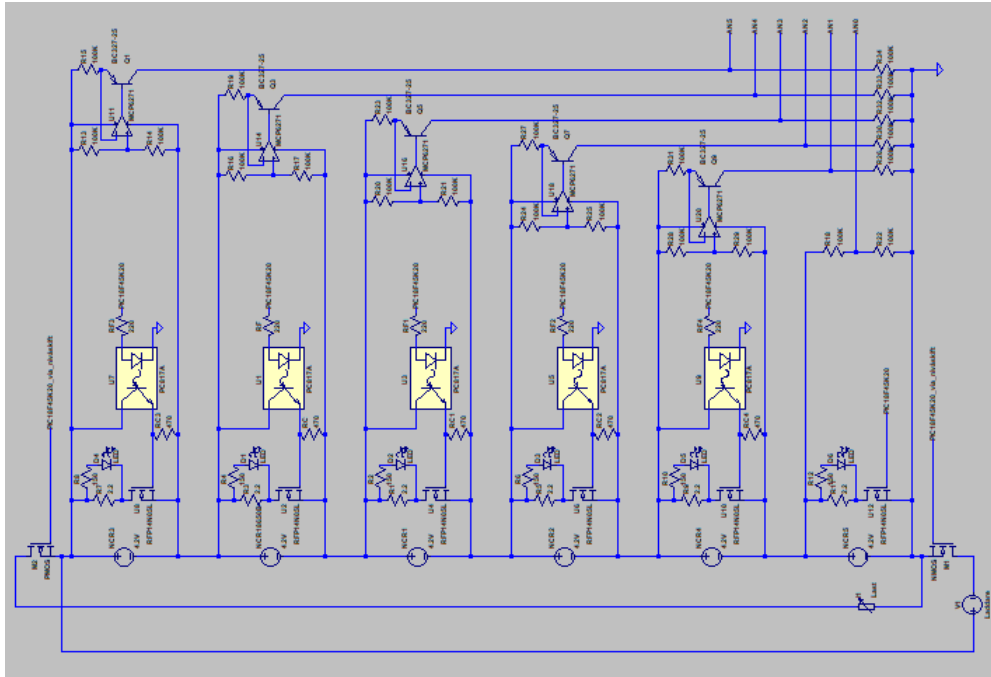




Utveckling av ett Battery Management System till batteripack avsedd för användning med en drönare

Development of a Battery Management System for a battery pack intended to power a drone

Examensarbete inom Elektroteknik

Oskar Hellqvist, Pontus Petersson

Förord

Detta examensarbete ingår som ett avslutande moment på elektroteknikprogrammet 180 hp på Chalmers Tekniska Högskola. Arbetet omfattar 15 hp och är utfört åt Sigma Technology AB.

Vi vill tacka David Rydén och Kim Helgius på Sigma Technology för möjligheten att skriva examensarbete och även vår handledare på Sigma Mohammadreza Khaksari.

Framförallt vill vi tacka vår handledare på skolan Göran Hult som har bidragit med ovärderlig hjälp och kunskap vid design och konstruktion av arbetet.

Vi vill också tacka Sakib Sisteck för hans stora entusiasm och omtanke för examensarbetarna och deras arbetsmiljö.

Pontus Petersson, Oskar Hellqvist, Göteborg, Juni 2019

Sammanfattning

Detta arbete görs på uppdrag av Sigma Technology AB som är ett av Sveriges ledande konsultbolag för ingenjörer inom branschen av inbyggda system och mjukvarude-sign. Arbetet syftar till att utveckla ett Battery Management System för att optimerad driftförhållandena till ett batteripack avsett att driva en drönare. Batteripacket består av litium jon batterier av modellen Panasonic NCR18650B. Exjobbet omfattar kretsdesign, konstruktion av kretsen och mjukvaruutveckling. Mjukvaran som utvecklas implementeras i en mikroprocessor av modellen Microchip PIC18F45K20. Denna processor är en 40 bens processor och valdes i första hand för att den tillräckligt många programmerbara in och utgångar för att täcka behovet. All mjukvara utvecklades i MPLAB X IDE och för att föra över denna kod till processorn användes debuggern Pickit 3. I detta projekt utvecklades en balanseringskrets som använder passiv balansering för att balansera batterierna. Aktiv balansering diskuteras dock i rapporten och beskrivs kortfattat. Den annan viktig avgränsning är att systemet inte är byggt för att kunna testas med drönaren. Detta då kretsen är konstruerad med Through-Hole Technology (THT) komponenter vilket blir en för stor krets för att montera på drönaren. Om ett sådant mål hade funnits hade kretsen konstruerats med Surface-Mount Device (SMD) komponenter. Som resultat av arbetet färdigställdes samtliga kretsar som planerat, dock kunde inte all mjukvara utvecklas på grund av tidsbrist. Vad gäller mjukvaran utvecklades kod för att hantera spänningsmätning på respektive battericell samt möjlighet till balansering av batterierna vid laddning. Detta innebär att systemet inte är klart för att tas i drift, men relativt lite arbete återstår för att färdigställa projektet.

