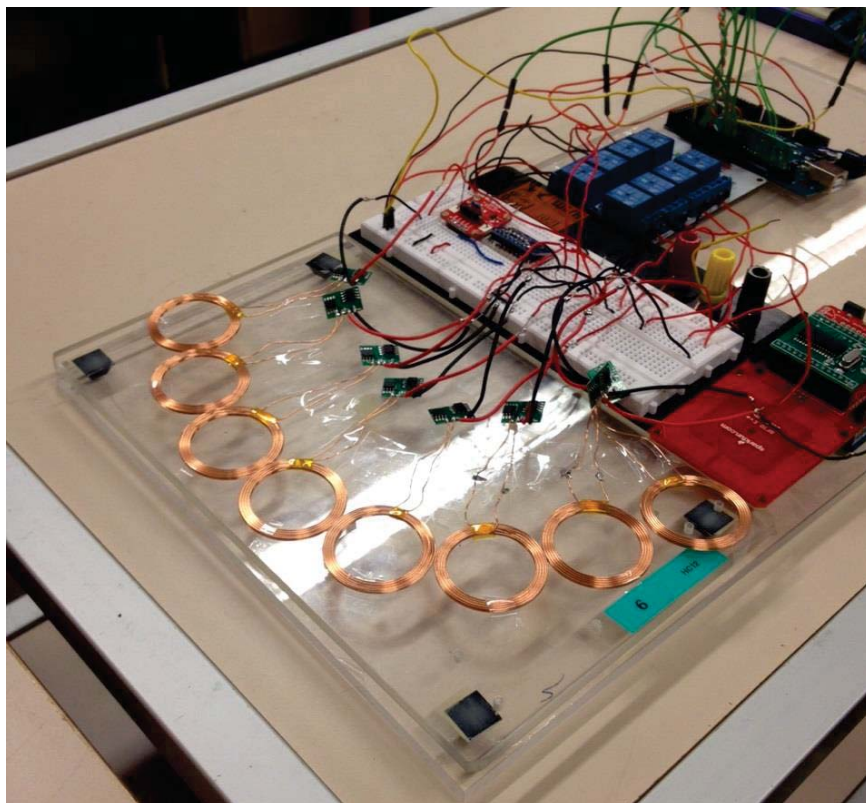




CHALMERS



Konstruktion av demobana med dynamisk induktionsladdnings teknik

Examensarbete inom högskoleingenjörsprogrammet Elektroingenjör

MARTIN ALERMAN

FREDRIK JAKOBSSON

Förord

Det här examensarbetet för elektroingenjörsprogrammet, 180 hp, utfördes på institutionen för Signaler och system vid Chalmers tekniska högskola. Arbetet motsvarar 15 högskolepoäng och genomfördes läsåret 2015 läsperiod 4.

Sakib SisteK hade tidigare arbetat med ett koncept på induktionsladdning inom institutionerna för Data- och informationsteknik samt Signaler och system. Efter diskussioner med Sakib kom vi överens om att arbeta vidare på det tidigare konceptet.

Vi vill inrikta ett stort tack till Sakib SisteK för hans engagemang och stöd i detta projekt, och till vår handledare tekniklektor Lennart Widén, för idéer och granskning. Ett tack går också till övriga lärare på institutionen för god support under arbetes gång, och dessutom till seniorforskaren Conny Börjesson på Viktoriainstitutet för diskussion om hur vägarna ska elektrifieras.

Göteborg juni 2015

Martin Alerman

Fredrik Jakobsson

Sammanfattning

Rapporten behandlar dagens teknik för induktionsladdning. Bakgrunden till varför arbetet utförs är att hitta en lösning till elfordons svaghet, batteriet. De olika batterialternativen som finns på marknaden har låg energidensitet och är dyra att byta ut. Genom att induktivt ladda elfordon under körning kan elfordonens räckvidd öka och behovet av stora batterier minska. I arbetet undersöks hur system för att induktivt överföra energi mellan primär- och sekundärkrets konstrueras. Först beskrivs dagens olika laddningstekniker. Sedan en teoretisk del med relevant information till området. I tester undersöktes de olika komponenterna som ingår i ett överföringssystem, såsom tester av spoltyper, verkningsgrad, frekvensområde, oscillatorer, spänningsregulatorer, likriktare och effektförstärkare samt ett reläsystem för att reglera inspänningen. En lämplig spole valdes ut och ett system som kunde överföra energi konstruerades. Slutligen monterades lämpliga komponenter ihop till en mindre demobana. Målet var att konstruera en demobana med vilken det går att påvisa att konceptet för induktivladdning fungerar. Arbetet utfördes på Chalmers tekniska högskola Campus Lindholmen.

Abstract

The report deals with the current technology for induction charging. The reason why the work is done is to find a solution to the electric vehicle weakness; the battery. The various battery options available on the market have low energy density and are expensive to replace.

By inductive charging electric vehicles while driving, the driving range will increase and the need for large batteries will thereby decrease. The work examines how systems to inductively transfer energy between the primary and secondary circuit can be constructed. Firstly the report presents a description of today's various charging techniques. Followed by a theoretical part with the relevant information to the field of induction charging. The tests examined the various components included in a transmission system, such as tests of different coils, efficiency, frequency range, oscillators, voltage regulators, rectifiers and power amplifier and a relay system to control the input voltage. A suitable coil were selected and a system that could transmit energy was constructed. Finally, the appropriate components were assembled into a smaller demo track. The purpose was to construct a demo track with which it is possible to demonstrate that the concept of induction charging works. The work was performed at Chalmers University of Technology Campus Lindholmen.

Innehållsförteckning

Beteckningslista	1
1 Inledning.....	2
1.1 Bakgrund	2
1.2 Mål.....	2
1.3 Syfte.....	2
1.4 Avgränsningar	3
1.5 Preciseringar av frågeställningar	3
2 Tidplan	4
2.1 Arbetsplan.....	4
3 Laddningstekniker	5
3.1 Induktionsladdning	5
3.1.1 BMW - garageladdning.....	5
3.1.2 KTH - eRoad.....	5
3.1.3 Bombardier - Primove.....	6
3.1.4 KAIST – OLEV	7
3.2 Konduktivladdning	7
3.2.1 Elways – Elways Solution.....	7
3.2.2 Siemens - eHighway	8
3.3 Kontaktladdning	8
3.3.1 Tesla - Plug-in.....	8
4 Relevant teori för induktivladdning	9
4.1 Induktion och spolar	9
4.2 Batterier	9
4.2.2 Laddningsprocessen.....	11
4.3 Superkondensatorer	12
4.4. Kontrollenhet.....	13
4.5 Elektriska oscillatorer	13
4.5.1 Fyrkantsoscillator.....	13
4.5.2 Fasskiftoscillator	14
4.5.3 Wienbryggoscillator.....	15
4.6 Likriktare	16
4.7 Motor	18

4.8 Qi-standrad	18
4.9 Klass B Effektförstärkare	20
5 Komponenter	20
5.1 Spole WT505090-20K2-A10-G	20
5.2 Spole PW-WCG-0	21
5.3 Spole WT1005690-12K2-A6-G	22
5.4 Spole WR-444005-17M2-NF-G	22
5.5 Spole IWAS-4832FF-50	23
5.6 Spole WE-WPCC Wireless Power Charging Coil	23
5.7 Reläkort Relay Module BK_RL8_01	24
5.8 Spänningsregulator LM2596 med display	24
5.9 Spänningsregulator MCP738555	25
5.10 Diod 1N5817	25
5.11 Mikrokontrollerkort Arduino Uno	26
5.12 Operationsförstärkare LM741	26
5.13 Operationsförstärkare LM318	26
5.14 Operationsförstärkare LM324D	27
5.15 Integrerad krets NE555P	27
5.16 Signalgeneratormodul AD9850	27
5.17 Strömsensor INA169	28
5.18 Transistor BC337	28
5.19 Transistor BC327	28
6 Tester	29
6.1 Relä- och Arduino kort	29
6.2 Frekvensområde	32
6.3 Oscillatorer	32
6.3.1 Fyrkantsvågs oscillator med NE555P	33
6.3.2 Fasskiftoscillatorn med LM741	34
6.3.3 Fasskiftoscillatorn med LM318	36
6.4 Verkningsgrad av spolar	38
6.5 Likriktare	40
6.6 Spänningsregulator	42
6.7 Test av energiöverföring	44

7 Konstruktion.....	46
8 Slutsats	48
9 Diskussion	49
10 Referenser.....	51

Beteckningslista

Induktionsladdning	Överför energi trådlöst mellan primär-och sekundärspole. Energin kan ladda ett batteri eller driva en motor.
Konduktivladdning	Överför energi via kontaktyta. En justerbar arm skapar kontakt mot en skena i vägen eller mot hängande luftledning.
Plug-in	Kontaktladdning genom att koppla en kabel från en laddningsstation till fordonet.
KTH	Kungliga Tekniska Högskolan, är ett svenskt lärosäte i Stockholm för teknologer och forskare.
eRoad	Ett projekt som arbetar med att elektrifierar vägarna. Forskare på KTH är en av de medverkande i projektet.
KAIST	Korean Advanced Institute of Science and Technology, är ett koreansk lärosäte i Seoul.
OLEV	Online Electric Vehicle, är ett eldrivet fordon som drivs av induktionsladdning. KAIST är en av aktörerna bakom OLEV.
SMFIR	Shaped Magnetic field in Resonance, är en teknik som möjliggör att laddning kan ske vid drift eller stillastående tillstånd. KAIST har utvecklat tekniken.
Qi-standard	Standard för trådlös energiladdning av batterier. Oavsett tillverkare av elektriska apparater och laddningsstationer, ska laddning kunna genomföras.
WPC	Wireless Power Consortium, är ett multiinternationellt, bolag som utvecklar Qi-standardens tekniken.
Primärsidan	Sändarsidan, här genereras och sänds energin trådlöst till sekundärsidan. Tillämpas exempelvis i vägbanor.
Sekundärsidan	Mottagarsidan, tar emot energin som genererades från primärsidan. Tillämpas exempelvis i fordon.

1 Inledning

Delavsnittet innehåller bakgrund, mål och syfte med projektarbetet. Dessutom presenteras definierade avgränsningar samt relevanta frågeställningar till arbetsuppgiften.

1.1 Bakgrund

Drift av fordon och annan transport på våra vägar är en stor framtidsfråga ur såväl miljöperspektiv som ekonomiskt perspektiv. Dagens metoder med förbränning av fossila bränslen är ohållbart i längden, nya alternativ behövs för att undvika en global kris.

Priset på fossila bränslen ökar, vilket påskyndar utvecklingen av alternativa tekniker, exempelvis eldrivna fordon. Energi kan produceras med förnyelsebara energikällor.

Det som hindrar människor från att övergå från konventionella bränsleddrivna fordon till elektriska fordon är många. Ett är problemet med eldrivna fordon är den så kallade räckviddsångesten, som innebär att föraren måste planera sin körsträcka väl, för att inte råka utföra ett oväntat driftstopp. Anledningen till denna oro är att batterier har en begränsad kapacitet och att det råder brist på laddningsstationer [1].

Forskningsföretaget Viktoriainstitutet är en av flera aktörer som arbetar inom området. Ett stort problem för dem är att övertyga beslutfattarna om att deras lösning är den bästa. De arbetar med att designa om infrastrukturen till att vara mer anpassad för elbilsfordon.

1.2 Mål

Målet var att konstruera en demobana som visar hur konceptet för induktivladdning fungerar.

1.3 Syfte

Projektets mål är att framställa en utvecklad demobana för induktionssladdning av fordon i drift. Fordonet som färdas på bana ska kommunicera med spolar som är fastmonterade i körbanan. Arbetet förväntas också att ge god grundläggande kunskap om hur komponenters funktionalitet verkar hos spolar, batterier, motorer, transistorer och likriktare.

Arbetet innehåller följande delavsnitt:

- Dagens alternativa laddningstekniker för elfordon.
- Relevant teori för induktionsladdning.
- Praktiska komponenter som tillämpas vid induktivenergiöverföring.
- Tester av de praktiska komponenterna.
- Konstruktion av demobana.

Arbetet är uppdelat i två examensarbeten, den här rapporten behandlar hårdvaran och om hur komponenterna fungerar teoretisk. Den andra rapporten är inriktad mot mjukvara, logik, och kommunikationen mellan spolar och fordon [2].

1.4 Avgränsningar

Avgränsningarna som definieras i början av projektet är till för att begränsa vissa aspekter som inte helt är nödvändiga att behandla i detta arbete. Dels för att projektets tidsplan ska vara realistisk att hålla samt att resultatet från projekt når en så hög kvalitet som möjligt, på den utsatta tiden.

Projektarbetet kommer enbart handla om att bygga en demobana. Följande delar kommer inte att beaktas eller utföras:

- Hur ett system i fullskala ska konstrueras.
- Lindade av spolar eller konstruktion av batteri.
- Konstruktion av fordonets driftkrets.
- Högsta hastighet som fordonet kan färdas med under laddning.
- System för att placera fordonet så att sekundärspolen upptar så mycket av magnetfältet som möjligt.
- Hälsoaspekter som hur magnetfält påverkar människor och djur, eller hur avskärmning ska installeras.

Valet av de komponenter som ingår i projektet är baserat på information från tester som utförts och litteraturkällor. Läsaren förväntas att ha tillräcklig med kunskaper inom elektronik-området och om elektromagnetiska fält.

1.5 Preciseringar av frågeställningar

Frågeställningar innan projektet påbörjades är följande:

- Hur ska magnetfält som skapas omkring spolarna hanteras på bästa sätt?
- Vilken typ av spolar och vilket avstånd mellan dessa skall användas i körbanan?
- Vilken typ av reläer ska användas i körbanan?
- Vilken verkningsgrad kan uppnås?
- Vilka typer av sensorer ska användas?
- Vilka komponenter ingår i primär- och sekundärkrets för ett energiöverföringssystem?

2 Tidplan

I detta delavsnitt presenteras arbetsplanen för projektet som är uppdelade i olika faser. Varje fas innefattar en detaljerad beskrivning över vad som ska utföras.

2.1 Arbetsplan

Arbetsplanen är uppdelad i följande faser:

- Fas 1. Söka och inhämta information från databaser på Chalmers tekniska högskola, litteraturer och från andra källor. Bearbeta och sammanställa informationen till relevanta texter.
- Fas 2. Undersöka och testa komponenter som används vid induktiv energiöverföring.
- Fas 3. Utföra tester på olika kombinationer av spoltyper som primär- och sekundärspole. Verkningsgraden på energiöverföringen vid varierande distans mellan primär- och sekundärspole skall studeras.
- Fas 4. Konstruera en demobana, samt testa om fordonet laddas och drivs som planerat.
- Fas 5. Integrera den utvecklade konstruktionen med andra projektgruppers arbeten.
- Fas 6. Avslutningsvis redovisa projektet för berörda personer och i samband med detta moment utförs en opponering.

3 Laddningstekniker

Avsnittet beskriver dagens olika laddningstekniker för att ge läsaren en uppfattning om hur långt utvecklingen har kommit inom detta område.

3.1 Induktionsladdning

3.1.1 BMW - garageladdning

BMW vill ta fram en standardmodell för induktiv laddning av elbilar. På garageuppfarten installeras en spole i marken, som fungerar som laddningsstation. Laddningen skall gå fort och föraren behöver inte tänka på att koppla in någon kabel till bilen. En effekt på 3,6 kW med en verkningsgrad över 90 procent har uppnåtts. En effekt på 7 kW ses som möjlig att uppnå inom en snar framtid. Laddningsstationen och bilen kommunicerar med varandra och guidar föraren så att primär- och sekundärspolen hamnar rakt över varandra, vilket ger högsta möjliga verkningsgrad på laddningen [3]. Ett batteri med storleken 50 kWh skulle ta ungefär:

$$\frac{50 \cdot 10^3}{7 \cdot 10^3 \cdot 0,9} \approx 8 \text{ h} \quad (1)$$

att ladda fullt med en effekt på 7 kW och en verkningsgrad på 90 %.

3.1.2 KTH - eRoad

Enligt konceptet eRoad skall vägarna elektrifieras, för att möjliggöra induktivt ladda av passerande fordon. På KTH finns flera olika forskningsgrupper som arbetar med konceptet och hur det på bästa sätt ska integreras i dagens infrastruktur.

Spolar placeras i asfalten tillsammans med tillhörande elektriska komponenter. Ett fungerande system finns redan idag konstruerat i labbmiljö, men problemen uppstår när konceptet skall tillämpas i praktiken.

Två forskare på KTH som arbetar med eRoad-konceptet är Nicole Kringos och Feng Chen. De undersöker hur asfalten ska vara konstruerad och hur elektroniken ska implementeras. Asfalten måste släppa igenom magnetfält utan större förluster och samtidigt isolera mot väderförhållanden. Ett annat viktigt krav är att vägen måste vara säker för både djur och människor eller andra fordon som inte är skyddade med skärm mot magnetfält.

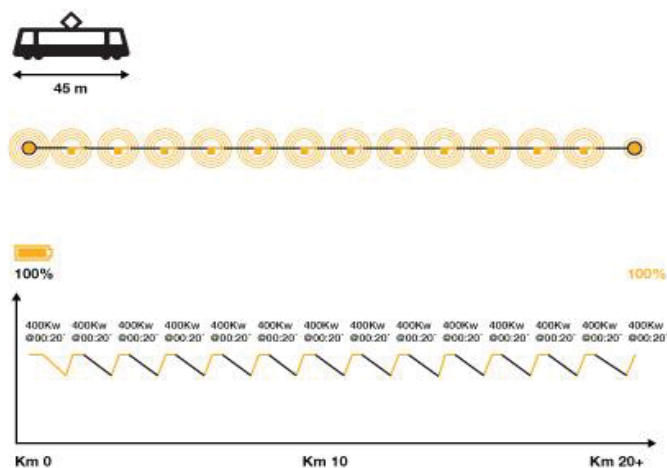
Asfalten skall vara billig och enkel att reparera vid slitage. Det måste även vara möjligt att reparera eller byta ut elektroniken till spolarna efter det att asfalten är lagd.

Forskarna tror att eRoad-konceptet kan integreras inom 5-6 år. Framtidens vägar kommer vara smarta och ge möjlighet till att ladda fordon. Vägarna kommer också att hjälpa fordon att kommunicera med varandra [4].

3.1.3 Bombardier - Primove

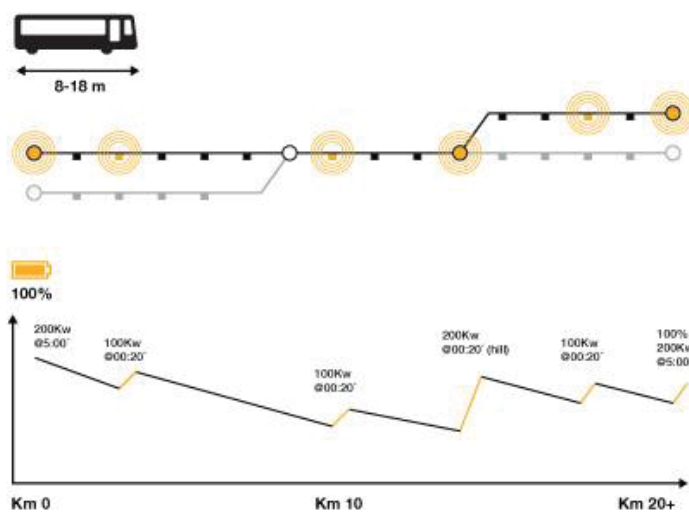
Projektet Primove bygger på att all stadstrafik integreras med trådlös laddning. En elledning monteras i vägbanan, ledningen ger upphov till ett magnetfält som induktivt laddar spårvagnar, lastbilar, bussar och personbilar [5]. Gamla luftledningar för konduktivladdning kan då monteras ner. Stadstrafikbullret kommer att minska och även luftföroreningarna. Projektet skulle leda till en estetiskt prydligare och miljömässigt renare stad [6].

I figur 1 nedan visas de laddningscykler som sker för en spårvagn. Varje gång när spårvagnen stannar vid en station laddas batteriet upp under den tid då passagerarna stiger på och av. På det sättet ligger laddningsnivån på en jämn nivå under hela färden.



Figur 1. Visar laddningscyklerna av en sträcka på 20 km. Från [7]. © Bombardier Inc.

Elektriska bussar laddas också vid hållplatserna, enligt figur 2:



Figur 2. Laddningscyklerna för en elektrisk buss under samma sträcka. Från [7]. © Bombardier Inc.

Fördelarna med att komponenterna ligger nergrävda i marken är att risken för förstörelse och stöld minskas. I vägen är spolarna isolerade mot väderförhållanden och även mänsklig kontakt. Flera etablerade Primove projekt har funnits ett antal år i olika tyska städer [7].

3.1.4 KAIST – OLEV

År 2010 tilldelades det koreanska lärosätet KAIST pris utav Times Magazine, för att ha utvecklat en av världens femtio främsta uppfinningar år 2010. Uppfinningen kallas för OLEV, en teknik för att induktivt ladda fordon, främst eldrivna bussar [9].

Tack vare SMFIR teknologin och OLEV-tekniken kan bussar laddas både vid stopp och under drift. Under fordonet sitter en enhet som tar upp största möjliga effekt från magnetfältet [9].

År 2010 fungerade OLEV-tekniken med en verkningsgrad upp till 72 % på ett avstånd av 17 cm mellan sekundär- och primärspolen [10].

Två bussar utrustade med OLEV-teknologin är tänkta att trafikera sträckan mellan Gumi Train Station och In-dong district i Sydkorea. Här kommer avståndet mellan sekundär- och primärspolen att vara ungefär 17 cm och den maximala verkningsgraden på energiöverföringen att vara 85 %.

För att göra vägen säker för både gångtrafikanter och andra konventionella fordon, finns det en kontroller installerad i vägen som aktiverar och inaktiverar spolarna. Kontrollern kan identifiera OLEV bussarna när de är rakt ovanför spolarna som då aktiveras. OLEV bussarna är skärmade mot magnetfält för att skydda passagerarna [11].

