnar måste reserveras på styrkretsen och bilens sändare om man vill använda dessa radiomoduler. Dessa egenskaper hos nRF24L01 radiomoduler måste styrkretsen och bilens sändare ha fler pinnar avsedda för kommunikation. Testet har också visat att nRF24L01 radiomoduler är energikrävande. För att visa detta har man skrivit en programkod som konstant skickar datapaketer från bilens nRF24L01 sändare till mottagare. Bilens sändare får ström från ett batteri. På några timmar hinner batteriet laddas ur om sändaren är i aktivt läge.

4.3.2 Mobiltelefon och NFC tagg

I det här fallet undersöktes om man kan läsa från och skriva identifieringsnummer till NFC-taggar. I dagens läge är de flesta moderna smarta telefoner utrustade med inbyggda NFC-läsare och skrivare. En sådan smarttelefon som är utrustad med NFC-läsare kan användas för kundidentifiering.

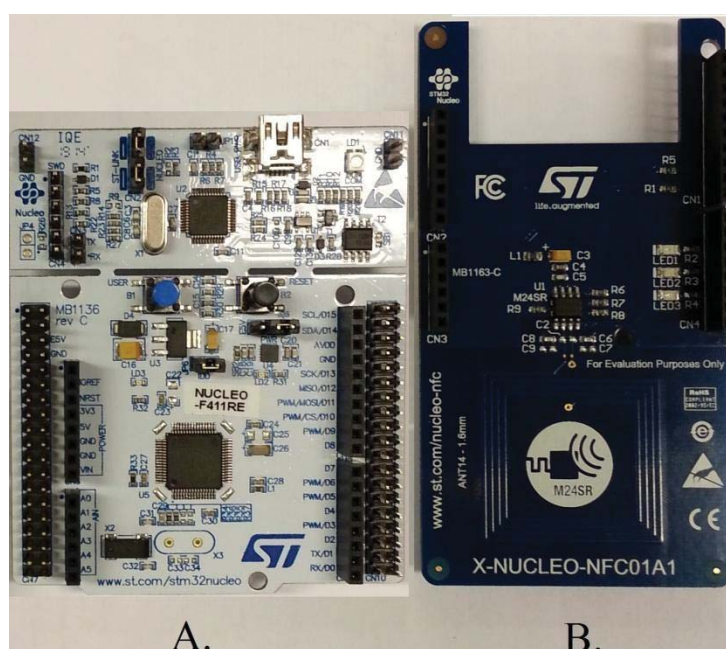
I labbmiljön har en NFC kompatibel mobiltelefon, Samsung Galaxy S3, testats. Först laddades en applikation ner, som heter *ST M24SR Demo*, från Google Play. Denna applikation är från tillverkaren av NFC-taggen som vi skulle kommunicera med. Det visade sig att applikationen var väldigt instabil och kraschade varje gång efter några minuter. En efterstudie har visat att NFC-taggar från det fransk-italienska företaget STMicroelectronics och applikationen har skapats ganska nyligen (november – december 2014). Enligt Google Play publicerades och uppdaterades applikationen senast den 30 januari 2015. Sedan dess har applikationen laddats ner bara ett fåtal gånger. Förmodligen har mjukvaran testats tillräckligt bra innan den lades upp på Google Play eller så var Samsung Galaxy S3 inte kompatibel med denna mjukvara från STMicroelectronics.

Testet visade att man inte kan identifiera kunder med smarta telefoner. NFC-tekniken utvecklas hela tiden, detta innebär att någon gång i framtiden kommer man med hjälp av denna teknik kunna identifiera kunder.

4.3.3 STM32 X-NUCLEO-NFC01A1 reader/writer

Ett annat sätt att skriva till och läsa information från NFC-taggar är att använda tillverkarens egen mjuk- och hårdvara. På detta sätt kan man identifiera kunder med deras teknik. I detta avsnitt testas en sådan teknik som kan användas för identifiering.

I det genomförda projektet har en x-nucleo-nfc01a1 kort testats. STM32 Nucleo visas i figur 15 A med tillhörande shield B för NFC kommunikation.



Figur 15. STM32-familjen: A) Nucleo, B) Nucleo-nfc01a1.

X-nucleo-nfc01a1 är en dynamisk NFC tagg från STMicroelectronics av typ 4. Typ 4 NFC taggar använder sig av upp till 64-Kbit NDEF minne och har i detta fall induktiva antenner

som skickar RF signaler på 13,56 MHz. Kortet är också utrustat med Arduino UNO R3 anslutningspinnar och tre LED dioder [12].

Trots att x-nucleo-nfc01a1 är utrustad med Arduino UNO R3 connector så är NFC-kortet endast kompatibel med stm32 nucleo kort och inte direkt kompatibel med Arduino UNO [6].

I tabell 4 (se appendix) jämförs stm32f401re med stm32f411re.

STM32 öppen utvecklingsmiljö är kompatibel med ett antal andra utvecklingsmiljöer. Dessa miljöer är IAR EWARM, Keil MDK-ARM, ARM mbed online och GCC [3]. I figur 16 visas att stm32f411re stöds av ARM mbed online [4].



