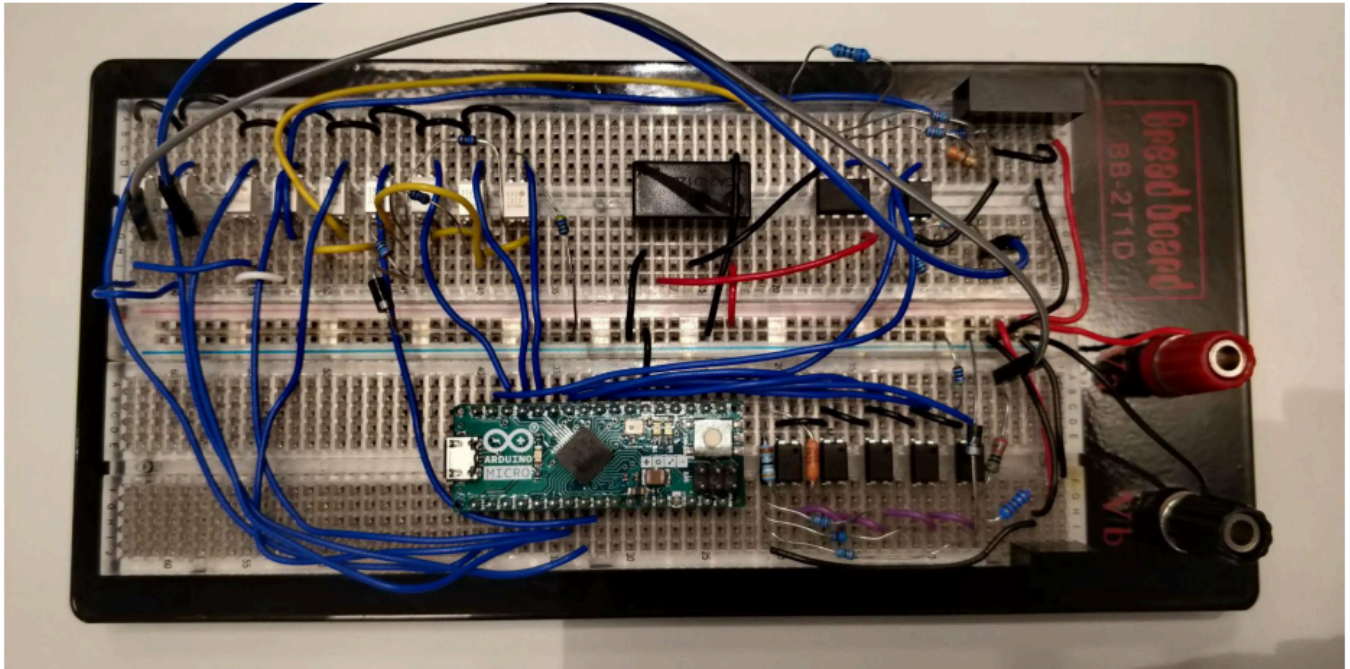




CHALMERS



Prototyp för simulering av lågnivåskommunikation mellan elektriskt fordon och laddningsenhet

Examensarbete från högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

Benjamin Eriksson

Prototyp för simulering av lågnivåskommunikation mellan elektriskt fordon och laddningsenhet

Examensarbete från högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik

Benjamin Eriksson

© Benjamin Eriksson, 2022.

Institutionen för Data- och informationsteknik
Chalmers Tekniska Högskola
412 96 Göteborg
Telefon +46 31 772 1000

Förord

Detta examensarbete är utfört av en student från högskoleingenjörsprogrammet Mekatronik på Chalmers. Examensarbetet motsvarar 15 högskolepoäng och är utfört på företaget Aliaro AB under hösten 2022.

Jag vill tacka handledare Filip Kaiser samt Hans Nyström från Aliaro för hjälp och stöttning med arbetet. Jag vill även tacka handledare Lars Svensson för stöttning med rapportskrivande och presentationen.

Sammanfattning

Elbilar blir allt mer populära och utvecklingen av dem går snabbt framåt. För att underlätta testning och utveckling av laddningsfunktioner för elbilar vill företaget Aliaro ta fram ett verktyg som kan simulera dataöverföringen mellan ett fordon och en laddningsenhet. Detta arbete resulterade i en prototyp där samtliga signaler som används vid lågnivåskommunikation kan genereras. Användaren kan välja vilka tillstånd som ska simuleras, både för fordonet och laddningenheten. Det är även möjligt att välja vilken av dessa enheter som ska simuleras och när de inte simuleras antas signaler från en extern enhet användas istället. Den resulterande prototypen kan generera samtliga önskade signaler, dock hamnar vissa signaler utanför angivna toleranser.

Abstract

Electric vehicles are gaining popularity and there is a great interest in furthering their development. In order to advance this development the company Aliaro wants to make an instrument that can simulate the communication between an electric vehicle and a charging station. This resulted in a prototype where all signals for low level communication can be generated. The user can choose which states should be emulated for both the vehicle and charging station. It is also possible to choose which of these units should be simulated and when they are not simulated it is assumed that signals from an external unit is used instead. The resulting prototype can generate all the desired signals, however some fall outside of their given margins.

Terminologi

CP	Contol Pilot
PP	Proximity Pilot
PWM	Buldbreddsmodulering
EV	Electroc Vehicle
EVSE	Electric Vehicle Supply Equipment
DC	Likström
PLC	Power Line Communication
I2C	Inter-Integrated Circuit

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Abstract	3
Terminologi	4
Innehållsförteckning	5
1 Inledning	7
1.1 Bakgrund	7
1.2 Syfte	7
1.3 Mål	7
1.4 Avgränsningar	7
2 Teknisk bakgrund	8
2.1 SAE J1772	8
2.2 Control Pilot	9
2.3 Proximity Pilot	10
2.4 Optokopplare	11
2.5 Analog switch G3VM-61A1	11
2.6 I2C	12
3 Metod	12
3.1 Projektstart	12
3.2 Hårdvara	13
4 Genomförande	14
4.1 Prototyp på breadboard	14
4.1.1 Funktionalitet och användargränssnitt	14
4.1.2 Hårdvara	15
4.1.2.1 Proximity Pilot EV	16
4.1.2.2 Proximity Pilot EVSE	16
4.1.2.3 Control Pilot EVSE	17
4.1.2.4 Control Pilot EV	18
4.1.2.5 Signalhantering	19
4.2 Prototyp på kretskort	20
5 Resultat	21
5.1 Simuleringskrets breadboard	21
5.2 Simuleringskrets kretskort	24
6 Diskussion	25
6.1 Arbetsmetod	25
6.2 Resultat breadboardprototyp	25
6.3 Resultat kretskortsprototyp	26
6.3 Miljö och etik	26

7 Vidareutveckling	27
Referenser	28
Appendix	30
Appendix A. GANTT-schema	30
Appendix B. Kretsschema	31
Appendix C. Pseudokod	33
Appendix D. CP PWM signal	33
Appendix D. Lista komponenter	34

1 Inledning

1.1 Bakgrund

I dagens samhälle läggs stort fokus på hållbarhet vilket har lett till att antalet elektriska fordon på vägarna ökar. Mellan 2019 och 2021 tredubblades antalet sålda elbilar, inklusive hybrider [1]. Det ökande antalet elfordon skapar nya utmaningar rörande utvecklingen av elbilar samt infrastrukturen för laddningen. Dessa utmaningar skiljer sig för olika intressenter och lösningar kan orsaka konflikter däremellan. Användare vill ha batterier med stor kapacitet som kan laddas snabbt vilket driver utvecklingen av kraftfullare batterier [2]. Detta i kombination med att elfordon blir allt vanligare skapar stora påfrestningar på elnätet [3]. En strategi för att lösa dessa problem är så kallad Smart Charging vilket innebär att laddningssessionen anpassas efter både fordonets och elnätets behov [4]. Det inkluderar lösningar som *Vehicle to Grid* vilket låter bilens batteri försörja elnätet med el under tidsperioder av hög belastning när fordonet inte används. Vidareutveckling av laddningsfunktioner är mycket viktigt för att göra elfordon attraktiva på fordonsmarknaden samt funktionella som en del av samhällets infrastruktur. Testning och utveckling av sådan funktionalitet görs både snabbare och billigare med simulering, specifikt med simulering av enheter som ett fysiskt testobjekt kan kopplas upp mot [5].

1.2 Syfte

Aliaro AB bygger testsystem som simulerar verkliga enheter. De vill ta fram en produkt som låter användaren testa laddningsfunktioner både hos fordon och laddningsstationer. Syftet är att göra det enklare för användaren att testa dessa funktioner då de inte behöver skaffa och koppla ihop sitt testobjekt med ett motsvarande fordon eller laddningsenhet. Den simulerade enheten styrs med hjälp av en dator vilket gör det bekvämt och säkert att utföra testningen.

1.3 Mål

Målet med arbetet är att skapa en prototyp som simulerar datakommunikationen mellan laddningsenhet och elektriskt fordon. Det innebär läsning och skrivning till båda enheterna. Om både en laddningsenhet och ett fordon är kopplat till prototypen ska inga egna signaler genereras utan den ska endast logga information som utbyts. Vid simulering ska användaren själv välja vilka egenskaper och tillstånd den simulerade enheten ska ha. Prototypen ska använda informationen för att generera signaler som om den vore en fysisk enhet. Den data som utbyts mellan enheterna ska tolkas och loggas så att användaren enkelt kan se vilka signaler som skickas. Exempel på ut signaler kan vara om fordonet är redo att laddas och om laddning sker så ska det vara tydligt hur stark strömmen är. Om dessa mål uppfylls och det finns tid kvar för arbetet bör prototypen göras kompatibel med Aliaros system.

1.4 Avgränsningar

Endast datasignaler kommer hanteras och ingen hög spänning eller ström kommer användas. För kommunikation via Control Pilot gäller kommunikation med låg frekvens, 1 kHz. Då tanken är att arbetet ska vara ett underlag till en funktion för ett större system finns ingen anledning att utveckla ett fysiskt användargränssnitt. Därmed kommer användaren att påverka systemet genom variabeländringar i programkoden. Prototypen kommer inte testas mot verkliga enheter som elektriska fordon eller laddningsenheter.

2 Teknisk bakgrund

2.1 SAE J1772

SAE J1772 är ett protokoll som täcker fysiska, elektriska och prestandakrav för konduktiv laddning av elfordon [6]. Standarden kommer från Nordamerika och det är främst där protokollets fysiska kontakt används. Standardens lösning för lågnivåskommunikation mellan fordon och laddningsenhet används i de vanligaste standarderna för laddning i resterande delar av världen. Därmed kommer lösningen för detta arbete att vara kompatibel med samtliga fordon och laddningsenheter som följer standarden IEC 62196. SAE J1772 hanterar lågnivåskommunikationen med två kontakter som kallas Control Pilot och Proximity Pilot. Dessa signaler används för att verifiera att det finns fysisk kontakt mellan fordonet och laddningsenheten samt kommunicerar om hur laddningen ska ske. Det förekommer även högnivåskommunikation mellan dessa enheter. SAE J1772 samt standarder i Europa använder PLC-kommunikation för detta. PLC-kommunikationen ersätter inte CP och PP-signalerna men kommunikationen går genom kontakten för CP. Genom PLC förmedlas information så som laddningsstatus på batteriet, laddningsschema samt eventuell betalningsinformation.