Kort efter det att sekundärspolen i fordonet passerar ovanför primärspolens varierande magnetfält, induceras en ström i sekundärspolen som driver fordonets motor. Eventuell överskottsenergi lagras i batterier. Färdas fordonet i en hög hastighet hinner inte mycket energi överföras från primär- till sekundärspolen, därför behöver längre sektioner i vägbanan vara försedda med primärspolar. Ungefär 10-15 % av den planerade körsträckan ska vara täckt med sektioner för att förse fordonet med tillräckligt mycket energi. Teoretiskt kan hela sträckan vara försedd med spolar, vilket skulle leda till att fordonet laddas kontinuerligt under färd. Det är fördelaktigt att placera sektionerna av primärspolar i uppförsbackar och under liknande förhållanden där hastigheten minskar naturligt [12].

3.2 Konduktivladdning

3.2.1 Elways – Elways Solution

Elways är ett svenskt företag som tar fram ett koncept för laddning av elfordon under färd. Sveriges stat har bidragit med pengar för att utvecklingen ska gå snabbare [13].

Elways startades av Gunnar Asplund, en tidigare anställd ingenjör på ABB som arbetat många år inom högspänningsbranschen [14]. Elways har undersökt flera olika laddningsmetoder,

bland annat induktivladdning. Enligt Asplund har induktivladdning högst potential bland alternativen [13].

Utvecklingen hos Elways sker på en testbana i Arlandastad, i samarbete med Energimyndigheten, KTH, NCC och Arlandastad Holding AB [15]. Den induktiva laddningen under färd sker genom att en justerbar arm från fordonet är i kontakt med en skena i vägen. Laddningen ska fungera för både personbilar och tunga lastbilar. Testbanan klarar att induktivt ladda med en effekt på 160 kW, vilket krävs för att driva en tung lastbil [16].

3.2.2 Siemens - eHighway

Siemens och Scania har tillsammans tagit fram konceptet eHighway, som bygger på traditionell järnvägsteknik. Luftledningar ska induktivt ladda fordon längs vägen [17].

eHighway är inriktat mot att ladda tunga fordon längs motorvägar. Luftledningar ska installeras efter vägen. Genom att ladda batteriet under färd, minskas problemet med räckvidden och den storleken på batteri som krävs. När fordonet kopplar ifrån luftledningarna drivs det på laddningen i batteriet eller med en hybridmotor [18].

På taket av fordonet finns en mekanisk rörlig arm som skapar kontakt med ledningarna ovanför, när batteriet behöver laddas. Armen är flexibel och fordonet behöver inte vara placerad precis under ledningen, utan kan röra sig i sidled utan att kontakten bryts. Tester har visat att tekniken dessutom kan klara av olika väderförhållanden med en maxhastighet på 90 km/h [19].

Redan i år finns det planer på att Sverige ska innehålla två demonstrationsanläggningar för att se hur tekniken klarar av ett kallare klimat [17].

3.3 Kontaktladdning

3.3.1 Tesla - Plug-in

Tesla Motors ligger i Nordamerika och är ett ledande företag inom elfordon. Tesla satsar mycket på att öka antalet laddningsstationer för elbilar. I början på 2015 hade de byggt 2000 stycken så kallade Superchargers. En Supercharger är en laddningsstation med en effekt upp till 120 kW. Tesla Motors siktar på att under 2015 dubblera antalet stationer, främst i Nordamerika, Europa och Asien [20].

Laddningsstationerna är strategiskt placerade nära städer och mellan högt trafikerade vägsträckor. Stationerna är utspridda på ett sådant sätt att batteriets räckvidd inte hindrar föraren från att färdas längre sträckor.

I en Teslabil finns en dator som reglerar vilken effekt batteriet ska laddas med. Är batteriet nästan tomt, laddas det med en hög effekt, som sedan minskar allteftersom batteriet fylls på. Detta förfarande ger en mer skonsam laddningsprocess för batteriet [21].

Elbilen Tesla S kan beställas med en batteristorlek på 85 kWh, vilket räcker till att köra bilen ungefär 425 km [22]. Med en Supercharger kan batteriet laddas nästan fullt på:

$$\frac{85 \cdot 10^3}{120 \cdot 10^3} \approx 43 \text{ minuter} \quad (2)$$

För att kunna tillverka fler elbilar behöver tillgången på batterier öka och priset minska. Därför har Tesla börjat bygga världens största batterifabrik ”Tesla Gigafactory” i Nevadaöknen. Tanken är att fabriken ska effektivisera tillverkningen utav batterier. Produktionen är planerad att starta år 2017, men fabriken kommer troligtvis att nå full produktion först vid 2020 [23].

4 Relevant teori för induktivladdning

I detta delavsnitt beskrivs teoretisk information om induktionsladdning av elektriska fordon och tillhörande komponenter som är relevanta för projektet.

4.1 Induktion och spolar

En spole eller även kallad induktor består av elektriskt tråd, vanligvis koppar lindad i en spiral. Själva lindningen förekommer oftast i två olika utföranden, antingen som fribärande (luftlindad induktor) eller med en kärna av ferrit.

Ström som leds i en elektriskledare ger upphov till ett magnetfält runt om ledaren. Placeras en elektriskledare i ett varierande magnetfält, induceras en ström i ledaren.

En primärspole kopplas in på en växelspanningskälla, vilket leder till att spolen alstrar ett varierande magnetfält runt omkring sig. Placeras en sekundärspole ovanför primärspoles varierande magnetfält, induceras en ström i sekundärspolen. Det är grundprincipen för att induktivt överföra energi [24]-[25].

Placeras en sekundärspole i ett eldrivet fordon som färdas ovanför primärspolar, induceras en ström i sekundärspolen som kan användas till att driva fordonets motor eller ladda dess batteri.

Läsaren hänvisas till bilaga 1 - grundläggande samband för mer fördjupad förklaring om magnetiskt fältteori.

4.2 Batterier

Batterier är till för att lagra energi i portabla moduler, som kan användas i till exempel elektriska tandborstar och elbilar. Det finns tre olika typer av batterier. De används för olika ändamål.

Den första typen som är det vanligaste batteriet kallas för brunstensbatteri, och består av primärceller. I sådan cell omvandlas den kemiska energin i batteriet till elektrisk energi. Brunstensbatteriet är en förbrukningsvara, vilket innebär att det inte kan laddas om. De används exempelvis för hushållsapparater [26].

En annan typ kallas för alkaliskt batteri och är uppbyggd av flera olika elektrolyter, vilket ger detta batteri längre livslängd än brunstensbatteriets. Alkalska batterier kan liksom

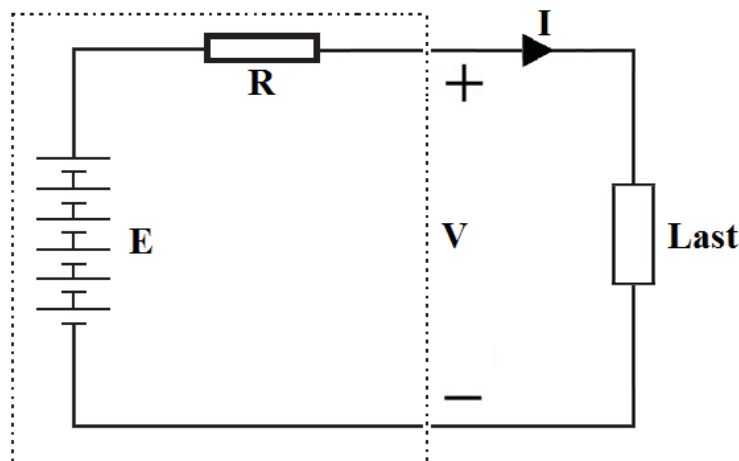
brunstensbatteriet ej återladdas. Portabla elektriska apparater som kameror och ficklampor använder batteritypen.

Den tredje batteri typen kallas för ackumulator och är uppbyggd av sekundärceller, vilket gör den laddningsbar [26]. Ackumulatören är en kemisk spänningskälla, som omvandlar en kemiskförening till en annan i en process som avger energi. När omvandlingen är färdig har ackumulatören laddat ur. Då går det att koppla ackumulatorns poler till en spänningskälla och ladda upp den igen. Den kemiska föreningen återgår då till stadiet före urladdningen.

Akkumulatörer passar bra för elbilar som förbrukar mycket energi och behöver laddas om. Cellerna kan kopplas i serie för att nå önskad spänning. På grund av den inre resistansen inuti batteriet är spänningen lägre i drift och högre vid laddning, se figur 3 [27].

Energidensiteten i dagens ackumulatörer är mindre än i dieselbränsle, vilket innebär att ett fordon med ackumulator behöver belastas med en större vikt för att ha samma energimängd som dieselbränslet. Verkningsgraden för en elmotor är ungefär 80-90 %, jämfört mot en förbränningsmotor som ofta har en verkningsgrad på 40 %. Energidensiteten för olika ackumulatörer varierar. Enligt Elways behöver ackumulatören väga ungefär 20 gånger så mycket som vad diesel skulle vägt för att åka samma sträcka [28].

Figur 3 visar illustrativt hur batteriets uppbyggnad ser ut. Nedan finns det 6 seriekopplade celler, där E anger batteriets värde och V är spänningen som alstras.



Figur 3. Modell över batteriet. Från [28].

Batteriers kapacitet uttrycks i Ah (amperetimme), antalet Ah som ett batteri innehåller kan räknas ut genom att mäta hur lång tid det tar att ladda ur batteriet samt storleken på strömmen under urladdningen. En annan viktig faktor är energidensiteten i batterier, alltså antal Wh/kg.

Det finns många olika sorters batterier, uppbyggda med olika material och strukturer. Ett batteri designas för vilken typ av behov som skall uppfyllas. Faktorer som avgör hur

batteriet ska konstrueras kan vara krav på energidensitet, självurladdning, laddning- och urladdnings hastighet, kostnad, livstid och vilket klimat som batteriet ska arbeta i.

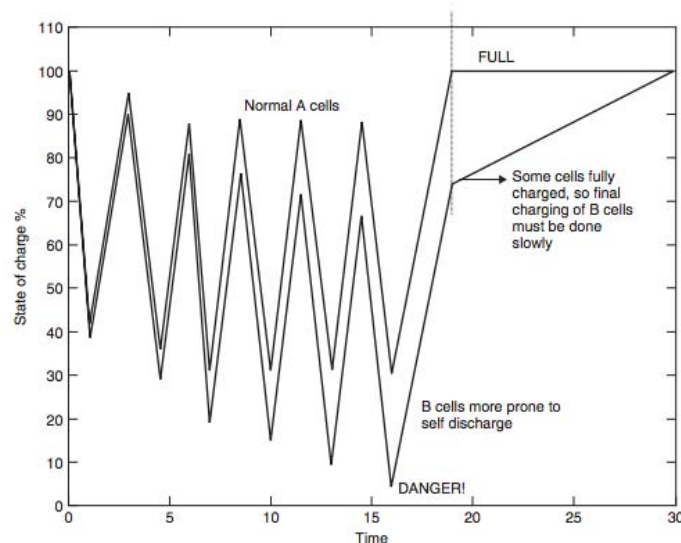
Överlag så fungerar batterier dåligt i kalla klimat och vid arbete i höga temperaturer. Arbete i höga temperaturer kan minska batteriets livslängd. Samtliga typer utav batterier har läckströmmar men vissa typer håller kvar energin bättre än andra [30].

4.2.2 Laddningsprocessen

För att undvika att batteriet skadas under laddningsproceduren, ska laddningen ske vid en viss ström- och spänningsnivå. Cellerna är seriekopplade i batteriet, vilket innebär att om en cell havererar går övriga celler ej heller att använda.

Ett annat problem är den stora mängd energi som går förlorad vid outnyttjade cellers fulla potential. Cellerna är tillverkade av olika leverantörer, vilket gör att temperaturen kan skilja sig åt från cell till cell. Detta resulterar i smärre självurladdningar i varje cell [31].

Dessa två problem kan undvikas genom att tillämpa ekvivalent laddning, vilket innebär att batteriet laddas till maximal kapacitet. Diagrammet nedan i figur 4 visar hur två olika celltyper laddas, den ena av sämre kvalitet och därmed mer sårbar. B-cellerna tar längre tid på sig för att nå full laddning, i jämfört med A-cellerna [27].



Figur 4. Ekvivalent laddning för två olika typer av celler. Från [28].

Ackumulatorer har längst livslängd om de laddas försiktigt i ett passande klimat. När ackumulatören är urladdad kan den till en början laddas med en högre effekt, men när den börjar bli laddad ska de sista procenten toppas av med en lägre ladd effekt. Detta leder till en skonsammare laddningsprocess. Det finns även batterityper som inte kan laddas under fryspunkt [31].

Antalet coulomb C är ett mått på hur fort en ackumulator kan laddas upp eller ur. Laddas en ackumulator på 1 Ah ur på en timma passerar 1 C laddning per sekund ur ackumulatören.

Skulle det ta två timmar för samma ackumulator att laddas ur, passerar 0,5 C per sekund ur ackumulatören [32].

Batteritillverkare rekommenderar att de flesta ackumulatörer ska arbeta inom intervallet 100-20 %. De sista 20 % av intervallet fungerar som reserv och skulle även de användas så kommer batteriets livslängd att minska. Spänningen över batterier sjunker när de nästan är urladdade. Det finns också ackumulatortyper som är konstruerade att arbeta i andra energihållningsintervall. Ett nytt elbilsbatteri rekommenderas att laddas upp till maximalt 80 % och laddas ur till minst 30 %. När ackumulatören blir äldre ökar bandbredden på intervallet som den kan som mest arbeta i utan att dess livslängd minskar [33].

4.3 Superkondensatorer

Kondensatorer är uppbyggda av två elektroder som är skilda från varandra genom en isolator. En kondensators kapacitans mäts i farad (F), normalt är kapacitansen i storleksordningen pico- (pF) eller microfarad (μF). När kondensatorer når kapacitansnivåer på hela F kallas de för superkondensatorer.

Till skillnad från batterier som lagrar energi i kemiska föreningar, så laddas energin statiskt i en vanlig kondensator. Skillnaden mellan ett batteri och en superkondensator är svårare att förklara, då också superkondensatorer kan lagra energin i kemiska föreningar.

Kopplas en spänning över en superkondensator laddas den upp. Superkondensatorn kan laddas med hög effekt när den är tom, innan laddningen är maximal ska de sista procenten toppas av med lägre effekt. Ett system för att begränsa startströmmen behöver konstrueras vid laddning för att inte kondensatorn ska ta skada. Spänningen över superkondensatorn blir ungefär 2,5–2,7 V vid full laddning. En högre spänning kan uppnås genom att koppla flera kondensatorer i serie. Superkondensatorer klarar många laddningscykler och höga strömstyrkor, på 10 år brukar kapaciteten minska med 20 %.

Spänningen minskar linjärt över en kondensator när den laddas ur, vilket kan vara negativt om kondensatorn ska driva en last som behöver en viss spänningsnivå.

Läckströmmar i en superkondensator är inte lika låga som i ett litiumbatteri. På 30-40 dagar har kondensatorn laddat ur 50 % av sin ursprungliga energi. Kostnaden per Wh som kan lagras i en superkondensator är också betydligt högre än i de vanligaste batterierna eftersom att de är dyrare att konstruera [34].

Om ett fordon ska drivas med enbart en superkondensator krävs stort utrymme för kondensatorn. Energidensiteten i kondensatorn är låg (mellan 1 – 30 Wh/kg) och mycket energi behövs för att fordonet ska få tillräckligt lång räckvidd.

En lösning kan vara att installera spolar i vägen för att induktivt ladda fordonet under färd. Spolarna ska vara jämnt fördelade i sektioner längs vägarna. Fordonets räckvidd måste vara tillräcklig för transport mellan sektionerna.

Forskare och folk inom industrin är hoppfulla inför utvecklingen av superkondensatorer. Den låga energidensiteten och kapaciteten förmodas kunna lösas inom överskådlig framtid. I

dagens teknik kompletterar batterierna och superkondensatorerna varandra i olika tillämpningar [35].

4.4. Kontrollenhet

I en elektrisk bil ska batteriet förse motorn med energi som i sin tur driver fordonet. Energidistributionen mellan batteri och motor regleras med en kontrollenhet, även kallad kontroller [36]. Enheten måste designas på ett så sätt som tar hänsyn till vägens underlag och topografi och skapar en behaglig körning under färd. En stor fördel med elektriskt drivna fordon jämfört med förbränningsfordon är att de styrs enklare och mer precist med hjälp av en kontroller [36]-[37].

För att uppnå önskad hastighet med fordonet, finns det sensorer som är återkopplade till kontrollern. Sensorerna känner av den nuvarande hastigheten. Fordonets acceleration ändras proportionellt med att strömmen från batteriet till motorn varierar. Från batteriet skickas små energipulser med PWM (Pulse Width Modulation) till motorn. Korta pulser ger låga hastigheter och långa pulser ger höga hastigheter. Föraren styr pulslängden genom att trycka olika hårt på gaspedalen för att uppnå önskad hastighet [37].

4.5 Elektriska oscillatorer

En elektrisk oscillator är en krets som matas med antingen lik- eller växelström och omvandlar inspänningen till någon form av periodiserad utspänning, oftast en fyrkants- eller sinusvåg.

Det finns många olika typer av elektriska oscillatorer, deras utsignal varierar beroende på hur oscillatoren är uppbyggd. Utsignalen har ofta en konstant amplitud och frekvensen kan variera mellan Hz till MHz.

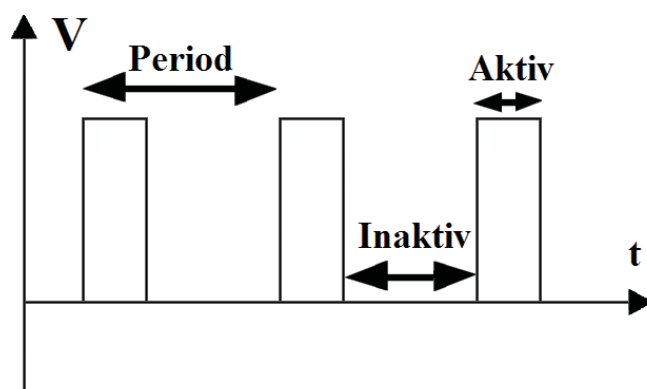
Oscillatorer med kristaller används vid högre frekvenser. Vid lägre frekvenser kan oscillatoren vara uppbyggda med en billig krets, bestående av en kombination utav kondensatorer, spolar och resistorer. Förstärkare kopplade med positiv feedback tillsammans med andra komponenter kan också användas som oscillator [38].

4.5.1 Fyrkantsoscillator

Fyrkantsoscillatorer används ofta till att reglera tidsintervall i digitala system. Oscillatorns frekvens sträcker sig mellan intervallet delar av Hz upp till flera GHz, beroende på hur kretsen är konstruerad [39]-[40].

PWM ställer in intervallet hur länge vågorna ska vara aktiva och inaktiva. Är förhållandet 1:1 betyder det att vågorna är aktiva lika länge som inaktiva. Rektangulära vågor räknas också som fyrkantsvågor.

Figur 5 illustrerar utsignalen från en fyrkantsoscillator.



Figur 5. Utsignalen förhållande 1:2.

Vid kontroll av den genererade fyrkantsvågen ska översläng och stigtid granskas. Har fyrkantsvågorna rundade hörn beror det troligtvis på att stigtiden är för långsam, vilket innebär att oscilatorn inte kan hantera högre frekvenser. Om utsignalen överskrider sitt målvärde beror det på översläng, vilket kan skapas genom att det finns induktanser i kretsen som förstärker höga frekvenser [39].

4.5.2 Fasskiftoscillator

Maximalt kan en RC-länk fasvrider 90° vid lägre frekvenser. Genom att koppla tre RC-länkar efter varandra erhålls en 180° fasvridning [38]. Denna koppling kallas för fasskiftoscillator. Uttrycket för frekvensen ges av uttrycket nedan:

$$f = \frac{1}{2\pi RC\sqrt{6}} \quad (3)$$

Återkoppling sker genom att utsignalen från förstärkaren återkopplas till förstärkarens minusingång. Återkopplingsfaktorn β är ett mått på hur stor del av utsignalen som återkopplas. För en fasskiftoscillator är återkopplingsfaktorn definierad till:

$$\beta = -\frac{1}{29} \quad (4)$$

Dämpningen kompenseras i återkopplingsnätet genom att använda sig av minst en 29 gångers förstärkning vid en inverterad förstärkarkoppling, enligt uttrycket:

$$R_{fb} = 29R \quad (5)$$

För att kompensera dämpningen i återkopplingsnätet, krävs minst en 29 gångers förstärkning vid en inverterad förstärkarkoppling. Förstärkningen gör att frekvensen kan bevaras [37].

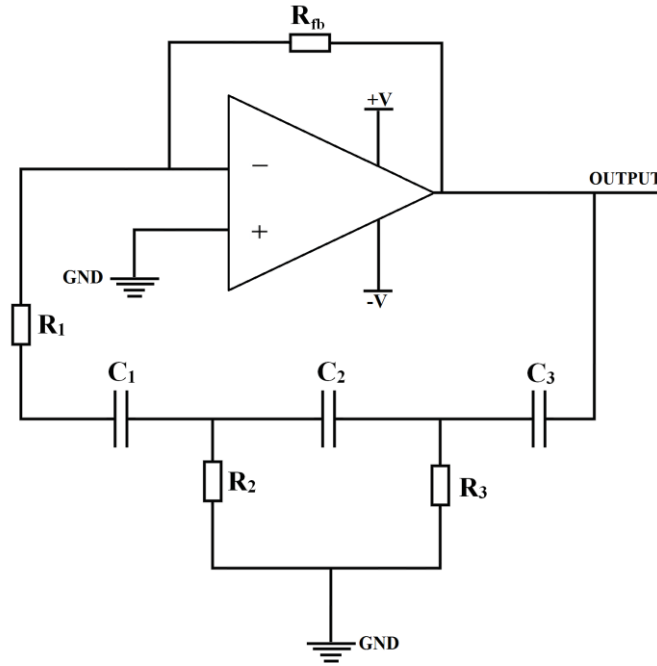
Önskas en varierad frekvens på utgången behöver komponenterna i RC-länkarna bytas ut samtidigt.

