



CHALMERS



Dynamisk induktiv laddning

Induktiv laddning under rörelse

Examensarbete inom Data- och Informationsteknik

Adam Bakkour

Atdhe Mulolli

EXAMENSARBETE 2021

Dynamisk induktiv laddning under körning

Möjligheten att ladda under rörelse

Adam Bakkour
Atdhe Mulolli

Institutionen för Data- och Informationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
GÖTEBORGS UNIVERSITET
Göteborg 2021

Dynamisk induktiv laddning under körning
Möjligheten att ladda under rörelse
Adam Bakkour
Atdhe Mulolli

© ADAM BAKKOUR, ATDHE MULOLLI 2021.

Examinator: Jonas Duregård, Institutionen för Data- och Informationsteknik

Institutionen för Data- och Informationsteknik
Chalmers Tekniska Högskola / Göteborgs Universitet
412 96 Göteborg
Telefon: 031-772 1000

The Author grants to Chalmers University of Technology and University of Gothenburg the non-exclusive right to publish the Work electronically and in a non-commercial purpose make it accessible on the Internet. The Author warrants that he/she is the author to the Work, and warrants that the Work does not contain text, pictures or other material that violates copyright law.

The Author shall, when transferring the rights of the Work to a third party (for example a publisher or a company), acknowledge the third party about this agreement. If the Author has signed a copyright agreement with a third party regarding the Work, the Author warrants hereby that he/she has obtained any necessary permission from this third party to let Chalmers University of Technology and University of Gothenburg store the Work electronically and make it accessible on the Internet.

Institutionen för Data- och Informationsteknik
Göteborg 2021

Sammanfattning

Detta projektet gick ut på att demonstrera att trådlös dynamisk laddning via induktion är ett möjligt alternativ för laddning av elfordon under körning. För att bevisa detta så konstruerades en mindre demobana med sändarpolar monterade i banan som sände ström till en mottagarspole, denna fördes över banan med en elmotor driven av ett batteri. Motorn laddades av strömmen som togs emot av mottagarpolen. Denna mottagarspole med motor och batteri motsvarande ett elfordon som körde på banan och laddades. För att visa hur mycket batteriet laddades och om laddningen var större än den strömmen fordonet spenderade skrevs aktuell batterinivå samt hur mycket ström som överfördes från mikrokontroller till en dator. Olika avstånd mellan sändar- och mottagar spolarna testades för att se vid vilket avstånd maximal laddning uppnåddes.

Nyckelord: Fordon, Induktion, Arduino, IR-sensorer, Trådlösladdning.

Abstract

The project aims to demonstrate that dynamic charging wirelessly with induction is a possible alternative for charging vehicles while driving. The project develops a small path constructed with transmitter coils mounted on a specific route. A receiver coil acts as a way to simulate an electric car passing over the path with the help of a small electric motor powered with the aid of a battery. The motor controlling the receiver coil is charged by the current transmitted through magnetic fields. To keep track of the charging and discharging, a display shows the specific amount of power used. The coils corresponding to the transmitter and receiver had their distance changed to observe the maximum gap required to achieve the best possible charging.

Keywords: Vehicles, Induction, Arduino, IR-sensors, Wireless charging.

Förord

Vi vill tacka vår handledare Sakib Sisteck för hans support och glada humör som hjälpt oss ta oss igenom denna läsperiod.

Adam Bakkour, Atdhe Mulolli, Göteborg, Juni 2021

Innehållsförteckning

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte	1
1.3	Mål	2
1.4	Frågeställningar	2
1.5	Avgränsningar	2
2	Teori	3
2.1	Tidigare forskning	3
2.2	Trådlös energiöverföring	3
2.3	Komponenter	4
2.3.1	Arduino	4
2.3.2	LCD-display	6
2.3.3	AC/DC	7
2.3.4	Sändar- och mottagarspoler	7
2.3.5	Darlington transistor	7
2.3.6	Dioder	7
2.3.7	TE696 Gear Motor	7
2.3.8	Pulse width modulation	8
2.3.9	Mätning av ström och spänning med Arduino	8
2.3.10	L298N Motor Driver	9
2.3.11	Sharp GP2D120XJ00F IR sensor	10
2.3.12	Servomotor	10
3	Metod	11
3.1	Informationsinsamling	11
3.2	Konstruktion	11
3.3	Datainsamling och Analys	11
4	Utförande	12
4.1	Konstruktion av sändarband	12
4.2	Konstruktion av mottagare	14
4.3	Mätningar	15
5	Resultat	16
5.1	Stillastående mätning	16
5.2	Mätning under rörelse	17

6	Diskussion	18
6.1	Etik och miljöaspekter	19
7	Slutsats	20
7.1	Rekommendationer för framtiden	20
	Bibliography	22
7.2	Bildkällor	23
A	Appendix 1	I
A.1	Kod för arduino till armen	II
A.2	Kod för servomotor	III
A.3	Kod för spolarna	IV
A.4	3D-design	V
A.5	Mätning under rörelse	VII

List of Figures

2.1	Arduino Uno.	5
2.2	LCD-display.	6
2.3	Kretsen för spänningsdelare	9
2.4	L298N Motor Driver.	9
2.5	Sharp GP2D120XJ00F Ir sensor illustration hur den fungerar.	10
2.6	MicroServo gg SG90	10
4.1	Hur spolarna placeras över varandra.	12
4.2	Hela banan av sändarspolar färdigbyggd.	13
4.3	Kretsschema på en sektion med spolar.	13
4.4	3D-skrivna delar till armen samt servomotor.	14
4.5	Färdigkopplad arm.	15
5.1	Mätning av mottagen spänning på stillastående spole med höjden 10mm. Mätningen utfördes med oscilloskop.	16
5.2	Mätningar under 60 sekunder för höjden 10 mm samt 15 mm på mottagarspolen.	17
A.1	Kod för arduino uno	II
A.2	Kod för servomotor	III
A.3	Kod för servomotor	IV
A.4	Plattform för servomotor	V
A.5	plattform för arduino, H-bryggan och DC motor.	V
A.6	skiva för mottagarspole	VI
A.7	Mätning data del 1.	VII
A.8	Mätning data del 2.	VIII
A.9	Mätning data del 3.	IX

List of Tables

5.1	Resultat från mätning av mottagen spänning vid stillastående.	16
5.2	Genomsnittliga värden för mätning under rörelse.	17

1

Inledning

1.1 Bakgrund

Även fast elfordon blir mer och mer populära så har fortfarande ingen bra lösning hittats för hur långt de kan åka på en laddning.[1] För att tackla problemet vill vi i samarbete med Chalmers Tekniska Högskola undersöka om dynamisk induktiv laddning under körning kan vara en potentiell lösning till detta. För ett system som ska kunna användas för laddning av elfordon så måste den mottagna strömmen vara större än den som används för att driva fordonet, alltså mängden ström fordonet gör av med medan det kör på vägen. För att testa detta ska en väg på liten skala byggas med spolar som med hjälp av induktion kan ladda batterier utrustade med mottagarspolar som befinner sig över de spolarna i vägen.

Vägen ska vara komplett med strömförsörjning till alla spolarna men för att spara på energi så ska endast spolarna som har en mottagare över sig vara strömförande (ca 3 spolar åt gången). Detta uppnås med sensorer som känner av om något befinner sig över spolarna och aktiverar då dessa spolarna. Hela detta systemet styrs med mikrokontroller (Arduino) som ska styra när och vilka sektioner som ska strömföras. Mottagarenheten ska bestå av ett batteri, en motor samt en eller två mottagarspolar som ska ta emot laddning och ladda batteriet. Denna ska färdas över vägen med laddningen från batteriet som samtidigt ska laddas av mottagna induktiva laddningen. Dessa tillsammans bildar ett system som kan testa och förhoppningsvis bevisa att dynamisk induktiv laddning under körning är en möjlig lösning för långdistans elfordon.

1.2 Syfte

Syftet med projektet är att utveckla ett trådlös energiöverförings system som kan ladda elektriska fordon under rörelse. Sedan ska mätningar utföras för att se om laddningen fungerar tillräckligt effektiv så fordonet tar upp mer energi än vad det förbrukar. Detta utförs för att se om dynamisk trådlös induktiv laddning kan vara en lösning till att ladda elektriska fordon utan att de ska behöva stanna vid laddstationer samt om detta kan utvecklas till ett system som kan implementeras i stor skala för konsumenter.