2.2 Control Pilot

Control Pilot (CP) är en datasignal som kommunicerar om fordonet är redo att ta emot laddning och hur mycket ström laddstationen kan ge [7]. Både fordonet och laddstationen förmedlar information över signalen. Laddstationen är den enhet som genererar signalen vilken kan vara en ren spänningsnivå eller en PWM-signal. Spänningsnivån 12V används när laddningsenheten inte har fått respons från fordonet, alltså innan de är fysiskt ihopkopplade. När de får kontakt genereras en PWM-signal mellan 12V och -12V. Signalen har en frekvens på 1kHz och arbetscykeln förmedlar vilken laddning som kan ges. Den förmedlar även om PLC-kommunikation ska användas samt inom vissa intervall sker ingen laddning vilket kan ses i Tabell 1.

Tillgänglig laddningsström	Arbetscykel $\pm 1\%$
Digital kommunikation via CAN eller PLC	5%
6A till 51A	Arbetscykel = Ström (A) / 0.6
51A till 80A	Arbetscykel = (Ström (A) / 2.5) + 64

Tabell 1: Betydelsen av arbetscykeln för Control Pilot

Den första ekvationen i Tabell 1 ger en maximal arbetscykel på 85% medans den minsta arbetacykeln ur den andra ger 84.4%. Alltså kommer en arbetscykel mellan 10% och 96% representera en laddningsström. Genereras en arbetscykel utanför detta intervall kommer ingen laddning ske.

Fordonet kommunicerar över CP genom att belasta signalen och på så sätt sänka spänningen. När fordonet kopplas ihop med laddstationen får den en signal på 12V som sänks till 9V.

Laddningsenheten vet då att bilen har kontakt och börjar generera en PWM-signal. Fordonet kommunicerar att den är redo att ta emot laddning genom att sänka spänningsnivån ytterligare. Det är bara den positiva flanken som sänks, alltså är den negativa delen av PWM-signalen fortfarande -12V. Spänningsnivåerna och deras betydelse visas i Tabell 2. Det finns även två spänningsnivåer som indikerar att något är fel. Dessa är en signal på 0V som innebär ett fel från fordonet. En signal på -12V är en felsignal från laddningsenheten.

Status	CP hög flank	CP låg flank	Beskrivning
A	12V	-	Ingen kontakt
B	9V	-12V	Fordon redo för laddning
C	6V	-12V	Fordon laddas
D	3V	-12V	Fordon laddas, behöver ventilation
E	0V	0V	Error / ingen ström
F	-	-12V	Error från laddstation

Tabell 2: Beskrivning av fordonets manipulering av CP

2.3 Proximity Pilot

Proximity Pilot (PP) detekterar om det finns fysisk kontakt mellan fordonet och laddstationen. Pinnen för PP på kontakten är längre än resterande pinnar så att det är den som först får kontakt mellan fordon och laddningsenhet samt förlorar kontakt sist. Signalen för PP ser olika ut beroende på vilken typ av kabel som används. I de fall som laddstationer inte har en egen kabel används en löstagbar kabel av användaren [8]. Användarens kabel är inte nödvändigtvis dimensionerad för att hantera de starka strömmar som laddstationen kan ge så löstagbara laddningskablar har en resistor som indikerar kabelns strömkapacitet. Laddningsenheten anpassar laddningsströmmen utefter signalen och den resulterande spänningsnivån representerar kabelns strömkapacitet enligt Tabell 3.

Kabel kapacitet	PP signal
Ingen kontakt	3.30V
13A	1.98V
20A	1.32V
32A	0.60V
63A	0.30V
80A	0.16V

Tabell 3: PP signal för löstagbar kabel

I vissa fall har laddningsenheten en fast kabel som är dimensionerad för att hantera den ström som ges. Då finns en knapp på kabelns handtag och PP-signalen indikerar om denna är

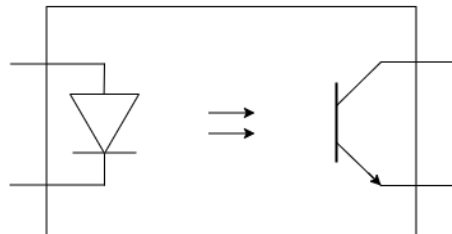
nedtryckt eller inte [9]. När knappen trycks ner tas detta som en indikation på att laddningssessionen kommer att avbrytas. Fordonet förser matningsspänningen för signalen vilken spänningsfördelas med en resistor som kortsluts när knappen är nedtryckt. Den resulterande spänningsnivån indikerar knappens status samt om det finns fysisk kontakt enligt Tabell 4. När laddaren ej är kopplad är signalen 4.5V hos fordonet men 0V hos laddningsenheten.

Status	PP signal
Laddare ej kopplad	4.5V
Knapp nedtryckt	3.0V
Knapp ej nedtryckt	1.5V

Tabell 4: PP signal för kabel med knapp

2.4 Optokopplare

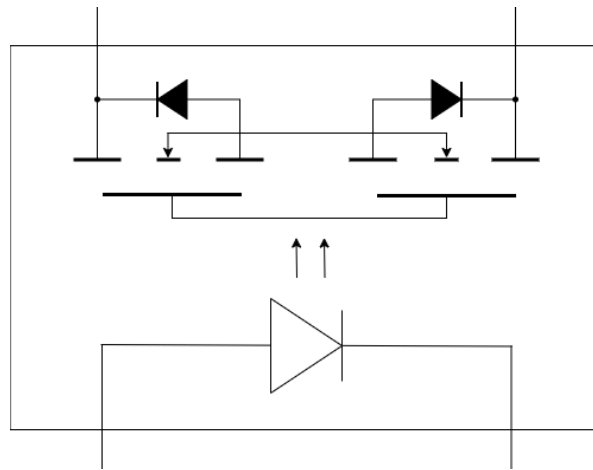
En optokopplare är en elektrisk komponent som bland annat används för att isolera kretsar [10]. Den fungerar likt ett relä på det sättet att man med en styrsignal kan kontrollera en separat signal. Styrsignalen tändar en lysdiod som styr en fototransistor enligt Figur 1. Det finns därmed ingen elektrisk koppling mellan de två kretsarna vilka blir isolerade. Till skillnad från ett relä kommer signalen ur transistorn inte agera som en kortsluten krets. Ljusintensiteten från dioden påverkar transistorns bas och en stark ljuskälla möjliggör en starkare ström genom transistorn. Optokopplarens ledningsförmåga är alltså spänningsberoende då dioden ljusstyrka styrs av den ström den matas med.



Figur 1: Optokopplare

2.5 Analog switch G3VM-61A1

En analog switch är vanligtvis uppbyggd av två FET transistorer där FET står för *field-effect transistor*. I fallet för G3VM-61A1 är det två stycket N-dopade MOSFET-transistorer [11] och en sådan visas i Figur 2. Deras gate är styrd av en lysdiod precis som optokopplaren. Den analoga switchen har två punkter som kan kopplas samman eller isoleras från varandra beroende på spänningsnivån över lysdioden. Hos dessa två punkter finns ingen distinkt in eller utgång, signalen kan gå åt båda hållen till skillnad från optokopplaren.



Figur 2: Analog switch

2.6 I2C

I2C är ett protokoll för seriell dataöverföring och används för elektriska kretsar [12]. Protokollet använder två ledare, en för klocka och en för dataöverföring. Protokollet har halv duplex, alltså kan tvåvägskommunikation ske men bara bara åt ett håll i taget. Båda dessa kanaler har pull-up-resistorer till en spänningskälla som vanligtvis är 5V eller 3.3V. Protokollet har ett adresssystem där varje slavnod har en adress och därmed kan de kommuniceras med skilt från varandra. Det är därmed enkelt att lägga till enheter på en buss och det går även att konfigurera flera masternoder.

3 Metod

3.1 Projektstart

Projektet kommer starta med en planeringsfas och sökande av information. I planeringen ingår skapandet av ett tidsschema för hela arbetet vilket kan ses i Appendix A tillsammans med en reviderad tidsplan. Det ska även skrivas en kravspecifikation som kan ses i Tabell 5. I den listas de värden på CP och PP som kan uppstå mellan fordonet och laddningsenheten. Det primära målet för prototypen är att återskapa dessa signaler. Det innebär att ett simulerat fordon kommunicerar med en simulerad laddningsenhet. Målet är att efterlikna protokollet, alltså är prototypens funktionalitet som en användbar produkt önskvärd men inte ett krav. För en funktionell produkt behöver användaren kunna välja mellan de olika tillstånden från kravspecifikationen. Det är också önskvärt att kunna välja om fordonet eller laddningsenheten ska simuleras eller ej. Funktionen för att välja vilken enhet som ska simuleras kommer generera fler signaler än de från kravspecifikationen.

Signalbeskrivning	Kanal	Signal	Tolerans	Signalbeskrivning
Laddare ej kopplad	CP	12V	+1V	Laddare ej kopplad
Laddare kopplad	CP	9V	+1V	Laddare kopplad
Redo för laddning	CP	6V	+1V	Redo för laddning
Starta ventilation, redo för laddning	CP	3V	+1V	Starta ventilation, redo för laddning
Ingen ström	CP	0V		Ingen ström
Error	CP	-12V	+0.6V	Error
Laddkapacitet 13A	PP	1.98V		Laddkapacitet 13A
Laddkapacitet 20A	PP	1.32V		Laddkapacitet 20A
Laddkapacitet 32A	PP	0.60V		Laddkapacitet 32A
Laddkapacitet 70A enfass / 63 A trefas	PP	0.30V		Laddkapacitet 70A enfass / 63 A trefas
Laddkapacitet 80A	PP	0.16V		Laddkapacitet 80A
Laddare ej inkopplad	PP	4.5V		Laddare ej inkopplad
Knapp nedtryckt	PP	3.0V		Knapp nedtryckt

Tabell 5: Kravspecifikation för signaler enligt protokoll SAE J1772

3.2 Hårdvara

Prototypen kommer göras på en breadboard för att underlätta utveckling och testning. Kretsen kommer styras med en Arduino Micro då den har tillräckligt med utgångar för alla signaler, den kan generera PWM-signaler samt det finns flera tillgängliga för användning i projektet. När prototypen är gjord och dess funktionalitet är verifierad mot kravspecifikationen kommer fortsatt utveckling göras i mån av tid. Denna utveckling syftar till att göra prototypen kompatibel med Aliaros system. Det innefattar bland annat att byta ut Arduinon mot kommunikation med I²C vilket är ett protokoll för dataöverföring. Kretsen ska göras på ett kretskort istället för en breadboard. Samtliga signaler mellan externa enheter och prototypen behöver även vara isolerade från testsystemets jord. Verifiering av signalerna kommer göras genom mätning med multimeter samt oscilloskop.