Antingen byts kondensatorerna eller resistorerna ut enligt följande:

$$C = C_1 = C_2 = C_3 \quad (6)$$

$$R = R_1 = R_2 = R_3 \quad (7)$$

Figur 6 illustrerar kopplingen av en fasskiftoscillator:



Figur 6. Kopplingschema för fasskiftoscillator.

4.5.3 Wienbryggoscillator

I en wienbryggoscillator är fasvridningen 0° då endast två resistorer och två kondensator används [38]. Dessa komponenter ska ha lika stort värde enligt följande bestämmelser:

$$C = C_1 = C_2 \quad (8)$$

$$R = R_1 = R_2 \quad (9)$$

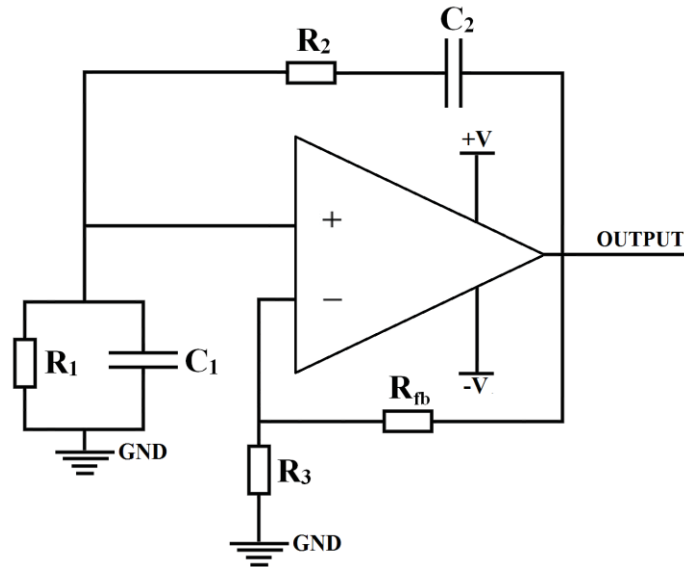
Detta resulterar i att återkopplingsfaktorn β är definierat som:

$$\beta = \frac{1}{3} \quad (10)$$

Dämpningen kompenseras i återkopplingsnätet genom att använda sig av minst en 3 gångers förstärkning vid en inverterad förstärkarkoppling [38]. Detta krav uppfylls med följande bestämmelser:

$$R_{fb} > 2R_3 \quad (11)$$

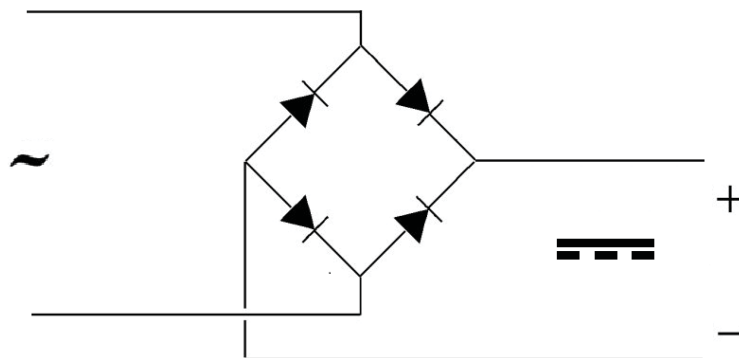
Wienbryggoscillatorn uppkoppling visas i figur 7 nedan:



Figur 7. Kopplingschema för Wienbryggoscillator.

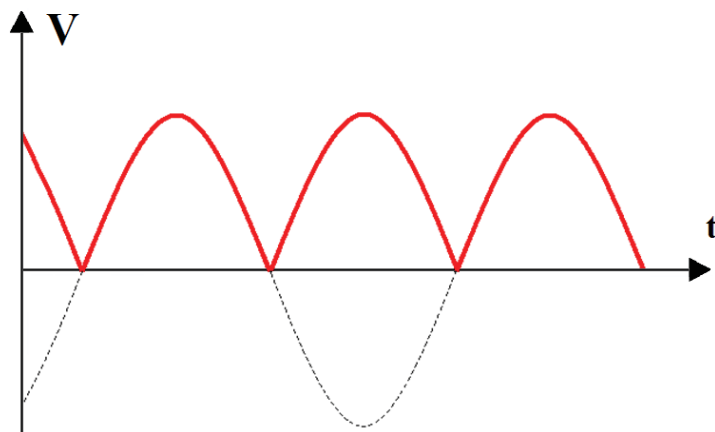
4.6 Likriktare

För att omvandla växelspanning till likspänning används en likriktare. Det finns flera olika modeller av likriktare. I grunden består de utav 4 dioder i diodbrygga, se figur 8, som passivt släpper igenom eller blockerar ström och en glättningskondensator som jämnar ut utspänningen.



Figur 8. Enfas likriktare.

Likriktaren har en sinusformad inspänning och placeringen av dioderna gör att utspänningen blir absolutbeloppet utav inspänningen se figur 9 [41].

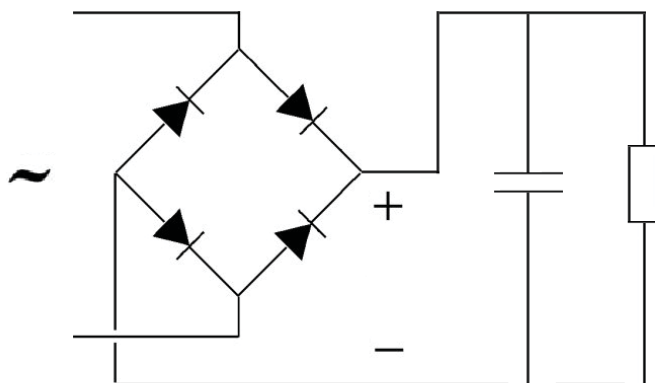


Figur 9. Likriktad utspänning.

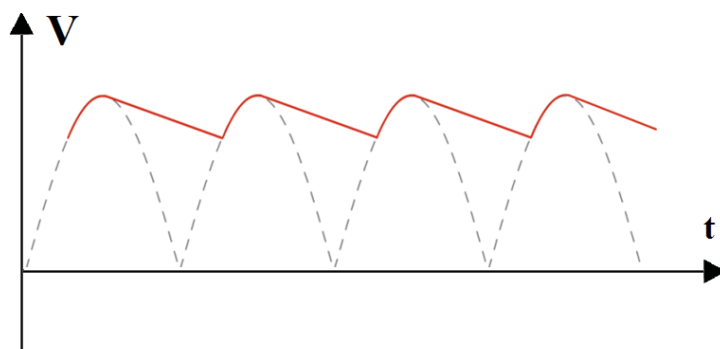
Utspänningen efter en likriktare innehåller en rest av växelspänningen, ett så kallat "rippel", vilket kan ses som en störning. Olika modeller av likriktare ger olika rippelnivåer på utspänningen. Spänningen är inte en vågrät likspänning utan den varierar med ett störande rippel, vilket illustreras i figur 41 i test-avsnittet.

Lasten som kopplas in efter en likriktare har olika tålighet mot rippel, därför behöver rippelnivån anpassas till vilken typ av last som kopplas in [42]. Anpassningen kan ske genom att välja lämplig diodbrygga tillsammans med en kondensator, som ger en utjämnad utspänning. Denna metod kallas för glättning, vilket också ger namnet glättningskondensator [38].

Se kopplingsschema för kretsen i figur 10 och den utjämnade utspänningen i figur 11.



Figur 10. Likriktare med kondensator.



Figur 11. Utjämnad utspänning. Röd kurva med kondensator, grå streckad kurva utan.

En kondensator med högre kapacitans kan lagra mer elektrisk laddning. Laddas kondensatorn upp mer, tar det längre tid för den att laddas ur vilket resulterar i mindre rippel i utspänningen. Frekvensen på inspänningen är också en faktor som påverkar utspänningen. Är frekvensen för hög, hinner inte kondensatorn ladda ur sig och utspänningen blir jämnare [43].

4.7 Motor

Elbilens motor finns i två utföranden, antingen som växel- eller likströmsmotor. Vanligaste är dock växelströmsmotorn som finns i två varianter, synkronmotor och asynkronmotor, och som förekommer antingen som enfas- eller trefasmotor [44].

Rotorn i synkronmotorn roterar i fas med statorns roterande magnetfält, medan det i asynkronmotorn finns en eftersläpning. Eftersläpning innebär att rotorns magnetfält roterar efter statorns magnetfält [45].

Till skillnad från ett konventionellt bränsle driven bil finns det ingen växellåda i en elbil beroende på att likström- och växelströmsmotorer har stort vridmoment från start, vilket gör växellådan överflödig [44].

Det finns olika metoder för att överföra kraften från motor till hjulen. En metod är att använda en motor som leder kraften via en differentialväxel till antingen fram- eller bakhjulen. Ett annat alternativ är att installera en motor i varje hjul, differentialväxeln blir då onödig och utrymme sparas [44].

4.8 Qi-standrad

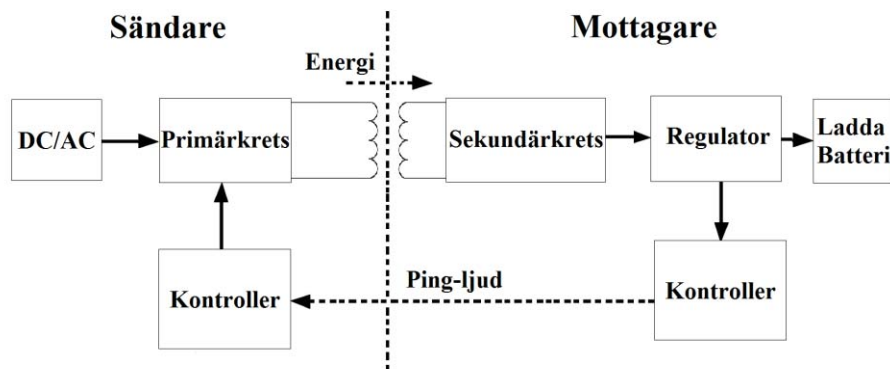
År 2008 grundades företaget WPC (Wireless Power Consortium) av internationella samarbeten, för att inrätta en standard för trådlösladdning av elektriska apparater. Resultatet av samarbetet blev Qi-standard. Distansen mellan primär- och sekundärspole ska vara ungefär 5 mm [46]. Standarden består av tre delsystem. Ett sändar- och ett mottagarsystem, samt ett kommunikationssystem.

I sändarsystemet alstras en energimängd i primärspolen, som ska överföras till mottagarsidan. När energin har överförts, inleds en dialog mellan sändar- och mottagarsystem om hur mycket

energi som behöver överföras till sekundärsidan. Sändarsystemet lyssnar och utför direktiven från mottagarsystemet. När batteriet blir fulladdat eller om mottagarsidan tas bort, övergår sändarsidan till ett viloläge [46]-[47].

Kommunikationssystemet överför information mellan sändare- och mottagarsystemen, med hjälp av ping-ljud. Ping är ett anropsverktyg för att undersöka om en dator är tillgänglig för kommunikation. Ett analogt ping ljud sänds från sändarsystemet och tas emot som ett digitalt ping-ljud i mottagarsystemet [46]-[47].

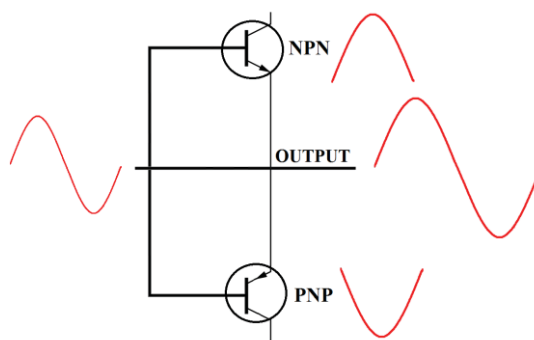
Det finns två metoder att stoppa energiöverföringen mellan primär- och sekundärkretsen. Antingen genom att skicka ett meddelande till sändarsidan med begäran om att laddningen ska upphöra, eller att kommunikationen från mottagarsidan varit inaktiv i en viss tid (1,25 s) [46]. I figur 12 nedan visas en principskiss över hur Qi-standardens fungerar.



Figur 12. Principskiss över Qi-standardens funktion.

4.9 Klass B Effektförstärkare

En effektförstärkare, även kallad push-pull förstärkare, används för att förstärka en vågs amplitud. I typen klass B är effektförstärkaren uppbyggd av två olika typer av transistorer, NPN respektive PNP. Transistorernas uppgift är att förstärka varsin halvperiod, vilket NPN förstärker positiva halvperioden och PNP den negativa halvperioden [38]. Signalen kommer att förstärkas växelvis, vilket innebär att den aktiva halvan kommer att förstärkas och den inaktiva vilar. Klass B effektförstärkaren används oftast vid att förstärka olika typer av ljudsignaler [48]-[49]. Illustration över förstärkaren visas i figur 13.



Figur 13. Klass B effektförstärkare.

5 Komponenter

Detta kapitel informerar om olika komponenter som används inom kapitlen test och konstruktion. Komponenterna undersöktes om de kunde ingå i energiöverföringssystemet avsnitt 6.7 eller konstruktion av demobanan kapitel 7. De typer av komponenter som undersökts är spolar, spänningsregulatorer, relä-och utvecklingskort, diod, förstärkare och transistorer. En del komponenter beställdes från marknaden medan andra fanns tillgängliga på institutionen. Läsaren kan hoppa direkt över till avsnitt 6 - test, och återgå till detta kapitel för att läsa mera om en viss komponent som används. Genomgående matas komponenterna med DC (likspänning), utom transistorer, diod och spolarna som använder AC (växelspänning). Spoltypen PW-WCG-01 matas med likspänning innan kontrollen.

5.1 Spole WT505090-20K2-A10-G

Spolen WT505090-20K2-A10-G har en induktans på $24\ \mu\text{H}$ och är en luftlindad 20 varvs induktor [50]. Spolens är 43 mm i diameter och har en höjd på 3,81 mm. Dimensionerna är lämpliga att placering under ett lågt fordon [51]. Spolen testades i avsnitt 6.4 för placering i vägbanan och bilen. WT505090-20K2-A10-G som primär- och sekundärspole överförde mest energi med högst verkningsgrad på 10 mm avstånd utav alla olika spolkombinationer. I avsnitt 6.7 användes spolen till energiöverföringssystemet.

Nedan i figur 14 visas en bild på spolen.



Figur 14. Spolen WT505090-20K2-A10-G.

5.2 Spole PW-WCG-0

Spolen förekommer i två utföranden, den ena spolen fungerar som en sändare och den andra fungerar som en mottagare. Kontrollenheterna som sitter innan primär- och sekundärspolen är integrerade i kretsar. Vad de innehåller är okänt, men förmodligen finns det en oscillator i kontrollenheten innan primärspolen och i kontrollenheten innan sekundärspolen en likriktare och någon form av spänningsregulator. Inspänningen till sändarspolen ska vara inom intervallet 5-12 V, där den maximala inspänningen är 13,5 V. Sändaren har en induktans på 30 μH . Spolarna överför energi trådlöst när distansen mellan dem är mellan 1-20 mm. Maximalt kan mottagaren utvinna 5 V och 600 mA på utgången, på ett avstånd av 1 mm. Spolens diameter är 38 mm med en höjd på 2 mm [52]. Spoltypen placerades i vägbanan och under bilen under test, se avsnitt 6.4. Spolen används som primär- och sekundärspole i demobanan, därför att energin som överfördes och verkningsgraden var bland de högsta för de olika spolkombinationerna. Det blir också billigare att beställa dessa då kontrollenheten som ska användas till primär- och sekundärkretsen ingår. I figur 15 visas spolarna, den till vänster är sändarspolen och den till höger är mottagarspolen.



Figur 15. Spolarna PW-WCG-01.

5.3 Spole WT1005690-12K2-A6-G

Spoltypen WT1005690-12K2-A6-G förekommer som 3 spolar placerade nära intill varandra på en bricka, lindade i ett lager. Spolen är tillverkad som en sändarspole, och har en induktans mellan 11,5- 12,5 μH . Spolpaketet har en dimension av en längd och bredd på 100 mm respektive 56 mm, samt med en höjd på 4,8 mm [53]. I avsnitt 6.4 undersöks spolen vid placering i vägbanan. Verkningsgraden på energiöverföringen var lägre än vid de andra spolkombinationerna, vilket resulterade i att WT1005690-12K2-A6-G uteslöts från konstruktion av demobanan och överföringssystemet. I figur 16 illustreras en bild över spolens utseende.

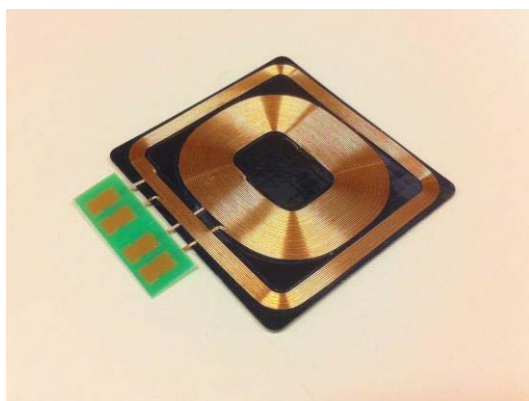


Figur 16. Spolen. WT1005690-12K2-A6-G.

5.4 Spole WR-444005-17M2-NF-G

Spolen WR-444005-17M2-NF-G är utförd som en dubbelspole. Det finns en yttre- och inre spole lindad 17 varv i ett lager på en bricka. Spolen har en induktans på 11,3 μH , och är tillverkad att fungera som en mottagarenhet. Spolen har en längd och bredd på 43,5 mm respektive 48,5 mm, samt med en höjd på 1,01 mm [54]. Spolen testades vid placering under fordonet, se avsnitt 6.4. Efter genomförd test uteslöts spolen från konstruktion av demobanan och överföringssystemet, därför att den inte fångade upp tillräckligt med effekt som mottagarenhet.

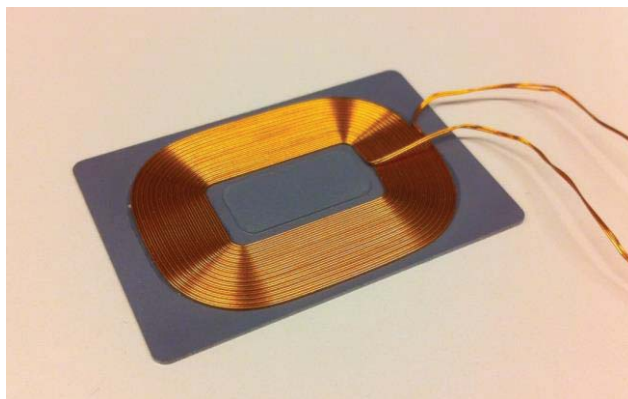
Figur 17 visar spoltypen.



Figur 17. Spolen WR-444005-17M2-NF-G.

5.5 Spole IWAS-4832FF-50

Spolen IWAS-4832FF-50 är en mottagarspole optimerad för 5 V som har en effekttålighet upp till 10 W. Spolen är monterad på en bricka med hög permeabilitet som fångar upp magnetfält. Dimensionerna är 1,05 mm hög och 48 mm lång, virad 15 varv i ett lager. Spolen har en induktans $9,7 \mu\text{H}$ [55]. I avsnitt 6.4 undersöktes spolen vid placering under fordonet. Efter genomförd test uteslöts spolen från konstruktion av demobanan och överföringssystemet, då IWAS-4832FF-50 inte fångade upp tillräckligt med effekt som mottagarenhet och förbrukade för hög effekt som primärspole. I figur 18 visas spolens utseende.



Figur 18. Spolen WR-444005-17M2-NF-G.

5.6 Spole WE-WPCC Wireless Power Charging Coil

Spolen WE-WPCC Wireless Power Charging Coil har en induktans på $10 \mu\text{H}$ och är lindad i ett lager på en bricka med hög permabilitet. Spolen är tillverkad att fungera som en mottagare, och är kompatibel för Qi-standard. Spolen har en längd och bredd på 37 mm respektive 37 mm, samt med en höjd på 1,8 mm [56]. Spoltypen undersöktes vid placering under bilen, se avsnitt 6.4. Efter avslutad test valdes spolen att inte ingå i konstruktion av demobana eller överföringssystemet, då WE-WPCC Wireless Power Charging Coil inte fångade upp tillräckligt med effekt. Figur 19 visar hur spoltypen.



Figur 19. Spolen WE-WPCC Wireless Power Charging Coil.

5.7 Reläkort Relay Module BK_RL8_01

En reläkrets kan öppna eller sluta en annan elektrisk krets. Reläet styrs med en låg styrsignal exempelvis från ett Arduinokort som Relay Module BK_RL8_01 är anpassat för [57].

Signalen passerar genom en optokopplare som skickar vidare signalen, för att stänga eller öppna en annan elektrisk krets [38].

Den andra elektriska kretsen kan ha både högre ström och spänning än Arduino systemet. Relay Module BK_RL8_01 kan styra spänningar upp till 250 VAC, 30 VDC På kortet finns det även en lysdiod för varje relä utgång som indikerar när reläet sluter eller stänger en krets [57]. Reläkortet testades i avsnitt 6.1 och kopplades ihop till ett styrsystem som hanterar matning till överföringssystemet. Reläet kunde slå om tillräckligt snabbt och styrs av ett Arduino kort.

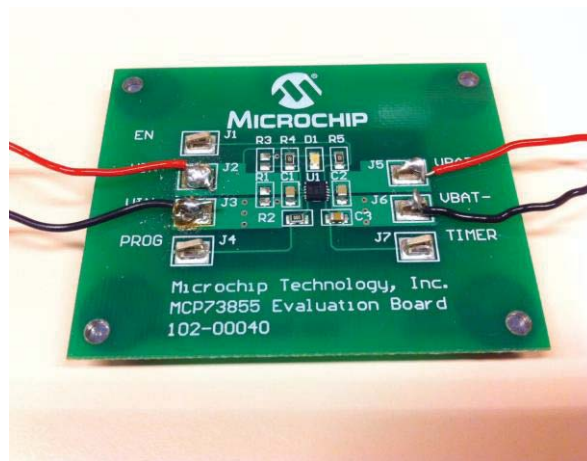
5.8 Spänningsregulator LM2596 med display

Baserad på sin föregångare är spänningsregulatorn LM2596 kompletterad med en display där både inspanning och utspänningen kan visas växelvis. Displayen består av tre stycken 7-segment-displayer. På regulatorn finns det anslutningspunkter för både in-och utspänning.