Abstract

This work is being commissioned by Sigma Technology AB, which is one of Sweden's leading consulting companies for engineers in the industry of embedded systems and software design. This project aims to develop a Battery Management System which optimizes the operating conditions of a battery pack intended to operate a drone. The battery pack consists of the Panasonic NCR18650B lithium ion batteries. The thesis includes circuit design, construction of the circuit and software development. The software being developed is implemented in a microcontroller of the model Microchip PIC18F45K20. This processor is a 40 pin processor and was selected primarily for the sufficient number of programmable inputs and outputs to cover the demand. All software was developed in MPLAB X IDE and to transfer this code to the processor, the debugger Pickit 3 was used. In this project, a balancing circuit was developed using passive balancing to balance the batteries. However, active balancing is discussed in the report and is briefly described. The other important delimitation is that the system is not built to be tested with the drone. This was decided since the circuit is designed with Through-Hole Technology (THT) components, which becomes a too large circuit for mounting on the drone. If such a target had existed, the circuit had been constructed with Surface-Mount Device (SMD) components. As a result of the work, all the circuits were completed as planned, but not all software could be developed due to lack of time. As far as the software is concerned, code was developed to handle voltage measurement on the respective battery cell and the possibility of balancing the batteries during charging. This means that the system is not ready to be put into operation, but relatively little work remains to complete the project.

Innehåll

Figurer	ix
Tabeller	xi
1 Introduktion	1
1.1 Bakgrund	1
1.2 Mål & Syfte	1
1.3 Avgränsningar	1
1.4 Precisering av frågeställningen	2
2 Kravspecifikation	3
2.1 Kravspecifikation	3
2.1.1 Krav på specifika produkter	4
3 Teori	7
3.1 Funktionsprincip	7
3.2 Kretskomponenter	8
3.2.1 Microprocessor PIC18F45K20	8
3.2.2 Panasonic NCR18650B	9
3.2.3 Termisk rusning	9
3.2.4 Temperaturgivare TC74A0-5.0VAT	9
3.3 Step-down omvandlare	11
3.4 Strömsensor ACS712ELCTR-20A-T	11
3.5 Mjukvara och programresurser	11
3.5.1 PICkit 3	12
3.5.2 MPLAB	12
3.5.3 LTspice	13
4 Genomförande	15
4.1 Arbetsgång	15
4.1.1 Val av system	15
4.1.2 Val av komponenter	15
4.1.3 Simulering och kretskonstruktion	16
4.1.4 Testning av hårdvara	16
4.1.5 Mjukvaruutveckling	16
4.1.6 Spänningsmätning	17
4.1.7 Balanseringskrets	18

4.2	Komponentlista	21
4.2.1	Hjälpmedel	21
4.2.2	Mätutrustning	22
4.2.3	Analoga komponenter	22
4.2.4	Digitala Komponenter	22
5	Resultat	23
5.1	Resultat från simuleringar	23
5.1.1	Spänningsmätning	23
5.1.2	Balanseringskrets	23
5.2	Test av delsystem	24
5.2.1	Spänningsmätning	24
5.2.2	Balanseringskrets	25
5.2.3	Spänningsomvandling	26
5.3	Test av Mjukvara	27
5.4	Systemet i förhållande till kravspecifikation	27
6	Diskussion	29
6.1	Diskussion av resultat	31
6.2	Fortsatt arbete och förslag på vidareutveckling	32
6.3	Aktiv balansering kontra passiv balansering	32
6.4	Miljöaspekt	33
7	Slutsats	35
	Litteraturförteckning	37
A	Appendix A	I
A.1	Processor kod	II
A.2	Kopplingsschema	VII
A.3	Blockdiagram	VIII
A.4	Flödesschema	VIII