Figur 16. ARM mbed online identifierar stm32f411re.

Denna kompilator används för programmering av stm32f411. I detta fall kan det bli problematiskt att använda biblioteket STM32F4xx_HAL_Driver som måste användas för kommunikation mellan x-nucleo-nfc01a1 och stm32f411re [5]. Biblioteket kan enbart användas för kommunikation med stm32f401re. Stm32f401re är ett annat kort. På labben finns det tillgång till stm32f411re men inte till stm32f401re. ARM mbed online kompilatorn kan inte kompilera STM32F4xx_HAL_Driver och M24SR biblioteket.

Search: stm32f4	
Board	Summary
MCBSTM32F400 (Ver 1.2)	STM32F407IG, 1 x 8 MByte NOR Flas
NUCLEO-F401RE (Rev.C)	STM32F401RE
Devices	1 Device
STM32F401RE	1 Device
Compatible Devices	20 Devices
STM32F401	20 Devices
STM32F4-Discovery (Rev.C.1)	STM32F407VG
STM32F401C-Discovery (Rev.B.1)	STM32F401VC
STM32F429I-Discovery (Rev.B)	STM32F429ZI, 1 x 64 MBit SDRAM

Figur 17. Keil MDK-ARM hårdvarulista.

I manualen för x-nucleo-nfc01a1 står det att Keil MDK-ARM utvecklings miljö skulle prioriteras för programmering. Keil MDK-ARM kan användas, men kompilatorn stödjer inte stm32f411re kort.

I figur 17 visas ett antal kretskort som stöds av Keil MDK-ARM. Stm32f411re är inte inkluderat i listan.

I detta fall blir det problematiskt att programmera i Keil MDK-ARM för stm32f411re.

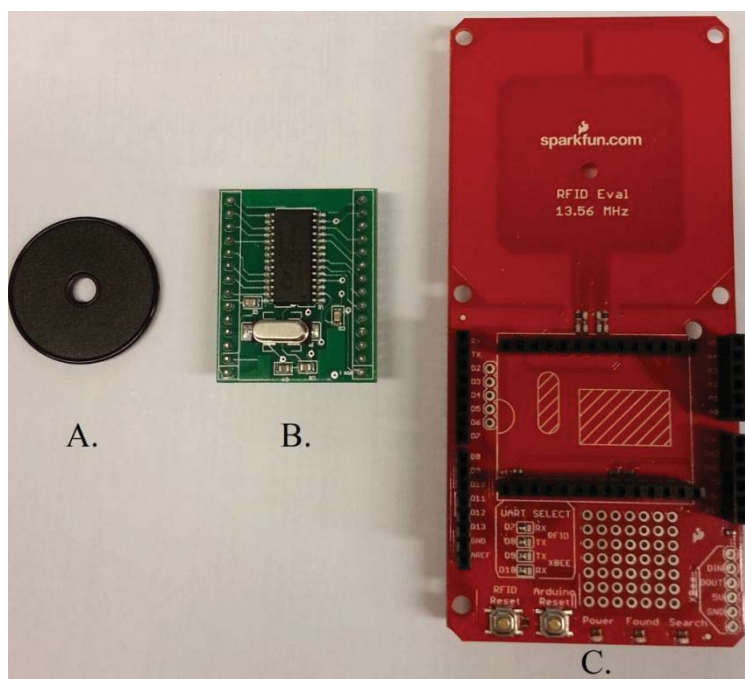
Det är möjligt att kommunicera direkt med MCU kretsen [7] som sitter på x-nucleo-nfc01a1. Den kompletta manualen för MCUs funktionalitet omfattar 87 sidor med utförligt beskrivning av hur MCU m24sr64-y fungerar. En möjlig lösning att skriva eget bibliotek för kommunikation mellan MCU och Arduino UNO men det kommer ta mycket långt tid att göra det.

Ovanstående tester visar att även denna teknik har sina brister.

4.3.4 RFID Module – SM130 Mifare (13,56 MHz) och RFID Shield

Ett annat kort från företaget är SparkFun SM130 som visas i figur 18 B och Evaluation Shield i figur 18 C med PCB antennen, som också har XBee kontakter, har testats. Även i detta fall görs tester för bil- och kundidentifiering.

Kommunikationsprincipen för detta kort är närfältkommunikation. Till skillnad från x-nucleo-nfc01a1 är det nya kortet SM130 helt Arduinokompatibel och kan kopplas direkt in till en Arduinoenhet och användas utan problem.



Figur 18. Mifare NFC: A) NFC-tag, B) SM130 modul, C) RFID Evaluation Shield.

Ett fungerande testsystem består av tre komponenter. RFID Evaluation Shield fungerar som antenn. Antennen kopplas till ett kretskort SM130. Shielden med SM130 ovanpå sitter på Arduino Uno. NFC testsystem har skapats för detektering av NFC-taggar.