1.3 Mål

Målet med projektet var att skapa en fungerande demo bana med en bil som trådlöst ska laddas där man enkelt kan övervaka hur effektiv laddningen är. Laddningen ska vara stabil och effektiv nog att batteriet till bilen laddas mer än bilen spenderar.

1.4 Frågeställningar

I detta projekt kommer följande frågeställningar att besvaras:

- Kommer mottagen laddning vara tillräcklig för att ladda batteri?
- Hur långt ifrån varandra kan mottagare och sändare vara innan de förlorar för mycket effektivitet?
- Vad är maximala avståndet för för att ta emot laddning innan förlusterna blir för stora?
- Spelar hastighet någon roll för effektiviteten?

1.5 Avgränsningar

Projektet utförs ej på riktiga fordon eller på verklighets skala utan allt utförs på miniatyr bana med småsignaler. Eftersom batterier inte kan laddas samtidigt som de används så mäts endast mottagen ström och spänning hos mottagaren och laddar inte batteriet.

2

Teori

I detta stycket tas tidigare forskning inom området upp, grundläggande fysikaliska lagar som är relevanta till projektet går igenom och komponenter som använts i projektet beskrivs.

2.1 Tidigare forskning

Ladda elfordon trådlöst är något som har diskuterats länge och flera företag har gått vidare med utveckling av dessa system. En av dessa vägar installerades här i Sverige under 2020 av företaget ElectReon.[2] De installerade spolar i en väg i Gotland, laddningsvägen är 1,65km lång och testades av elfordon som försetts med mottagarspolar. Det första fordonet som laddades var en lastbil som testade att köra på vägen i olika hastigheter upp till 60km/h. Medelvärdet av laddningen som lastbilen tog emot var 70kW.

Ett annat projekt inom området utfördes av Frankrikes Vedecom vilket är ett statligt institut för förminskningen av koldioxidutsläpp. De byggde en 100m lång bana som kan ladda fordon som färdas över 100km/h med effektivitet på 20kW. Hela sändarsystemet och mottagarbilen togs fram av Qualcomm. [3]

Båda projekten visar att trådlös laddning under rörelse för fordon är en möjlighet och att vägar med denna teknologin kan bli implementerade i verkligheten. De visar också att man kan få olika höga effekter beroende på teknologin och att de kan fungera under höga hastigheter. Vi vet dock inte om någon av vägarna använder sig utav teknologi som endast aktiverar spolarna som fordonet befinner sig över eller om det är något som ska tas fram i framtiden.

2.2 Trådlös energioverföring

När en ledare förs in i ett alternerande magnetfält så induceras en ström i ledaren. Om ledaren istället förs in och ut, fram och tillbaka genom ett stillastående magnetfält så uppnås samma effekt. När en växelström matas i en ledare så induceras ett förändrande magnetfält runt om denna. Detta sker eftersom växelström varierar i riktning och är inte enkelriktad, vilket resulterar i att magnetfältet runt om ledaren också varierar i riktning; alltså är det inte ett stillastående magnetfält utan ett förändrande magnetfält. Dessa två principerna kan utnyttjas för att överföra energi/spänning trådlöst genom att koppla en växelström till en ledare (sändare) och

sedan placera en annan ledare (mottagare) i magnetfältet som skapas runt om sändaren. Magnetfältet från sändaren kommer då att inducera en ström i mottagaren. Denna principen fungerar ännu bättre på spolar, strömledande tråd som lindats i en cirkel, då spolar har större area och kan utnyttja mer av magnetfältet. Magnetiska flödet Φ_B för en spole i ett magnetiskt fält fås från ekvationen:

$$\Phi_B = \iint_{\Sigma(t)} B(t) dA$$

B = magnetiska fältet, dA = tvärsnittsarean för spolen i fältet, $B(t)dA$ = skalärprodukt för magnetiska flödet genom arean.

EMF (electromotive force (ε)) runt om en spole kan sedan fås med Faraday's lag om EMF

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt}$$

Denna lagen går att bygga på för att räkna på spolar med N antal varv. Styrkan av EMF är direkt proportionell till antalet varv spolen lindas med:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt}$$

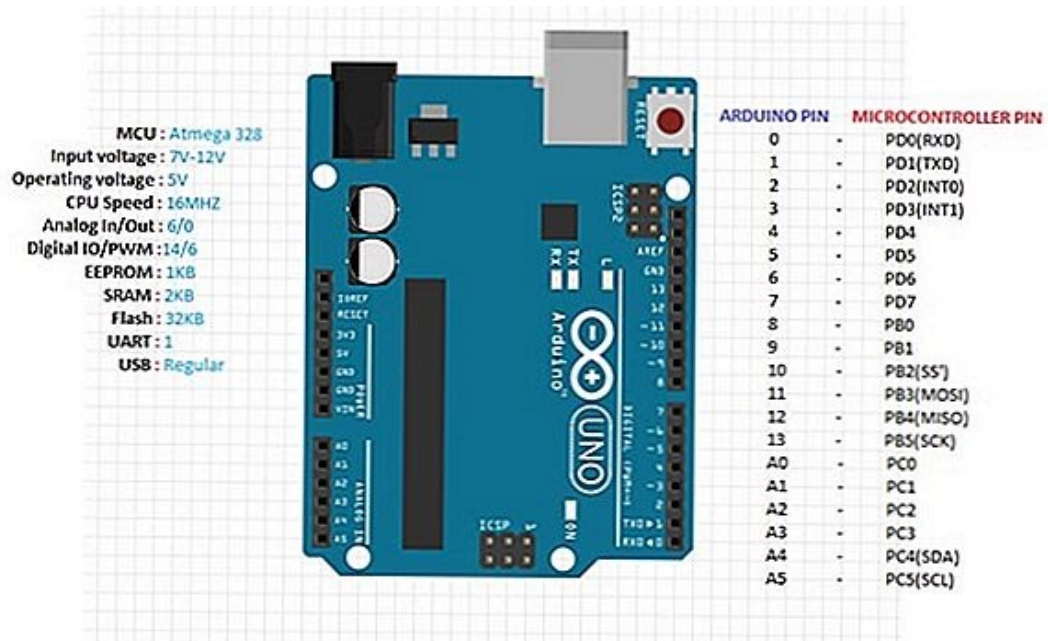
Dessa är principerna som används i detta projekt för att uppnå trådlös energiöverföring[4].

2.3 Komponenter

Innan en komponent valdes och köptes in för att användas i projektet så studerades dess datablad och information som fanns tillgänglig för att avgöra om den passade för projektet.

2.3.1 Arduino

Arduino (figur 2.1) är en mikrokontroller baserad på open-source teknologi, den är väldigt simpel att använda och har förmågan att både läsa/ta emot och skicka information på sina analoga och digitala portar. De analoga portarna har förmågan att läsa analoga signaler mellan 0V och 5V. Detta passar för att ta emot data från sensorer om t.ex. avstånd. Dessa kan också användas för att skicka analoga signaler mellan 0V och 5V, detta kan användas för t.ex. hastighetskontroll av motor eller ljusstyrka av diod. De digitala portarna kan skicka digitala signaler (1 eller 0/hög eller låg). Dessa signaler är på 5V och passar bra som styrsignal för att kontrollera andra komponenter eller system. Arduinokod är ett eget open-source programmeringspråk som är väldigt likt C och eftersom Arduino är så billigt och enkelt att använda så finns det väldigt många bibliotek tillgängliga på nätet för att underlätta användandet av arduino[5].



Figur 2.1: Arduino Uno.

2.3.2 LCD-display

LCD skärmar för Arduino (figur 2.2) har ett parallellt gränssnitt vilket betyder att den har flera kanaler/pins för att kontrollera skärmen. Den består av:

-Register select pin (RS) denna kontrollerar vart i skärmens minne data ska skrivas till. Datan kan antingen skrivas till Data Register som håller vad som ska visas på skärmen eller till Instruction Register som är vart instruktioner till vad skärmen ska göra näst skrivs.

-Read/Write pin (R/W) denna väljer om skärmen befinner sig i skrivläge eller avläsningläge.

-Enable pin möjliggör skrift till registrerna.

-Data pins (D0-D7) åtta digitala pins, värdet på dessa är det som skrivs till registrerna.