Figurer

3.1	PIC-processorn som användes i examensarbetet PIC18F45K20	8
3.2	Den temperaturgivare som används för att övervaka batterierna	10
3.3	Modellen för den färdiga step-down konverteraren som användes i projektet, komponentvärden i bilden stämmer för 5,0 V versionen . . .	11
3.4	PICkit 3 debugger som har använts vid programmering av PICprocessor.	12
3.5	MPLAB X logotyp.	12
4.1	Kretskonstruktion av spänningsmätningsskretsen	18
4.2	Kretsschema för spänningsmätningsskrets för en battericell, simulering gjordes med en ideal operationsförstärkare men i verkligheten användes en MCP6273	18
4.3	Konstruktion av balanseringskrets	19
4.4	Kopplingsschema för balanseringskrets, plus och minus kopplas in till respektive plus- och minuspol på battericellen och signal från processorn skickas till gate på transistorn via optokopplarskretsen.	20
4.5	Modell visar den implementerade optokopplaren	21
5.1	Simulering av spänningsmätningsskretsen vid en inspänning av 4,2 V vilket resulterar i en utspänning av 2,095 V	23
5.2	Simulering av balanseringskretsen	24
5.3	Färdig kretskonstruktion av de två olika spänningsomvandlarna, till vänster för 3,3 V och till höger för 5 V	27

Tabeller

2.1	Nedan visas Kravspecifikationen med samtliga generella krav på hela systemet.	4
2.2	Nedan visas samtliga krav som ställdes på mikroprocessorn	5
2.3	Nedan visas samtliga krav som ställdes på temperatursensorn	5
2.4	Nedan visas samtliga krav som ställdes på mosfet transistorerna	5
5.1	Nedan visas samtliga kanaler för spänningsmätningsskretsens utgående spänning i förhållande till den ingående spänningen.	25
5.2	Nedan visas den uppmätta strömen som flyter genom effektmotståndet för var och en av balanseringsskretsens kanaler.	26

1

Introduktion

I detta avsnitt kommer projektets bakgrund, syfte, avgränsningar och frågeställning att presenteras.

1.1 Bakgrund

Sigma är ett av Sveriges ledande konsultbolag för ingenjörer inom branschen av inbyggda system och mjukvarudesign. Sigmas största arbetsområden är: telekommunikation, medicinteknik, maskinteknik, försvar och fordonsindustri. Sigma har nu gett oss i uppgift att designa en prototyp på ett Battery Management System för att optimera driftförhållandena för ett batteripack med litium-jonbatterier. Det utvecklade systemet ska sedan kunna användas för att driva motorerna till en drönare. Detta utförs eftersom litiumbatterier används i allt större utsträckning och ett BMS i hög grad kan öka batteriernas livslängd vilket gynnar miljön. Dessutom blir laddning av batterierna mer effektiv då batterierna inte måste kopplas ut ur produkten varje gång de ska laddas samt att säkerheten ökas för batterierna vid både drift och laddning.

1.2 Mål & Syfte

Målet med projektet är att designa och konstruera ett fungerande Battery Management System för att öka livslängden på en uppsättning litiumbatterier.

Syftet är att optimera livslängden för en uppsättning litiumbatterier som används av en drönare genom att optimera drift och laddningsförhållanden.

1.3 Avgränsningar

- De utvecklade delsystem testas inte som ett sammansatt system.
- Aktiv balansering utvecklas ej.
- Det utvecklade systemet testas ej på drönaren.
- Hårdvaran till ett par delsystem implementeras och testas inte på grund utav att det inte fanns tid att utveckla motsvarande kod.
- Kretsen utvecklas ej för att kunna vara fäst på flygande drönare.

1.4 Precisering av frågeställningen

Systemet ska vara kompatibelt med motorerna till drönaren som optimalt drivs med 25,2 V för maximalt varvtal. Det ska också ha förmågan att övervaka spänning, ström och temperatur för batterierna för att effektivt förlänga batteriernas livslängd samt att ha möjligheten att balansera batterierna vid laddning. Sex stycken battericeller seriekopplas för att driva motorerna. För den mer utförliga kravspecifikationen på systemet se tabell 2.1 under avsnitt metod.

2

Kravspecifikation

2.1 Kravspecifikation

Nedan visas en tabell som innehåller samtliga krav som ställs på systemet som helhet. Under raden 'Typ' kan det stå original eller uppdaterad. Med original menas att kravet är specificerat redan från projektets start medan uppdaterad innebär att kravet har lagts till under projektets gång.