Kretskortet består av chipet LM2596, en induktor på 470 μH , en ingångs- och utgångs kondensator och en diod som indikera utspänning. Kortet är även utrustat med en potentiometer, som justerar utspänningsnivån mellan 1,23 - 37 V. Kretsen kan maximalt matas med 3 A [58]-[59]. En undersökning av spänningsregulatorn genomfördes i avsnitt 6.6. Regulatorn behövde inte implementeras i överföringssystemet i avsnitt 6.7, eftersom en för låg effekt överfördes.

5.9 Spänningsregulator MCP738555

MCP738555, tillverkad av Microchip Technology, är en programmerbar spänningsregulator. Designad för att ladda olika typer av elektriska apparater, exempelvis kameror, MP3 spelare, telefoner och USB-laddare. Kortet är utrustat med två dioder. En diod indikerar med grönt ljus att laddningsprocessen genomförs korrekt, och den andra lyser med rött ljus för felaktig utmatning. Regulatorn matas med spänningsnivå mellan 4,5 och 5 V, och kan inställas på två olika utspänningsnivåer, 4,1 eller 4,2 V [60]. Inget test genomfördes av spänningsregulatorn för att den inte blev korrekt programmerad. Därmed valdes regulatorn att inte ingå i överföringssystemet. Microchipet kan ses nedan i figur 20.



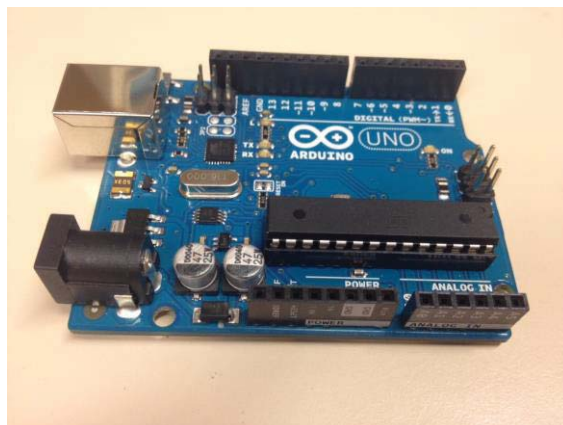
Figur 20. Microchipet MCP738555.

5.10 Diod 1N5817

Dioden 1N5817, även kallad Schottkydiod, har en framspänning på 450 mV vid 1 A, och 750 mV vid 3 A. I genomsnitt matar dioden ut en likriktad ström på 1 A. Dioden har en backspänning maximalt på 20 V, och kan arbeta i höga frekvenser [61]-[62]. I avsnitt 6.5 testades en diodbrygga med 1N5817. Efter avslutad test valdes dioden att ingå i överföringssystemet, då den klarar av att likrikta en växelspanning med tillräckligt hög frekvens.

5.11 Mikrokontrollerkort Arduino Uno

På utvecklingskortet Arduino Uno sitter en mikrokontroller av typen ATmega328 monterad, tillverkad av företaget Atmel. I denna mikrokontroll används det C-likande programmeringsspråket Arduino software, som tillämpas för att programmera kretsens logik. Överföring av programkod och matningsspänning sker via en USB-kabel kopplat till en dator. Koden skrivs och verifieras i utvecklingsmiljön Arduino 1.0.5. Kretsens hårdvara har 14 digitala ingångar och utgångar, varav 6 styckena är PWM-utgångar, 6 analoga ingångar samt en keramisk resonator. [63]. Utvecklingskortet testades i avsnitt 6.1 och kopplades ihop till ett styrsystem som hanterar matning till överföringssystemet. Kortet visas i figur 21.



Figur 21. Arduino Uno kortet.

5.12 Operationsförstärkare LM741

Operationsförstärkaren LM741 är inte konstruerad för något specifikt ändamål, utan kan användas inom flera områden. Kretsen har en bandbredd på 1 MHz med en slew-rate av $0,5 \text{ V}/\mu\text{s}$. Förstärkaren försörjs med matningsspänning inom intervallet $\pm 22 \text{ V}$. Inspänningen ska ligga på spänningsnivån $\pm 15 \text{ V}$ [64]. Förstärkaren kopplades upp som en fasskiftoscillator, se delavsnitt 6.2.2. Efter avslutad test valdes förstärkaren att inte ingå i överföringssystemet för att ingen oscillator med önskad frekvens på utspänningen blev konstruerad.

5.13 Operationsförstärkare LM318

Operationsförstärkaren LM318 är byggd för att användas som A/D omvandlare, filter, förstärkare och oscillatorer för lika ändamål. Kretsen har en bandbredd på 15 MHz med en slew-rate av $50 \text{ V}/\mu\text{s}$. Förstärkaren försörjs med matningsspänning inom intervallet $\pm 5 \text{ V}$ till $\pm 20 \text{ V}$. Inspänningen ska ligga på spänningsnivån $\pm 15 \text{ V}$ [65]. I delavsnitt 6.2.3 testades förstärkaren att ingå i en fasskiftoscillator. En oscillator som hade utspänningsfrekvens inom önskat intervall blev konstruerad med LM318 och användes i överföringssystemet.

5.14 Operationsförstärkare LM324D

Kretsen LM324D innehåller fyra operationsförstärkare, den matas ofta mellan Vcc och jord. Kretsen har en bandbredd på 1,2 MHz med en slew-rate av 0,5 V/ μ s. Kretsen ska ha matningsspänningen mellan 3 och 32 V, när det är mellan Vcc och jord. Vid dubbel matning ska intervallet vara mellan $\pm 1,5$ och ± 16 V. Inspänningen är upp till maximal matningsspänning [66]. Oscillatorer uppbyggda med LM324D kopplades upp, men ingen av kretsarna genererade någon utspänning. Därmed användes inte förstärkaren i överföringssystemet.

5.15 Integrerad krets NE555P

Kretsen NE555 kan tillämpas för två olika utföranden. Antingen kan förstärkaren opereras som en timer krets, för att skapa tidsfördröjningar, eller som en oscillator. Används PWM kan en sinusvåg framställas på kretsens utgång. En matningsspänning inom intervallet 4,5 V till 16 V, och jord kopplas till två av kretsens ben [67]. Kretsen har frekvensegenskaper att arbeta mer än 500 kHz [68]. En fyrkants oscillator konstruerades med kretsen, se delavsnitt 6.2.1. kretsen konstruerade enbart som övning för hur oscillatorer fungerar och kretsen användes inte till överföringssystemet.

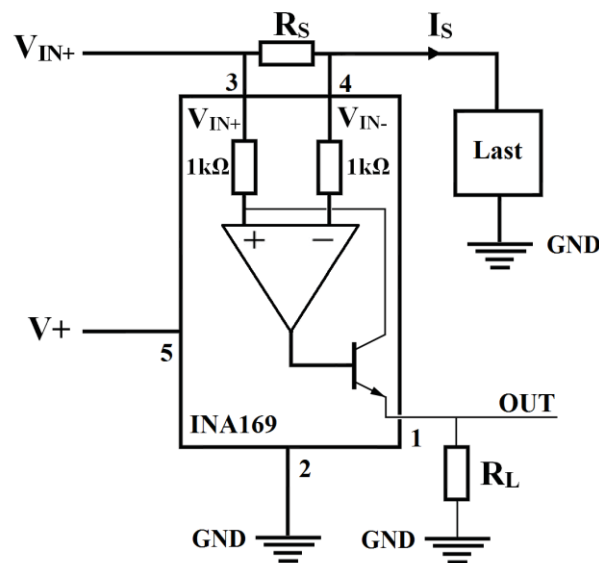
5.16 Signalgeneratormodul AD9850

Kretsmodulen AD9850 kan skapa både sinus-och fyrkantsvågor med höga frekvenser. Amplituden på utsignalen justeras med en vridratt. I modulen finns en 125 MHz klockoscillator vid ingången, som kan programmeras till önskad frekvens inom intervallet 0-40 MHz på utgången. Kretsen har en matningsspänning på 3,3 eller 5 V [69]. Inget test hann genomföras på grund av att modulen inte levererades i tid. Därmed är komponenten ej med i överföringssystemet.

5.17 Strömsensor INA169

Sensorn INA169 känner av hur mycket ström som förbrukas, genom att mäta spänningsfallet över en shuntresistor R_S . Ett externt motstånd R_L finns för att konvertera strömmen till en spänning på utgången av sensorn. Värdet på resistorerna varierar beroende på vilket strömintervall som ska uppmätas. Kretsen har en tomgångsström $60\ \mu\text{A}$ samt att den förses med en matningsspänning mellan 2,7 till 60 V. Väljs R_S till $0,1\ \Omega$ mäter sensorn ett strömintervall på 350 mA – 3,5 A [70]. Sensorn testades i avsnitt 6.1 och kopplades ihop till ett styrsystem som hanterar matning till överföringssystemet.

En schematisk illustration visas i figur 22 nedan:



Figur 22. Schematisk illustration av sensorn INA169.

5.18 Transistor BC337

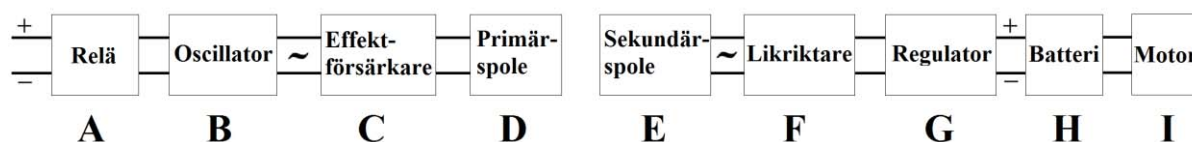
Genom BC337 transistorn passerar kollektorström 800 mA. Över kollektor och emitter är spänningen maximalt 45 V. Mellan kollektor och bas är maximala spänningen 50 V, och vid emitter och bas är spänningen max 5 V [71]. Transistorn är uppbyggd som NPN, som gör att den klarar av att hantera högre frekvenser än PNP [38]. En effektförstärkare konstruerades till överföringssystemet som innehöll en BC337 transistor, se avsnitt 6.7. Transistorn valdes ut eftersom den kunde arbeta i önskat frekvensområde.

5.19 Transistor BC327

Transistorn BC327 har en kollektorström -800 mA. Maximala spänningen mellan kollektor och emitter är -45 V. Över kollektor och bas är spänningen -50 V maximalt, och vid emitter och bas är spänningen max -5 V [72]. BC327 är av typen PNP, som resulterar till att både laddningsbärare och spänningars polaritet inverteras [38]. En effektförstärkare konstruerades till överföringssystemet som innehöll en BC327 transistor, se avsnitt 6.7. Transistorn valdes ut eftersom den kunde arbeta i önskat frekvensområde samt kompletterar NPN transistorn BC337.

6 Tester

Systemet som ska överföra energi mellan demobanan och fordonet är planerad att konstrueras enligt blockschemat i figur 23. Systemet konstrueras för att ge en bakgrund till hur ett sådant system fungerar.



Figur 23. Blockschema över systemet.

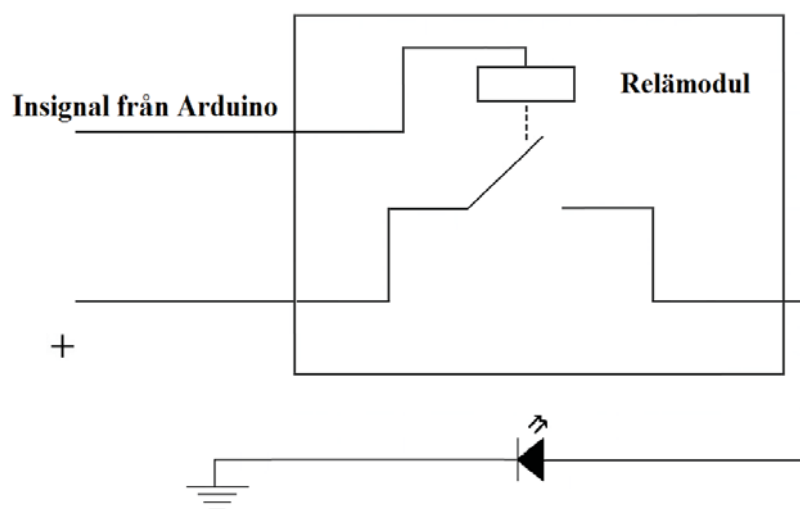
De olika komponenterna i systemet testas individuellt och tillsammans. Målsättningen är att energioverföringen skall vara så hög som möjligt.

6.1 Relä- och Arduino kort

För att kunna aktivera och inaktivera primärspolarna som är placerade i vägbanan, används reläkortet BK RL801 och utvecklingskortet Arduino Uno. Se A i figur 23 för placering av relä och kapitel 5.7 för information om relämodul.

Arduino kortet skickar en signal som inaktiverar eller aktiverar reläkortet, som i sin tur styr matningen av primärkretsen. Signalen är beroende av fordonets position på vägbanan. När fordonet närmar sig en primärspole i vägbanan ska spolen aktiveras, samtidigt som spolen fordonet passerat skall inaktiveras.

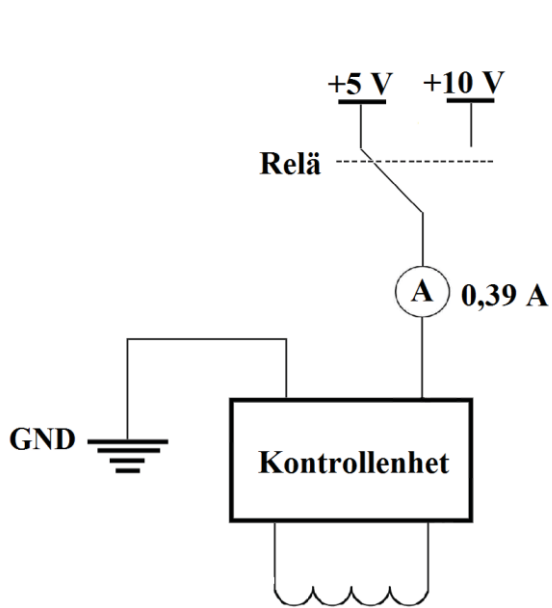
Ett test utfördes där en lysdiod kopplades till reläkortet, Arduino kortet programmerades till att skicka ut signaler för att tända och släcka en lysdiod med jämna intervall, se figur 24 för en principskiss över relämodulens funktionalitet samt bilaga 2 - programkod för tillhörande mjukvara.



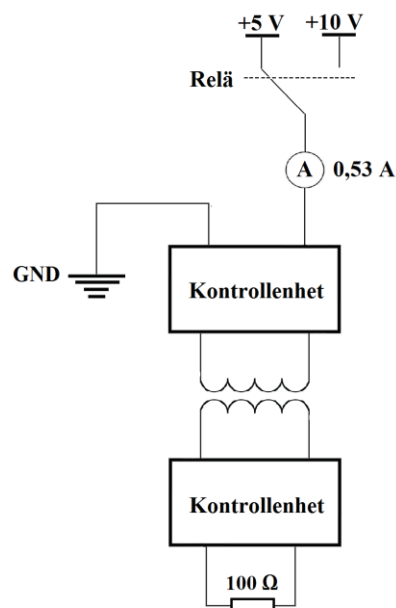
Figur 24. Principskiss över relämodulens funktionalitet.

Primärkretsen i demobanan ska använda så lite effekt som möjligt när det inte finns något fordon som behöver laddas ovanför. Primärkretsen befinner sig i ett default läge och använder då en liten effekt. När ett fordon med sekundärkrets passerar ovanför börjar primärkretsen dra mer ström, eftersom att induktansen minskas. Ett relä användes till att slå om från default- till aktivt läge, när kretsen började dra mer ström. En resistor på $100\ \Omega$ kopplades in som last i sekundärkretsen.

Hur mätningen utfördes kan ses nedan, figur 25 illustrerar default läge utan sekundärkrets samt figur 26 illustrerar default läge med sekundärkrets.



Figur 25. Default läge.

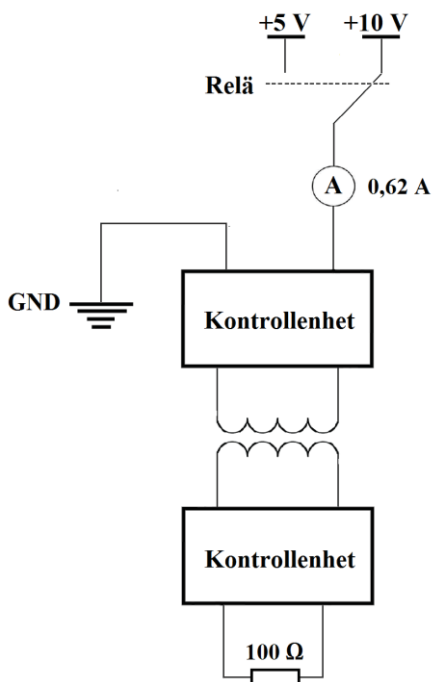


Figur 26. Default läge med sekundärspole.

De två olika lägena resulterade till följande:

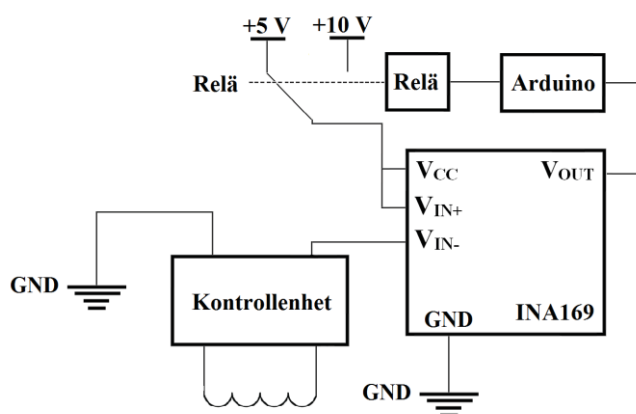
- Ström utan sekundärspole: 0,39 A
- Ström med sekundärspole: 0,53 A

En knapp trycktes manuellt ner när strömskillnaden uppmättes. Reläet slog om till aktivt läge. Primärkretsen förbrukar nu en ström på 0,62 A. Figur 27 illustrerar kretsen i aktivt läge.



Figur 27. Aktivt läge 10 V.

Strömsensorn INA169 mäter strömvariationen som primärkretsen förbrukar. Sensorn skickar en analog-signal till Ardurinokortet, signalen innehåller information om strömnivån. Är nivån ”hög” skickar kortet en signal till ett relä som ställer kretsen i aktivt läge. Kretsen kopplades upp enligt figur 28. Se kapitel 5.17 för beskrivning av sensorn.



Figur 28. Strömsensor för relästyrning.

Hårdvaran kopplades upp men ingen programkod skrevs för att hantera den analoga utsignalen från strömsensorn till Arduino kortet. I examensarbetet, *Mätning av elförbrukning i ett trådlöst effektöverföringssystem*, av Dima Kovalenko & Kristoffer Johnsson finns exempelkod som styr reläerna med ett likande system utav strömsensor, relä och Ardiuno kort.

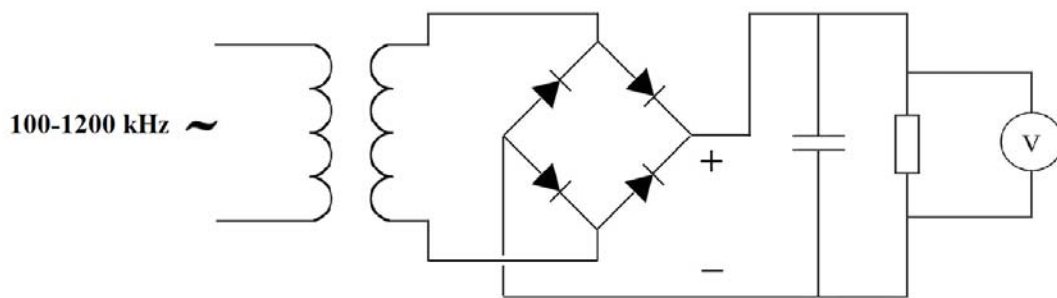
6.2 Frekvensområde

För att bestämma vilken frekvens som matningsspänningen ska ha, för att uppnå största möjliga verkningsgrad i energiöverföringen mellan primärspolarna och sekundärspolen, utfördes följande steg:

- Primärspolen, typen WT505090-20K2-A010-G, kopplades till funktionsgeneratoren, med vilken det går att justera olika typer av matningsspänningar.
- Sekundärspolen är av samma typ som primärspolen. Bakom sekundärspolen kopplas likriktaren.
- En resistor på 100 Ω kopplas parallellt med likriktaren.
- Spänning mäts över resistorn för olika frekvenser på inspanningen till primärspolen.

Se D och E i figur 23 för spolarnas placering i systemet.

Figur 29 nedan illustrerar hur mätningen utfördes och hur kretsen ser ut. För mer information om spoltypen, se kapitel 5.1.



Figur 29. Schema för mätning av frekvensområde.

Spänningen mäts över resistorn med en multimeter (ITT Instrumentens MX20). En högre spänning över resistorn innebär att mer energi har överförts mellan primär- och sekundärkretsen, enligt ekvation (12) nedan:

$$P_R = \frac{U^2}{R} \quad (12)$$

I tabell 3 i bilaga 4 - mätdata visas uppmätt data från undersökningen, inspanningens amplitud var konstant. Spolarna har högst verkningsgrad på energiöverföringen när systemets matades med en frekvens på 700 kHz, enligt tabellen.