-Display contrast pin (V0) kontrollerar kontrasten på skärmen.

-LED Backlight (Bklt+ och Bklt-) Kontrollerar bakgrundsljuset på skärmen.

-Power supply pins (+5V och Gnd) dessa kopplas driftspänning på 5V och mark till.

Med dessa pins kontrolleras vad skärmen ska visa genom att sända datan till registrerna. För att utföra detta så används ett färdigt bibliotek LiquidCrystal Library för att underlätta processen[6].



Figur 2.2: LCD-display.

2.3.3 AC/DC

En väldigt simpel AC/DC omvandlare med fyra dioder i en så kallad "diod-brygga" och en kondensator. Denna tillåter den mottagna växelspanningen att passera i framåtriktningen genom de seriekopplade dioderna och laddar upp kondensatorn. När växelspanningen vänder så laddas kondensatorn ur vilket resulterar i en likspänning och likström på andra änden [7]

2.3.4 Sändar- och mottagarspolar

För att överföra energi trådlöst används Faradays lag om induktion (se teori). Spolar används för att överföra energi trådlöst mellan varandra. Genom att mata en (sändar) spole med en växelström så skapas ett växlande magnetfält runt om denna, detta fältet inducerar sedan en ström i en närliggande (mottagar) spole. Spolarna som används i detta projektet beställs i par av en sändare och en mottagare, de är lindade med 25 varv av strömförande sladd. Sändare är försedda med en DC/AC omvandlare som gör det möjligt att försörja dem med likström som görs om till växelström, denna växelströmmen skapar då ett växlande magnetfält runt om spolen. Mottagarna är försedda med en AC/DC omvandlare, den mottagna inducerade strömmen från sändare görs då om från växelström till likström innan den mottagna energin används för exempelvis laddning av batteri[8].

2.3.5 Darlington transistor

NPN transistor består av tre ben, en bas, en emitter och en collector. Om man kopplar en spänning till collector benet så kan den överföras till emitter benet om spänningen till base benet är $\geq 0,7V$ spänningen mellan collector och emitter kan alltså också stoppas om spänningen till base benet är $\leq 0,7V$. Vid högre spänningar används Darlingtontransistor vilket i princip är två ihopkopplade transistorer. Dessa används för att klara av högre spänningar på collectorbenet men kan fortfarande styras av mindre signaler på basbenet. Darlingtontransistor är uppbyggd genom att seriekoppla emitterbenet av en transistor till basbenet på en annan[9].

2.3.6 Dioder

En diod är en elektrisk komponent som tillåter ström att passera igenom den men endast åt en riktning, den blockerar den andra riktningen. Halvledardioder är de vanligaste dioderna idag, de består av ett semiconductor material (oftast silikon) inne i detta materialet är båda sidorna av dioden kopplade med en p-n koppling som stoppar elektronerna från n-sidan från att röra sig åt andra hållet. Därmed kan elektrisk ström endast röra sig i en riktning genom dioden.

2.3.7 TE696 Gear Motor

Likströmsmotor med driftspänning mellan 3V och 12V, belastningsström 70mA och utväxling 1:48. Utväxling används för att sänka hastigheten på motorn, detta uppnås med många olika kugghjul. Utväxlingsfaktorn fås från antalet kugghjul på yt-

tersta hjulet genom antalet kuggar på det mindre hjulet. Utväxling används när man vill sänka hastigheten på motorer eller när man vill öka vridmomentet hos motorn. För TE696 är hastigheten 17000 RPM innan utväxling, efter utväxling blir hastigheten 354 RPM. Detta kan enkelt beräknas genom att dela motorns hastighet med utväxlingsfaktorn:

$$\text{Hastighet} = \frac{17000}{48} = 354 \text{ RPM}$$

Detta ger motorn mycket högre vridmoment vilket betyder att den kan röra på större vikter. Det gör den till den perfekta motorn för att driva robotarmar[10].

2.3.8 Pulse width modulation

Pulse width modulation (PWM) är en modulationsmetod som används för att representera en analog signals olika nivåer med en digital signal genom att aktivera och avaktivera den digitala signalen i olika tidsintervall. Detta ger "pulser" vars bredd beror på tiden som signalen är aktiverad eller avaktiverad, detta kallas för PWM signalens frekvens. Denna metoden fungerar utmärkt för att kontrollera hastigheten hos motorer. Frekvensen för PWM signal med en Arduino blir 980Hz och signalen kan kontrolleras med värden från 0-255 (8 bitar). Som exempel så får man då halva hastigheten hos en motor om man skriver värdet 127 till motorn, då är signalens på och av pulser lika långa[11].

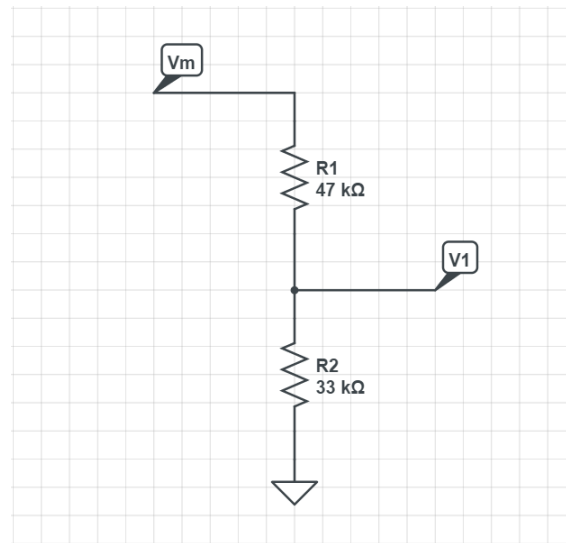
2.3.9 Mätning av ström och spänning med Arduino

För att kunna mäta spänning med en mikrokontroller så måste en Analog to Digital Converter (ADC) användas. Arduino uno har en inbyggd 10-bitars ADC som går att använda med de sex analoga portarna samt så har Arduino har en gräns ingång spänning på 5V. Detta ger ADC upplösningen:

$$\text{Upplösning} = \frac{\text{Spänning}}{2^n - 1} = \frac{5}{2^{10} - 1} = 4,9 \text{ mV/bit}$$

Med beräknad upplösning så går det att mäta spänningar upp till 5V på de analog portarna. För att kunna mäta spänningar som överskrider 5V så behövs en spänningsdelare (se Figur 2.3). Detta uppnås med två seriekopplade resistorer där man kopplar ena änden av seriekopplingen till den spänning man vill mäta (V_m), den andra änden kopplas till mark och mellan båda resistorerna kopplar man till den analoga porten på Arduinon (V_1). Då vi vet att den högsta spänningen som kan kopplas till V_1 är 5V och vi vet att vårt batteri är 12V så har vi värdena på V_1 och V_m . Då kan värdet på resistorerna (R_1 och R_2) beräknas med ett antaget värde för $R_1 = 47k\Omega$:

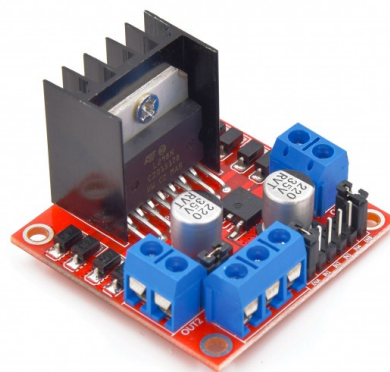
$$V_1 = V_m \frac{R_2}{R_1 + R_2} \Rightarrow R_2 = \frac{V_1 R_1}{V_1 - V_2} \simeq 33k\Omega$$



Figur 2.3: Kretsen för spänningsdelare

2.3.10 L298N Motor Driver

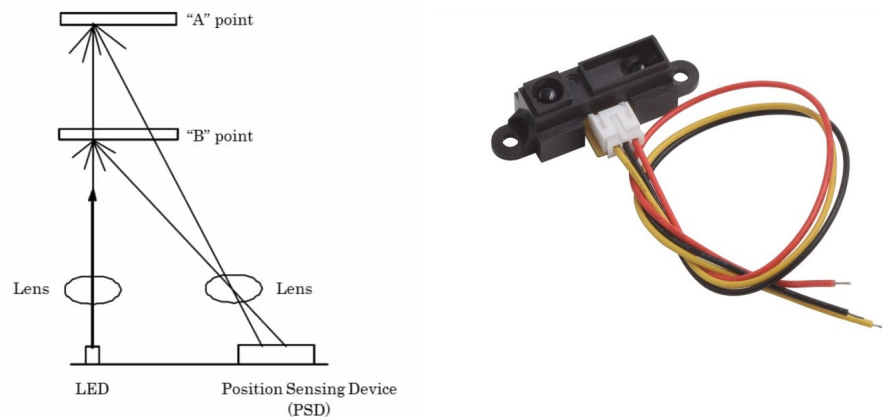
L298N Motor Driver (Figur 2.4) är en småsignalförstärkare, den tar små styrsignaler och använder dem för att driva motorer som drivs på högre spänningar. L298N kan driva två DC motorer samtidigt, den kan hantera drift fram, bak och hastighetskontroll. Eftersom motorerna kräver en högre spänning för drift än vad arduino använder så behövs två olika spänningar, L298N är perfekt för att koppla ihop dessa spänningarna så arduino fortfarande kan kontrollera motorerna medan de drar deras driftspänning från en separat källa[12].