En NFC-tagga från figur 18 A är en tagga som är skriven på chip. I detta fall skrivs taggar på RFID-kompatibla chip. NFC taggar som användes i testet kan lagra upp till 1 K data [22]. Data kan läsas av de flesta läsare på 13,56 MHz. Taggar kan vara mycket små, billiga och enkla. I dagens läge används de överallt där är det lämpligt att använda kontaktlösa betalningsmetoder och identifiering.

Styrkretsen SM130 är uppbyggt enligt ISO14443A standarden vilket innebär att modulen är kompatibel med andra ISO14443A enheter. För dataöverföring via tråd används UART och I2C kommunikationsprotokoll. Med UART kan överföringshastigheten bli upp till 115200 bps och med I2C upp till 400 KHz. Maximal hastighet för trådlös överföring begränsas med en frekvens på 106 KHz [21]. SM130 kan både skriva till och läsa från NFC-taggar. På en NFC-tagga sparas information i minnesblock. Med hjälp av olika kommandon från mikrokontroller kan alla minnesblock skrivas över med ny data. Det är också möjligt för SM130 att variera effekten hos antennen. Ökad effekt innebär att antennen kan detektera taggar på längre avstånd.

Alla NFC-läsare är utrustade med en detekteringsantenn. I figur 18 C visas att antennen hos Milfare NFC-läsare sitter på den översta delen. I tillverkarens manual står det att antennen kan detektera taggar på upp till 5 centimeters avstånd. Bilen frigångshöjd är 3 centimeter. För att testa hur antennen detekterar NFC-taggar och på vilket avstånd har en NFC-tagga placerats under bilen och därifrån kunde detekteras. NFC-taggen detekterades på ca. 3 till 5 centimeters avstånd från NFC-läsaren. Testet resulterade i att NFC-taggen som satt under bilen kunde detekteras i banan eftersom frigångshöjden för radiobilen ligger inom givna ramar.

RFID Evaluation Shield består av 28 pinnar för kontakt med SM130, 6x2 och 8x2 pinnar som kan kopplas till en Arduinoenhet. På shielden sitter också två knappar. Den ena knappen används för reset av Arduino och den andra för RFID reset. Förutom det så finns det tre LED dioder som används för att visa relevant information. Exempelvis en röd LED diod används för att visa om shielden får nödvändig driftspänning. En grön LED diod används för att visa om shielden är redo för detektering av NFC-taggar. Om en NFC-tagga är detekterad då slocknar den gröna LED dioden och tänds istället den orange LED dioden som blinkar med jämna mellanrum så länge NFC-taggen är nära antennen.

Sammanfattningsvis kan man säga att denna teknik kan mycket väl användas för att identifiera bilar och kunder.

4.3.5 Analog-till-digital-omvandlare ADS1015

Styrkretsens inbyggda A/D omvandlare klarar inte av höga strömmar. Det har dessutom visats att det ibland kommer data som inte stämmer med de analoga signaler som omvandlats. Detta kan eventuellt bero på att det finns störningar i styrkretsen. Dessutom finns det bara ett begränsat antal ingångar på styrkretsen som kan användas för A/D omvandling därför har en extern A/D har testats.

ADS1015 i figur 19 är en A/D-omvandlare som både arbetar och drivs av en spänning inom intervallet av 2-5V, den har möjligheten att ta emot fyra analoga signaler och innehåller även en adresssignal som avgör vilken av dessa som avkodas då den inte kan arbeta parallellt [25]. Den största fördelen med denna mindre variant av omvandlare är den låga energiförbrukningen, på den finns även en programmerbar förstärkare som kan förstärka upp till 16 gånger [25].



Figur 19. Analog till digital omvandlare ADS1015 från företaget Adafruit.

Testerna visar att denna A/D omvandlare är mycket noggrann med $\frac{1}{2}$ bitars noggrannhet. Det krävs mycket låga strömmar på $150\mu\text{A}$ för att få den i drift.

4.3.6 Strömsensor INA169

I det här fallet testas en strömsensor som är Arduinokompatibel. Strömsensorns egenskaper har också testas. Det var viktigt att veta hur bra strömsensorn är på att mäta ström.

INA169 som visas i figur 20 är en strömsensor vars anslutningsmöjlighet är optimerad för Arduino, därför kan den anslutas till alla Arduinokompatibla enheter, den fungerar genom att mäta spänningen innan och efter en ”shunt-resistor”, vilket är en resistor som används för strömmätningar av just detta slag då felmarginalen är mindre än för en standardresistor, och med hjälp av det så beräknar den strömmen i kretsen [26].



Figur 20. Strömsensor INA169.

Testet visar att med denna strömsensor kan man mäta strömmar som är på 3 till 5A om rätt shunt resistor används. Genom att testa kom man fram till att en shunt resistor på 0,1Ohm måste användas för att mäta ström på 5A. Detta är tillräckligt för att mäta strömmar i testsystemet.

5. Resultat

Målet med arbetet är att skapa ett system som mäter energiöverföring och identifierar fordon.