4 Genomförande

4.1 Prototyp på breadboard

4.1.1 Funktionalitet och användargränssnitt

Innan prototypen kan utvecklas behöver det göras antaganden om hur prototypen ska användas. Det blir en avvägning mellan hur väl prototypen ska efterlikna verkliga system och hur stor frihet användaren bör ha. Denna avvägning blir uppenbar då ett simulerat system kan uppnå tillstånd som inte är möjliga för dess fysiska motpart. Exempelvis kan det inte finnas någon konduktiv dataöverföring mellan två enheter som inte är fysiskt ihopkopplade. För en simulerad enhet finns ingen distinkt separation mellan de två enheterna och kommunikation emellan dem är därmed alltid möjlig.

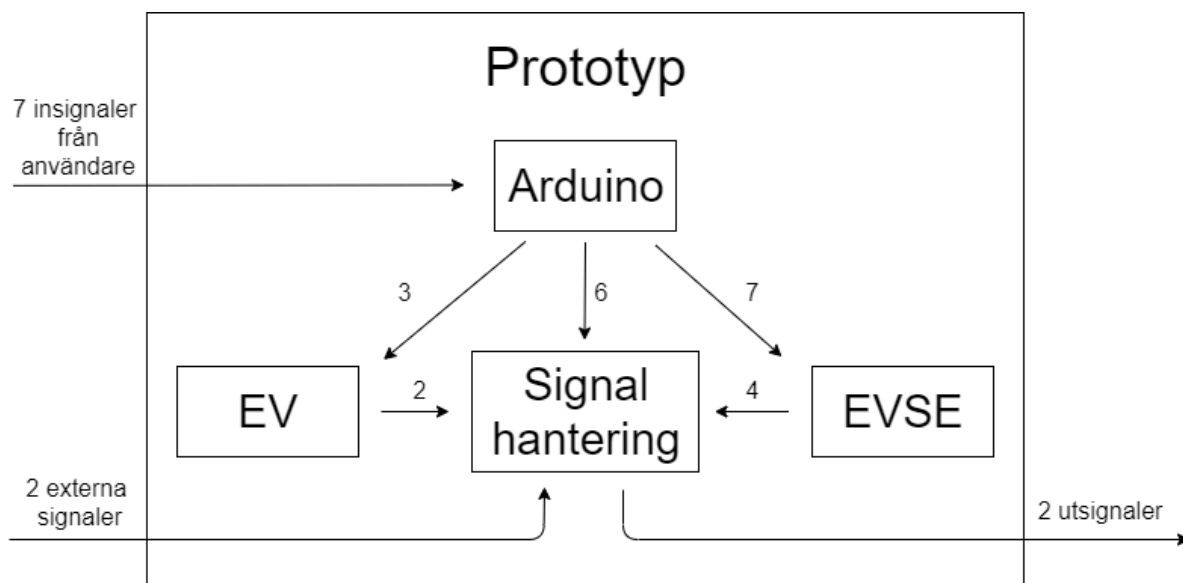
Utefter kravspecifikationen kan nödvändiga användarval definieras. Dessa val beskriver samtliga av systemets möjliga tillstånd och kan ses i Tabell 6. De första fem signalerna beskriver vilket tillstånd simuleringen ska ha. För de flesta av dessa signaler beskriver användaren ett fysikaliskt tillstånd såsom vilken kabel som är inkopplad eller om fordonet och laddningsenheten är ihopkopplade. I fallet för PWM-signalen gjordes valet att låta användaren välja arbetscykel. Arbetscykeln representerar laddningsnivån inom ett visst spann, utanför spannet signalerar den om kommunikation med PLC ska ske, eller så händer ingenting. Istället för att användaren ska få välja mellan dessa tre alternativ ges de möjlighet att direkt välja arbetscykel. Valet gjordes då det ger användaren mer frihet utan att det påverkar andra funktioner samt att det blir lättare att implementera.

De två sista variablerna uppfyller ett önskemål från Aliaro som berör möjligheten att använda prototypen som en *man in the middle*. Det innebär att prototypen är kopplad till både ett fordon och en laddningsenhet. Prototypen ska därmed inte påverka de signaler som skickas mellan enheterna utan endast läsa av dem. Det ska även gå att simulera en enhet där endast en fysisk enhet är inkopplad. Därmed behöver simulering av fordonet och laddningsenheten kunna aktiveras och stängas av oberoende av varandra. Detta innebär att kretsarna för simulering av fordonets och laddningsenhetens signaler behöver vara separerade.

Användarsignal	Val
Löstagbar laddningskabel	T/F
Laddkabel max ström	13/20/32/63/80
Knapp nedtryckt	T/F
EVSE arbetscykl	0-100%
EV status	A-F
Simulering EVSE	T/F
Simulering EV	T/F

Tabell 6: Användarens val samt antal signaler

Separeringen av kretsarna samt behovet att välja vilken krets som ska vara aktiv resulterar i en struktur hos prototypen som kan ses i Figur 3. Där visas prototypens delar, Arduinon samt tre kretsar, en för fordonet som även benämns som EV, en för laddningsenheten som benämns EVSE och en för signalhantering. Prototypen har två fysiska insignaler vilka är CP och PP från externa enheter. Insignalerna kommer i detta fall från användaren och ändras i koden för Arduinon. Figuren visar flödet av signaler mellan prototypens olika delar. Notera att Arduinon inte tar emot de slutliga signalerna. Denna prototyp antas bli en del av ett större testsystem där funktioner såsom loggning och tolkning av utsignalerna ligger utanför gränserna för funktionaliteten hos denna prototyp. Det antas även att insignalerna från användaren kommer komma från detta testsystem vilket är varför inget mer avancerat användargränssnitt utvecklades. Pseudokod för Arduinon kan ses i Appendix C.



Figur 3: Signalvägar för prototypen

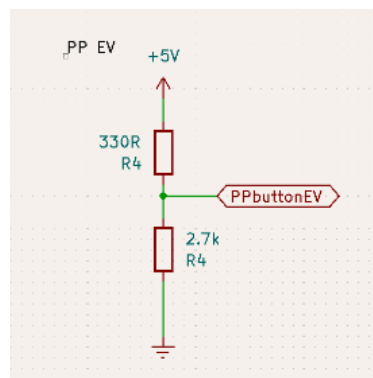
4.1.2 Hårdvara

Designen av simuleringskretsen börjar med att skapa ett kretschema i KiCad. Kretsen testas och dimensioneras med programmet LTSpice. Sedan byggs kretsen på en breadboard vilket underlättar testning och ändring av designen. Kretsen styrs av en Arduino Micro där koden är användargränssnittet för prototypen. Spänningsmatningen är anpassad efter den matningsspänning som används av Aliaro vilket är 24V och prototypen får sin spänning från ett nätaggregat. Tre DC/DC-omvandlare används för att generera $\pm 12V$, 5V och 3.3V.

I en tidigare version av prototypen tänkte Arduinon användas för att läsa och verifiera utsignalerna. För att det ska vara möjligt sammankopplades samtliga av DC/DC-omvandlarnas 0V-nivåer med jord. Detta resulterar i att inga signaler är isolerade vilket inte har någon betydelse för prototypens funktion. Det behöver dock ändras om prototypen vidareutvecklas för att användas i Aliaros system. Det fullständiga kretsschemat finns i Appendix B och en lista på komponenter finns i Appendix D. För verifiering och läsning av signalerna används en multimeter för PP-signaler och ett oscilloskop för CP-signaler.

4.1.2.1 Proximity Pilot EV

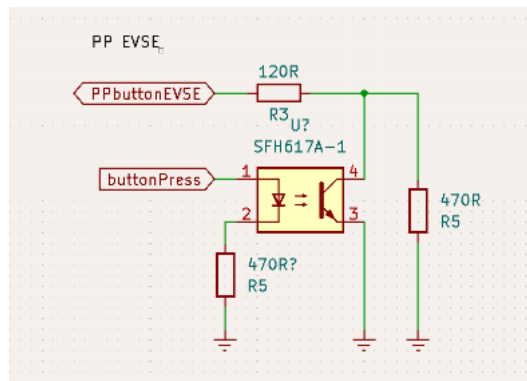
PP-signalen sköts främst av laddningsenheten och ingen manipulering av signalen sker hos fordonet. I fallet då det finns en knapp på handtaget kommer spänningsmatningen för signalen från fordonet. Kretsen för detta visas i Figur 4. Spänningsnivån på PP-signalen indikerar om det finns kontakt mellan fordon och laddningsenhet, samt statusen på den fysiska knappen.



Figur 4: Kretschema för PP från fordon

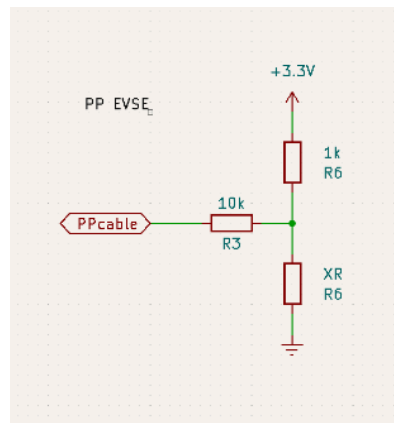
4.1.2.2 Proximity Pilot EVSE

PP för laddningsenheten har två olika kretsar för simulering, en som gäller för simulering av löstagbar kabel och en då kabeln har en fysisk knapp. Kabeln simuleras som en del av laddningsenheten och behandlas inte som en separat enhet. Nedan i Figur 5 visas kretsschemat för simulering av knappen. Knappens status "buttonPress" styrs av Arduinon och en optkopplare agerar som en switch. Utsignalen "PPbuttonEVSE" är kopplad till fordonets PP-signal "PPbuttonEV" från Figur 4.



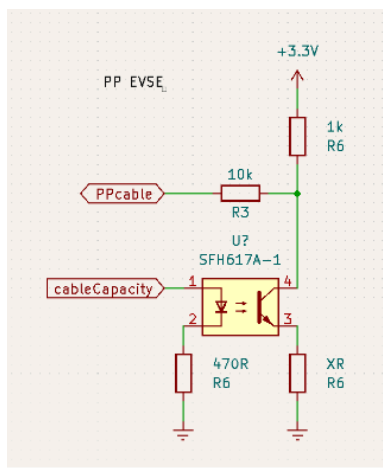
Figur 5: Kretsschema simulering av kabel knapp för PP

För det fall då laddningskabeln är löstagbar finns ett motstånd i kabeln. Motståndet representerar kabelns maximala strömkapacitet. Nedan i Figur 6 visas ett förenklat kretsschema för laddningsenheten där motståndet X representerar strömkapaciteten. Motståndet påverkar spänningsnivån på utsignalen, vilken kan läsas av hos bilen och laddningsenheten.