Figur 2.4: L298N Motor Driver.

2.3.11 Sharp GP2D120XJ00F IR sensor

Sharp GP2D120XJ00F IR sensor skickar IR-ljus från sin emitter lins, detta ljuset reflekterar sedan på objekt och avståndet till reflektionen mäts i Light detector linsen. Den bestämmer avståndet genom att beräkna vinkeln till IR-ljusets reflektion samt positionen av reflektionen (se Figur 2.5)[13].



Figur 2.5: Sharp GP2D120XJ00F Ir sensor illustration hur den fungerar.

2.3.12 Servomotor

En liten brushless DC motor i ett skal med kugghjul som ger den högre vridmoment. Kan vridas i 180 grader, 90 grader i varje riktning och inbyggd motorstyrenhet som för kontroll av riktning och hastighet. Har ett ben för PWM signal för att kontrollera hastighet. [14]. I detta projekt har vi använt oss av modellen Micro Servo (se Figur 2.6)



Figur 2.6: MicroServo gg SG90

3

Metod

För att få ett fungerande system ska två olika delsystem konstrueras; en arm som ska representera fordon som färdas över vägen och laddas samt en bana med spolar i som ska sända trådlös laddning till armen.

3.1 Informationsinsamling

Innan konstruktionen av bana eller mottagare kunde påbörjas så behövde information om komponenter och om liknande projekt samlas in. Man började med att leta information från tidigare projekt (avsnitt 2.1) för att se hur de gått tillväga. Målen för projektet valdes till något som båda deltagarna kände att de skulle bli nöjda med. Sedan påbörjades planering, informationsinsamling och val av komponenter som skulle ingå i projektet för att få ett fungerande system.

3.2 Konstruktion

När alla delar och komponenter anlönt så assemblerades de i systemen som de ska ingå i och de testkördes för att se att de fungerar som planerat. Efter alla tester så konstruerades banan och armen med alla delar.

3.3 Datainsamling och Analys

När hela systemet var konstruerat så bestämdes rutinerna för testning och för datainsamling, alla resultat dokumenterades och presenteras i lämplig form.

4

Utförande

För utförandet ska 33 spolar med påbyggd DC/AC omvandlingskrets användas som sändarenheter för att inducera en ström hos mottagarenheter som placeras ovanför sändare. För att spara energi ska IR-sensorer användas för att känna av vart fordonet befinner sig så endast spolarna som fordonet befinner sig över är aktiverade. För att föra mottagare över sändare så precist som möjligt fästs en motor i mitten av sändare, på denna motor fästes en 3D skriven arm som håller mottagarenheter längst ut på armen rakt ovanför sändare. Till dessa mottagarna kopplas sladdarn till ett ben på arduino som mäter den inducerade strömmen från mottagarna. Denna arduinon är samma som driver motorn och strömförs med ett batteri. Två olika mätningar genomförs också, den "skickade" strömmen från sändare samt den mottagna strömmen hos batteriet. Dessa värden läses med hjälp av Arduino och lagras så användare enkelt kan övervaka systemet.

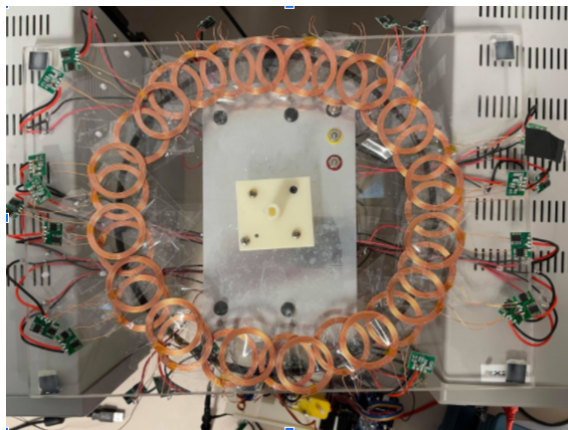
4.1 Konstruktion av sändarbane

Som bana placerades sändarspolar i en cirkel, för att uppnå bästa magnetiska fält i banan så placerades två lager av spolar ovanpå varandra (se Figur 4.1).



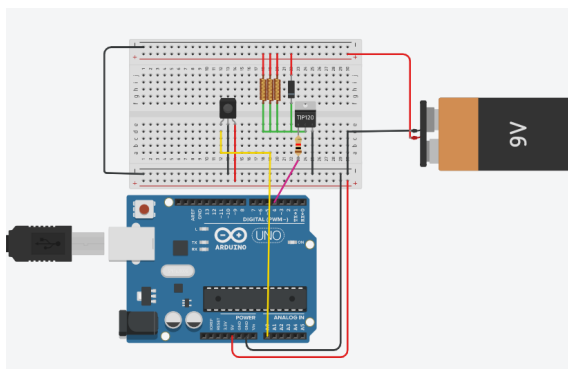
Figur 4.1: Hur spolarna placeras över varandra.

Tejp användes för att hålla spolarna på plats eftersom tejp gör det möjligt att enkelt byta ut defekta spolarna och gör det enkelt att ändra på banan om det skulle önskas. Banan består av 33 spolarna varav 17 i undre lagret. Dessa placerades ut som cirkulär bana med radien 9 cm (se Figur 4.2).



Figur 4.2: Hela banan av sändarspolarna färdigbyggd.

Spolarna drivs med 9V för att mottagaren ska ta emot 5V, darlington transistorer, arduino och IR - sensorer användes för att styra vilka spolarna som ska vara aktiva.

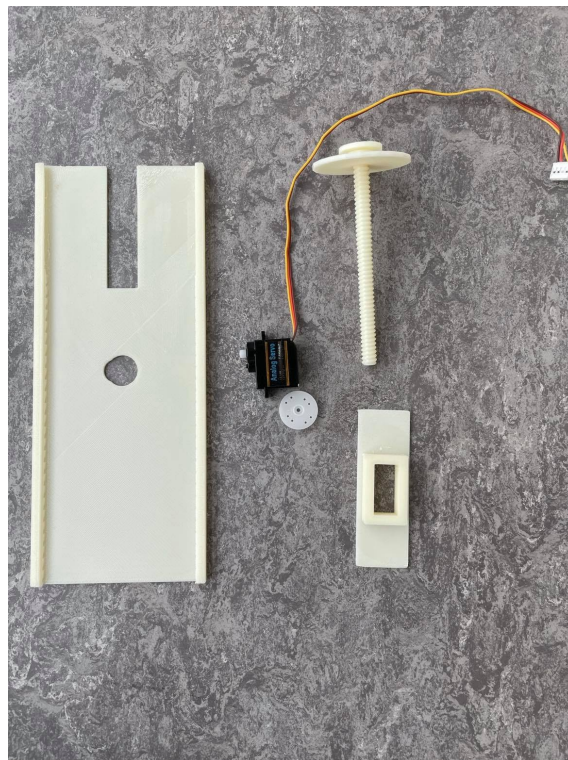


Figur 4.3: Krettschema på en sektion med spolarna.