5.1 Identifiering

För att klara av det uppsatta målet för identifiering har ett radiogränssnitt utvecklats. I vårt testsystem identifieras bilarna via det trådlösa kommunikationsprotokollet NFC. Varje bil vi testat fick var sitt identifikationsnummer skrivet på en NFC-tag. NFC-taggen placerades på bilens undersida och kunde läsas av från banans NFC-läsare. Denna känner av om taggen på det förbipasserade fordonet har rätt förutsättningar för att tillåtas använda banan. Efter en lyckad identifiering aktiveras spolarna, vilket var ett säkerhetsåtagande som skulle uppfyllas.

Bilarna har också utrustats med energisnåla radiomoduler. Dessa moduler användes för dataöverföring från bilarnas periferienheter med banans styrkrets. Bland annat användes radiomodulerna för överföring av data från bilbatteriets strömsensorer.

5.2 Mätning av energiöverföring

Ett system för mätning av energiöverföring har skapats. Systemets strömsensor mäter hur mycket ström passerar den. Denna strömsensor skickar endast analoga signaler, därför har en A/D omvandlare lagts till i systemet. Efter omvandlingen fördes omvandlade signalen över till styrkretsen.

6. Slutsats

6.1 Resumé

Syftet med arbetet har varit att utveckla ett fungerande mikroprocessorbaserat mättningsprogram för elförbrukning av ett trådlöst energiöverföringssystem.

Mättningsprogram och energiöverföringssystem kan utvecklas på många olika sätt. Alla utvecklingsätt har sina för- och nackdelar, därför var det viktigt att välja bäst lämpade systemkomponenter. Exempelvis energisnåla RF-moduler som förlänger bilbatteriets livslängd eller mikrokontrollerbaserade Arduino-enheter med stöd för in- och utgångar som kan programmeras om lätt.

Undersökningensresultaten av 3 olika NFC tekniker visar att det bästa resultatet fås om Mifare NFC-läsare och NFC-taggar används. Det krävs dock rätt avstånd och rätt läge i förhållande till varandra för att denna teknik ska kunna fungera. Bäst resultat fås om en NFC-tag placeras på bilens undersida och en NFC-läsare monteras rakt under bilens körfält.

Det är viktigt att välja rätt strömsensor. Strömsensorer med shuntresistorer är lättare att arbeta med eftersom man kan välja dess arbetsområde och på ett enkelt sätt mäta ström och spänning över shuntresistorn. Det rekommenderas att undersöka vidare om halleffekt-sensorer som känner av förändringar i magnetfältet kan ersätta strömsensorer med shuntresistorer.

Skriven programkod för Arduino-enheten har avsevärt förbättrat fordonsidentifiering. Å andra sidan med ett begränsat antal tillgängliga bilar för identifiering behövs ytterligare undersökningar med många fler bilar.

Denna studie ger ett svar på hur ett verkligt system för induktivladdningsbara bilar kan se ut i ett litet testsystem och vad som är viktigt att tänka på för att konstruera ett sådant system.

6.2 Diskussion

Nu lagras enbart kundsystemen i det interna minnet i Arduino. Man skulle kunna skicka data till ett separat minne, möjligen en Arduino shield för SD-kort eller till en riktig serverdator. Det hade även varit bra om man kunde kommunicera direkt till en dator över trådlösa medium. I nuläget klarar man inte av detta eftersom systemet enbart använder radiofrekvenslänkar, vilket våra datorer inte är kompatibla med. Ett alternativ hade varit att undersöka närmare på hur mycket mer ström en wifi-, bluetooth- eller Zigbee-enhet förbrukar. En internetansluten applikation i en smartphone skulle också vara en bra lösning som mottagare för informationen då den skulle kunna synkronisera med molnet. Denna applikation skulle då även kunna innehålla andra funktioner som skulle kunna utnyttjas som att ladda och visa saldo, historik över laddning och elpriser. Applikationen skulle även kunna användas till identifiering av fordonet men då skulle annan utrustning vara nödvändig.

6.3 Fortsatt arbete

Vad gäller fortsatt arbete inom detta område så skulle man kunna försöka få igång en större demobana och komma på lösningar för separat energiinmatning till fordonets motor och batteri. I nuläget görs detta via batteriet, vilket sliter onödigt mycket på batteriet och försämrar dess livslängd. Den separata energiinmatningen behöver vara stabil, inte minst för motorn.

Ett annat problem att lösa är omkoppling från batteriladdning till batteridrift som ska utföras utan att stänga av motorn.

Ytterligare alternativ skulle kunna handla om identifiering och säkerhet, där man skulle kunna analysera olika lösningar för inloggning till systemet, kanske i form av en applikation på en telefon där identifiering ska skrivas direkt från telefonen till någon form av ID-chip på bilen som måste skrivas om vid varje identifieringstillfälle. Anledningen till att den måste skrivas om vid varje tillfälle är för att det kan variera vem som kör bilen, det är nödvändigtvis inte den som äger bilen. Denna information är mycket viktigt för att man ska kunna tilldela räkning till rätt kund.