Figur 6: krets för laddkabelns strömkapacitet

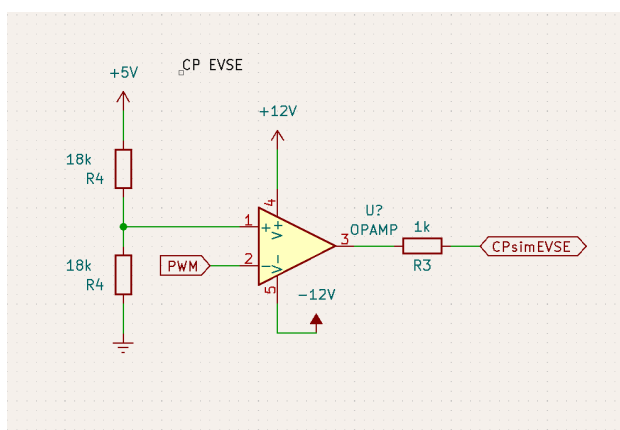
För simuleringen behöver användaren kunna välja vilket motstånd som används. Det finns totalt fem olika spänningar som laddkabeln kan ha och användaren behöver därmed kunna välja mellan dessa fem tillstånd. Detta görs med hjälp av optokopplare enligt Figur 7. Även denna figur är förenklad då en optokopplare finns för varje valbart motstånd. Optokopplarnas kollektorer är sammankopplade då endast en är aktiv åt gången. Det sker därmed inga störningar emellan optokopplarna. Användningen av optokopplare som switchar visade sig vara problematiskt då de orsakar ett spänningsfall på signalen. Detta kan hanteras på olika sätt där en lösning hade varit att använda en starkare ström för styrsignalen genom dioden. Detta var dock inte ett bra alternativ då Arduinons utsignal inte kan hantera såpass starka strömmar att det hade fungerat för samtliga signaler. Därför anpassades kretsen istället till den lägre spänningsnivån genom att variera resistorerna som är benämnda XR i bilden.



Figur 7: Krets för val av laddkabelns strömkapacitet

4.1.2.3 Control Pilot EVSE

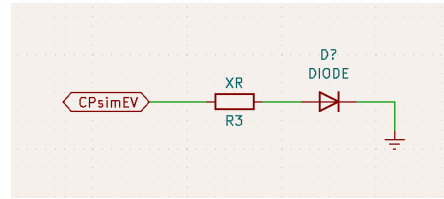
Signalen för CP genereras av Arduinon utifrån användarvärden som bestämmer arbetscykeln för PWM-signal eller spänningsnivå för felsignaler. Figur 8 nedan visar kretsen för simulering av CP för laddningsenheten. Styrsignalen från Arduinon är benämnd "PWM" vilket är ett förenklat uttryck då signalen både kan vara en PWM-signal eller en jämn spänningsnivå. Arduinons utsignal går mellan 0V och 5V och behöver därmed förstärkas så att 5V blir 12V och 0V blir -12V vilket görs med en operationsförstärkare. Arduinon kan med denna krets generera en signal som representerar alla spänningsnivåer för laddningsenheten samt en felsignal på -12V. Ett problem som uppstår är att de negativa signalerna inte förstärks lika mycket som de positiva. Det är särskilt ett problem för felsignalen som ska vara -12V utan PWM. Det verkliga värdet är -10.8V vilket är utanför det godkända gränsvärdet på -11.4V. Problemet uppstår hos operationsförstärkaren, men eftersom resterande signaler är inom godtagbara toleranser görs valet att inte ändra matningsspänningen till komponenten. Detta hade resulterat i en större förstärkning för samtliga signaler och hade orsakat problem hos resterande signaler. Ingen annan lösning hittades på problemet. Även PWM-signalens frekvens är lägre än det bör vara vilket beror på Arduinon som genererar signalen. PWM-signalen bör ha en frekvens på 1kHz \pm 20 Hz men det närmaste Arduinon kan generera är 977 Hz. Valet görs att inte åtgärda problemet då Arduinon antas bli utbytt innan prototypen är i det stadie att den används mot externa enheter. Därmed kommer PWM-signalen behöva genereras av en annan enhet och de fel som uppstår på grund av Arduinon kommer inte vara relevanta.



Figur 8: Kretsschema för CP från EVSE

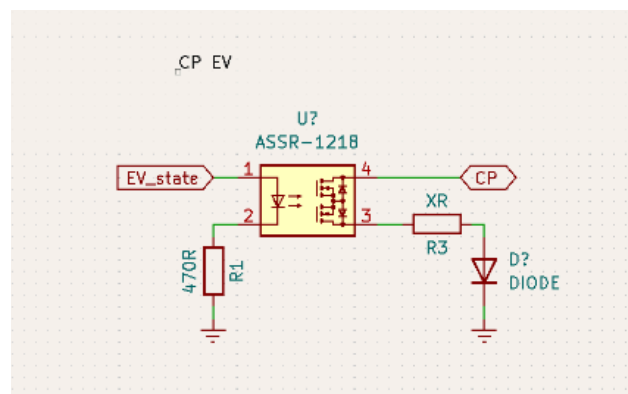
4.1.2.4 Control Pilot EV

Fordonet tar emot CP-signalen från laddningsenheten och lägger på en last som sänker spänningsnivån på signalen. Ett förenklat kretschema över CP-kretsen för fordonet visas i Figur 9. Resistansen X varierar beroende på vilken status bilen har. I de fall då CP är en PWM-signal är det endast den positiva flanken som blir påverkad av lasten.



Figur 9: Förenklad kretschema av CP för EV

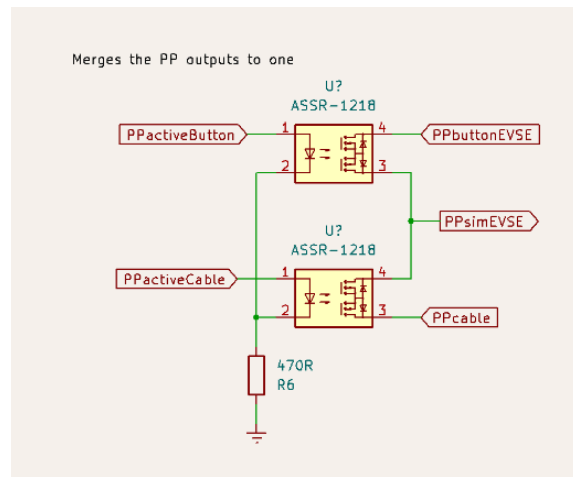
Kretsen för att välja resistans visas i Figur 10. Signalen "EV_state" är styrsignalen från Arduinon som aktiverar switchen. När detta sker kopplas CP-signalen till motståndet och spänningsnivån sänks. Denna koppling upprepas för varje möjlig status hos fordonet förutom A och F, vilka är 12V och -12V respektive. Dessa signaler genereras direkt hos laddningsenheten och är oberoende av fordonet. Kretsen använder analoga switchar istället för optokopplare och bytet av komponenter motiveras i kapitel 4.1.2.5.



Figur 10: Kretsschema av analog switch för val av CP status

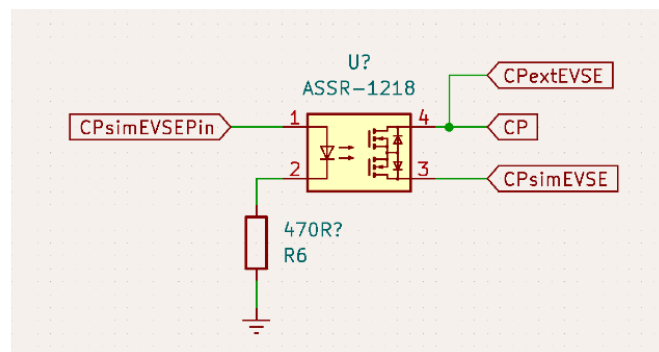
4.1.2.5 Signalhantering

I och med att det finns två alternativa kretsar för PP blir det två separata signaler som utgång istället för en som används i verkligheten. För att kombinera dessa till en signal används två analoga switchar där en av de två utsignalerna väljs till en slutlig utsignal. Därmed går PP-utsignalen alltid genom samma kabel vilket visas i Figur 11. Här användes först optokopplare som switch men problemet med spänningsfallet över utgångarna blev återigen ett problem som denna gång inte kunde lösas på samma sätt. PP-signalen för kabelns laddningskapacitet kan vara så låg som 0.16V vilket inte kunde passera genom en optokopplare med såpass låg spänning på ingången. Den slutliga lösningen blev att använda analoga switchar som inte påverkar signalen lika mycket som en optokopplare. Därmed använder vissa delar av kretsen optokopplare och resten gjordes med analoga switchar.



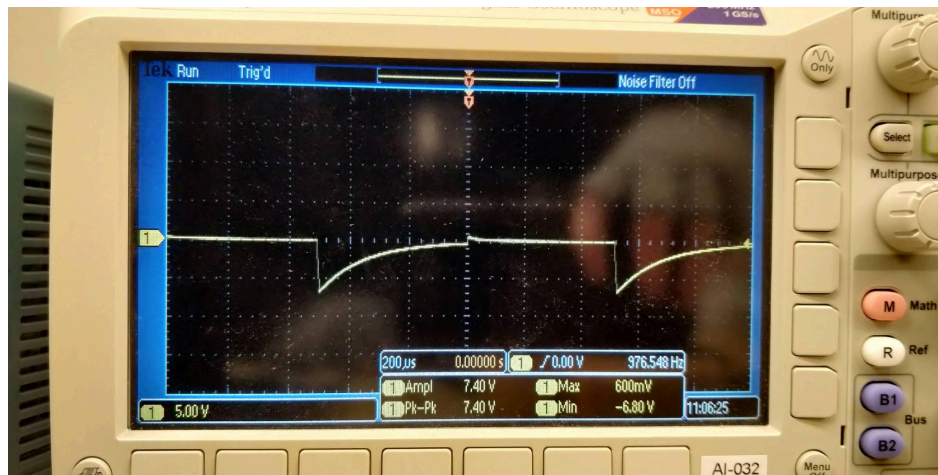
Figur 11: PP-signal för kabelkapacitet och knapp kombineras till en signal

En önskad funktion för prototypen är att kunna välja om en enhet ska simuleras eller inte. Det innebär att användaren kan välja om fordonet och laddningsenheten ska simuleras eller ej. För de fall då en enhet inte ska simuleras används istället en extern signal vilken kan komma från en annan simuleringsenhet eller ett fysiskt objekt. Det antas att den externa signalen endast kommer vara aktiv när den ska användas och att den inte kommer störa den simulerade signalen när den används. Det finns alltså ingen krets för att aktivera eller deaktivera den externa signalens påverkan på utsignalen. En analog switch används för att välja om den externa eller den simulerade signalen ska användas som slutlig signal. Detta behöver göras två gånger för CP respektive PP, en gång för fordonet och en gång för laddningsenheten. I Figur 12 visas kretsen för genereringen av slutliga signalen för CP för laddningsenheten. Val av simulering för resterande delar av kretsen sker på liknande sätt.