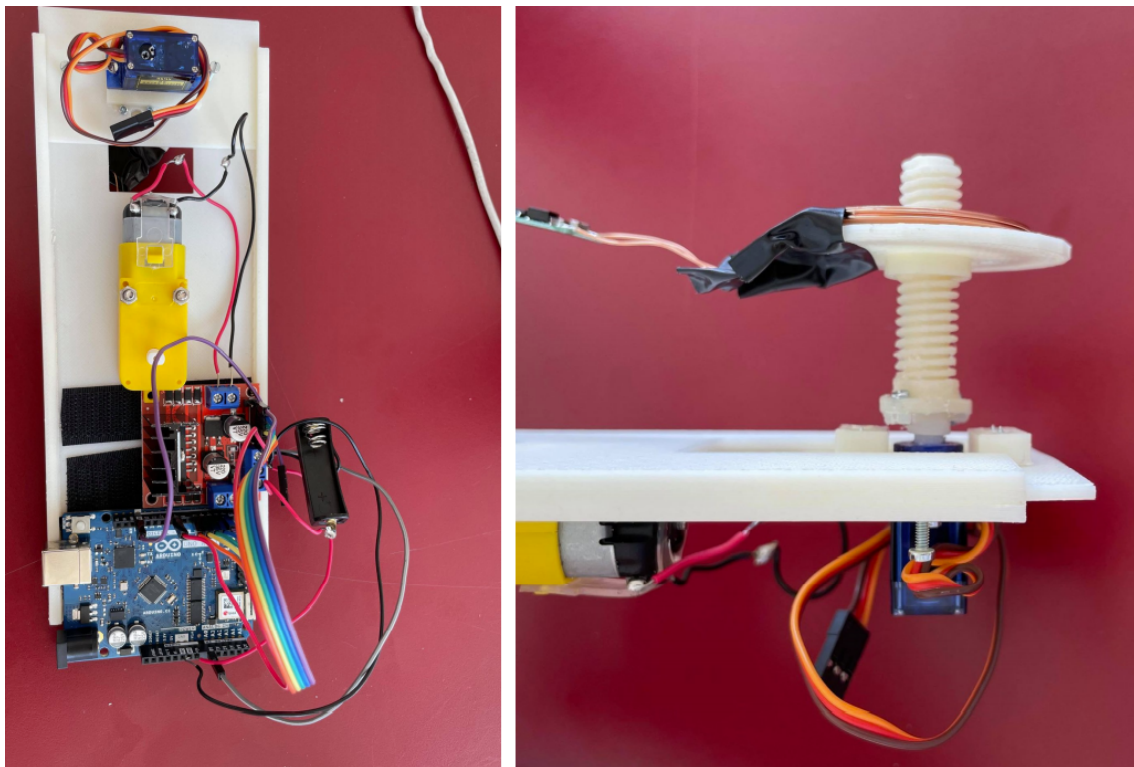
I figur 4.3 kan man se hur arduino användes för att skicka styrsignal till BASE-benet hos transistoren. Tre mottagarspolarna kopplas parallellt med en diod, från ena sidan kopplas de till collector-benet och ifrån andra sidan kopplas de till 9V-spänning. Emitter-benet kopplas till ground och base-benet kopplas till $1k\Omega$ resistor, resistorn kopplas till 5V-spänning från arduino. När mottagarspolen färdas över sensorn så mäts ett kort avstånd vilket då aktiverar styrsignalen från Arduinon att skickas till BASE-benet på transistoren, när denna signalen skickas tillåts 9V-spänningen att röra sig över från Collector till Emitter vilket strömför spolarna. Detta byggdes sedan ut för att strömföra alla spolarna i banan, spolarna delades in i grupper om tre spolarna som ska vara aktiva samtidigt och kopplades till olika transistorer. I slutändan användes 11 transistorer och IR-sensorer för att styra alla spolarna.

4.2 Konstruktion av mottagare

Mottagarspolen och kretsen som ska ladda batteriet monterades på en arm som ska drivas över sändarspolarna med en DC motor. Armen och stativet som gör det möjligt att fästa armen i mitten av sändarbanan 3D-printades (se Figur 4.4). I centrum av den 3D printade plattformen placerades en DC motor och till denna motorn fästes ett stativ, andra sidan av stativet fästes i centrum av sändarbanan. För att styra motorn kopplades en Arduino med en H-brygga till motorn (figur 4.5). Sedan skrevs kod till Arduinon som gjorde det möjligt att styra vilken riktning och hastighet motorn ska ha. Motor, H-bryggan samt Arduinon drivs av ett 12V batteri. Till samma Arduino kopplades en mottagarspole till en av de analoga ingångarna (A0), den användes för att mäta mottagen spänning hos mottagaren. Kod lades till i Arduinon för att kunna utföra dessa mätningar. För att kunna justera mottagarspolens höjd över banan så 3D skrevs en skruv med en plattform för spolen, denna skruven fästes på ytterkanten av armen rakt ovanför banan på en servomotor (figur 4.5). Detta gjorde så att höjden på spolen kan kontrolleras med genom att skicka signaler från arduino till servomotor. När servomotor då vrider så vrids skruven och spolens höjd förändras.



Figur 4.4: 3D-skrivna delar till armen samt servomotor.



Figur 4.5: Färdigkopplad arm.

4.3 Mätningar

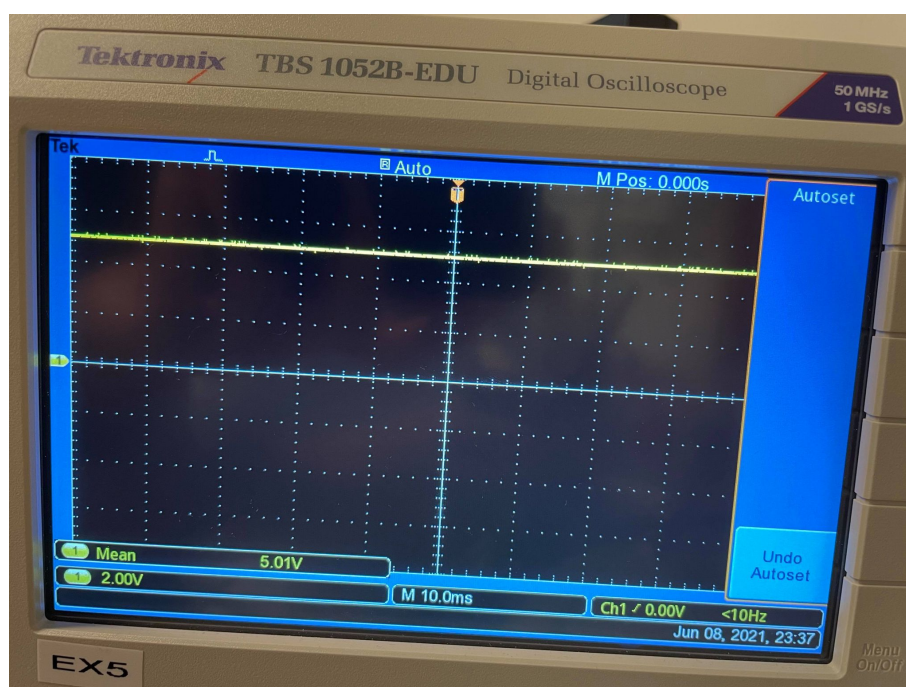
När systemet testades så var det främst höjden och rörelsen som var fokus, målet var att se om laddning i rörelse är möjligt men också hur högt ovanför sändarna mottagaren kan befinna sig utan att förlusterna blir för stora. Mätningarna skedde på 4 olika höjder: 10mm, 15mm, 20mm och 25mm. Sedan testades laddningen först på stillastående system och därefter på systemet i rörelse.

5

Resultat

Resultat från analyser och mätningar på det färdiga systemet presenteras.

5.1 Stillastående mätning



Figur 5.1: Mätning av mottagen spänning på stillastående spole med höjden 10mm. Mätningen utfördes med oscilloskop.