Tabell 2.1: Nedan visas Kravspecifikationen med samtliga generella krav på hela systemet.

Generella krav på hela systemet		
Krav nr	Beskrivning av krav	Typ
1.1	Systemet ska kunna övervaka spänningen över batterierna för respektive battericell samt för hela kretsen	Original
1.2	Systemet ska kunna övervaka hur stor ström som konsumeras från kretsen vid urladdning	Original
1.3	Systemet ska kunna övervaka hur stor ström kretsen matas med vid laddning av batterierna	Original
1.4	Systemet ska kunna övervaka batteriernas temperatur	Original
1,5	Systemet ska kunna bryta strömmen genom kretsen om någon av de uppmätta parametrarna går utanför tillåtna gränsvärden	Original
1.6	Systemet ska kunna ladda batterierna med hjälp av extern strömförsörjning	Original
1.7	Systemet ska kunna balansera batterierna vid laddning	Original
1.8	Spänningsomvandling ska implementeras så att mikroprocessorn och övriga aktiva komponenter kan drivas från batteriernas seriella utspänning	Original
1.9	Systemet ska ha en maximal utgående spänning på 25,2 V för att matcha motorerna i drönaren	Original

2.1.1 Krav på specifika produkter

Under denna sektion visas tabeller över kraven för specifika produkter som krävs för att uppnå de krav som ställs i den generella kravspecifikationen. Dessa är de krav som ställdes på de komponenter som inhandlades för att kunna genomföra krets-konstruktionen.

Tabell 2.2: Nedan visas samtliga krav som ställdes på mikroprocessorn

Krav på Mikroprocessor		
Krav nr	Beskrivning av krav	Typ
2.1	För att kunna styra kretsen krävs en processor med minst 21 programmerbara ben	Original
2.2	Systemet kräver en processor med inbyggd klockoscillator	Original
2.3	Systemet kräver utöver krav 2.1 att minst 6 stycken av dessa ben är analoga samt att 15 är digitala	Original

Tabell 2.3: Nedan visas samtliga krav som ställdes på temperatursensorn

Krav på Temperatursensor		
Krav nr	Beskrivning av krav	Typ
3.1	För att få bra precision utan att behöva kalibrera temperatursensorer ska digital temperaturgivare användas	uppdaterad
3.2	Temperaturgivare ska ha ett mätintervall som motsvarar batteriernas arbetsområde	original

Tabell 2.4: Nedan visas samtliga krav som ställdes på mosfet transistorerna

Krav på Mosfet		
Krav nr	Beskrivning av krav	Typ
4.1	Mosfet transistorn för in och ut spänning behöver ha en tillräcklig effekttålighet för att tåla batteriernas maximala urladdningsström	Original
4.2	Mosfet transistorerna för balanseringskretsen måste tåla en urladdningsström som överstiger maximala laddningsströmmen	Original

3

Teori

3.1 Funktionsprincip

Ett Battery Management System(BMS) kan beskrivas som ett system uppfyller tre olika huvudfunktioner beroende på dess komplexitet. Dessa funktioner är: övervakning, optimering och skydd av batterierna. Informationen som fås ut av övervakningsaspekten av systemet används i de resterande två funktionerna för att uträtta dess uppgift. Funktionsblocken i ett BMS kan variera, men generellt består det av en mikroprocessor som styr de övriga funktionsblocken. De övriga grundläggande funktionsblocken är i de flesta fall ett block som mäter spänning, ett som mäter strömförbrukning, ett för laddningström, ett block för balansering samt ett för temperaturmätning.

Litium-jon batterier, som ska användas i detta arbete har ett typiskt arbetsområde på mellan 2,5 till 4,2 volt. Om spänningen i batteriet underskrider detta intervall kan dess livslängd förkortas avsevärt. Detsamma gäller om spänningen överstiger intervallet då batteriet i detta fall direkt riskerar överhettning som i värsta fall kan leda till termisk rusning och brand. Därför bevakas batteriernas spänning noggrant vid såväl laddning som urladdning av batterierna så att systemet kan sätta in motåtgärder om dessa värden uppnås. Vid urladdning är motåtgärden att strömen bryts om en battericell understiger 2,5 V. Vid laddning används istället en balanseringskrets. Denna balanserar spänningsskillnaden mellan battericellerna om en sådan uppstår. En balanseringskrets är alltid nödvändig då Litium-jon batterier används i serie. Detta då cellerna inte har exakt samma kapacitet från fabrik och därmed laddas upp olika fort. När en cell är fulladdad kommer den att överladdas medan övriga celler laddas klart om ett balanseringsblock ej är implementerat. Detta då det ej går att ladda batterier parallellt när dessa sitter i serie. Slutligen brukar även ett temperaturmättningsblock implementeras för att kunna detektera om en battericell jobbar utanför dess hälsosamma temperaturintervall[1].