Figur 12: Simulerad och extern signal kombineras till en utsignal

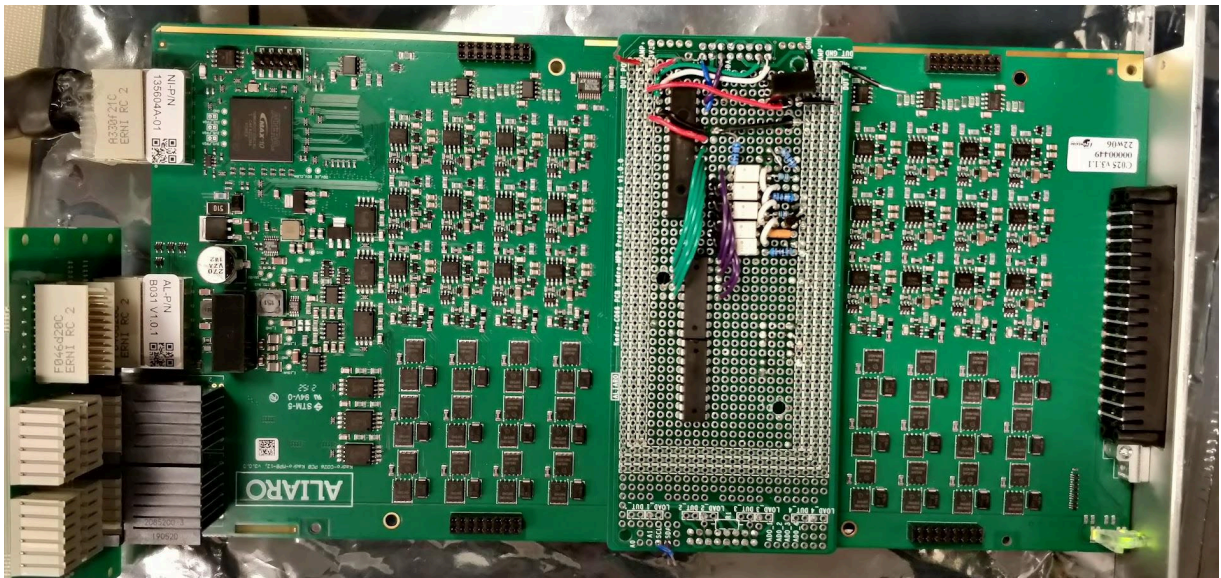
Ett problem som uppstår med de analoga switcharna var att de inte helt stryper PWM-signaler. Det innebär att om fordonet är i ett tillstånd som genererar en PWM-signal samt att simulering av fordonet är avstängt finns det fortfarande en puls hos CP vilket visas i Figur 13. Då PWM-signalen som genereras av Arduino är kopplad till en förstärkare som antingen ger 12V eller -12V går det inte att få en 0V-signal för CP utan att bryta signalen med en analog switch. Lösningen för detta är att generera en enbart hög eller låg signal istället för en PWM-puls när laddningsenheten inte ska simuleras. Denna signalen kan sedan brytas med en analog switch. Eftersom PWM-signalen kommer från den enheten som inte simuleras har dess värde ingen betydelse då signalen blir 0V innan den når den slutliga utsignalen.



Figur 13: PWM-signal genom inaktiv analog switch

4.2 Prototyp på kretskort

Lösningen för denna krets skiljer sig något från prototypen som gjordes på breadboard. Det kretskort som kretsen är byggd på är utformat för att kunna sättas som en så kallad piggyback på andra kort som är utvecklade av Aliaro vilket kan ses i Figur 14. Piggyback-lösningen innebär att spänningsmatning och kommunikation via I2C finns tillgängligt på kretskortet. Det finns en spänningskälla för 3.3V samt en 48V spänning som kallas amp med en referenspunkt vid 0V. Mellan +amp och referenspunkten finns därmed 24V vilket används för matning av DC/DC-omvandlaren. För att styra flera analoga switchar används en IO expanderare med 16 in/utgångar som styrs med I2C. Inga optokopplare används i denna prototyp. På grund av detta behöver resistorerna justeras jämfört med de som används i prototypen för breadboard för att uppnå korrekta värden på utsignalen. Även värdet på pull-down resistorerna för de analoga switcharna anpassades till IO expanderaren istället för Arduinon i brist på tid återskapades endast funktionen för PP-signalen för löstagbar kabel på kretskortet. Förutom att Arduinon är borttagen är även utsignalen isolerad från matningsspänningen. Detta åstadkoms genom att inte sammankoppla 0V-signalen från DC/DC-omvandlaren till någon av spänningskällorna vilket gjordes i prototypen på breadboard. I övrigt är kretsen densamma som för prototypen på breadboard och kretsschemat kan ses i Appendix B. Mjukvara till denna prototyp kommer behöva göras om helt från föregående prototyp. Testning av funktionaliteten görs genom att sätta kretsen på ett av Aliaros utvecklingskort och varje utgång från IO-expanderaren ändras manuellt via en dator.

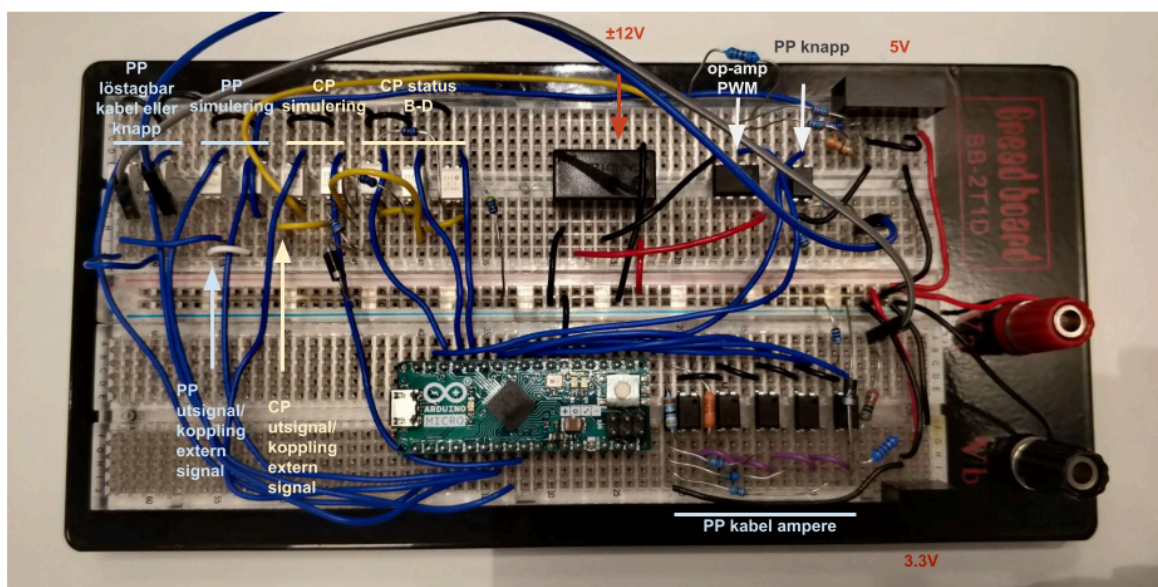


Figur 14: Kretskortsprototyp som piggyback

5 Resultat

5.1 Simuleringskrets på breadboard

Arbetet resulterade i en prototyp som kan generera samtliga signaler angivna i kravspecifikationen. Kretsarna för simuleringen av fordonet och laddningsenheten är separerade på ett sådant sätt att användaren kan välja att inte simulera någon eller båda av dessa enheter. I de fall simuleringen är avstängd antas en extern signal vara inkopplad till prototypen. De externa signalerna kan komma från en annan simuleringsenhet eller från ett riktigt fordon eller laddningsenhet. Det har inte gjorts någon testning för denna funktion och det antas att externa signaler inte genererar några störningar när prototypens simuleringar används. Figur 15 nedan visar prototypen kopplad på breadboard. Uppe i det vänstra hörnet sitter kretsen för signalhantering. För simulering av CP respektive PP finns två analoga switchar vardera. Den ena används för att välja om fordonet ska simuleras och den andra väljer laddningsenheten.



Figur 15: Prototyp på breadboard

Verifiering av signalerna gjordes med multimeter för PP-signalerna och oscilloskop för samtliga signaler från CP vilka kan ses i Appendix D. De uppmätta värdena då både fordonet och laddningsenheten simuleras visas i Tabell 7 nedan. De flesta signaler hamnade nära sina önskade värden med undantag för frekvensen av PWM-signalen. Detta är ett problem som antas lösas genom att byta ut Arduino och generera PWM-signalen från en annan källa i vidareutvecklingen av prototypen. Även CP-signalen för status F hamnade utanför godkända gränser. Detta problem kommer behöva lösas innan kretsen kan implementeras i ett testsystem. Resterande signaler som har en given tolerans hamnar inom dessa. Av de signaler som inte har en given tolerans är det svårt att veta om signalerna är tillräckligt nära målvärdet utan vidare testning. PP kan ha relativt låga värden på sin utsignal vilket exempelvis innebär att en skillnad med 0.39V resulterar i en felmarginal på 26% som är fallet för signalen "PP knapp ej nedtryckt". Signalen är fortfarande nära målvärdet utan risk att förknippas med

något annat tillstånd. En faktor som kan påverka dessa värden är matningsspänningen vars uppmätta värden samt målvärden kan ses i Tabell 8 nedan. Eftersom vidare utveckling innebär att förse kretsen med ström från en annan källa kommer en del av felmarginalen uppstå på grund av skillnader i matningsspänningen. Därmed antas det vara tillräckligt god noggrannhet på dessa signaler för syftet av prototypen som grund för vidareutveckling. Skulle det senare visa sig att det krävs högre precision kan PP-signalerna relativt enkelt regleras genom att ändra kretsens resistanser.