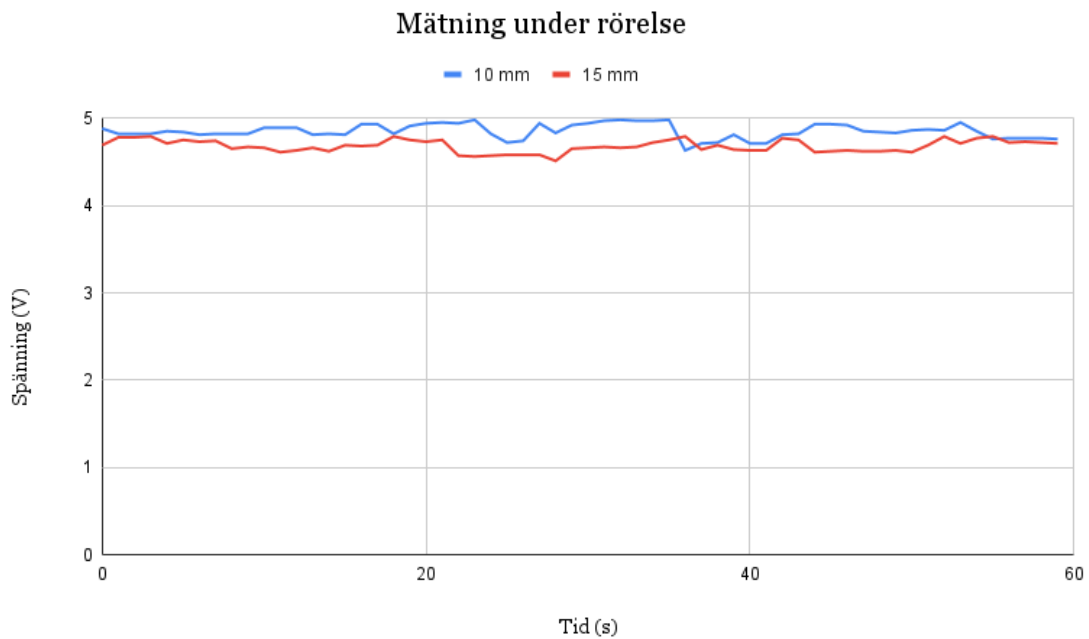
Table 5.1: Resultat från mätning av mottagen spänning vid stillastående.

Höjd (mm)	10	15	20	25
Spänning (V)	5,00	4,73	2,23	2,07

Tabellen ovan visar på att spänningen sjunker kraftigt desto längre motagarspolen är ifrån sändarspolen. När mottagarspolen är precis ovanför sändarspolen med minimalt avstånd är spänningen lika med 5V hos mottagarspolen.

5.2 Mätning under rörelse

Medan armen snurrade så mättes spänningen i mottagarspolen varje sekund och lagrades i arduinon, resultatet av dessa mätningar presenteras i Appendix A.4. Genomsnittliga värdet ses i tabell 2. Dessa mätningar gjordes endast på höjderna 10mm och 15mm då gruppmedlemmarna ansåg att spänningsförlusterna blir för stora.



Figur 5.2: Mätningar under 60 sekunder för höjden 10 mm samt 15 mm på mottagarspolen.

Table 5.2: Genomsnittliga värden för mätning under rörelse.

Höjd (mm)	10	15
Spänning (V)	4.85	4.68

6

Diskussion

Resultatet gav lovande mätningar på energiöverföring under rörelse med bra nog mottagen ström för att ladda ett batteri på denna skala. Mätningar under rörelse utfördes endast på höjderna 10mm samt 15mm eftersom förlusterna under stillastående mätningar var stora för större avstånd. Då ansågs det av gruppmedlemmarna att fler mätningar på dessa höjder var oviktigt.

Det var förvånande att se hur mycket lägre den mottagna spänningen blev på den stillastående mätningen då avståndet höjdes från 15mm till 20mm. Fallet på lite över 50% så tidigt var oväntat. När fler tester utfördes på systemet så överskreds inte avståndet 15mm för bästa effektivitet.

För mätningarna under rörelse testades olika hastigheter på armen men ingen skillnad på resultatet upptäcktes för de olika hastigheterna. Förutom problem som uppstod med sensorerna, de var inte snabba nog när man testade med högsta hastighet så för högsta hastighet testades systemet utan sensorer, alltså var alla sändarspolarna aktiva samtidigt under hela testet.

Under detta projektet användes spolar som redan var lindade i förväg och med påbyggd DC/AC-omvandlare och AC/DC-omvandlare kretsar. Om man istället rullat egna spolar så kan effekten kontrolleras mer genom att själva bestämma antal varv som spolarna lindas. Enligt faradays lag (2.1 Trådlös energiöverföring) så är antalet varv en spole lindas med direkt proportionell till EMF runt spolen. Man hade också kunnat koppla växelspanning till spolarna direkt utan någon omvandlare men man hade behövt beräkna resonansfrekvensen för att uppnå maximal effekt. Det hade dock behövts en AC/DC-omvandlar krets efter mottagarna så den inducerade spänningen kan användas för att ladda ett likströmsbatteri.

Systemet går att skala upp till storlek och styrka som funkar på riktiga fordon. Som annat bevis för detta finns redan fungerande "prototyp-vägar" i världen som fungerar på riktiga bilar[15].

6.1 Etik och miljöaspekter

När man först tänker på idén om vägar som laddar fordon trådlöst medan de kör så verkar det som en jättebra idé med ingen dålig inverkan på miljön så länge elen som används kommer från förnybara källor. Men när man kommer fram till implementationen av vägarna så uppstår lite problem. Om dessa spolar och hela systemen ska implementeras i redan existerande vägar så krävs mycket arbete som börjar med att riva upp den redan existerande vägen för att placera spolarna under asfalten. Detta är ett tidskrävande arbete, som beroende på sträckan, kan pågå i månader eller år. Även buller från arbetet måste tas i åtanke om dessa vägar är nära bebodda områden eller i städer. Det är bevisat att buller under längre perioder har en negativ påverkan på människors hälsa. Enligt folkhälsomyndigheten: "Förutom att vi blir störda av buller kan det påverka vår prestation, inlärning och sömn negativt. Under senare år har flera studier pekat på att långvarig exponering för flyg- och vägtrafikbuller kan öka risken för hjärt- och kärlsjukdomar." Med detta i åtanke så bör de ansvariga tänka efter vart de väljer att implementera dessa vägar och kanske främst fokusera att implementera dem där nya vägar redan ska byggas[16].

7

Slutsats

Syftet med projektet var att utveckla ett trådlöst system som kan överföra energi och ladda ett fordon i rörelse. Resultatet i våran studie visar på att rent tekniskt sett skulle projektet gå att genomföra, metoden är bra och visar på att man kan överföra energi då ett fordon är i rörelse. Mätningarna visar dock på mycket energiförluster då avståndet mellan (sändar) spole till (mottagar) spole blir stort. Projektet kommer även bli svårt att utföra rent ekonomiskt som det ser ut i dags läget då vägar behöver rivas upp för att implementera dessa spolar. För framtiden kan detta absolut vara en idé, vid utökning av vägnätet, att ta till vara på tekniken som används i studien.

Målet med projektet var att ta fram en fungerande demobana som kan användas som proof of concept med mätningar som visar att trådlös laddning under rörelse är en möjlighet. Detta målet uppnåddes, banan med sändarna fungerar och sänder stabil spänning. Armen som representerar fordon som färdas på vägen fungerar och kan mäta mottagen spänning medan den drivs. En annan del av målet var att laddningen skulle vara stabil, våra resultat från mätningarna visar att detta också uppnåddes. Sista delen av målet med projektet var att bilen ska laddas mer än den spenderar. Då batterier ej kan laddas samtidigt som de används så skulle en separat krets som tar över drivningen av motorn behövas, detta utfördes inte och istället mättes endast den mottagna spänningen hos mottagaren. Den mottagna spänningen låg på ca 4,2V under drift på 10mm höjd. Detta skulle tekniskt sett vara tillräckligt för att driva armen då motorn kan drivas mellan 3 och 12V. Dock så rekommenderas minst 6V för motorn och då den också bär på en del vikt från Arduino, batteri, spole och motor driver så skulle nog inte 4,2V vara nog. Detta skulle enkelt kunna lösas med bättre spolar som är lindade flera varv. Dessa skulle kunna sända och ta emot högre spänning (enligt Faraday's lag).

7.1 Rekommendationer för framtiden

Om någon skulle vilja utföra projektet så hade vi rekommenderat andra sensorer, IR sensorerna som användes i detta projekt har ett minsta detektionsavstånd på 8 cm. Detta gör att sensorerna behövde placeras en bit bort från systemet i en vinkel istället för att enkelt placeras rakt under armen. Vi hade rekommenderat att inte ha så lång arm som vi använde oss utav, då den triggade sensorerna på båda ändar eftersom den är lika lång på båda sidor. Detta behöver då räknas med när man skriver koden.