En battericell har vid fulladdat tillstånd en spänning på 4,2 V. För att få den önskade utspänningen på 25,2 V från kretsen måste 6 stycken battericeller seriekopplas och därigenom fås ett batteripack som levererar 25,2 V.

3.2 Kretskomponenter

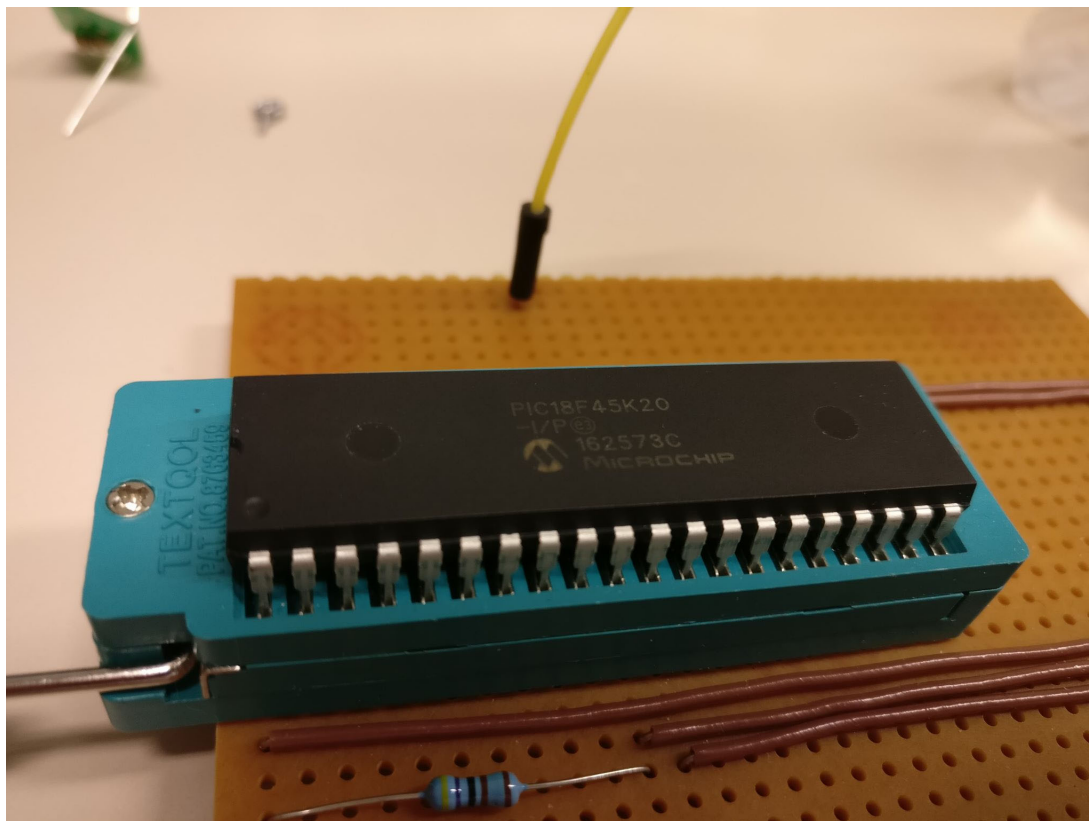
I detta kapitlet kommer de komponenter och delsystem som valts för kretsen att diskuteras.

3.2.1 Microprocessor PIC18F45K20

Till detta projekt valdes microprocessorn PIC18F45K20 som är tillverkad av Microchip. PIC-processorn är en 8-bitars processor som kan drivas inom ett spänningsintervall på 1,6-3,3V. Processorn har 44-ben och valdes till stor del för detta projekt på grund av att den besitter många in- och utgångar, totalt 35 stycken plus ett ben som endast är ingång. Då det krävs en sensor för varje battericell för att övervaka vissa parametrar var det väsentligt med en processor med många ben.

Processorn har en ADC med 10-bitars upplösning vilket går att använda på 13 olika kanaler. ADC används vid såväl spänningsmätning för batterierna som strömmätning vid laddning och urladdning.