Signal	Uppmätt värde	Önskat värde
PP knapp ej nedtryckt	1.89V	1.5V
PP knapp nedtryckt	3.05V	3.0V
PP ingen kontakt (status A)	4.56V	4.5V
PP kabel ingen kontakt	3.57V	3.3V
PP kabel 13A	2.15V	1.98V
PP kabel 20A	1.34V	1.34V
PP kabel 32A	0.66V	0.60V
PP kabel 63A	0.31V	0.30V
PP kabel 80A	0.17V	0.16V
PP kabel ingen kontakt	3.56	3.3
CP PWM frekvens	976,549 Hz	1 kHz
CP status A hög flank	11.7V	12V ± 1V
CP status B hög flank	9.0V	9V ± 1V
CP status C hög flank	6.0V	6V ± 1V
CP status D hög flank	3.4V	3V ± 1V
CP status A-D låg flank	-11.2V	-12V ± 1V
CP status E	0V	0V
CP status F	-10.8V	-12V ± 0.6V

Tabell 7: Uppmätta värden av CP och PP samt deras målvärden

Uppmätt spänning	Målvärde spänning
3.57V	3.3V
5.15	5.0V
12.28V	12.0V
-12.30V	-12.0V

Tabell 8: Uppmätta spänningsnivåer

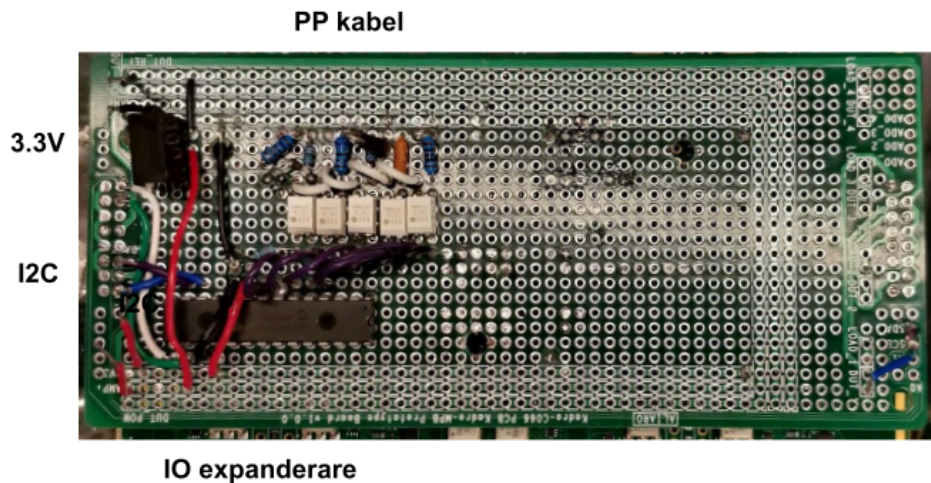
Signalerna mättes även när endast en enhet simulerades. När endast fordonet simuleras är CP 0V då signalen genereras av laddningsenheten. När laddningsenheten simuleras men inte fordonet blir CP som i Tabell 7 med undantag för PWM-signalen som alltid är ± 12 V. För PP beror slutsignalen även på vilken typ av kabel som används. Tabell 9 visar PP-signalen beroende på inställningar av simuleringsstatus samt kabeltyp. Värdena på PPcable är desamma som de från PP kabel XA i Tabell 7.

EVSE	EV	löstagbar kabel	PP
false	true	false	4.56V
false	true	true	0V
true	false	true	PPcable
true	false	false	0V

Tabell 9: Uppmätta värden från val av simuleringsenhet

5.2 Simuleringskrets på kretskort

Endast en del av kretsen från den tidigare prototypen hann göras på kretskort vilket kan ses i Figur 16 nedan. Därmed uppfyller inte denna prototyp alla krav från kravspecifikationen. De funktioner som finns för kretsen fungerar, kommunikationen för I2C är fungerande och därmed finns samma möjligheter att styra analoga swtichar som Arduinon hade. Då den del av kretsen som byggdes är funktionell finns möjlighet att få resterande krets att fungera.



Figur 16: Prototyp på kretskort

Liksom för kretsen på breadboard ger DC/DC-omvandlaren ut en högre spänning än önskat, 3.54V. Det är en felmarginal på ca 7% och justerat för detta hamnar de uppmätta värdena från Tabell 10 mycket nära de önskade värdena.

Signal	Uppmätt värde	Önskat värde
PP kabel ingen kontakt	3.54V	3.3V
PP kabel 13A	2.10V	1.98V
PP kabel 20A	1.41V	1.34V
PP kabel 32A	0.63V	0.60V
PP kabel 63A	0.32V	0.30V
PP kabel 80A	0.17V	0.16V

Tabell 10: Uppmätta värden från kretskortsprototyp

6 Diskussion

6.1 Arbetsmetod

Projektplanen följdes till en början men behövde sedan revideras. Tidsplanen följdes på så sätt att alla moment blev färdiga inom sin utsatta tid. De olika momenten utfördes mer parallellt jämfört med tidsplanen. Implementering av användarinterface antogs ta två veckor och hade kunnat kallas kodskrivning istället då användargränssnittet blev koden. Det krävdes dock inte två veckor för att utföra uppgiften och även skapandet av den elektriska kretsen gick snabbare än väntat. Därmed var prototypen på breadboard färdig under projektets sjätte vecka. Då gjordes en reviderad tidsplan för vidareutveckling av prototypen där fokus låg på att göra den kompatibel med Aliaros system. Denna tidsplan hann inte följas och kretskortsprototypen blev inte färdig. Det berodde främst på problem med att verifiera I2C-funktionen för kretsen utanför Aliaros system.

I planeringen gjordes ingen detaljerad plan med tillvägagångssätt för arbetet. Detta fungerade bra då det hade varit svårt att veta vad som hade varit rätt arbetssätt från början. Detta är med ett undantag vilket gäller testningen. Då prototypen har 16 utsignaler från Arduinon, ibland fler i projektets tidigare stadier, blev testning och verifieringen av funktionaliteten omständigt. Det hade antagligen varit mer tidseffektivt att definiera de tester som hade behövts göras för att verifiera funktionaliteten. Istället utgick arbetet direkt från funktionaliteten och testade endast det som antogs vara relevant för stunden. Det resulterade i flera mindre tester som ibland påvisade fel i designen som behövde åtgärdas och därmed behövdes ännu mer testning göras.

6.2 Resultat breadboardprototyp

Resultatet av arbetet anses vara lyckat då det är en grund utefter vilken vidareutveckling kan baseras på för att skapa en funktionell produkt. Utöver en mestadels funktionell lösning på att efterlikna verkliga signaler är prototypen anpassad för att ge användaren en hög grad av kontroll vilket hade krävt en mängd fysiska produkter för att efterlikna i testning utan simulering och är i vissa fall inte möjligt att uppnå. Vad gäller resultatet av prototypen är det mestadels lyckat gällande att simulera verkliga signaler men kan inte anses vara funktionellt. Det är för att vissa signaler inte är inom godkända marginaler samt att produkten inte är testad eller verifierad att fungera mot varken fysiska eller andra simulerade enheter. Utöver det finns det funktioner för de externa insignalerna som inte är testade alls. En önskvärd funktion som prototypen inte har är loggning av signaler. Detta togs inte med i prototypen då det redan finns en sådan funktion i Aliaros system vilket kommer kunna implementeras i vidare utveckling.

6.3 Resultat kretskortsprototyp

Kretskortsprototypen blev inte färdig, men det som åstadkoms efterliknade den tidigare prototypen. Resultatet av kretskortsprototypen visar främst att den är kompatibel med Aliaros system och att lägga till resterande delar av kretsen är en fråga om tid. Inte heller denna prototyp är testad mot andra enheter och det går därmed inte att veta om den fungerar med andra enheter. Det är främst en fråga om precision där det återigen är möjligt att komma närmare målvärdet med relativt enkla justeringar. En stor felmarginal uppstår på grund av DC/DC-omvandlaren så behövs mer noggranna signaler bör första steget vara att byta ut denna.

6.4 Miljö och etik

Arbetet har betraktats ur ett miljö och etik-perspektiv. Detta gjordes med ett helhetsperspektiv på den teknik som är relevant för arbetet istället för att endast ta hänsyn till de resurser och relationer som direkt har berör arbetet. Detta arbete anses vara direkt drivande av utvecklingen av elbilar för att diskutera dessa aspekter.

Det främsta argumentet som lyfts fram i fördel för elbilar är att de resulterar i mindre utsläpp som bidrar till växthuseffekten jämfört med bilar med förbränningsmotorer. Dock resulterar tillverkningen av elbilar i mer koldioxidutsläpp, 8.8 tCO₂ jämfört med 5.6 tCO₂ för bilar med förbränningsmotorer [13]. Tillverkningen genererar även mer giftiga avfall för elbilar. Detta beror till stor del på batteritillverkningen vilket kräver en betydande andel sällsynta jordartsmetaller. Extrahering av dessa bidrar till lokal miljöförstöring, giftigt avfall och ohälsosamma arbetsförhållanden. Till och med barnarbete förekommer [14] vilket gör frågan till en om mänskliga rättigheter och inte bara miljö.

Under användning kan elbilar vara ett mer miljövänligt alternativ, men det beror till stor del på hur miljövänlig dess elektricitet är. Exempelvis antas skillnaden i koldioxidutsläpp för Storbritannien ske i fördel för elbilar runt 2030 [13]. Siffran kommer från ett antagande om att elektriciteten kommer generera mindre koldioxidutsläpp än vad den gör nu. Elbilar har flera kritiska områden som behöver förbättras för att bli mer hållbara. Det gäller områden som återvinning av batterier, idag återvinns endast 2% av de sällsynta jordartsmetallerna [17]. Mer återvinning av batterier kommer att minska behovet av att bryta nya råvaror. Även problem med långa laddningstider i kombination med ett elnät som inte är redo att hantera ökningen av elbilar behöver lösas [18].

Frågan om hur miljövänliga elbilar är blir komplicerad att besvara. Det är inte en fråga om att definiera vilken teknik som är bäst för stunden utan handlar om att hitta en långsiktig lösning. Det finns en konsensus om att förbränningsmotorer inte är en sådan lösning och därmed finns det värde i att utveckla teknik som har möjlighet att bli det bättre framtida alternativet. Elbilar har redan en utbredd infrastruktur rörande laddning vilket är en fördel framför andra fossilfria lösningar så som vätgas [19], [20]. Det är förhoppningsvis inom en snar framtid vi kan se stora fördelar med elbilar jämfört med förbränningsfordon och därmed är det värt att fortsätta driva utvecklingen framåt.