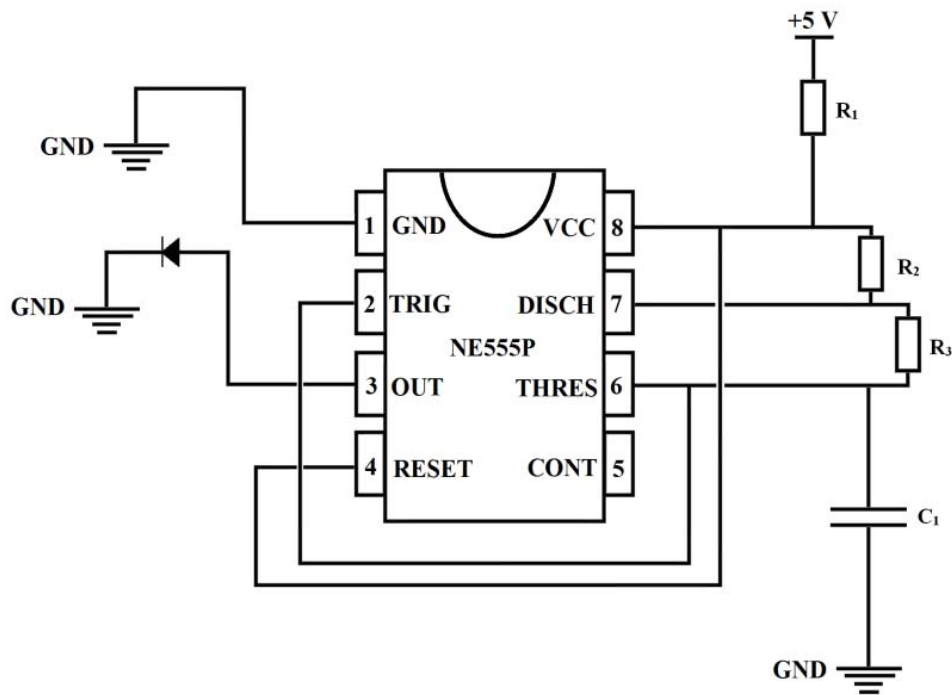
6.3 Oscillatorer

Demobanan som fordonet induktionsladdas på, matas med en likspänning. För att med primär och sekundärspole kunna överföra energi behöver likspänningen omvandlas till växelspanning med högre frekvens.

Flera typer av oscillatorer konstruerades för att ta fram en oscillatortyp som genererade en utsignal inom det önskade frekvensområdet 700 kHz, se avsnitt 6.2. Oscillatorn omvandlar en likspänning till växelspanning. Se B i figur 23 för oscillatorns placering.

6.3.1 Fyrkantsvågs oscillator med NE555P

Oscillatorn byggdes upp med en NE555P krets, den konstruerades enligt figur 30. Se kapitel 5.15 för information om NE555P.



Figur 30. Kopplingsschema för en fyrkantssoscillator med en NE555P krets.

Utspanningen är en fyrkantsvåg. Frekvensen kan varieras beroende på vilka komponenter som används i kretsen, enligt formel (13):

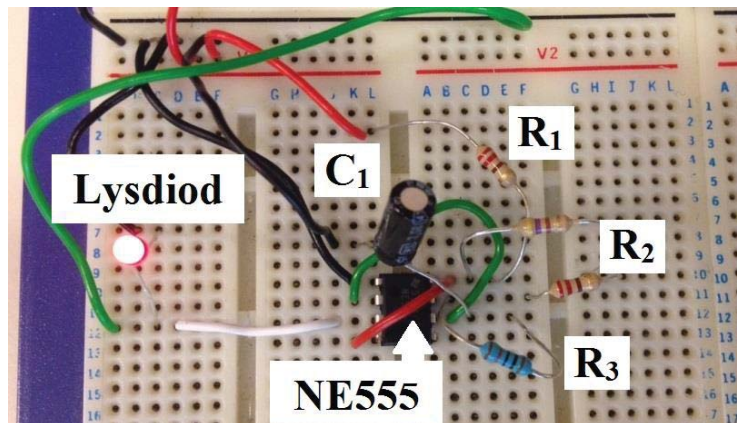
$$f = \frac{1,44}{(R_2 + R_3 + R_3) \cdot C_1} \quad (13)$$

Den verkliga uppkopplingen visas i figur 31, komponenterna valdes till följande:

$$R_1 = 200 \, \Omega, R_2 = 670 \, \Omega, R_3 = 10 \, k\Omega, C_1 = 22 \, \mu F.$$

Enligt ekvation (14) beräknas frekvensen vara runt 3,24 Hz.

$$f = \frac{1,44}{(670 + 10 \cdot 10^3 + 10 \cdot 10^3) \cdot 22 \cdot 10^{-6}} \approx 3,24 \, Hz \quad (14)$$

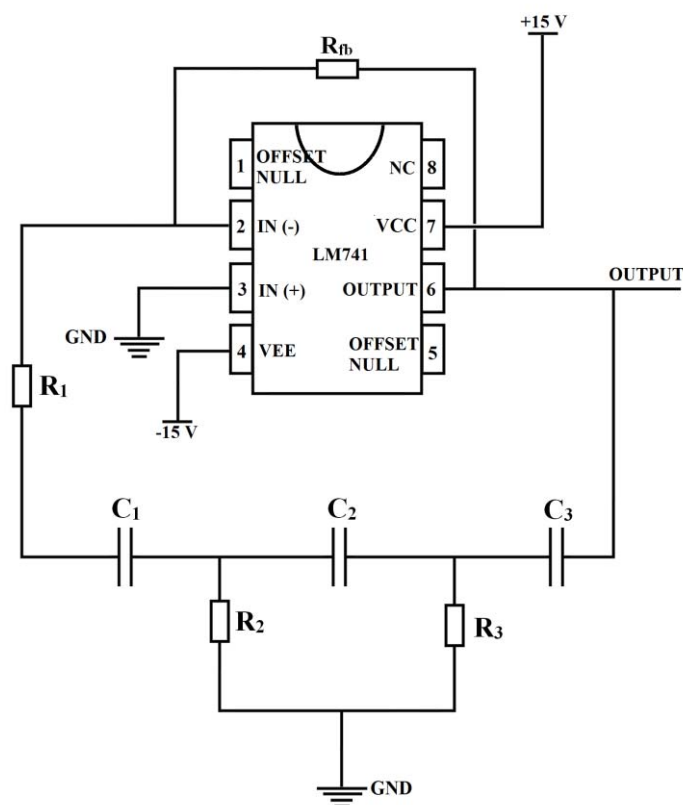


Figur 31. Oscillator med NE555P och lysdiod.

Iakttagelse, lysdioden blinkade med en frekvens runt 3 Hz.

6.3.2 Fasskiftoscillatorn med LM741

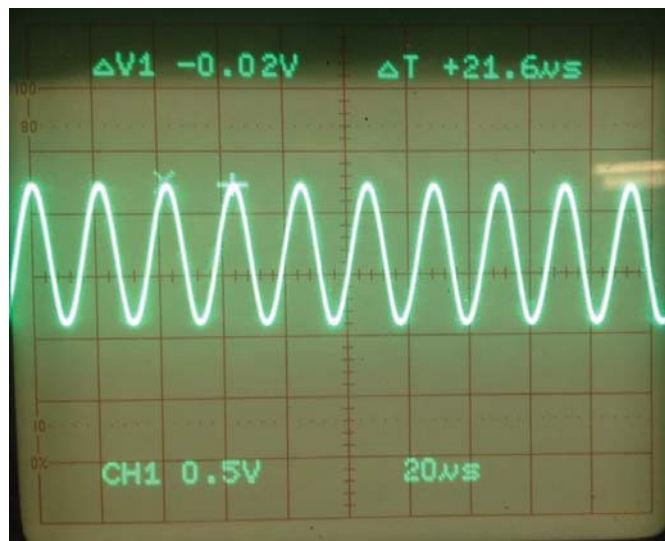
En fasskiftoscillator konstruerades med hjälp av en LM741 förstärkare, se figur 32. Se kapitel 5.12 för information om LM741.



Figur 32. Kopplingsschema för en fasskiftoscillator med en LM741 krets.

Utspänningen är sinusformad och dess frekvens kan också variera beroende på vilka komponenter som används i kretsen. Se tabell 1 i bilaga 4 - mätdata för uppmätt frekvens med olika kombinationer utav komponenter.

Utspänningen från oscillatoren blev maximalt 46,3 kHz och visas i figur 33 nedan.



Figur 33. Utsignal med 46,3 kHz oscillation.

Tidigare nämnda ekvation (3) används för en sinusoscillator när: $R_1 = R_2 = R_3 = R$, $C_1 = C_2 = C_3$, $R_{fb} = 29 \cdot R$

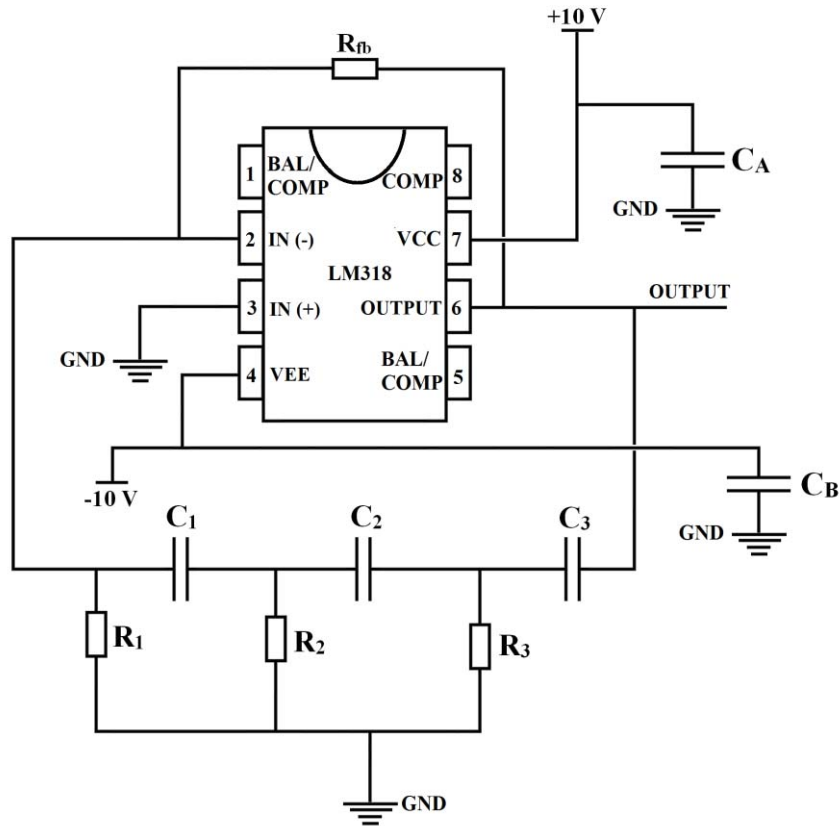
Med $R_1 = R_2 = R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ och $C_1 = C_2 = C_3 = 1 \text{ nF}$ blir frekvensen teoretiskt:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot \sqrt{6}} \approx 65 \text{ kHz} \quad (15)$$

Skillnaden är 71 % mellan det uppmätta värdet 46,3 kHz och ett teoretiskt beräknat värde 65 kHz, för samma kombination av komponenter.

6.3.3 Fasskiftoscillatoren med LM318

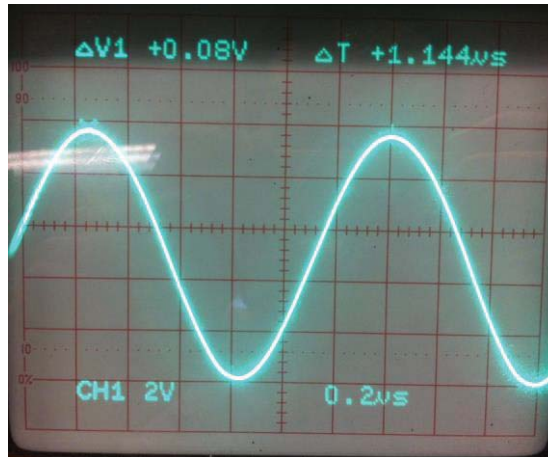
Kopplingen för oscillatoren ses i figur 34. För att minska de självsvängningar som uppstår på grund av kretsens instabilitet, kopplades en avkopplingskondensator, C_A och C_B , till jord för båda matningsspänningarna. Se kapitel 5.13 för information om LM318.



Figur 34. Schematisk bild över fasskiftoscillatoren med LM318.

I tabell 2 i bilaga 4 - mätdata presenterar uppmätt frekvens med olika kombinationer av komponent värden. Enligt ekvation (5) ska R_{fb} vara 29 gånger så stor som $R = R_1 = R_2 = R_3$. När oscillatoren genererade en utspänning med 874 kHz var $R_{fb} = 10\text{ k}\Omega$ och $R = 470\ \Omega \rightarrow R_{fb} \approx 21 \cdot R$, vilket innebär att det oscillerade trots att dämpningen på feedbacksignalen var mindre än 29 gånger.

Figur 35 visar växelspänningen med frekvens på 874 kHz, vilket var den närmsta frekvensen till 700 kHz som konstruerades. Därför användes 874 kHz oscillatorn till energiöverföringssystemet.



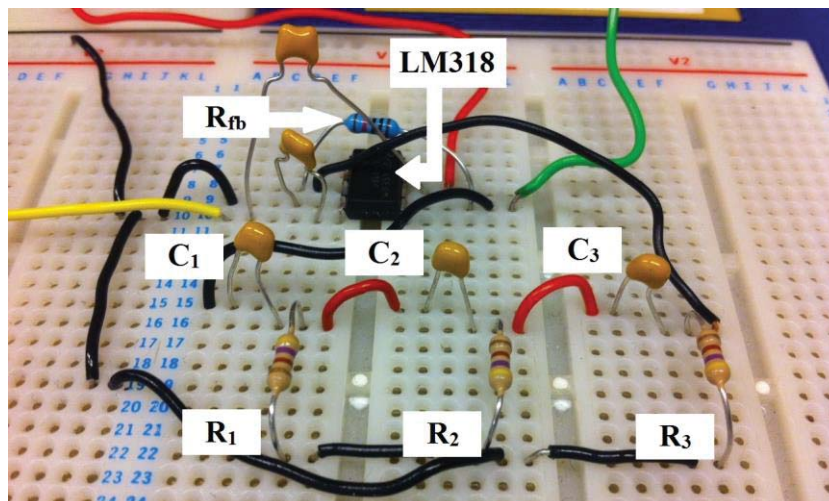
Figur 35. Utsignal med 874 kHz oscillation.

Teoretiskt ska kombinationen av $R_1 = R_2 = R_3 = 470 \, \Omega$ och $C_1 = C_2 = C_3 = 100 \, pF$, ger följande frekvens:

$$f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 470 \cdot 100 \cdot 10^{-12} \cdot \sqrt{6}} \approx 1,38 \, MHz \quad (16)$$

Skillnaden är 63 % mellan det uppmätta värdet 874 kHz och ett teoretiskt beräknat värde 1,38 MHz, för samma kombination av komponenter.

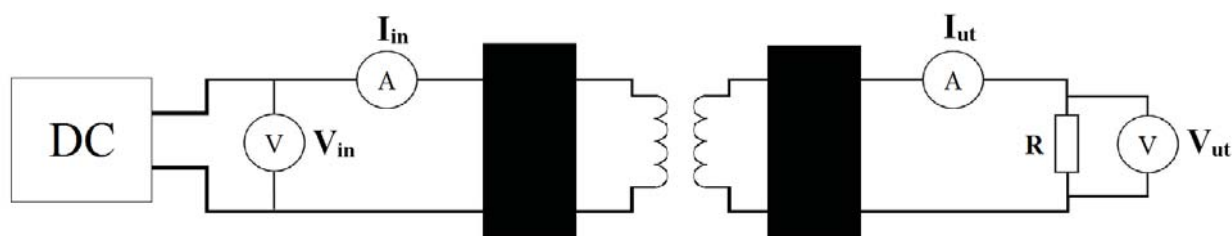
Den verkliga kopplingen för fasskiftoscillatorn visas i figur 36 nedan.



Figur 36. Förstärkaren LM318 kopplad som en fasskiftoscillator.

6.4 Verkningsgrad av spolar

I testet undersöktes verkningsgraden på energiöverföringen mellan spolarna för olika luftgap och matningsspänningar. Spoltypen PW-WCG-01 användes i uppkopplingen. Figur 37 illustrerar hur mätningen genomfördes. En resistor R på $100\ \Omega$ kopplades in som last på sekundärsidan. De svarta ramarna är kontrollenheter för spolarna. Se kapitel 5.1- 5.6 för beskrivning av spoltyperna.



Figur 37. Illustrerar utförd mätning av verkningsgrad.

Kretsarna för kontrollenheterna behölls medan spolarna byttes ut, i bilaga 4 - mätdata redovisas uppmätt data för olika primär- och sekundärspolar på följande sätt:

- Tabell 4, PW-WCG-01 primär och sekundär.
- Tabell 5, WT505090-20K2-A10-G primär och sekundär.
- Tabell 6, PW-WCG-01 primär och WT505090-20K2-A10-G sekundär.
- Tabell 7, WT505090-20K2-A10-G primär och PW-WCG-01 sekundär.
- Tabell 8, IWAS-4832FF-50 primär och PW-WCG-01 sekundär.
- Tabell 9, PW-WCG-01 primär och IWAS-4832FF-50 sekundär.
- Tabell 10, PW-WCG-01 primär och WR-444005-17M2-NF-G sekundär.
- Tabell 11, Tre WT1005690-12K2-A6-G primär och PW-WCG-01 sekundär.
- Tabell 12, En WT1005690-12K2-A6-G primär och PW-WCG-01 sekundär.
- Tabell 13, WE-WPCC Wireless Power Charging Coil primär och PW-WCG-01 sekundär.
- Tabell 14, PW-WCG-01 primär och WE-WPCC Wireless Power Charging Coil sekundär.

Utav de mätningar som genomförts för olika kombinationer av primär- och sekundärspolar är de nedan redovisade resultaten de mest relevanta för konstruktion av energiöverföringssystemet och demobanan. De överförde tillräckligt mycket energi och hade högst verkningsgrad på överföringen.

PW-WCG-01 som primär- och sekundärspole:

$$U_{in} = 5\text{ V och } 5\text{ mm luftgap} \Rightarrow P_{ut} \approx 250\text{ mW}, \eta \approx 27,2\%$$

$$U_{in} = 5\text{ V och } 10\text{ mm luftgap} \Rightarrow P_{ut} \approx 144\text{ mW}, \eta \approx 26,7\%$$

$$U_{in} = 10\text{ V och } 5\text{ mm luftgap} \Rightarrow P_{ut} \approx 250\text{ mW}, \eta \approx 17,9\%$$

$U_{in} = 10\text{ V}$ och 10 mm luftgap $\Rightarrow P_{ut} \approx 250\text{ mW}$, $\eta \approx 19,5\%$

WT505090-20K2-A10-G som primär- och sekundärspole:

$U_{in} = 5\text{ V}$ och 5 mm luftgap $\Rightarrow P_{ut} \approx 194\text{ mW}$, $\eta \approx 47,3\%$

$U_{in} = 5\text{ V}$ och 10 mm luftgap $\Rightarrow P_{ut} \approx 250\text{ mW}$, $\eta \approx 39,4\%$

PW-WCG-01 som primärspole och WT505090-20K2-A10-G sekundärspole:

$U_{in} = 5\text{ V}$ och 5 mm luftgap $\Rightarrow P_{ut} \approx 250\text{ mW}$, $\eta \approx 41,7\%$

$U_{in} = 5\text{ V}$ och 10 mm luftgap $\Rightarrow P_{ut} \approx 211\text{ mW}$, $\eta \approx 36,8\%$

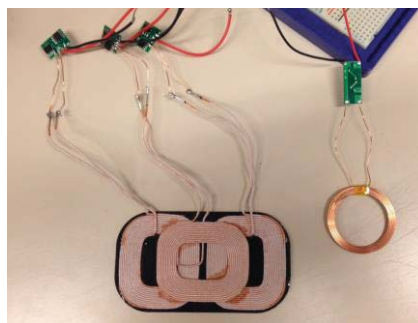
WT505090-20K2-A10-G som primär- och sekundärspole har högst verkningsgrad på energiöverföringen så de användes till energiöverföringssystemet.

Till demobanans primärspolar valdes PW-WCG-01 eftersom att den överförde tillräckligt med energi och priset för konstruktion av demobanan blir lägre.

Som sekundärspole på radiobilen kan antingen WT505090-20K2-A10-G eller PW-WCG-01 användas. Kostnadsskillnaden mellan de båda alternativen är inte särskilt stor då det bara finns en spole i sekundärkretsen.

WT505090-20K2-A10-G ger högst verkningsgrad medan PW-WCG-01 spolens dimensioner passar bäst under radiobilen.

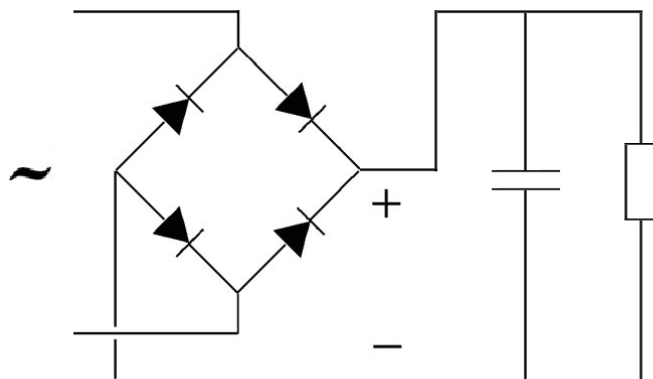
Figur 38 illustrerar spoltypen WT1005690-12K2-A6-G kopplad till kontrollenheterna för primärkrets.



Figur 38. WT1005690-12K2-A6-G kopplad till kontrollenheten för primärkrets.