Vi rekommenderar också starkt att använda en mikrokonroller med fler digitala och analoga portar som kontrollenhet till spolarna. Det krävs väldigt många portar för att få plats med alla sensorer och krävs många digitala portar för kontrollsignalerna till transistorerna.

Om vägar för trådlös laddning ska implementeras så bör det göras på längre sträckor, då effektiviteten inte kommer bli lika bra som vanlig laddning via kabel, så behövs längre tid över spolarna för att ladda fordonen.

Referenser

- [1] L. Noel, G. Zarazua de Rubens, B. Sovacool, J. Kester, "Fear and loathing of electric vehicles: The reactionary rhetoric of range anxiety", Energy Research Social Science, Volume 48, 2019, Pages 96-107, ISSN 2214-6296, <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629618304456>

- [2] V. Radu, "Sweden Successfully Tests Wireless Charging Road Set to Revolutionize Mobility", Autoevolution, 2021, Available at <https://www.autoevolution.com/news/sweden-successfully-tests-wireless-charging-road-set-to-revolutionize-mobility-155137.html>

- [3] D. Fung, "Wireless charging road demonstrated in France, planned for Israel", Caradvice, 2017, Available at <https://www.caradvice.com.au/552197/wireless-charging-road-demonstrated-in-france-planned-for-israel/>

- [4] P.Kinsler, "Faraday's Law and Magnetic Induction: Cause and Effect, Experiment and Theory", MDPI, 2020, Available at <https://www.mdpi.com/2624-8174/2/2/9/htm> (2021/05/4)

- [5] "What is Arduino?", Arduino, Available at <https://www.arduino.cc/en/guide/introduction> (2021/05/15)

- [6] "Hello World!", Arduino, Available at <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/LibraryExamples/HelloWorld> (2021/05/21)

- [7] "Full Wave Rectifier and Bridge Rectifier Theory" Available at https://www.electronics-tutorials.ws/diode/diode_6.html (2021/06/07)

- [8] "Inductive Charging set-5V@500mA max" Available at <https://www.adafruit.com/product/1407> description (2021/05/15)

- [9] M.T.Abuelma'Atti "Harmonic and intermodulation performance of the Darlington composite bipolar junction transistor", International Journal of Electronics, Volume 89, 2002, Pages 441-454, Available at <https://www.tandfonline.com/doi/ref/10.1080/00207210210146419?scroll=top> (2021/05/5)
- [10] <https://www.amazon.ca/XCSOURCE-Arduino-Projects-Yellow-TE696/dp/B06XPCZ78W?fbclid=IwAR1IxHHQONwf2qRaKw-chhQEVtPMbkzJrtaszUr3fHUI6KwO3XeNbCu5x6s> (2021/05/8)
- [11] B. Molin, "Analog Elektronik", 2nd ed. Studentlitteratur, 2013, Pages 455-456, ISBN 978-91-44-05367-7
- [12] Goks If "How to Use the L293D Motor Driver (With Arduino)" Available at <https://www.instructables.com/How-to-Use-the-L293D-Motor-Driver-With-Arduino/> (2021/05/25)
- [13] B. D. Bakker "How to use a SHARP GP2Y0A21YK0F IR Distance Sensor with Arduino" Available at <https://www.makerguides.com/sharp-gp2y0a21yk0f-ir-distance-sensor-arduino-tutorial/> (2021/05/19)
- [14] "DATA SHEET" Available at http://www.ee.ic.ac.uk/pcheung/teaching/DE1_EE/stores/sg90_datasheet.pdf (2021/05/20)
- [15] V.Radu "Sweden Successfully Tests Wireless Charging Road Set to Revolutionize Mobility" Available at <https://www.autoevolution.com/news/sweden-successfully-tests-wireless-charging-road-set-to-revolutionize-mobility-155137.html> (2021/06/05)
- [16] "Buller och höga ljudnivåer" Available at <https://www.folkhalsomyndigheten.se/livsvillkor-levnadsvanor/miljohalsa-och-halsoskydd/tillsynsvagledning-halsoskydd/buller/> (2021/06/05)

7.2 Bildkällor

Författarnas egna bilder. Figur 4.1,4.2,4.4,4.5,5.1

Wikipedia. Figur 3.1,3.2,3.3,3.4,3.6,3.7

CircuitLab. Figur 3.5

Tinkercad. Figur 4.3

Excel. Figur 5.2

Framsidesbild hämtat ifrån

<https://www.powerselectronics.com/markets/automotive/article/21864097/wireless-charging-of-electric-vehicles>

A

Appendix 1

A.1 Kod för arduino till armen

```

/*
 * Denna koden är för drift av armen och mätning av mottagen spänning
 */

// mäta spänning
int voltPin = A0;
int value = 0; // Här uppmätta värdet som sen ska göras om till volt lagras
float voltage;

float myVolts[100];

// Följande är för körning av motor
const int motorFram = 5;
const int motorBak = 4;
const int ENB = 3; //PWM pin, kontrollera hastighet

// Följande för millis en minut räknare
//unsigned long previousMillis = 0;
//const long interval = 60000;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  // Sätter pins som styr motor till utportar
  pinMode (motorFram, OUTPUT);
  pinMode (motorBak, OUTPUT);
  pinMode (ENB, OUTPUT);
}

void loop() {
  //Köra motor
  analogWrite(ENB, 200);
  digitalWrite(motorFram, HIGH);
  // Mäta spänning
  measureVolt();

  //Stoppa motor
  analogWrite(motorFram, LOW);
  //skriva volt
  printVolt();
}

void measureVolt() {
  //int myVolts[] = 0;
  for (int i = 0; i < 30; i++) {
    value = analogRead(A0);
    voltage = value *5.0/1023;

    myVolts[i] = voltage;
    delay(1000);
    Serial.println(voltage);
    voltage = 0;
  }
}

void printVolt() {
  delay(10000);
  for (int i = 0; i < 30; i++) {
    float x = myVolts[i];
    Serial.print("Lagrade varden: ");
    Serial.println(x);
  }
}

```

Figur A.1: Kod för arduino uno

A.2 Kod för servomotor

```
.  
Servo servo_test;          //initialize a servo object for the connected servo  
  
int angle = 0;  
  
void setup()  
{  
  servo_test.attach(12);    // attach the signal pin of servo to pin12 of arduino  
}  
  
void loop()  
{  
  for(angle = 0; angle < 180; angle += 1)  // command to move from 0 degrees to 180 degrees  
  {  
    servo_test.write(angle);              //command to rotate the servo to the specified angle  
    delay(15);  
  }  
  
  delay(1000);  
  
  for(angle = 180; angle>=1; angle--=5)    // command to move from 180 degrees to 0 degrees  
  {  
    servo_test.write(angle);              //command to rotate the servo to the specified angle  
    delay(5);  
  }  
  
  delay(1000);  
}
```