Processorn har även en intern oscillator vilken går att konfigurera inom frekvensområdet 31kHz - 16MHz[2].



Figur 3.1: PIC-processorn som användes i examensarbetet PIC18F45K20

3.2.2 Panasonic NCR18650B

Till projektet kommer Li-ion batterierna Panasonic NCR18650B att användas. Panasonic NCR18650 är ett välkänt batteri som har ett stort antal mycket goda recensioner i förhållande till andra modeller från olika fabrikat. Enheten C är hur mycket kapacitet som finns i ett fulladdat batteri. 1C motsvarar batteriets kapacitet om det urladdas under en timme. Batteriet har en typisk kapacitet på 3350 mAh vilket motsvarar 1C, normal spänning på 3,6 volt och ett maximalt strömuttag på 6,7 ampere vilket motsvarar 2C. Batteriet ska optimalt laddas med en ström på 0,5C om temperaturen runt batteriet inte understiger 10°C och 0,25C om temperaturen är inom intervallet 0-10°C. Batteriet ska laddas med en spänning på 4,2V per cell. Batteriet kan laddas inom temperaturintervallet 0°C till 45°C, förvaras i intervallet -20°C till 50°C samt urladdas i intervallet -20°C till 60°C. Då en battericell laddas upp kommer strömen som battericellen laddas med att minska mot slutet av laddningscykeln. När denna ström går under 65 mA ska laddningen avslutas då battericellen vid denna tidpunkt är fulladdad. [3].

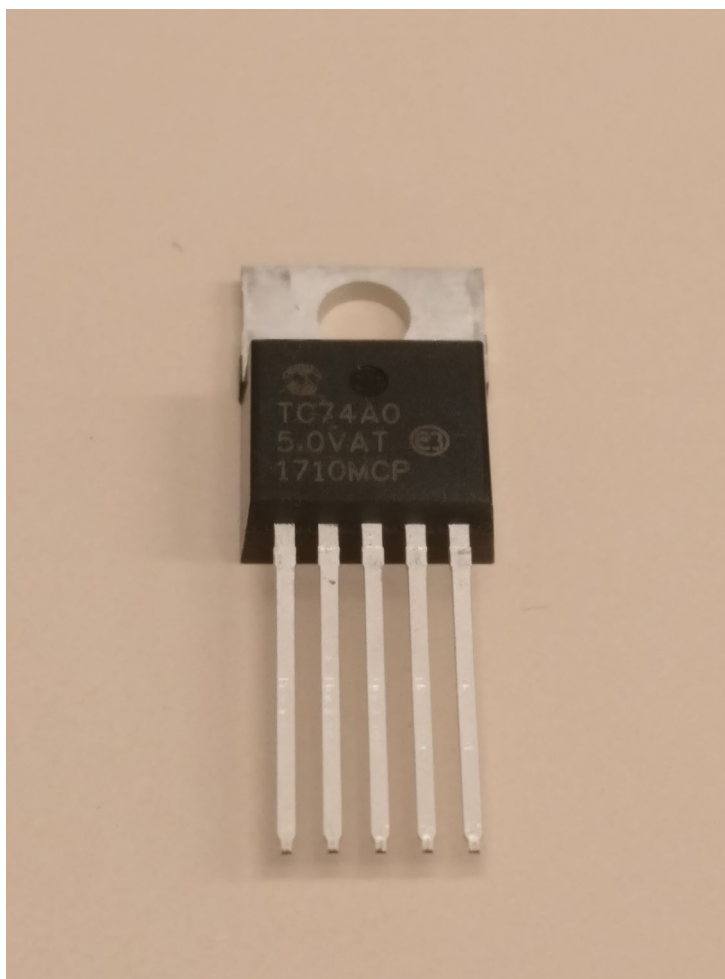
3.2.3 Termisk rusning

Litium-jon batterier är en mycket känslig batterityp och om den hanteras fel finns risk för termisk rusning. Termisk rusning är en kombination av kemiska reaktioner och kortslutningar som sker inuti batteriet. Dessa initieras av en allt för hög temperatur inuti eller utanför batteriet vilket leder till att brand uppstår. Processen fortgår och genererar värme i en positiv återkopplingscykel tills inga reaktiva komponenter återstår[4].