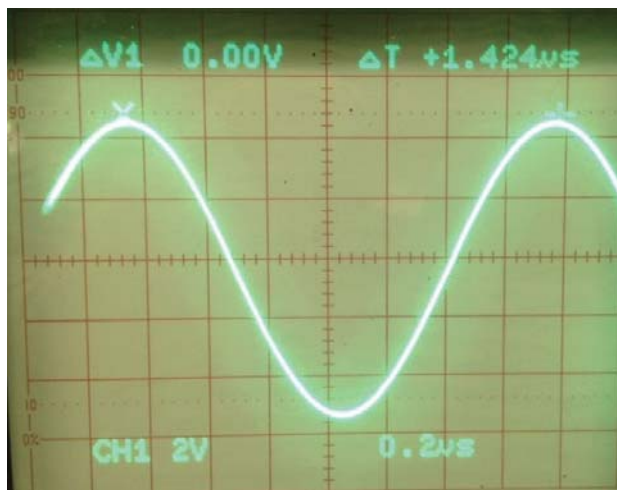
6.5 Likriktare

Likriktaren konstruerades med fyra 1N4148 dioder, parallellt med diodbryggan kopplades en kondensator på $10\ \mu F$ för att minska rippelnivån och en resistor på $100\ \Omega$. Kretsschemat för likriktaren syns i figur 39. I kapitel 5.10 finns mer information om dioden. Se F i figur 23 som illustrerar likriktarens placering.



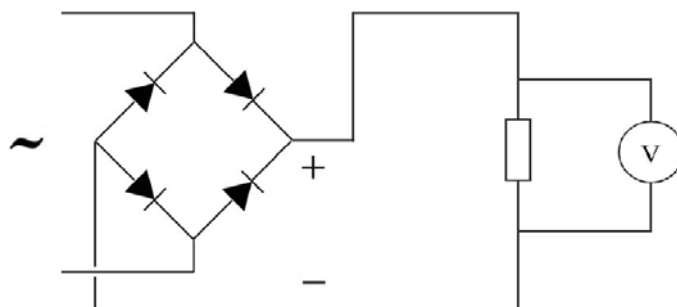
Figur 39. Enfas likriktare parallellkopplad med en kondensator och resistor.

Funktionsgeneratoren (Hewlett Packard 33120A) ställdes in på $10\ V_{pp}$, $700\ kHz$, då det konstaterades högst energiöverföring fås vid $700\ kHz$. Utspänningen mättes upp med oscilloskop (oscilloskopet HITACHI V-555) se figur 40.



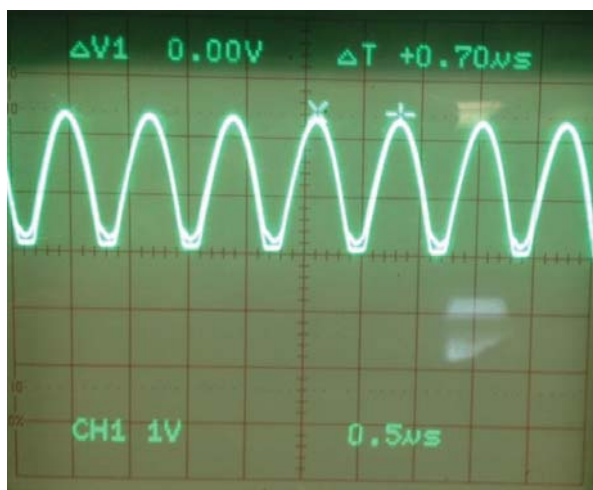
Figur 40. Växelspänning på utgången.

Mätning av spänning över resistorn utan glättningskondensator. En transformator (Tufvassons PFI 400) kopplades in mellan vägguttaget och oscilloskopet, för att oscilloskopets jord inte ska störa mätningen. Se figur 41 för hur mätningen utfördes.



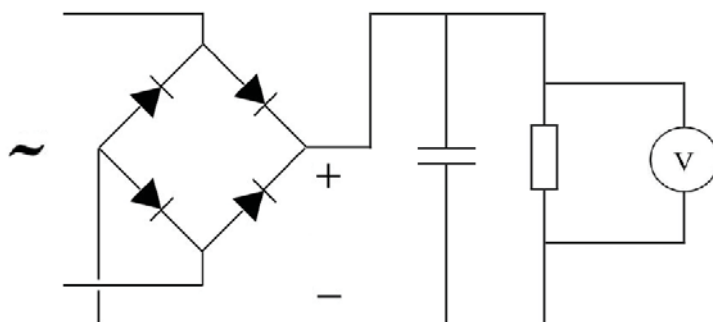
Figur 41. Schema för mätning av spänning efter diodbryggan.

Resultatet av mätningen på oscilloskopet ses i figur 42. En halvålslikriktad spänning med rippel.



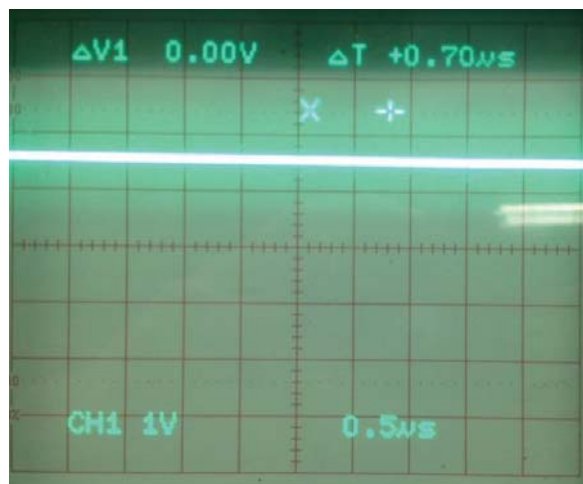
Figur 42. Helvågslikriktad spänning med rippel.

En glättningskondensator kopplades in enligt figur 43.



Figur 43. Likriktare med glättningskondensator.

Resultatet av den nya mätningen ses i figur 44. Ripplet är borta och utspänningen är en stabil likspänning på 1,6 V.

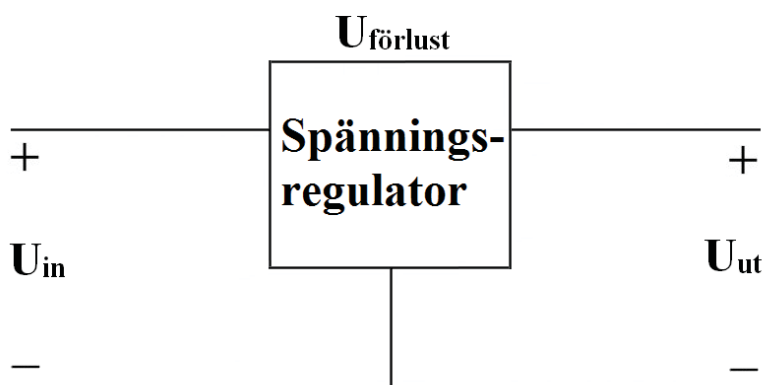


Figur 44. Likriktad utspänning utan rippel.

6.6 Spänningsregulator

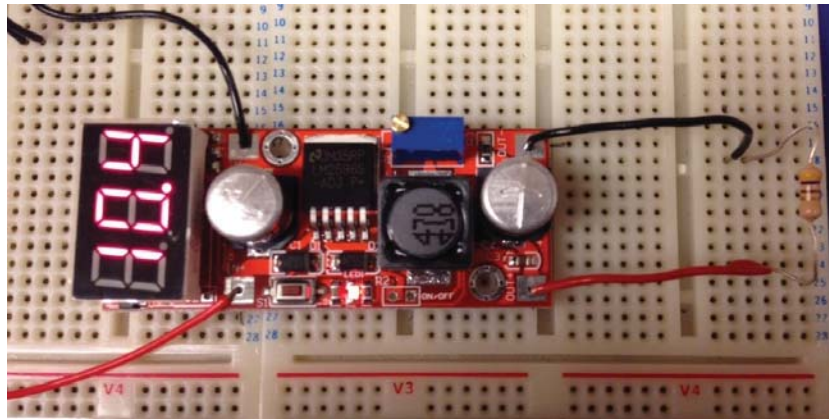
Spänningsregulatorn ska justera inspänningen till batteriet i fordonet till lämplig nivå för laddning, för att batteriet inte ska ta skada. Blockschemat i figur 23 visar komponenternas placering, se G för regulator, H för batteriet, och I för motorn.

Figuren 45 illustrerar principen hur en spänningsregulator fungerar. Efter likriktaren F i figur 23, ska regulatorn vara placerad.



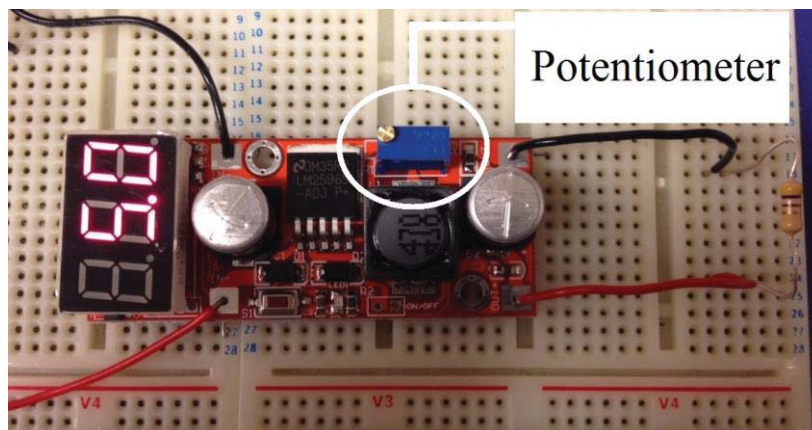
Figur 45. Schematisk illustration över spänningsregulatorn.

Ett test utfördes med spänningsregulatorn LM2596, som matades med en likspänning på 10 V. Displayen är inställd till att visa inspänning, se figur 46.



Figur 46. Spänningsregulator visar inspänning på displayen.

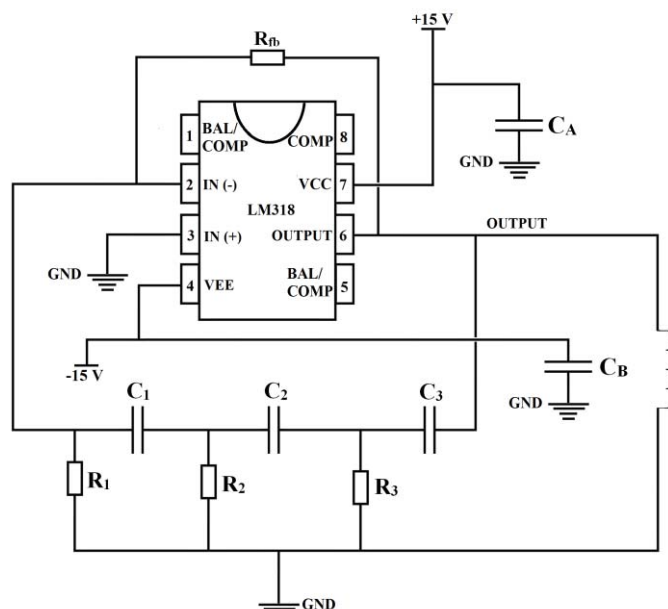
Genom att skruva på potentiometern som sitter kopplad på kretsen, gick det att reglera utspänningen till ett önskat värde. Displayen är inställd för att visa utspänningen, se figur 47.



Figur 47. Spänningsregulator visar utspänning på displayen.

6.7 Test av energioverföring

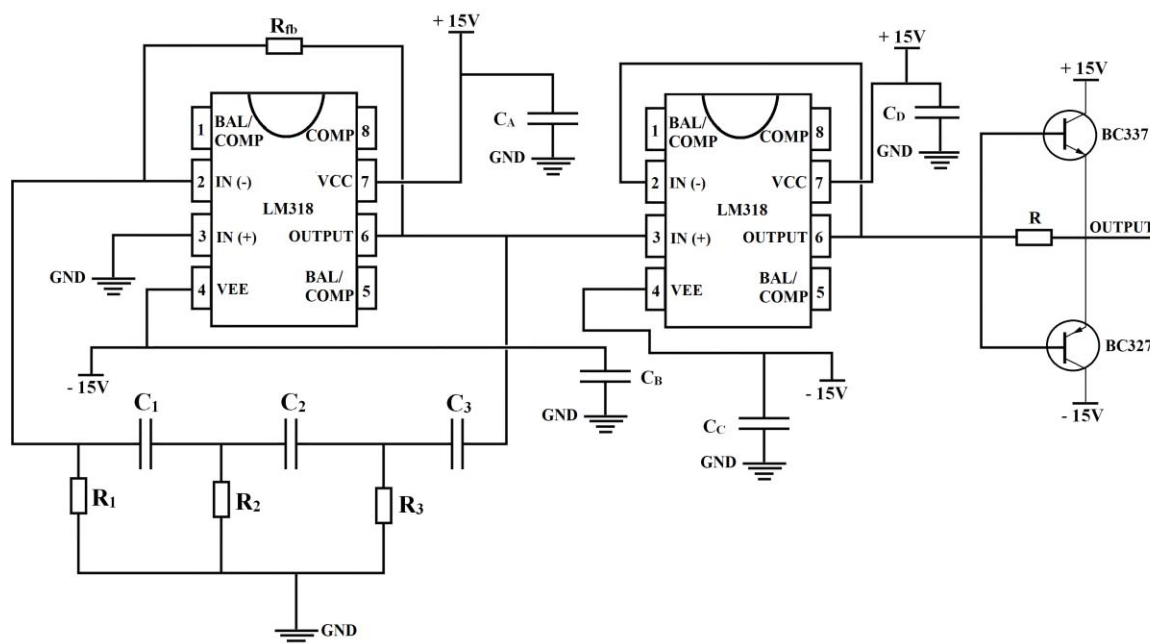
En spole kopplades in på utgången på fasskiftoscillatorn enligt figur 48. Komponenterna var valda att ge en utspänning med frekvensen 874 kHz och en matningsspänning valdes till ± 15 V över förstärkaren.



Figur 48. Fasskiftoscillator med spole.

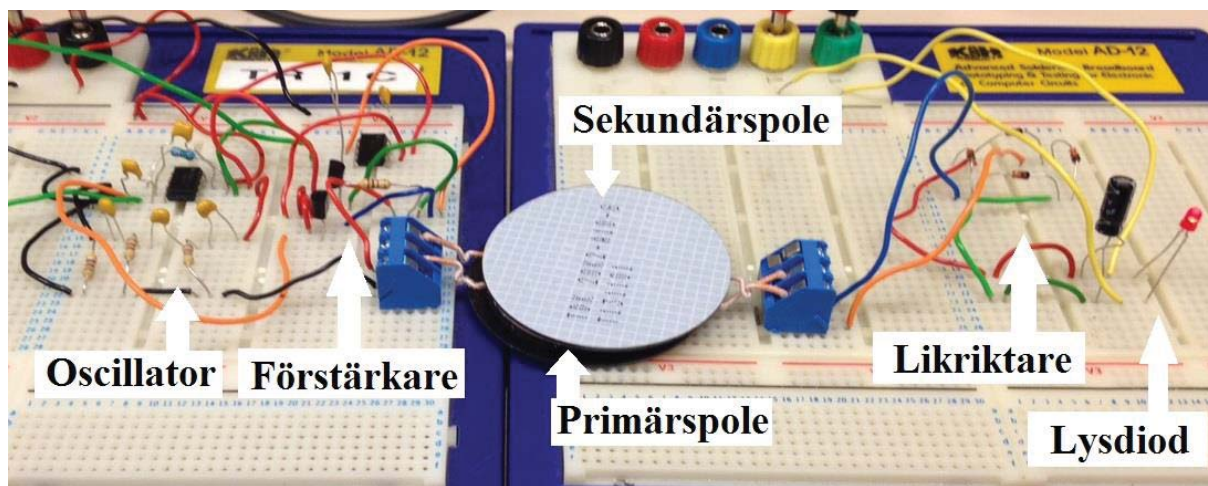
En sekundärspole placerades över primärspolens varierande magnetfält. Den överförda spänningen och strömmen studerades. Det visade sig att oscillatorn inte kunde släppa igenom tillräckligt stark ström.

En effektförstärkare konstruerades för att förstärka strömmen. Förstärkaren kopplades in mellan oscillatorn och primärspolen enligt figur 49 nedan. Se C i figur 23 för placering och kapitel 5.18 och 5.19 för transistorerna som förstärkaren är uppbyggd av.



Figur 49. Fasskiftoscillator med effektförstärkare.

Den maximala effekten som kunde överföras till sekundärsidan ökade. En likriktare tillsammans med en lysdiod, kopplades in på sekundärsidan. Lysdiodens ljus indikerade att effekt blivit överförd. Verklig krets för energiöverföringssystemet ses i figur 50 nedan. För hela systemets uppkoppling visas i figur 55 i bilaga 5 - kopplingsschema.



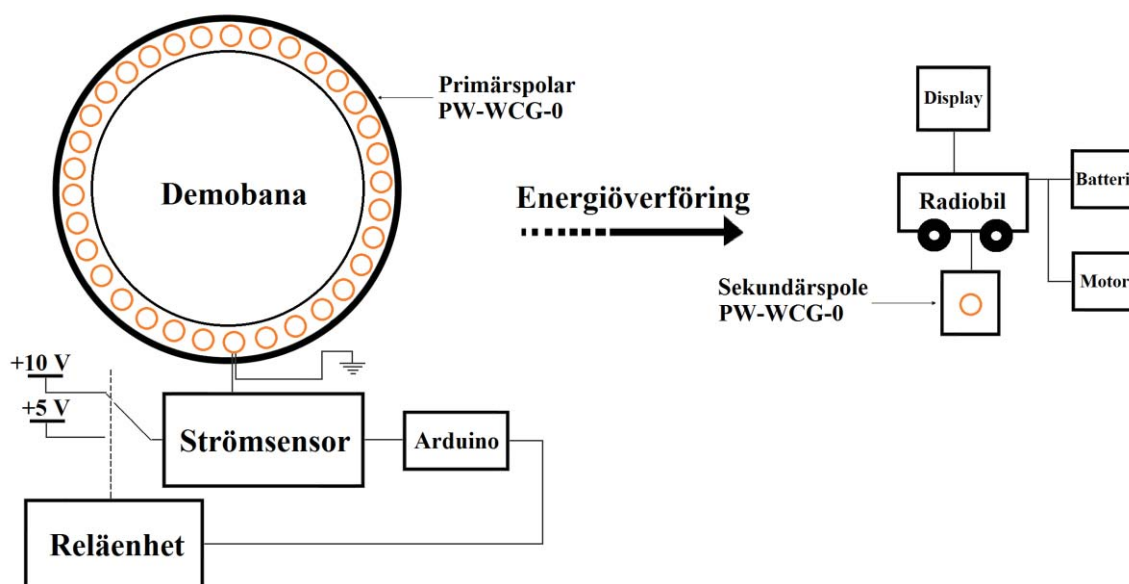
Figur 50. Verklig krets för energiöverföring.

Tabell 15 i bilaga 4 - mätdata visar resultatet för den överförda effekten till sekundärsidan med olika storlekar på lasten. En högre effekt överförs om resistansen minskas. Kretsen kan inte driva alltför höga strömmar vilket resulterar i att sekundärspänningen tappar sin form och den överförda effekten minskar. Effekten som överfördes var så låg att en spänningsregulator inte var nödvändig att koppla in, eftersom lasten inte behövde skyddas mot den effekten.

7 Konstruktion

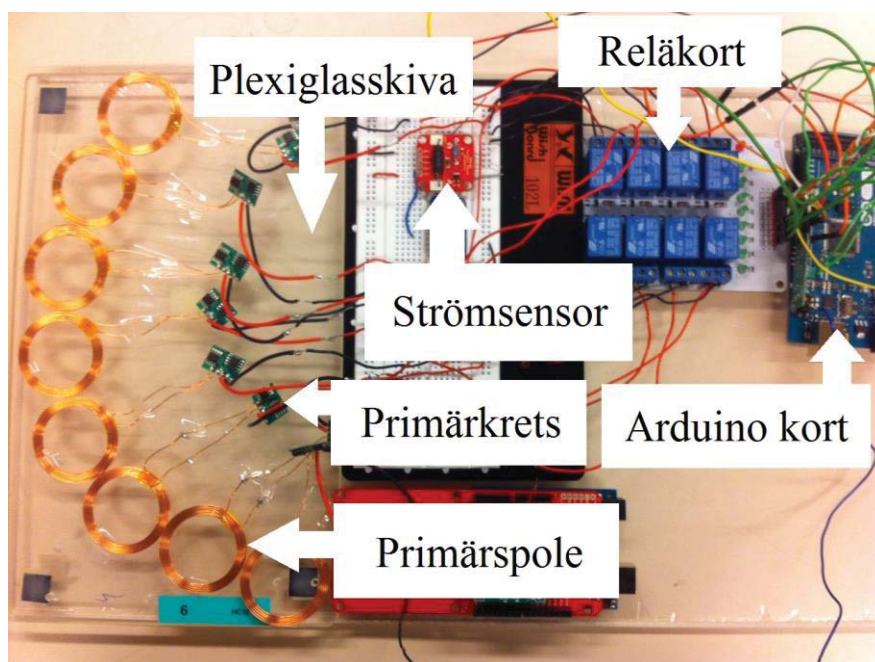
Spoltypen PW-WCG-0 valdes att användas som primärspole till demobanan, därför att verkningsgraden var hög och priset vid inköp lågt. Demobanan var tänkt att konstrueras som en cirkel uppdelad i mobila tårbitsektioner. Sektionerna underlättar montering och hantering av banan. Banan består av en plexiglasskiva med primärspolarna fastmonterade under. Kontrollenheterna till primärspolarna kopplades till en likspänningsmatning. En strömsensor är monterad till ett kluster av tre primärkretsar. Strömsensorn skickar analoga-signaler till Arduino kortet som styr reläerna. Reläerna aktiverar och inaktiverar primärspolarna allteftersom sekundärspolen passerar ovanför. På demobanan laddas en radiobil induktivt via primär- och sekundärkrets. Sekundärkretsen är monterad på radiobilen och spoltypen PW-WCG-0 monteras under bilen. WT505090-20K2-A10-G hade också kunnat användas som sekundärspole. Sekundärspolen fångar upp magnetfältet som primärspolen genererar.

Endast en av sektionerna blev konstruerad på grund av tidsbrist och försenade leveranser av komponenter. Se figur 51 för överblick av det kompletta systemet för demobanan och radiobilen.