7. Referenser

- [1] © STMicroelectronics. 2015. *STM32F401RE. STM32 Dynamic Efficiency MCU, ARM Cortex-M4 core with DSP and FPU, up to 512 Kbytes Flash, 84 MHz CPU, Art Accelerator* <http://www.st.com/web/en/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1577/LN1810/PF258797> (Hämtad 2015-05-04)
- [2] © STMicroelectronics. 2015. *STM32F411RE. STM32 Dynamic Efficiency MCU, High-performance and DSP with FPU, ARM Cortex-M4 with 512 Kbytes Flash, 100 MHz CPU, Art Accelerator* <http://www.st.com/web/catalog/mmc/FM141/SC1169/SS1577/LN1877/PF260049> (Hämtad 2015-05-04)
- [3] © STMicroelectronics. November 2014. *STM32 Open Development Environment*, s. 3 http://www.st.com/web/en/resource/sales_and_marketing/promotional_material/brochure/BRSTM32ODE.pdf (Hämtad 2015-05-04)
- [4] ARM®mbed™. 2015. *Compiler*. <https://developer.mbed.org/compiler/> (Hämtad 2015-05-04)
- [5] © STMicroelectronics. 2014. *AN4624 Application note*. s. 14, 10. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/DM00148254.pdf (Hämtad 2015-05-04)
- [6] © STMicroelectronics. 2014. *X-NUCLEO-NFC01A1*. http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/data_brief/DM00121620.pdf (Hämtad 2015-05-04)
- [7] © STMicroelectronics. 2014-09-17. *X-NUCLEO-NFC01A1*. s. 7 http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/layouts_and_diagrams/schematic_pack/X-NUCLEO-NFC01A1_schematics.pdf (Hämtad 2015-05-04)
- [8] © STMicroelectronics. 2015. *M24SR64-Y*. <http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/datasheet/DM00067892.pdf> (Hämtad 2015-05-04)
- [9] Copyright Murata Manufacturing Co., Ltd. 2004-05-19. *ASH Transceiver Designer's Guide*. http://wireless.murata.com/media/products/apnotes/tr_des24.pdf (Hämtad 2015-05-08)
- [10] © NearFieldCommunication.org. 2011. *About Near Field Communication*. <http://www.nearfieldcommunication.org/about-nfc.html> (Hämtad 2015-05-07)
- [11] Ok, K, Coskun, V, & Ozdenizci, B 2011, Near Field Communication : From Theory to Practice (2nd Edition), p. 50, p. 102, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA. Available from: ProQuest ebrary. [7 May 2015].
- [12] © STMicroelectronics. 2015. *Dynamic NFC tag expansion board based on M24SR for STM32 Nucleo*. <http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/SC1444/PF260759> (Hämtad 2015-05-07)
- [13] Andreas Eriksson, Simon Rohlén, 2014, Induktiv laddning av batteridrivna fordon, Chalmers

- [14] Ali Gündogdu, Johan Wickberg, 2012, Betalningsystem för induktivt laddningsbara bilar, Chalmers
- [15] Rebaz Ahmed, Ali Asgarivand, 2012, Mätning av elektrisk effekt, Chalmers
- [16] Seed Technology Limited. 2015-04-16. Grove – 433 MHz Simple RF Link Kit.
[http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove - 433MHz Simple RF link kit](http://www.seeedstudio.com/wiki/Grove_-_433MHz_Simple_RF_link_kit) (Hämtad 2015-05-11)
- [17] NXP Semiconductors N.V. 2014-04-04. UM10204. I²C-bus specification and user manual.
http://www.nxp.com/documents/user_manual/UM10204.pdf (Hämtad 2015-05-11)
- [18] SparkFun Electronics. 2012-12-18. Serial Communication.
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-communication> (Hämtad 2015-05-18)
- [19] SparkFun Electronics. 2013-07-08. I2C.
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c> (Hämtad 2015-05-18)
- [20] Arduino. 2015. Arduino Pro Mini
<http://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardProMini> (Hämtad 2015-05-18)
- [21] SONMicro Electronics. 2008. SM130.
http://www.sonmicro.com/en/downloads/Mifare/ds_SM130.pdf (Hämtad 2015-05-18)
- [22] SparkFun Electronics. 2008. RFID Tag – ABS Token Mifare 1K.
<https://www.sparkfun.com/products/10127> (Hämtad 2015-05-18)
- [23] Thomas R. Mahaffey. 2002. Electromechanical Relays Versus Solid-State: Each Has Its Place
<http://electronicdesign.com/components/electromechanical-relays-versus-solid-state-each-has-its-place> (Hämtad 2015-05-19)
- [24] Sabih H. Gerez. 2013. Implementation of Digital Signal Processing: Some Background on GFSK Modulation
<http://wwwhome.ewi.utwente.nl/~gerezsh/sendfile/sendfile.php/gfsk-intro.pdf?sendfile=gfsk-intro.pdf> (Hämtad 2015-05-21)
- [25] Adafruit. 2015. Overview.
<https://learn.adafruit.com/adafruit-4-channel-adc-breakouts/overview>
- [26] Shawn Hymel. 2013. INA169 Breakout Board Hookup Guide.
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/ina169-breakout-board-hookup-guide>
- [27] Austin Harney, Conor O'Mahony. 2006. Wireless Short-Range Devices: Designing a Global License-Free System for Frequencies <1 GHz
http://www.analog.com/library/analogdialogue/archives/40-03/wireless_srd.pdf
- [30] PJRC. 2013. VirtualWire Library.
https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_VirtualWire.html (Hämtad 2015-05-07)

[31] Arduino. 2015. Products.