Termisk rusning kan uppstå vid alla situationer som höjer den inre temperaturen för mycket i ett litium-jon batteri. Typiska anledningar kan vara kortslutning, ett för högt effektuttag, intern kortslutning samt överladdning. För att förhindra överladdning är det viktigt att en battericell aldrig laddas så att dess inre spänning överstiger 4,3 V, även om 4,2 V är att eftersträva. Om ett batteri laddas med mer än 4,3 V under en längre tid pläteras metalliskt lithum på dess anoder vilket ökar risken för termisk rusning och brand. Samtidigt är det viktigt att batteriet inte laddas till en spänning på under 4,2 V då batteriet i detta fall inte kan uppnå full laddning och potentiell kapacitet går förlorad[5].

3.2.4 Temperaturgivare TC74A0-5.0VAT

TC74A0 är en Digital temperaturgivare av märket microchip som kommunicerar med I2C.



Figur 3.2: Den temperaturgivare som används för att övervaka batterierna

Programbuss I2C

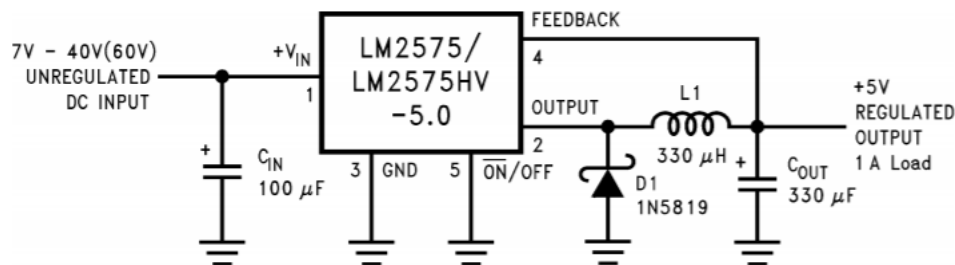
I2C är en programbuss för kommunikation mellan en master (Microprocessorn) och en slavenhet (Temperaturgivaren). I2C kommunikation kräver endast två processoringångar för att fungera, en SCL och en SDA. SCL är processorns interna oscillators klocksignal, alternativt kan det dock anslutas en extern oscillator. SDA är ett register som används för flervägs kommunikation. Detta register måste kunna vara såväl ingång som utgång för att både kunna ta emot information och lämna information. Detta är nödvändigt för att Processorn ska kunna skicka start och stoppsignal och däremellan ta emot information från enheten [6].

Specifikationer TC74A0-5.0VAT

TC74A0-5.0VAT kan drivas med en spänning mellan 2,7 V och 5,5 V men är optimerad för att matas med 5,0 V. TC74A0 är en 8 bitars digital givare vilket är smidigt att implementera då processorn som används är en 8 bitars processor. Efter att startsekvensen TC74A0 har mottagit starsekvensen från processorn skickas ett 8 bitars ord som motsvarar den uppmätta temperaturen ut från TC74A0. TC74A0 mäter med en noggrannhet på $\pm 2^{\circ}\text{C}$ i området $+25^{\circ}\text{C}$ till $+85^{\circ}\text{C}$ och en noggrannhet på $\pm 3^{\circ}\text{C}$ i området 0°C till $+125^{\circ}\text{C}$ [7].

3.3 Step-down omvandlare

Då Samtliga aktiva komponenter drivs med antingen 5 V eller 3,3 V kan dessa inte drivas direkt av batterierna då denna spänning kan bli upp till 25,2 V. Istället används två stycken olika switch regulator kretsar för step-down konvertering. Två regulatorer används i projektet och dessa är av samma märke och serie men olika modell. Den första är LM2576T-3.3/NOPB som har en fast utspänning på 3,3 V och klarar att leverera en ström på 3 A[8]. Den andra är LM2575T-5.0/NOPB som har en fast utspänning på 5,0 V och klarar att leverera en ström på 1A. Effekten som dessa regulatorer kan leverera har stora marginaler mot vad systemet kommer att dra, men dessa valdes ändå för att möjliggöra anslutning av mer effektkrävande komponenter vid eventuell vidareutveckling av projektet. För att implementera regulatorerna krävs ett antal extrakomponenter per krets. Dessa är en Schottky diod, två kondensatorer och en spole. Rekommenderade storlekar på dessa komponenter kan utläsas ur formelbladet för respektive regulator[9].