Figur A.2: Kod för servomotor

A.3 Kod för spolarna

```
// Definera pins för alla sektioner av spolarna
const int coils0 = 2; // Sätter digitala pin 2 för kontroll till sektion 1
const int coils1 = 3; // Sätter digitala pin 3 för kontroll till sektion 2
const int coils2 = 4; // Sätter digitala pin 4 för kontroll till sektion 3
const int coils3 = 5; // Sätter digitala pin 5 för kontroll till sektion 4
const int coils4 = 6; // Sätter digitala pin 6 för kontroll till sektion 5
const int coils5 = 7; // Sätter digitala pin 7 för kontroll till sektion 6

const int coils6 = 8; // Sätter digitala pin 8 för kontroll till sektion 7
const int coils7 = 9; // Sätter digitala pin 9 för kontroll till sektion 8
const int coils8 = 10; // Sätter digitala pin 10 för kontroll till sektion 9
const int coils9 = 11; // Sätter digitala pin 11 för kontroll till sektion 10
const int coils10 = 12; // Sätter digitala pin 12 för kontroll till sektion 11

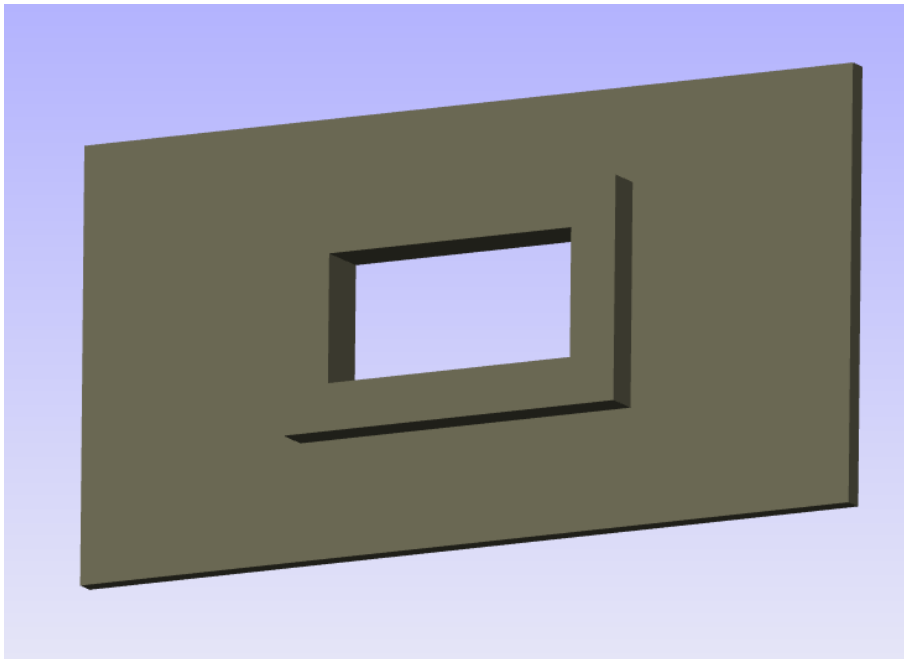
void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(coils0, OUTPUT);
  pinMode(coils1, OUTPUT);
  pinMode(coils2, OUTPUT);
  pinMode(coils3, OUTPUT);
  pinMode(coils4, OUTPUT);
  pinMode(coils5, OUTPUT);
  pinMode(coils6, OUTPUT);
  pinMode(coils7, OUTPUT);
  pinMode(coils8, OUTPUT);
  pinMode(coils9, OUTPUT);
  pinMode(coils10, OUTPUT);
}

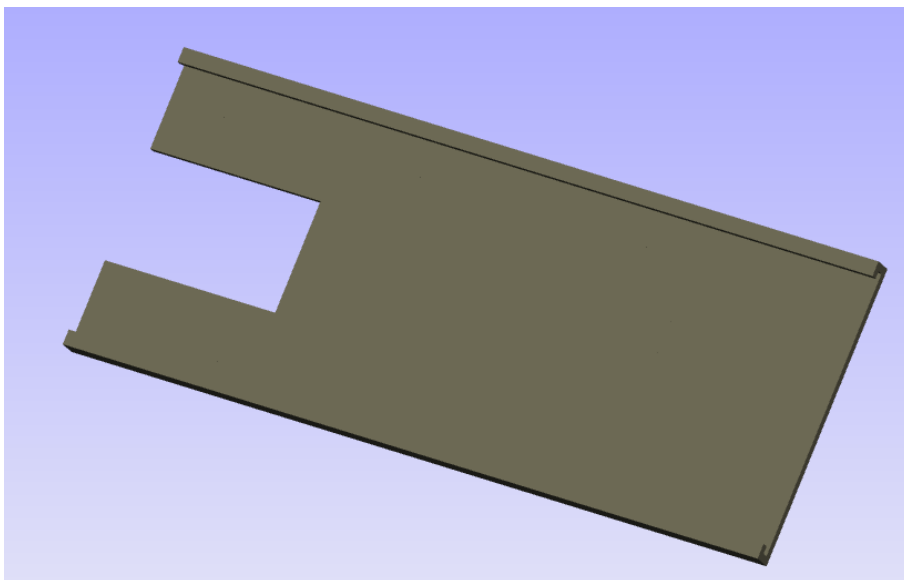
void loop() {
  digitalWrite(coils0, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils1, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils2, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils3, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils4, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils5, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils6, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils7, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils8, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils9, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
  digitalWrite(coils10, HIGH); //Skickar styrsignal för att aktivera sektion 0 av spolarna
}
```

Figur A.3: Kod för servomotor

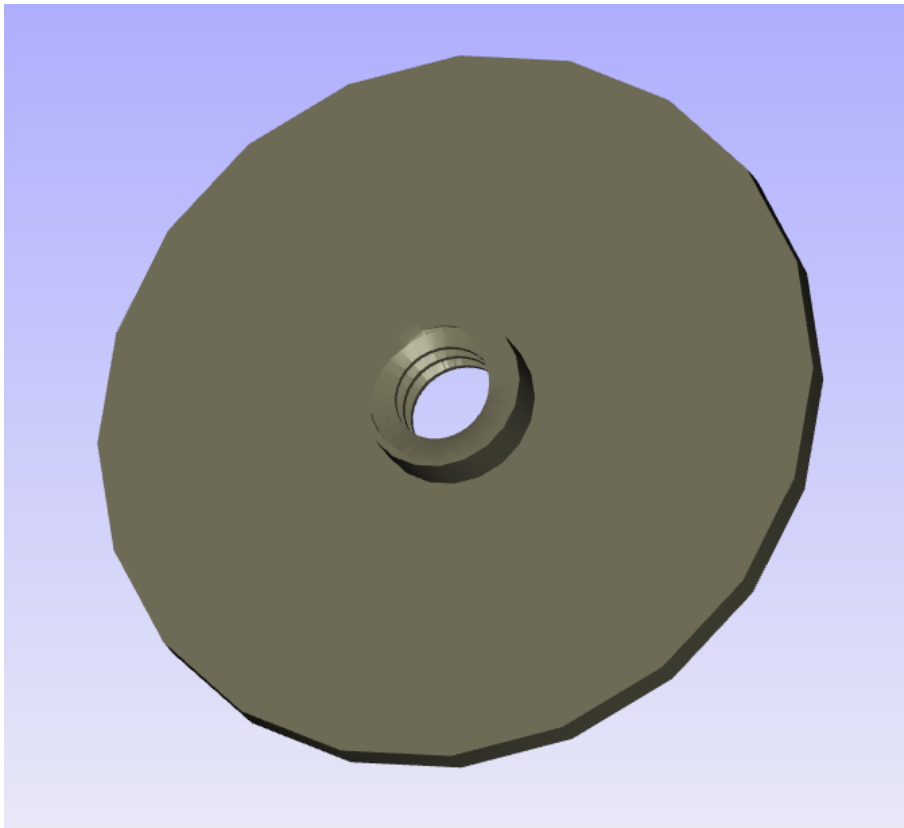
A.4 3D-design



Figur A.4: Plattform för servomotor



Figur A.5: platform för arduino, H-bryggan och DC motor.



Figur A.6: skiva för mottagarspole

A.5 Mätning under rörelse

10mm	15mm
4,88	4,69
4,82	4,78
4,82	4,78
4,82	4,79
4,85	4,71
4,84	4,75
4,81	4,73
4,82	4,74
4,82	4,65
4,82	4,67
4,89	4,66
4,89	4,61
4,89	4,63
4,81	4,66
4,82	4,62
4,81	4,69
4,93	4,68
4,93	4,69
4,82	4,79
4,91	4,75
4,94	4,73

Figur A.7: Mättnings data del 1.

4,95	4,75
4,94	4,57
4,98	4,56
4,82	4,57
4,72	4,58
4,74	4,58
4,94	4,58
4,83	4,51
4,92	4,65
4,94	4,66
4,97	4,67
4,98	4,66
4,97	4,67
4,97	4,72
4,98	4,75
4,63	4,79
4,71	4,64
4,72	4,69
4,81	4,64
4,71	4,63
4,71	4,63
4,81	4,77

Figur A.8: Mätning data del 2.

4,82	4,75
4,93	4,61
4,93	4,62
4,92	4,63
4,85	4,62
4,84	4,62
4,83	4,63
4,86	4,61
4,87	4,69
4,86	4,79
4,95	4,71
4,85	4,77
4,76	4,79
4,77	4,72
4,77	4,73
4,77	4,72
4,76	4,71
Medelvärde:	Medelvärde:
4,8505	4,679833333

Figur A.9: Mätning data del 3.

Institutionen för Data- och Informationsteknik
CHALMERS TEKNISKA HÖGSKOLA
Göteborg, Sverige
www.chalmers.se



CHALMERS