<http://www.arduino.cc/en/Main/Products> (Hämtad 2015-05-08)

[32] Nordic semiconductor. 2007. nRF24L01 Single Chip 2.4 GHz Transceiver Product Specification.

http://www.nordicsemi.com/jpn/content/download/2730/34105/file/nRF24L01_Product_Specification_v2_0.pdf (Hämtad 2015-05-08)

[33] SparkFun. 2013-01-14. Serial Peripheral Interface (SPI).

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi> (Hämtad 2015-05-19)

[34] Per Wallander, 2001, 17 lektioner i telekommunikation, Fälth & Hässler, Smedjebacken.

[35] M. Alerman & F. Jakobsson. Juni 2015. Konstruktion av demobana med dynamisk induktionsladdningsteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Sverige.

7.1 Bildkällor

Fritzing. Figur 1 (CC-BY-SA)

Författarnas egna bilder. Figur 2, 3, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20.

Wikipedia. Figur 4, 5, 6 (Acc maj 2015)

The MathWorks, Inc. Figur 7, 8, 9.

Appendix

Bilaga 1.

Tabell 4. En jämförelsetabell mellan två till synes lika STM32F4xxRE kort. Skillnader mellan dessa markerade med röd.

stm32f401re [1]	stm32f411re [2]
Core: ARM®32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU, Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator™) allowing 0-wait state execution from Flash memory, frequency up to 84 MHz, memory protection unit, 105 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1), and DSP instructions	Dynamic Efficiency Line with BAM (Batch Acquisition Mode) Core: ARM®32-bit Cortex®-M4 CPU with FPU, Adaptive real-time accelerator (ART Accelerator™) allowing 0-wait state execution from Flash memory, frequency up to 100 MHz, memory protection unit, 125 DMIPS/1.25 DMIPS/MHz (Dhrystone 2.1), and DSP instructions
- Memories - up to 512 Kbytes of Flash memory - up to 96 Kbytes of SRAM	- Memories - up to 512 Kbytes of Flash memory 128 Kbytes of SRAM
- Clock, reset and supply management 1.7 V to 3.6 V application supply and I/Os - POR, PDR, PVD and BOR 4-to-26 MHz crystal oscillator - Internal 16 MHz factory-trimmed RC 32 kHz oscillator for RTC with calibration - Internal 32 kHz RC with calibration	- Clock, reset and supply management 1.7 V to 3.6 V application supply and I/Os - POR, PDR, PVD and BOR 4-to-26 MHz crystal oscillator - Internal 16 MHz factory-trimmed RC 32 kHz oscillator for RTC with calibration - Internal 32 kHz RC with calibration
- Power consumption - Run: 146 µA/MHz (peripheral off) - Stop (Flash in Stop mode, fast wakeup time): 42 µA Typ @ 25°C; 65 µA max @25 °C - Stop (Flash in Deep power down mode, fast wakeup time): down to 10 µA @ 25 °C; 30 µA max @25 °C - Standby: 2.4 µA @25 °C / 1.7 V without RTC; 12 µA @85 °C @1.7 V - V_{BAT}supply for RTC: 1 µA @25 °C	- Power consumption - Run: 100 µA/MHz (peripheral off) - Stop (Flash in Stop mode, fast wakeup time): 42 µA Typ @ 25°C; 65 µA max @25 °C - Stop (Flash in Deep power down mode, fast wakeup time): down to 10 µA @ 25 °C; 30 µA max @25 °C - Standby: 2.4 µA @25 °C / 1.7 V without RTC; 12 µA @85 °C @1.7 V - V_{BAT}supply for RTC: 1 µA @25 °C
1×12-bit, 2.4 MSPS A/D converter: up to	1×12-bit, 2.4 MSPS A/D converter: up to