Figur 51. Kompletta systemet för demobanan.

I figur 52 visas den konstruerade sektionen av demobanan och bilaga 3 – extra komponenter för tillhörande information om radiobilen.



Figur 52. Sektion av demobana.

8 Slutsats

Systemet har konstruerats utifrån faktainsamling och komponenttester. Rapporten visar att det är möjligt att konstruera en mindre demobana för induktionsladdning.

I energiöverföringssystemet används primärkrets bestående utav oscillator, effektförstärkare, primärspole och sekundärkrets bestående av sekundärspole, likriktare och spänningsregulator. Innan primärkretsen finns ett relä (av typen Relay Module BK_RL8_0), som kontrollerar matningen till primärkretsen.

Den maximala effekten som kan överföras efter kontrollen i sekundärkretsen är 250 mW, $U_{ut_{max}} = 5\text{ V}$ och $I_{ut_{max}} = 50\text{ mA}$. Spoltypen WT505090-20K2-A10-G uppmättes till att ha högst verkningsgrad vid frekvensen 700 kHz. Avståndet mellan primärspolarna på demobanan och sekundärspolen under radiobilen var ungefär 10 mm. Verkningsgraden för olika spolkombinationer vid ett avstånd på 10 mm resulterade i följande komponentval:

WT505090-20K2-A10-G som primär- och sekundärspole vid $U_{in} = 5\text{ V}$, överförde 250 mW och hade en verkningsgrad på 39,4 %.

PW-WCG-01 som primär- och sekundärspole vid $U_{in} = 10\text{ V}$, överförde 250 mW och hade en verkningsgrad på 19,5 %.

PW-WCG-01 som primärspole och WT505090-20K2-A10-G sekundärspole vid $U_{in} = 5\text{ V}$, överförde 211 mW och hade en verkningsgrad på 36,8 %.

WT505090-20K2-A10-G valdes till primär- och sekundärspole i energiöverföringssystemet. PW-WCG-01 valdes till primär- och sekundärspole i demobanan.

En likriktare konstruerades med diodtypen 1N5817. Signalgenerator genererade en sinusvåg med frekvensen 700 kHz och en amplitud på 5 V. Likriktaren omvandla sinusvågen till en likspänning på 1,6 V. Därefter konstruerades en fasskiftsoscillator med hjälp av förstärkaren LM318 till att oscillera med en frekvens på 874 kHz. Helst skulle en oscillator med 700 kHz konstrueras men ingen sådan oscillator lyckades bli konstruerad och 874 kHz ansågs vara tillräckligt nära 700 kHz. Ingen Weinbryggoscillator konstruerades på grund utav tidsbrist. Maximalt överfördes 1,11 mW till sekundärkretsen med energiöverföringssystemet.

För att undvika förluster ska inte primärkretsen avge full effekt hela tiden utan enbart när sekundärspolen är positionerad ovanpå och behöver laddas. I arbetet *Mätning av elförbrukning i ett trådlöst effektöverföringssystem*, konstruerades mjukvaran för hur Arduino kortet ska tolka den analoga-signalen från strömsensorn och sedan styra reläerna till demobanan. Strömsensorn INA169 tillämpades i primärkretsen eftersom den kunde ställas till att mäta önskat strömintervall mellan 350 mA – 3,5 A när R_s valdes till 0,1 Ω .

En mindre demobana konstruerades med plexiglas och spoltypen PW-WCG-01 som primärspole. Systemet för strömsensorn och styrning av relä med Arduino kort kopplades in vilket resulterade i att spolarna aktiverades och inaktiverades när sekundärspolen passerade ovanför.

9 Diskussion

Induktionsladdning av fordon på vägarna utvecklas och idag finns det redan implementerade system runtom i världen. Flera andra tekniker utvecklas samtidigt såsom plugg-in och konduktivladdning. Vid plugg-in metoden behöver fordonet stå still, systemet är inte flexibelt och fordonen kan inte laddas under färd vilket leder till att körningen måste planeras noga för att inte få ett oväntat driftstopp. Fördelen med plugg-in metoden är att det är enklare att konstruera system som överför högre effekter. Vid konduktivladdning har energiöverföringen nästan lika hög verkningsgrad som vid plugg-in, dessutom kan fordonet laddas under färd vilket minskar räckviddsångesten för de sträckor som är utrustade med ledningar.

Konduktivladdning är fördelaktig för tyngre fordon som färdas på motorvägar som behöver laddas under färd därför att batterierna annars hade behövt vara för stora i praktiken.

Nackdelar med ett konduktivt laddningssystem är att fordonet måste vara i kontakt med energikällan. En kontaktarm till antingen en skena i marken eller en ledning i luften.

Kontaktarmen är otymplig och systemet är också känsligt för väderförhållanden, som exempelvis när is och snö täcker skenorna i vägbanan. Implementeras induktiv laddning i vägbanan kommer systemet knappt vara synligt för ögat, då ingen kontakt mellan fordon och energikälla behövs. Det är dyrt att bygga om vägarna och verkningsgraden på laddningen är inte lika hög som vid de alternativa teknikerna. De elektriska komponenterna i vägen behöver vara lättåtkomliga för service. Det forskas även på hur asfalten ska släppa igenom så mycket av magnetfältet som möjligt. Installationen ska också vara säker för människor och djur samt att komponenterna i vägbanan ska isoleras från väderförhållanden.

För att minska kostnader och undvika behov av att göra ingrepp på befintlig asfalt på motorvägar eller stadsvägar, så kan portabla gummimattor utrustade med spolar samt tillhörande komponenter för primärkrets, kopplas i sektioner på vägbanan. Gummimattorna kopplas in till det befintliga elnätet och är dimensionerade att lyftas in och ur en lastbil som kör dem till önskad plats. Konceptet med gummimattor framtaget av Sakib Sistik.

Elfordonens svaghet är batteriet som har lång laddningstid, låg energidensitet, högt inköpspris och kort livslängd. Utvecklingen av batterier sker fort och priserna pressas ner, inom snar framtid tros elfordon kunna konkurrera fullt ut med förbränningsfordonen. Elfordon är miljövänligare, robustare och dess motorer kan precisionsstyras med en kontroller.

Arbetet var större och svårare än väntat, mycket information om olika sorters komponenter behövde införskaffas och komponenterna behövde även testas hur de samverkar tillsammans. Det resulterade i att flera avgränsningar behövde göras under projektets gång. Mer tid skulle lagts åt att studera tidigare arbeten inom området och då fått kännedom om vilka komponenter som bör ingå i en primär- och sekundärkrets. Vid planering är det viktigt att beställa komponenter i god tid för att undvika förseningar. Om vi hade haft kunskaperna som vi har nu hade vi börjat konstruera demobanan tidigare. Det hade lett till att alla svårigheterna med att konstruera ett fungerande system för induktivladdning visat sig tidigare.

En demobana är nu konstruerad och framtida grupper kan undersöka och förbättra individuella komponenter i systemet. Exempelvis kan mer arbete utföras på att undersöka

olika spoltyper till demobanan, utveckla Sisteks konceptet med spolar i gumminattor och konstruera en driftkrets till elfordonet så att batteriets laddning- och driftprocess blir så skonsam som möjligt.

10 Referenser

- [1] Maria Nilsson, *ELVIRE - Electric Vechiels – The phenomon of range anxiety*, Lindholmen Scien Park, Sweden, 2011. [PDF] Tillgänglig: http://www.elvire.eu/IMG/pdf/The_phenomenon_of_range_anxiety_ELVIRE.pdf [Hämtad 25 mars 2015]
- [2] D. Kovalenko & K. Johnsson, *Mätning av elförbrukning i ett trådlöst effektöverföringssystem*, examensarbete för högskoleingenjörsexamen, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Västra Götaland, Sverige, juni 2015.
- [3] BMW Group, *BMW Group is pressing ahead with the development of systems for inductive charging of electric and plug-in hybrid cars*, juli 2014 [Online] Tillgänglig: https://www.press.bmwgroup.com/global/pressDetail.html?title=bmw-group-is-pressing-ahead-with-the-development-of-systems-for-inductive-charging-of-electric-and&outputChannelId=6&id=T0186710EN&left_menu_item=node_5236# [Hämtad: 27 mars 2015]
- [4] P. Larsson, *Snart laddas elbilen via elektriskt asfalt*, Kungliga tekniska högskolan, mars 2015 [Online]. Tillgänglig: <https://www.kth.se/aktuellt/nyheter/snart-laddas-elbilen-via-elektrisk-asfalt-1.553575> [Hämtad: 27 mars 2015]
- [5] Press release - *Bombardier Redefines e-mobility for Rail and Road with PRIMOVE Technology*, Maj 2012 [PDF]. Tillgänglig: http://primove.bombardier.com/fileadmin/REDAKTION/20120531_GRP_Primove_Augsburg_Media_Event_EN.pdf [Hämtad: 31 mars 2015]
- [6] Primove, *Introducing true electric mobility for a sustainable future*, Bombardier Transportation, Schöneberger Ufer 1, 10785 Berlin, Germany, 2013 [PDF]. Tillgänglig: http://primove.bombardier.com/fileadmin/REDAKTION/downloads/documents/BT_Brochure_PRIMOVE_210x280_2013_final_110dpi_SP.pdf/ [Hämtad: 1 april 2015]
- [7] Primove, *The technology behind primove*, 2013 [Elektronisk bild & Online]. Tillgänglig: <http://primove.bombardier.com/about/technical-principle/> [Hämtad: 31 mars 2015]
- [8] KAIST, *KAIST Develops wireless power transfer technology for high capacity transit*, mars 2013 [Online] Tillgänglig: http://www.kaist.edu/_prog/_board/?mode=V&no=10390&code=ed_news&site_dvs_cd=en&menu_dvs_cd=0601&list_typ=B&skey=&sval=&smonth=&site_dvs=&GotoPage=23 [Hämtad: 7 april 2015]
- [9] KAIST, *KAIST OLEV Transport System*, 2013. [PDF] Tillgänglig: http://www.smfir.co.kr/20120323/sub02/KAIST_OLEV_en.pdf [Hämtad: 7 april 2015]

- [10] N.P. Suh, D.H. Cho & C.T Rim. Design of On-Line Electric Vehicle (OLEV), KAIST, Yuseong-gu, Daejeon 305-701, Korea, 2010. [Hämtad: 7 april 2015]
- [11] KAIST, *KAIST's wireless Online Electric Vehicle (OLEV) runs inner city roads*. Augusti 2013 [Online] Tillgänglig: http://www.kaist.edu/_prog/_board/?mode=V&no=10429&code=ed_news&site_dvs_cd=en&menu_dvs_cd=0601&list_typ=B&skey=&sval=&smoth=&site_dvs=&GotoPage=9 [Hämtad: 7 april 2015]
- [12] CHARGED, *OLEV Technologies' dynamic wireless inductive system charges vehicles while in motion*, 2014 [Online]. Tillgänglig: <http://chargedevs.com/features/olev-technologies-dynamic-wireless-inductive-system-charges-vehicles-while-in-motion/> [Hämtad: 8 juni 2015]
- [13] Elways, *Nya miljoner förverkligar el-motorvägar i Sverige*, 2011 [Online]. Tillgänglig: <http://elways.se/uncategorized/nya-miljoner-forverkligar-el-motorvagar-i-sverige/> [Hämtad: 6 maj 2015]
- [14]. Elways, *Personnel*, 2011 [Online]. Tillgänglig: <http://elways.se/elways-personnel/?lang=en> [Hämtad: 6 maj 2015].
- [15] Elways, *Cooperation/support*, 2011 [Online]. Tillgänglig: <http://elways.se/samarbeten-stod/> [Hämtad: 6 maj 2015].
- [16] Elways, *Utveckling av konduktiv matning*, 2011 [Online]. Tillgänglig: <http://elways.se/utveckling-av-konduktiv-matning/> [Hämtad: 6 maj 2015].
- [17] Siemens AB, *eHighway – Klimatsmarta och kostnadseffektiva transporter på elvägar*, Infrastructure & Cities, Johanneslundsvägen 12-14, 194 87 Upplands Väsby, Sverige, 2014 [Hämtad: 31 mars 2015]
- [18] Siemens AB, *eHighway-applikationer*. 2014 [Online] Tillgänglig: http://w3.siemens.se/mobility/se/sv/interurban_mobility/road_solutions/eHighways-Eldriven-godstransport-pa-landsvag/utbud-av-eHighway-tillampningar/Pages/utbud-av-eHighway-tillampningar.aspx [Hämtad: 31 mars 2015]
- [19] Siemens AB, *eHighway-konceptet*. 2014 [Online] Tillgänglig: http://w3.siemens.se/mobility/se/sv/interurban_mobility/road_solutions/eHighways-Eldriven-godstransport-pa-landsvag/eHighway-konceptet/Pages/ehighway-konceptet.aspx [Hämtad: 31 mars 2015]
- [20] Tesla, *2,000 Supercharges*, februari 2015 [Online]. Tillgänglig: <http://www.teslamotors.com/blog/2000-superchargers> [Hämtad: 19 maj 2015]
- [21] Tesla, *Supercharger*, 2015 [Online]. Tillgänglig: <http://www.teslamotors.com/supercharger> [Hämtad: 19 maj 2015]

- [22] Tesla, *Oplad din model S*, 2015 [Online]. Tillgänglig: http://www.teslamotors.com/sv_SE/charging#/basics [Hämtad: 27 mars 2015]
- [23] Tesla, *Gigafactory*, 2015 [Online]. Tillgänglig: http://www.teslamotors.com/sv_SE/gigafactory [Hämtad: 19 mars 2015]
- [24] Khanacademy, S. Khan, *Magnetism 6: Magnetic field due to current*, Youtube, augusti 2008 [Online]. Tillgänglig: <https://www.khanacademy.org/science/physics/electricity-and-magnetism/v/magnetism-6-magnetic-field-due-to-current> [Hämtad: 14 april 2015]
- [25] Khanacademy, S. Khan, *Magnetism 12: Induced current in a wire*, Youtube, augusti 2008 [Online]. Tillgänglig: <https://www.khanacademy.org/science/physics/electricity-and-magnetism/v/magnetism-12-induced-current-in-a-wire> [Hämtad: 14 april 2015]
- [26] L. Bergström & L. Nordlund, *Ellära – Krets- och fältteori*, Liber AB, 113 98 Stockholm, Sverige, 2012. ISBN: 978-91-44-05367-7.
- [27] James Larminie, John Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained (2nd Edition)* John Wiley & Sons, Ltd., Somerset, New Jersey, USA, 2012.
- [28] Elways, *Battery of direct feeding*, 2011 [Online]. Tillgänglig: <http://elways.se/batteri-eller-direktmatning/> [Hämtad: 30 mars 2015]
- [29] James Larminie, John Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained (2nd Edition)* John Wiley & Sons, Ltd., Somerset, New Jersey, USA, 2012 [bild]
- [30] Battery University, *BU-104: Getting to know the battery*, mars 2015 [Online]. Tillgänglig: http://batteryuniversity.com/learn/article/getting_to_know_the_battery [Hämtad: 18 maj 2015]
- [31] Battery University, *What everyone should know about Battery Chargers*, februari 2015 [Online]. Tillgänglig: http://batteryuniversity.com/learn/article/what_everyone_should_know_about_battery_chargers [Hämtad: 18 maj 2015]
- [32] Battery University, *BU-402: What is the C-rate?*, mars 2015 [Online]. Tillgänglig: http://batteryuniversity.com/learn/article/what_is_the_c_rate [Hämtad: 18 maj 2015]
- [33] Battery University, *BU-501: Basics About Discharging*, maj 2015 [Online]. Tillgänglig: http://batteryuniversity.com/learn/article/discharge_methods [Hämtad: 18 maj 2015]
- [34] Battery University, *BU-209: How does a Supercapacitor Work?*, april 2015 [Online]. Tillgänglig: http://batteryuniversity.com/learn/article/whats_the_role_of_the_supercapacitor [Hämtad: 17 maj 2015]
- [35] M. F. El-Kady, M. Ihns, M. Li, J. Y. Hwang, M. F. Mousav, L. Chaney, A. T. Lech, R. B. Kaner, *Engineering three-dimensional hybrid supercapacitors and microsupercapacitors for high-performance integrated energy storage*, University of California, Berkeley, CA,

USA, mars 2015 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.pnas.org/content/112/14/4233.full.pdf> [Hämtad: 25 maj 2015]

[36] Q. Huang, J. Li & Y. Chen, *Control of Electric vehicle*, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, Sichuan, China, September 2010. [PDF]. Tillgänglig: <http://cdn.intechopen.com/pdfs/12061.pdf> [Hämtad: 18 maj 2015]

[37] F. A. Salem, *Modeling and control solutions for electric vechiels*, Taif University, Taif, Saudi Arabia, maj 2013 [PDF]. Tillgänglig: <http://eujournal.org/index.php/esj/article/viewFile/1102/1136> [Hämtad: 18 maj 2015]

[38] B. Molin, *Analog elektronik*, Studentlitteratur AB, 226 60 Lund, Sverige 2009. ISBN: 978-91-44-05367-7.

[39] Learnabout-eletronics, *Oscillators – 4.0 Relaxation (Square Wave) Oscillators*, 2013 [Online]. Tillgänglig: <http://www.learnabout-electronics.org/Oscillators/osc40.php> [Hämtad: 26 maj 2015]

[40] Learnabout-eletronics, *Astable Oscillators Using the 555 timer*, 2013 [Online]. <http://www.learnabout-electronics.org/Oscillators/osc43.php> [Hämtad: 26 maj 2015]

[41] Wikipedia, *Likriktning*. 28 mars 2015 [Online]. Tillgänglig: <http://sv.wikipedia.org/wiki/Likriktning> [Hämtad: 26 mars 2015].

[42] TRAMO-ETV, *DC-aggregat, likriktare*, 26 oktober 2012 [Online]. Tillgänglig: <http://www.tramoetv.se/Information/likriktare.htm> [Hämtad: 26 mars 2015].

[43] Faktabanken, *Kondensatorer*, juli 2000 [Online]. Tillgänglig: <http://faktabanken.nu/kondensatorer.htm>. [Hämtad: 26 mars 2015].

[44] James Larminie, John Lowry, *Electric Vehicle Technology Explained (2nd Edition)* John Wiley & Sons, Ltd., Somerset, New Jersey, USA, 2012.

[45] A. Bartnicki, *Elteknik*, Teknologtryck, Institutionen för Energi och miljö, Chalmers tekniska högskola, Göteborg, Västra Götaland, Sverige, 2013.

[46] B. Johns, *An introduction to the Wireless Power Consortium Standard and TI's compliant solutions*, Dallas, Texas, United States, 2011 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.ti.com/lit/an/slyt401/slyt401.pdf> [Hämtad: 13 maj 2015]

[47] Wireless Power Consortium, *How it works – Wireless Power Technology*, Piscataway, NJ 08854, USA, april 2010 [PowerPoint]. Tillgänglig: <http://www.wirelesspowerconsortium.com/data/downloadables/1/3/7/4/how-it-works-20100420.pdf> [Hämtad: 14 maj 2015]

[48] L. Nilsson, *Effektförstärkning efter en OP-förstärkare*, 2010 [PDF]. Tillgänglig: http://www.esr.se/phocadownload/effekt_efter_op_2.pdf [Hämtad: 13 maj 2015]

- [49] J. Svalander, *Sans och balans i klass-A-debatten*, 1988 [PDF]. Tillgänglig: https://www.svalander.se/tips_fakta/hifi-tips/gamla/molt882/ [Hämtad: 13 maj 2015]
- [50] TDK Corporation, *TX Coil Units – WT505090-20k2-A10-G*, Nihonbashi, Chūō, Tokyo, Japan, 3 oktober 2013 [PDF]. Tillgänglig: http://product.tdk.com/en/catalog/datasheets/wr_tx-coil-wpt_wt505090-20k2-a10-g_en.pdf [Hämtad: 26 april 2015]
- [51] Mouser Electronics, *TDK WT505090-20K2-A10-G*, 1000 North Main Street, Mansfield, Texas 76063, USA, 3 oktober 2013 [Online]. Tillgänglig: <http://www.mouser.com/ProductDetail/TDK/WT505090-20K2-A10-G/?qs=bk56S6NG2m9NVWHZYjKZqw%3D%3D> [Hämtad: 26 april 2015]
- [52] ElecFreaks, *Wireless Charge Module*, Guangdong, Shenzhen, China, 2013 [PDF]. Tillgänglig: <http://m2.img.dxcn.com/CDDriver/sku.194469.194245.pdf> [Hämtad: 14 maj 2015]
- [53] TDK Corporation, *TX Coil Units – WT1005690-12K2-A6-G*, Nihonbashi, Chūō, Tokyo, Japan, XXXX [PDF]. Tillgänglig: http://product.tdk.com/en/catalog/datasheets/wr_tx-coil-wpt_wt1005690-12k2-a6-g_en.pdf [Hämtad: 27 maj 2015]
- [54] TDK Corporation, *Product specification – WR-444005-17M2-NF-G*, Nihonbashi, Chūō, Tokyo, Japan, december 2012 [PDF]. Tillgänglig: http://product.tdk.com/en/catalog/datasheets/wr_tx-coil-wpt_wt1005690-12k2-a6-g_en.pdf [Hämtad: 28 maj 2015]
- [55] Vishay Intertechnology, *Wireless Charging Receiving Coil*, New Jersey, United States, september 2014 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.mouser.com/ds/2/427/iwas4832-254839.pdf> [Hämtad: 28 maj 2015]
- [56] Würth Elektronik, *WE-WPCC Wireless Power Charging Coil*, Niedernhalli, Hohenlohe, Germany, oktober 2014 [PDF]. Tillgänglig: <http://katalog.we-online.de/pbs/datasheet/760308201.pdf> [Hämtad: 27 maj 2015]
- [57] ElecFreaks Studio, *8 Channel 5V/12V/24V Relay Module BK_RL8_01*, Shenzhen, Guangdong, China, 2011 [Online]. Tillgänglig: <http://www.elec-freaks.com/store/8-channel-5v12v24v-relay-module-p-268.html> [Hämtad: 23 april 2015]
- [58] MiniInTheBox, *DC-DC Justerbar strömförsörjning modul LM2596 Voltage Regulator Module med Voltage Meter Display*, 808 Howell St #300, WA 98101, Seattle, USA, 2007. [Online] Tillgänglig: http://www.miniinbox.com/sv/dc-dc-justerbar-stromforsorjning-modul-lm2596-voltage-regulator-module-med-voltage-meter-display_p638994.html [Hämtad: 25 april 2015]
- [59] Semiconductor Components Industries, *LM2596-3.0 A, Step-Down Switching Regulator*, Phoenix, Arizona, United States, 2008 [PDF]. Tillgänglig: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/LM2596-D.PDF [Hämtad: 25 april 2015]