7 Vidareutveckling

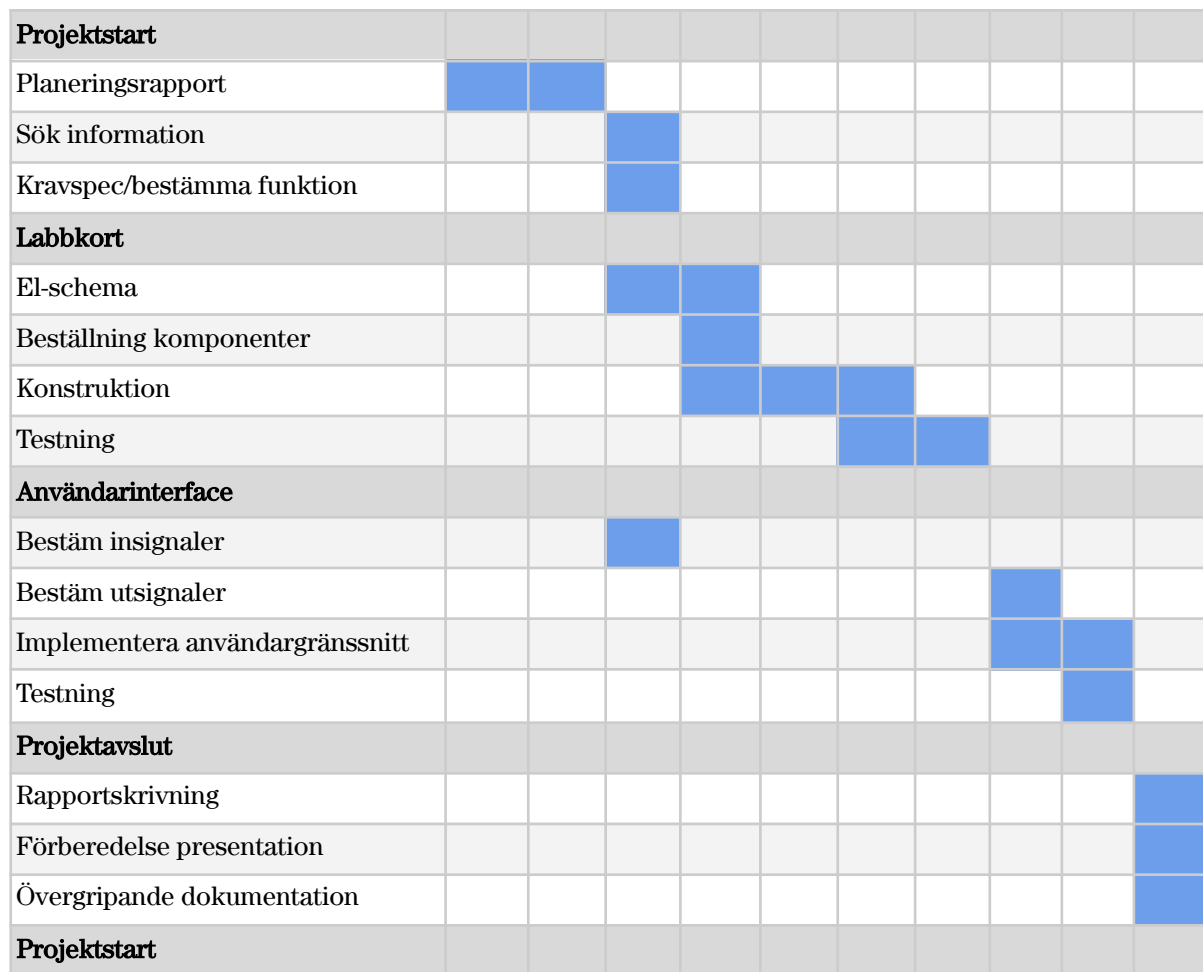
Vidareutveckling antas göras på den befintliga kretskortsprototypen. Denna produkt har stor utvecklingspotential, främst för att få fungerande signaler likt kretsen som gjordes på breadboard. Därefter kan funktioner så som loggning samt PLC-kommunikation tillkomma, dock är detta ett stort projekt i sig. Det första steget borde vara att koppla upp resterande kretsar för PP, CP och signalhanteringen där samtliga utsignaler fortsatt är isolerade. Även insignaler kan behöva isoleras vilket i så fall kan göras med isoleringstransformatorer vilket är transformatorer med en ratio av 1. Detta behåller signalens spänningsnivå vilket inte kan åstadkommas med isolering via analoga switchar eller optokopplare.

Det kommer också vara nödvändigt att testa prototypen mot andra enheter, simulerade eller verkliga för att testa om prototypen är funktionell. Det är särskilt viktigt att testa funktionen för att använda externa enheter istället för simuleringen då denna funktion inte kan testas eller verifieras då funktionen sätter krav på eventuella kringssystem. Verifiering via testning är också nödvändigt då dokumentationen rörande de befintliga signalerna ibland är motsägande. Det gäller främst PP för löstagbar kabel där det finns skild information rörande vilken spänning som används samt om den genereras av fordonet eller laddningsenheten [6], [21]. En alternativ lösning för att verifiera funktionen är att skaffa access till standarden för protokollet för att på så sätt verifiera funktionaliteten.

- [14] D. Agusdinata, H. Eakin, W. Liu, "Critical minerals for electric vehicles: a telecoupling review", *Environ. Res. Lett.* 17 013005, 2022, [Critical minerals for electric vehicles: a telecoupling review - IOPscience](#)
- [15] C. Beck, T. Jones, L. Swafford, H. Schmidt, "Electric Vehicles", 2018, pp. 1-14. <https://shareok.org/handle/11244/317114>
- [16] Ma, C.; Madaniyazi, L.; Xie, Y. Impact of the Electric Vehicle Policies on Environment and Health in the Beijing–Tianjin–Hebei Region. *Int. J. Environ. Res. Public Health* **2021**, *18*, 623. <https://doi.org/10.3390/ijerph18020623>
- [17] Patil, A.B.; Paetzel, V.; Struis, R.P.W.J.; Ludwig, C. Separation and Recycling Potential of Rare Earth Elements from Energy Systems: Feed and Economic Viability Review. *Separations* **2022**, *9*, 56. <https://doi.org/10.3390/separations9030056>
- [18] A. Ghavami, K. Kar and A. Gupta, "Decentralized Charging of Plug-in Electric Vehicles With Distribution Feeder Overload Control," in *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 61, no. 11, pp. 3527-3532, Nov. 2016, doi: 10.1109/TAC.2016.2516240. <https://ieeexplore.ieee.org/document/7377030>
- [19] O. H. Hannisdahl, H. V. Malvik and G. B. Wensaas, "The future is electric! The EV revolution in Norway — Explanations and lessons learned," *2013 World Electric Vehicle Symposium and Exhibition (EVS27)*, 2013, pp. 1-13, doi: 10.1109/EVS.2013.6914921. <https://ieeexplore.ieee.org/document/6914921>
- [20] J. C. Gjerløw, 'NEXT NORDIC GREEN TRANSPORT WAVE -LARGE VEHICLES : Deployment of hydrogen trucks and infrastructure in the Nordic - Status, ambitions, and recommended actions to stimulate the demand', Copenhagen, 2022. [diva2:1655883](#)
- [21] P. Saponoudomsit, N. Charbkaew, T. Bunyagul and Y. Chompusri, "Safety Function Designs in Mode 3 EVSE," *2022 19th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2022, pp. 1-4, doi: [10.1109/ECTI-CON54298.2022.9795477](#)

Appendix

Appendix A. GANTT-schema



Figur 17: Initial tidsplanering

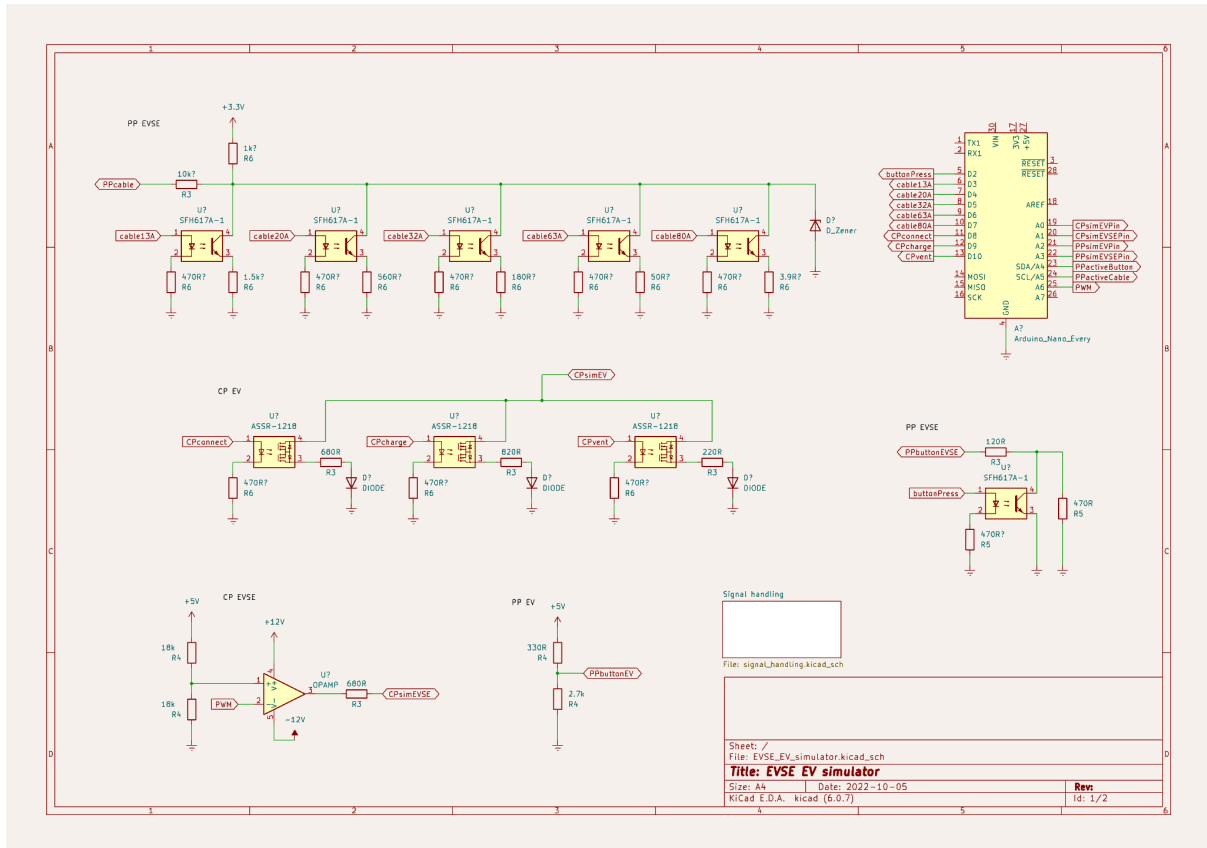
Under projektets gång behövdes tidsplanen revideras. Den nya tidsplanen kan ses i Figur 18. Den nya tidsplanen täcker den resterande tiden av projektet från tidpunkten den gjordes. Då den tidigare planerade målen för prototypen är uppfyllda inkluderas här mål för att göra prototypen kompatibel med Aliaros system.