16 channels	16 channels
General-purpose DMA: 16-stream DMA controllers with FIFOs and burst support	General-purpose DMA: 16-stream DMA controllers with FIFOs and burst support
Up to 11 timers: up to six 16-bit, two 32-bit timers up to 84 MHz, each with up to four IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (incremental) encoder input, two watchdog timers (independent and window) and a SysTick timer	Up to 11 timers: up to six 16-bit, two 32-bit timers up to 100 MHz, each with up to four IC/OC/PWM or pulse counter and quadrature (incremental) encoder input, two watchdog timers (independent and window) and a SysTick timer
- Debug mode - Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces - Cortex[®]-M4 Embedded Trace Macrocell[™]	- Debug mode - Serial wire debug (SWD) & JTAG interfaces - Cortex[®]-M4 Embedded Trace Macrocell[™]
- Up to 81 I/O ports with interrupt capability - Up to 78 fast I/Os up to 42 MHz - All I/O ports are 5 V-tolerant	- Up to 81 I/O ports with interrupt capability Up to 78 fast I/Os up to 100 MHz Up to 77 5 V-tolerant I/Os
- Up to 12 communication interfaces - Up to 3 x I²C interfaces (SMBus/PMBus) - Up to 3 USARTs (2 x 10.5 Mbit/s, 1 x 5.25 Mbit/s), ISO 7816 interface, LIN, IrDA, modem control) - Up to 4 SPIs (up to 42Mbit/s at f_{CPU}=84 MHz), SPI2 and SPI3 with muxed full-duplex I²S to achieve audio class accuracy via internal audio PLL or external clock - SDIO interface Advanced connectivity: USB 2.0 full- speed device/host/OTG controller with on-chip PHY	- Up to 13 communication interfaces - Up to 3 x I²C interfaces (SMBus/PMBus) - Up to 3 USARTs (2 x 12.5 Mbit/s, 1 x 6.25 Mbit/s), ISO 7816 interface, LIN, IrDA, modem control) Up to 5 SPI/I2Ss (up to 50 Mbit/s, SPI or I2S audio protocol, SPI2 and SPI3 with muxed full-duplex I²S to achieve audio class accuracy via internal audio PLL or external clock SDIO interface (SD/MMC/eMMC) Advanced connectivity: USB 2.0 full- speed device/host/OTG controller with on-chip PHY
CRC calculation unit	CRC calculation unit
96-bit unique ID	96-bit unique ID

▪ RTC: subsecond accuracy, hardware calendar	▪ RTC: subsecond accuracy, hardware calendar
▪ All packages (WLCSP49, LQFP64/100, UFQFPN48, UFBGA100) are ECOPACK [®] 2	▪ All packages (WLCSP49, LQFP64/100, UFQFPN48, UFBGA100) are ECOPACK [®] 2

Bilaga 2

Koncept: © Trådlös energiöverföring under drift

Demo: Laddningsbana, bil och betalningssystem

Laddningsbana konstruktion© (som mata på motorvägen eller gator) är särskild koncept beskriven av Sakib SisteK

Förkortningar:

ADE	Autonom dynamisk enhet. Trådlös energimottagare.
ASE	Autonom statisk enhet. Trådlös energisändare.
ASEK	Autonom statisk enhet kluster. Fysiskt kluster med ASE:er.
IF	Identifieringsfasen. Val av betalning för elförbrukning.
IS	Identifieringssystemet. Registrering av unika ID. Genererar en Random ID (RID).
ID	Identity number. ADE:s unika nummer som t.ex. MAC adress. Används att generera RID.
RID	Random ID. Används att aktivera ASE:er.
VK	Virtuellt kluster. Möjliggör elmätning och betalning för elförbrukning.
FÖT	Fas för trådlös energiöverföring. Cykel för trådlös energiöverföring. Start och slut för trådlös energiöverföring.
RF-link	Sändare och mottagare. NFC tag (med RID info) aktiverar ASE:er. Position av ASE:s spole och synkronisering av elförbrukningsavläsning i ADE och ASE systemen.
NFC	Närfältskommunikation (Near Field Communication). NFC tag (med RID info) aktiverar ASE:er.

Allmänt betalningssystem för trådlös energiöverföring är delat i tre delar:

- A) Avläsning av energi i autonom dynamisk enhet (ADE).
- B) Avläsning av energi i autonom statisk enhet (ASE), som är kopplat i fysiskt kluster (ASEK).
- C) Identifieringsfasen (IF) av ADE och val betalning för elförbrukning.

Stegvis beskrivning:

Identifieringsfasen (IF) kan startas, innan båda ADE och ASE befinner sig i arbetsområden för start av trådlös energiöverföring, med fjärridentifikation eller direkt när båda enheterna befinner sig i arbetsområden.

ADE skickar till identifieringssystemet (IS) sitt unika ID som registreras.

Identifieringssystemet (IS) genererar och skickar tillbaka en Random ID (RID), som vidare används för aktivering av ASE:er.

ADE måste identifieras med RID via ASE till den centrala ASEK innan fas för trådlös energiöverföring (FÖT) påbörjar.

Båda systemen måste synkroniseras efter avslutningsfasen för att ha samma avläsning av elförbrukning, som registreras som slutresultat.

Efter godkänd IF startas generering av ett virtuellt kluster (VK) med RID som möjliggör start av FÖT.

Det virtuella klustret (VK:et) genereras och är aktivt bara när både ADE och ASE:er befinner sig i fysiskt arbetstillstånd (dvs. primär och sekundär spole fysiskt befinner sig i närheten av varandra).