- [60] Microchip Technology Inc., *MCP73853/55- USB Compatible Li-Ion/Li-Polymer Charge Management Controllers*, Chandler, Arizona, USA, 2013 [PDF]. Tillgänglig: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21915C.pdf> [Hämtad: 25 april 2015]
- [61] Fairchild Semiconductor, *1N5817- 1N5819 Schottky Barrier Rectifier*, 3030 Orchard Parkway, San Jose, California, United States, november 2010 [PDF] Tillgänglig: <https://www.fairchildsemi.com/datasheets/1N/1N5818.pdf> [Hämtad: 13 maj 2015]
- [62] International Rectifier, *1N5817 Schottky Rectifier 1.0 Amp*, 233 Kansas St., El Segundo, California, 90245, USA, november 2004 [PDF] Tillgänglig: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/1n5817.pdf> [Hämtad: 13 maj 2015]
- [63] W. Durfee, *Arduino Microcontroller Guide*, University of Minnesota, oktober 2011 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.me.umn.edu/courses/me2011/arduino/arduinoGuide.pdf> [Hämtad: 13 maj 2015]
- [64] National Semiconductor, *LM741 Operational Amplifier*, Santa Clara, California, United States, augusti 2000 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.mit.edu/~6.301/LM741.pdf> [Hämtad: 13 maj 2015]
- [65] Texas Instruments, *Fast general-purpose operational amplifiers*, Dallas, Texas, United States decemeber 2002 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.ti.com/lit/ds/slos063b/slos063b.pdf> [Hämtad: 13 maj 2015]
- [66] Texas Instruments, *Operational Amplifiers*, Mars 2015 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm324.pdf> [Hämtad: 26 april 2015]
- [67] Texas Instruments, *xx555 Precision Timers*, Dallas, Texas, United States, september 2014 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ne555.pdf> [Hämtad: 13 maj 2015]
- [68] STMicroelectronics, *NE555, SA555-SE555*, Genève, Schweiz, september, November 2008 [PDF]. Tillgänglig: http://www.doctronics.co.uk/pdf_files/ne555.pdf [Hämtad: 13 maj 2015]
- [69] Analog Devices, *AD9850*, [PDF] <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD9850.pdf> [Hämtad: 7 maj 2015]
- [70] Burr-Brown Products from Texas Instruments, *High-Side Measurement Current Shunt Monitor*, Tuscon, Arizona, United States, november 2005 [PDF]. Tillgänglig: <http://www.electrokit.com/stromsensor-ina169.51499> [Hämtad: 22 maj 2015]
- [71] ON Semiconductor, *Amplifier Transistors NPN silicon*, Phoneix, Arizona, United States, november 2013 [PDF]. Tillgänglig: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/BC337-D.PDF [Hämtad: 13 maj 2015]
- [72] ON Semiconductor, *Amplifier Transistors PNP silicon*, Phoneix, Arizona, United States septemeber 2011 [PDF]. Tillgänglig: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/BC327-D.PDF [Hämtad: 13 maj 2015]

[73] D. K. Cheng, *Field and Wave Electromagnetics* Second Edition, Fourth Printing, Syracuse University, New York, Syracuse, USA, 1991. ISBN: 0-201 012391

[74] Alibaba, *Super Rodeo Kart Racer with Radio Controller (RTR) Yellow 1:52 Scale*, Hangzhou, Zhejiang, Kina, 2015 [Online]. Tillgänglig: http://www.alibaba.com/product-detail/Super-Rodeo-Kart-Racer-with-Radio_878476072.html [Hämtad: 22 maj 2015]

[75] eBay, *Amazing Mini Buggy RC 1:43 Super Rodeo Kart Racer with Radio Controller*, San Jose, Kalifornien, USA, 2015 [Online]. Tillgänglig: <http://www.ebay.com/itm/Amazing-Mini-Buggy-RC-1-43-Super-Rodeo-Kart-Racer-with-Radio-Controller-/321698118364> [Hämtad: 22 maj 2015]

Bilagor

Bilaga 1 - Grundläggande samband

Induktionslagen

En förenklad förklaring av denna lag säger att om magnetfältet ändras, kommer spänningen i en krets också att ändras [26].

Storleken på spänningen som induceras i denna krets ges av följande uttryck:

$$|e(t)| = |\Phi'(t)| \quad (17)$$

Där beloppet av en källspänning $e(t)$ beror på ändringshastigheten hos flödet $\Phi(t)$ [73]. Spänningens polaritet bestäms med Lenz Lag som har nämnts tidigare vid den fjärde ekvationen av Maxwell [26].

Induktionslagen (Faradays Lag):

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \quad (18)$$

Där spänningens polaritet anges med ett minustecken i detta fall, då det beror på vilka valda referenser för $e(t)$ och $\Phi(t)$.

En flat spole med N varv kan beskrivas med uttrycket:

$$e = -N \frac{d\Phi}{dt} \quad (19)$$

Där den inducerade spänningen kommer att bli N gånger så stor [26].

Självinduktion

Om det går en tidsvarierande ström i en krets som innehåller en spole, kommer det att inducerar ett magnetiskfält i spolen. Kretsen själv inducerar själv det variabla magnetflöde som ger upphov till den inducerade spänningen. Detta kallas för självinduktion. Beroende på om strömmen i kretsen ökar eller minskar, kommer fältet att uppföra sig på samma sätt. Exempelvis om strömmen ökar, medför detta till ett starkare magnetfält, vilket innebär att fältet motverkar ökningen. För det omvända är det samma princip.

Uttrycket för självinduktion beskrivs med:

$$e = -L \frac{di}{dt} \quad (20)$$

En plötslig minskning av strömmen i en krets kan orsaka skada på elektriska apparaturer, då gnistor kan uppstå vid självinduktion [26].

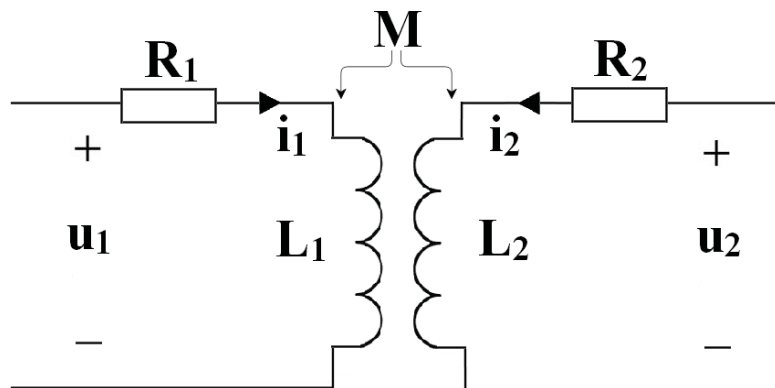
Ömsesidig induktans

Om två spolar är placerad nära intill varandra kommer dem att påverkar dess egen och varandras magnetfält. Båda dessa inducerande magnetfält i vardera spolen kommer då att adderas. Den ömsesidiga induktansens M , anges med enheten henry, mellan induktorerna bestämmer hur stark magnetisk påverkan spolarna besitter. Utrycken nedan beskriver detta samband då två spolarna är placerad nära varandra, där L_1 och L_2 representerar självinduktion för de inducerande spänningarna som finns över vardera spole. Resistanserna representerar förlusterna i primär- och sekundärkretsen:

$$u_1 = R_1 i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} \pm M \cdot \frac{di_2}{dt} \quad (21)$$

$$u_2 = R_2 i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} \pm M \cdot \frac{di_1}{dt} \quad (22)$$

I figur 53 nedan visar illustrativt hur uttrycken ovan samverkar med varandra:



Figur 53. Ömsesidig induktans mellan två närliggande spolar.

Plus-och minustecknet ändras i ekvationerna beror på strömmarnas väg i spolarna. Om strömmarna i_1 och i_2 samverkar, ger det upphov till ett samverkande magnetfält. Omvänt, då strömmarna inte samverkar, induceras ett motverkande magnetfält [26].

Seriekopplas två induktorer kommer den resulterande självinduktansen bli $2 \times L$, då spolarna ska vara placerad så att det inte finns ömsesidig induktans. Är spolarna istället placerad intill varandra kommer induktansen att vara dubbel så stor, nämligen $4 \times L$.

Kopplingsfaktor

När självinduktanserna L_1 och L_2 och ömsesidiga induktansen M är definierade sedan tidigare, kan dessa element beskrivas med kopplingsfaktorn k som samband:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 L_2}} \quad (23)$$

Om kopplingsfaktorn är lika med 1 innebär det att det passerar ett flöde från den första spolen till den andra spolen, då det finns en ström genom spolarna [26].

Bilaga 2 – Programkod

Relästyrning

Rel_

```
/*
  Rel
  Tänder en lysdiod i 0,5 sekunder och släcker den sedan i 0,5 sekunder.
  Programmet körs en loop, tills det blir manuellt avbrutet.
*/

void setup() {
  pinMode(12, OUTPUT);      //Ben 12 på Arduino kortet blir en output
}

void loop() {
  digitalWrite(12, HIGH);   //Sluter kretsen, dioden lyser
  delay(500);               //Dioden lyser i 0,5 s
  digitalWrite(12, LOW);    //Öppnar kretsen, dioden slocknar
  delay(500);               //Dioden släckt i 0,5 s
}
```


Bilaga 3 - Extra komponenter

Radiostyrbil Super Rodeo Kart Racer RTR

Radiostyrda bilen är utrustad med ett laddningsbart batteri typen 2,4 V Ni-MH med 80 mAh i kapacitet. Batteriet har en laddningstid på 25-30 minuter, vilket ger fordonet en räckvidd upp till 10-20 minuter. Fordonet är i skala 1:43, och har en total vikt på 509 gram. Bilen kontrolleras med en trådlös fjärrkontroll, som har en räckvidd upp till 15 meter [74]-[75]. Bilen illustreras i figur 54 nedan:



Figur 54. Radiostyrd bil.

Bilaga 4 - Mätdata

Tabell 1

Tabell 1. Utsignal för LM741 oscillator.

R₁ [kΩ]	R₂ [kΩ]	R₃ [kΩ]	R_{fb} [kΩ]	C₁ [μF]	C₂ [μF]	C₃ [μF]	F [kHz]
1,2	2,2	2,2	47	0,01	0,01	0,01	3,4
1,2	1	1	47	0,01	0,01	0,01	5,4
0,47	0,470	0,470	23	0,01	0,01	0,01	11,4
1	1	1	29	0,001	0,001	0,001	46,3

Tabell 2

Tabell 2. Utsignal för LM318 oscillator.

R₁ [kΩ]	R₂ [kΩ]	R₃ [kΩ]	R_{fb} [kΩ]	C₁ [μF]	C₂ [μF]	C₃ [μF]	F [kHz]
0,01	0,01	0,01	290	0,001	0,001	0,001	6,9
1	1	1	290	0,001	0,001	0,001	41,6
1	1	1	220	0,001	0,001	0,001	43,8
1	1	1	100	0,001	0,001	0,001	50
1	1	1	100	0,0001	0,0001	0,0001	312,5
0,47	0,47	0,47	4,7	0,0001	0,0001	0,0001	1163
0,47	0,47	0,47	10	0,0001	0,0001	0,0001	874

Tabell 3

Tabell 3. Uppmätta mätdata för varierande frekvens.

Frekvens [kHz]	Spänning [V]
100	0,7
200	1,275
300	1,546
400	1,744
500	1,851
600	1,898
700	1,904
800	1,878
900	1,836
1000	1,78
1100	1,719
1200	1,629

Tabell 4

Tabell 4. PW-WCG-01 primär- och sekundärspole.

Luftgap [mm]	U_{in} [V]	U_{ut} [V]	I_{in} [mA]	I_{ut} [mA]	P_{in} [mW]	P_{ut} [mW]	η [%]
5	5	5	184	50	920	250	27,2
10	5	3,8	108	38	540	144	26,7
15	5	2,4	81	24	405	58	14,3
20	5	0,84	69	1	345	0,8	0,2
5	10	5	140	50	1400	250	17,9
10	10	5	128	50	1280	250	19,5
15	10	5	123	50	1230	250	20,3
20	10	4,2	111	44	1110	185	16,7

Tabell 5*Tabell 5. WT505090-20K2-A10-G primär-och sekundärspole.*

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	4,3	82	45	410	194	47,3
10	5	5	127	50	635	250	39,4
15	5	3	85	31	425	93	21,9
20	5	2	77	18	385	36	9,4
5	10	5	180	50	1800	250	13,9
10	10	5	123	50	1230	250	20,3
15	10	5	121	50	1210	250	20,7
20	10	4,8	112	43	1120	206	18,4

Tabell 6*Tabell 6. PW-WCG-01 primärspole och WT505090-20K2-A10-G sekundärspole.*

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	5	120	50	600	250	41,7
10	5	4,9	117	43	573	211	36,8
15	5	2,3	78	22	179	51	28,5
20	5	1,4	72	14	101	20	19,8
5	10	5	116	50	1160	250	21,6
10	10	5	109	50	1090	250	22,9
15	10	4,2	100	40	1000	168	16,8
20	10	2,6	90	25	900	65	7,2

Tabell 7*Tabell 7. WT505090-20K2-A10-G primär och PW-WCG-01 sekundär.*

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	5	235	50	1175	250	21,3
10	5	4,3	123	44	615	189	30,7
15	5	3,2	100	32	500	102	20,4
20	5	2,1	80	20	400	42	10,5
5	10	5	178	50	1780	250	14,0
10	10	5	154	50	1540	250	16,2
15	10	5	140	50	1400	250	17,9
20	10	5	131	50	1310	250	19,1

Tabell 8*Tabell 8. IWAS-4832FF-50 primär och PW-WCG-01 sekundär.*

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	5	600	50	3000	250	8,3
10	5	5	450	50	2250	250	11,1
15	5	4,8	400	50	2000	240	12
20	5	3	370	30	1850	90	4,9
5	10	5	600	50	6000	250	4,2
10	10	5	570	50	5700	250	4,4
15	10	5	660	50	6600	250	3,8
20	10	5	590	50	5900	250	4,2

Tabell 9

Tabell 9. PW-WCG-01 primär och IWAS-4832FF-50 sekundär.

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	0,3	70	1,2	350	0,4	0,1
10	5	0	70	0	350	0	0,0
15	5	-	-	-	-	-	-
20	5	-	-	-	-	-	-
5	10	3	100	31	1000	93	9,3
10	10	0,3	100	2,5	1000	8	0,8
15	10	0	100	0	1000	0	0
20	10	-	-	-	-	-	-

Tabell 10

Tabell 10. PW-WCG-01 primär och WR-444005-17M2-NF-G sekundär.

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	0	70	0	350	0	0
10	5	-	-	-	-	-	-
15	5	-	-	-	-	-	-
20	5	-	-	-	-	-	-
5	10	2,7	110	29	1100	78	7,1
10	10	0,2	100	1,1	1000	0,2	0
15	10	0	100	0	1000	0	0
20	10	-	-	-	-	-	-

Tabell 11

Tabell 11. Tre WT1005690-12K2-A6-G primär och PW-WCG-01 sekundär.

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	5	850	50	4250	250	5,9
10	5	5	780	50	3900	250	6,4
15	5	4	690	42	3450	168	4,9
20	5	2,8	660	28	3300	78	2,4
5	10	5	1250	50	12500	250	2
10	10	-	-	-	-	-	-
15	10	-	-	-	-	-	-
20	10	-	-	-	-	-	-

Tabell 12

Tabell 12. En WT1005690-12K2-A6-G primär och PW-WCG-01 sekundär.

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	4,3	520	50	2600	215	8,3
10	5	5	370	50	1850	250	13,5
15	5	4,7	290	48	1450	226	15,6
20	5	3,3	260	33	1300	109	8,4
5	10	5	400	50	4250	250	6,3
10	10	5	370	50	3700	250	6,8
15	10	5	450	50	4500	250	5,6
20	10	5	420	50	4200	250	6

Tabell 13

Tabell 13. WE-WPCC Wireless Power Charging Coil primär och PW-WCG-01 sekundär.

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	5	400	50	2000	250	12,5
10	5	5	320	50	1600	250	15,6
15	5	3,1	280	31	1400	96	6,9
20	5	1	260	14	1300	14	1,1
5	10	5	340	50	3400	250	7,4
10	10	5	540	50	5400	250	4,6
15	10	5	470	50	4700	250	5,3
20	10	5	420	50	4200	250	6

Tabell 14

Tabell 14. PW-WCG-01 primär och WE-WPCC Wireless Power Charging Coil sekundär.

Luftgap [mm]	U _{in} [V]	U _{ut} [V]	I _{in} [mA]	I _{ut} [mA]	P _{in} [mW]	P _{ut} [mW]	η [%]
5	5	2,5	350	25	1750	63	3,6
10	5	0,02	320	0	1600	0	0
15	5	-	-	-	-	-	-
20	5	-	-	-	-	-	-
5	10	4,7	480	48	4800	226	4,7
10	10	2,8	460	29	4600	81	1,8
15	10	3,1	450	11	4500	34	0,8
20	10	0	440	0	4400	0	0

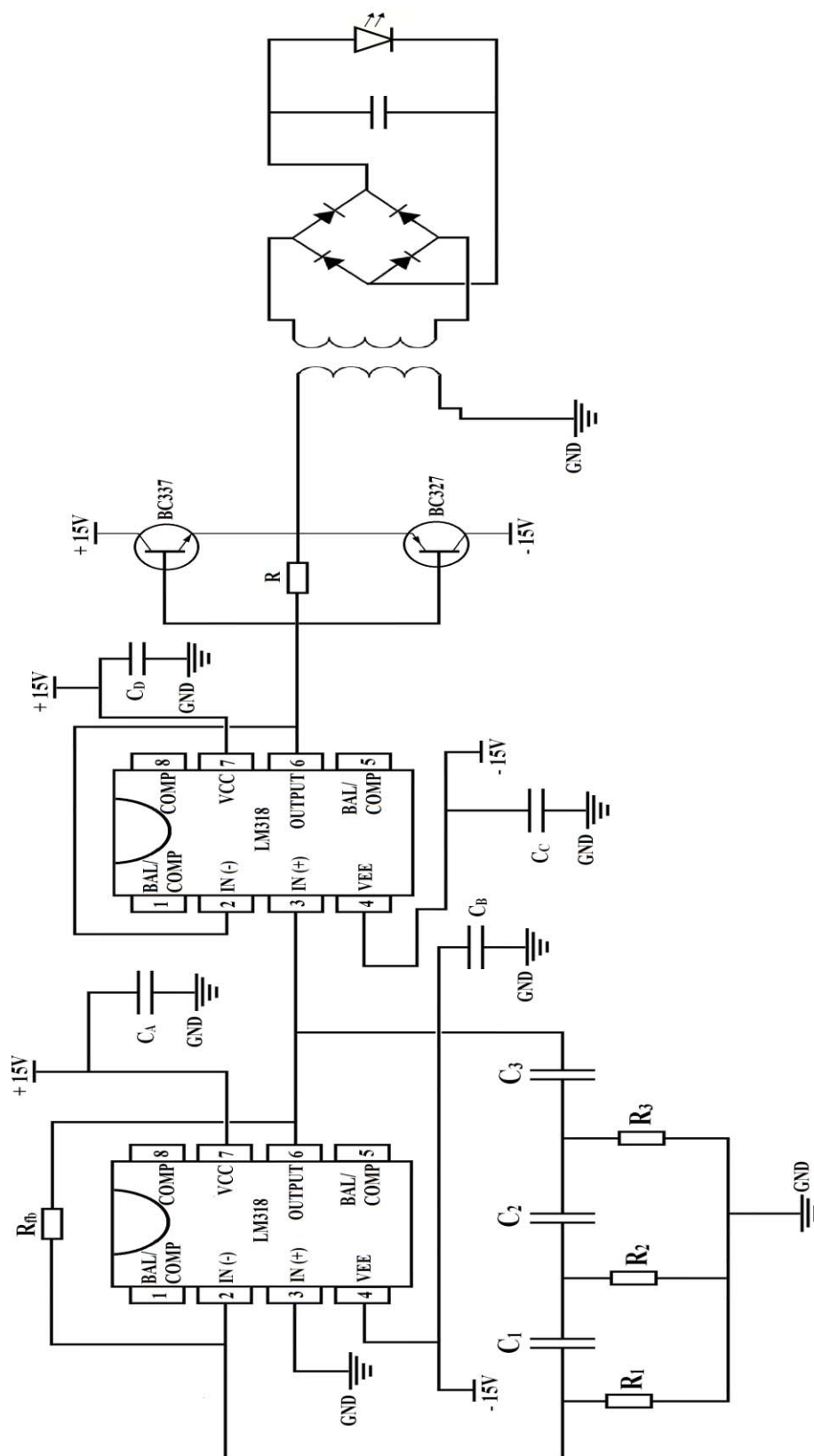
Tabell 15

Tabell 15. Uppmätt data på sekundärsidan.

Resistans [k Ω]	Utpänning [V]	Ström [mA]	Uteffekt [mW]
0,05	0,25	4,45	1,11
0,1	0,4	3,67	1,47
0,5	0,9	1,7	1,53
1	1,2	1,09	1,31
4,7	1,4	0,29	0,4
100	4,4	0,04	0,17

Bilaga 5 - Kopplingsschema

Överföringssystemets kopplingsschema



Figur 55. Kopplingsschema över hela överföringssystemet.