	V6	V7	V8	V9	V10
Separering EV och EVSE krets					
Bestäm antagande om in-signaler	■				
Implementera separering mellan EV och EVSE	■				
Implementering som piggyback					
Definiera interna och externa signaler	■				
Se över interface mot Aliaros system	■	■			
Bygg krets som piggyback		■	■	■	
Dokumentation					
Kretsschema grundläggande funktion	■				
Kretsschema slutlig funktion				■	■
Rapportskrivning	■	■	■	■	■
Förberedelse presentation					■
Övrig dokumentation					■
Opponering			■	■	

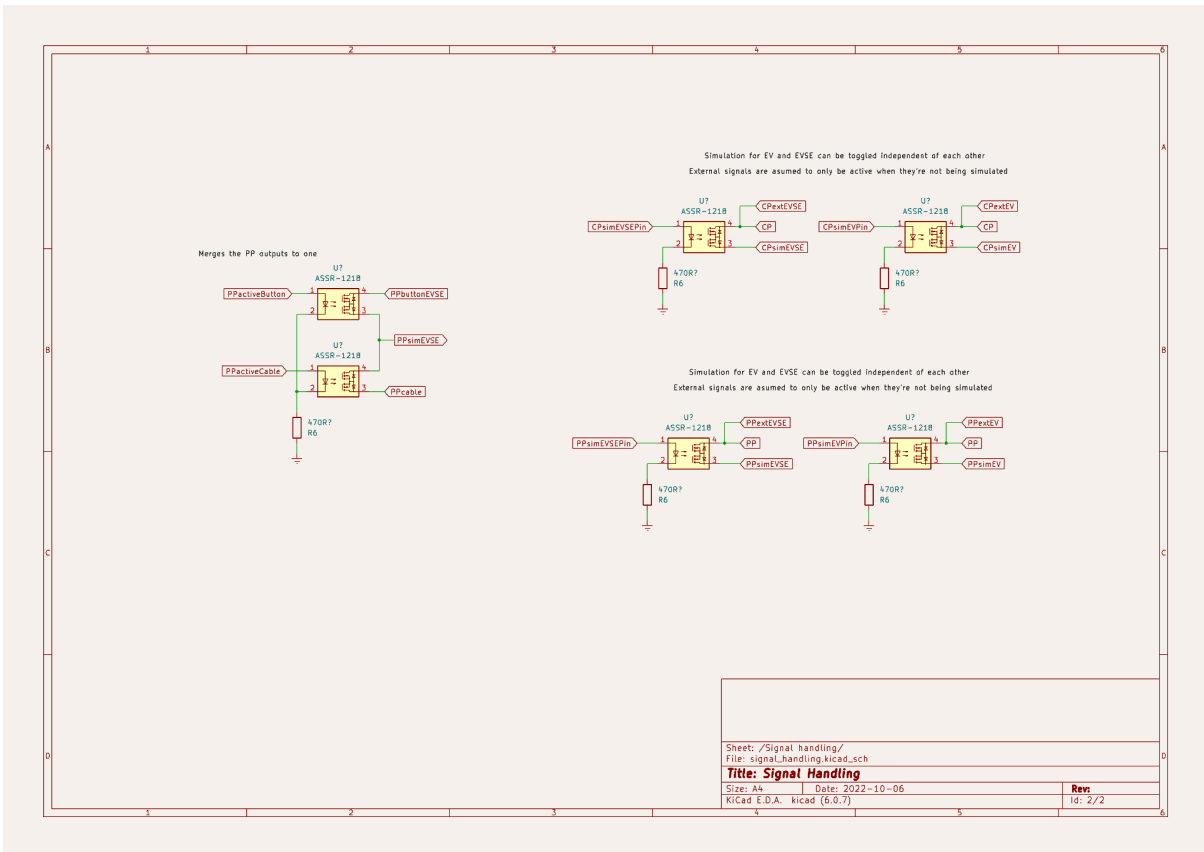
Figur 18: Reviderad tidsplanering

Appendix B. Kretsschema

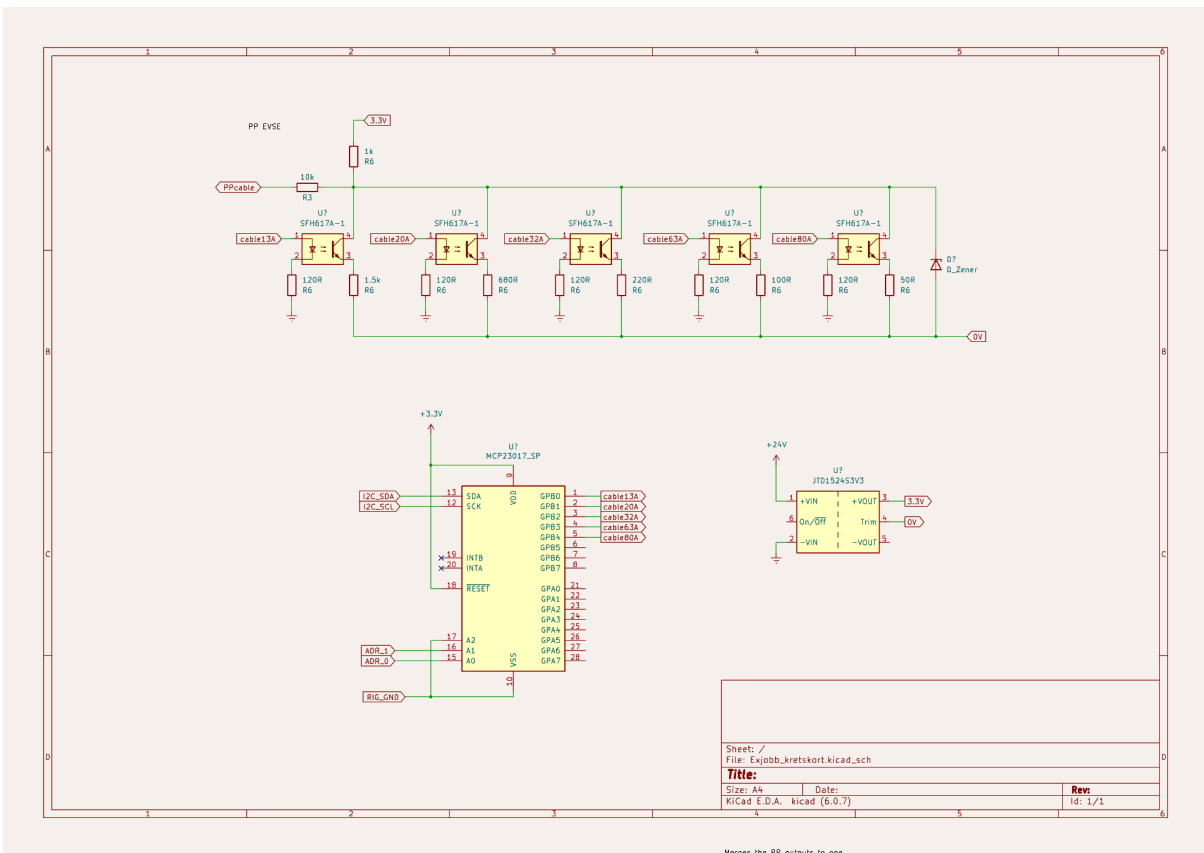
Kretsschemat för breadboard-prototypen kan ses i Figur 19 och 20. Figur 19 innehåller arduinon och simuleringskretsarna för fordonet samt laddningsenheten. För Arduino är inte komponenten på bilden densamma som i projektet, vilket är en Arduino Micro. Därmed stämmer inte in/utgångarna överens med de på prototypen. Signalerna som finns vid Arduino är desamma som används för prototypen.



Figur 19: Kretsschema breadboard prototyp sida 1



Figur 20: Kretsschema breadboard prototyp sida 2



Figur 21: Kretsschema kretskort prototyp

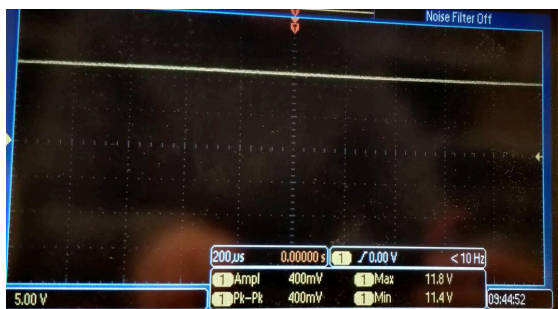
Appendix C. Pseudokod

```
//Toggle external/simulated signals
if(EVSEsim == true){
  PPsimEVSEPin = HIGH;
  CPsimEVSEPin = HIGH;
}
if(EVsim == true){
  CPsimEV = HIGH;
  if(detachable_cable == false){
    PPsimEVPin = HIGH; //There is no circuit for PP with detachable cable by the EV
  }
}
//Proximity Pilot with button
if(detachable_cable = false && EV_state != 'A'){
  PPactiveButtonPin = HIGH;
  buttonPin = button_state;
}
//Proximity Pilot with cable rating
if(EV_state != 'A'){
  setAmpPin(cable_rating);
}
if(detachable_cable = true){
  PPactiveCablePin = HIGH;
}
//Control Pilot for EVSE
if(EVSEsim == true){
  setPwmPin(EV_state, duty_cycle);
}else{
  pwmPin = HIGH;
}
//Control pilot for EV
if(EVsim == true){
  setCPconnectPin(EV_state);
  setCPchargePin(EV_state);
  setCPventPin(EV_state);
}
```

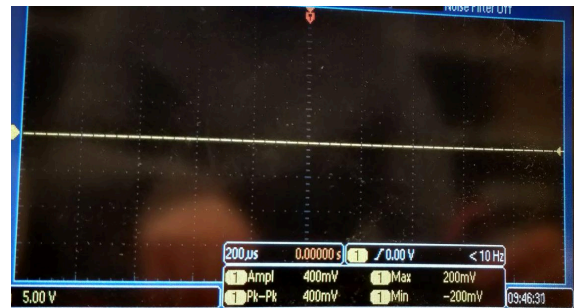
Figur 22: Pseudokod för prototyp med Arduino

Appendix D. CP PWM signal

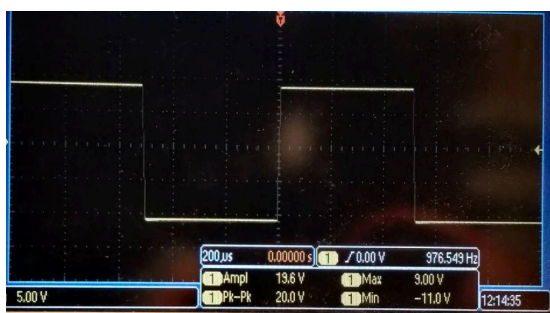
Figur 23 visar mätningar av samtliga tillstånd för CP. Samtliga PWM-signaler har en arbetscykel på 50%.



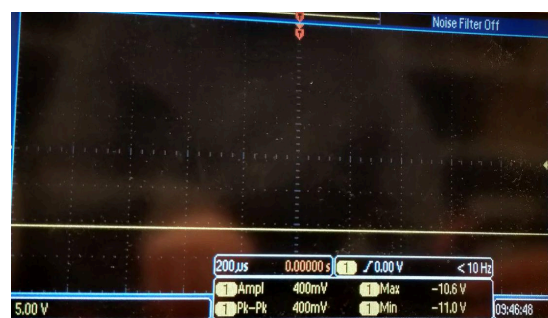
Figur 23.1: CP status A



Figur 23.5: CP status E



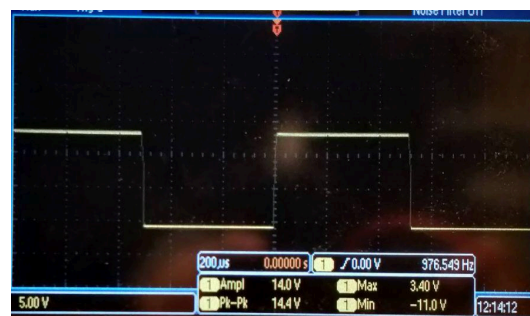
Figur 23.2: CP status B



Figur 23.4: CP status D



Figur 23.3: CP status C



Figur 23.6: CP status

Appendix D. Lista komponenter

MPA2405S-1W	DC/DC omvandlare 5V
MPB2403S-1W	DC/DC omvandlare 3.3V
MCA24D12D	DC/DC omvandlare $\pm 12V$
TCET1102	Optokopplare
RC4558P	Operationsförstärkare
G3VM-61A1	Analog switch
MCP23017-E/SP	IO expanderare

Tabell 11: Komponenter från prototypen



CHALMERS