Det virtuella klustret (VK) omfattar ADE:s spole, som är ett klustercenter med klusterposition 0, och antal spolar i ASE:en med klusterposition -1 och 1. ASE:s spolar som ingår i VK:et aktiveras och identifieras under ADE:s förflyttning över ASE:er. Spolen, som tillhör ASE:en i klusterposition 1 aktiveras alltid framför ADE:s spole, och spole i klusterposition -1 avaktiveras alltid, dvs den är avstängd, efter att ADE:s spole passerar den.

ADE förflyttning över ASE:na identifieras för att aktivera/avaktivera VK:et spolar (klusterposition - 1; 1) och samtidigt mäta elförbrukning.

Fysiskt kopplade ASE:na i kluster (ASEK) ansvarar att ADE:en kan identifieras, när den förflyttas sig mellan ASE:na med kontinuerligt FÖT, och försäkra fortsatt mätning av elförbrukning.

Om i ASE:s arbetsområde befinner sig ett antal ADE:er som vill etablera FÖT, måste de presenteras med sin RID till ASEK:et via ASE:er och etablera varsin VK för att starta FÖT.

FÖT avbrytningen startas direkt efter ADE:en lämnar ASE:ens arbetsområden. Båda systemen generera varsitt resultat av elförbruknings, som synkroniseras med varandra, samt nollställer VK.

Att bygga demo med laddningsbana, bilar och betalningssystem

Dagens delar av motorvägen eller utvalda gator i städer kan utrustas med ASEK.

Innan man börja passera delar, t.ex. motorvägen med laddningsbana eller gator i städer, måste bilens ADE identifieras för att möjliggöra val för betalning av elförbrukning. Betalning och identifiering kan göras via internet, mobiltelefon med betalnings app, passering genom kontrollstationer som t.ex. trängselskatt, eller direkt på laddningsbana.

Vid behov, kan godkänd och identifierad ADE:en, påbörja bilbatteriladdning. Efter avslutad elförbrukning registreras och debiteras summan till kund för vidarebetalning (e-faktura, faktura, eller direkt via bankkort).

Enhetens utrustning:

Bilen:

Bilen är utrustad med sekundärspole för trådlös överföring av energi, bränningsprogram för NFC tag och RF-link för kommunikation.

Laddningsbana:

Laddningsbana är utrustad med parallellt kopplade primära spolar, NFC krets och RF-link för kommunikation.

Systemstatus:

Default status är att båda systemen med primära och sekundära spolar och RF- link för kommunikation är i AV (OFF) läge.

Både system med NFC krets och tag är i PÅ (ON) läge. För att öka säkerheten bör implementeras någon form av krypteringsprotokoll.

Step by step

1. En bil skickar ID till identifieringssystemet (IS). IS skickar tillbaka (för ökad säkerheten) krypterad ny RID NFC tag. Med hjälp av smarttelefons app t.ex. "NFC Task Launcher" bränns RID på NFC tag. Nu är bilens system redo att aktivera laddningsbanans FÖT.
2. Vid behov för bilbatteriladdning, måste bilen färdas på laddningsbana.
3. När bilen är på laddningsbanan aktiveras, med redan konfigurerad bilens NFC tag, laddningsbanans primära krets för trådlös överföring av energi. Samtidig aktiveras också bilens och laddningsbanans RF-link sändare och mottagare för kommunikation.
4. För att möjliggör elmätning systemen genererar virtuellt kluster (VK). Det VK:et består av bilens- och laddningsbanans spolar. Laddningsbanans spole som står i superposition med bilens spole har position noll (0). Laddningsbanans spole som ska aktiveras framför superpositions spole noll har position plus ett (+1) och spole som ska avaktiveras bakom superpositions spole noll har position minus ett (-1). Det VK:et är dynamiskt och färdas tillsammans i bilens färdriktning.
5. Elmätning avslutas när bilen inte är på laddningsbanan, dvs när RFC tagen inte befinner sig i arbetsområdet med NFC-krets. Bilens RF-link sändare skickar elmättningsresultat till laddnings banans RF-link mottagare för slutlig synkronisering av elmättningsresultat. Efter detta båda RF-lik går i AV läge, och invänta ett nytt NFS tag för en ny energiöverföring och betalningscykel.

Sistek Sakib ® **Trådlös energiöverföring under drift**
Sistek@chalmers.se

Bilaga 3.

Trådlös kommunikation	Frekvens	Överföringshastighet	Räckvidd	Modulation
802.15.4 ZigBee	2,4 GHz	250 kbps	upp till 120 m	FSK, QPSK
NFC	13,56 MHz	106, 212, 424 kbps	0-4 cm	ASK
RFID	125-134 kHz (LF) 13,56 MHz (HF) 400-930 MHz (UF) 2,5 GHz och 5 GHz	1-200 kbps	20 cm för aktiva RF länkar 400 cm för passiva RF länkar	ASK
nRF24L01	2,4 GHz	2 Mbps	10 m	GFSK
STM32 X-NUCLEO-NFC01A1	13,56 MHz	100-400 Kbit/s	4 cm	ASK
RFID SM130 Mifare	13,56 MHz	100-400 Kbit/s	4 cm	ASK