Figur 3.3: Modellen för den färdiga step-down konverteraren som användes i projektet, komponentvärden i bilden stämmer för 5,0 V versionen

3.4 Strömsensor ACS712ELCTR-20A-T

ACS712ELCTR-20A-T är en strömsensor utvecklad av Allegro Microsystems som utnyttjar Hall-effekt för att mäta strömmen som passerar genom en ledare. I detta projekt används två stycken sensorer, en vid ingången och en vid utgången för att indikera till processorn när laddning och urladdning ska avbrytas. Strömsensorn drivs av en spänning på 5V där step-down omvandlaren utnyttjas för att omvandla spänningen till 5V. Strömsensorn klarar av en inström mellan -20A och 20A och levererar en linjär utspänning som resultat inom intervallet 0.5V till 4.5V. Sensorn har en typisk känslighet på 100mV/A och en felmarginal på utspänningen på 1.5% vid temperaturen 25°C samt en felmarginal på 4% inom intervallet -40°C till 85°C[10].

3.5 Mjukvara och programresurser

Mjukvaran som har använts i det här exjobbet har varit gratis. Här nedan kommer samtliga programresurser och mjukvara som använts i arbetet presenteras.

3.5.1 PICKit 3

PICKit 3 är en debugger som kan kopplas rakt in i kretsen för att programmera processorn. PICKit 3 är en produkt skapad av samma företag som har producerat processorn som använts nämligen Microchip. PICKit 3 är en smart lösning för programmering av processorn då processorn ej behövs kopplas loss från kretsen då användaren önskar att programmera om processorn. PICKit 3 är kompatibel med både den processorn så väl som IDEn MLAB X som används i detta projekt[14].



Figur 3.4: PICKit 3 debugger som har användts vid programmering av PICprocessor.

3.5.2 MPLAB

Ett flertal olika mjukvaruprodukter skapade av Microchip under samlingsnamnet MPLAB används i detta EXJobb och kommer att presenteras nedan.



Figur 3.5: MPLAB X logotyp.

MPLAB X IDE

Mplab x IDE(Integrated Development Environment) är en programmeringsmiljö

skapad för PC och kompatibel med Windows, Mac OS och Linux. Mjukvaran är skapad i syfte för att utveckla applikationer till Microchip mikrokontroller och digitala signalkontroller. Mjukvaran är kompatibel för programmering i språket C vilket är det språk projektgruppen har mest erfarenhet av. Erfarenhet av att jobba med PIC processorer finns dessutom också från tidigare kurser, något som stöds av MPLAB X IDE. Dessutom ansågs programvaran som pålitlig då dess utgivare Microchip har skapat både programvaran och mikroprocessorn som används. Detta i samband med att programvaran är gratis att ladda ner var de främsta anledningarna till att projektets programvara utvecklades i MPLAB X IDE[15].

MPLAB XC8 Kompilator I detta arbete används MPLABs kompilator XC8 i samband med MPLAB X för att kompilera C-kod. Kompilatorn XC8 används för att kompilera kod till 8-bitars processorer och kontroller vilket fungerar bra i detta projekt då den utvalda processorn manövrerar på 8-bitar. MPLAB skapar även motsvarande kompilatorer för 16- och 32-bitars processorer som heter XC16 och XC32[16].

MPLAB IPE MPLAB IPE(Integrated Programming Environment) är en mjukvaru applikation som används för att överföra programvara till mikroprocessorer. MPLAB IPE använder sig av MPLAB X IDE och är därför kompatibel med MPLAB X IDE. Programvaran är också kompatibel med Pickit 3 som används i projektet. Programvaran kan importera och exportera HEX-filer och programmera samt tömma processorer på programkod[17].

3.5.3 LTspice

LTspice är en avancerad SPICE simulerings programvara utgiven av Analog Devices. Programvaran kan simulera de flesta elektroniska komponenter och samtliga som ska användas i detta projekt utom mikrokontroller och temperaturgivare. LTspice inkluderar modeller för majoriteten av alla förstärkare och switch regulatorer utvecklade av Analog Devices. Det är också möjligt att lägga till fler modeller i programbiblioteket för LTspice om så önskas. LTspice är också en programvara som har använts i ett flertal kurser på Chalmers tidigare och projektgruppen besitter därmed goda kunskaper i hur LTspice fungerar[18].

4

Genomförande

4.1 Arbetsgång

Nedan presenteras hur och i vilken ordning projektet har utförts.

4.1.1 Val av system

Examensarbetet inleddes med att utföra en studie på befintliga BMS för att undersöka vilka parametrar som övervakas och analyseras i dessa. Därefter togs beslut angående vilka parametrar som skulle vara användbara att övervaka för de batterier som ska användas i detta projekt. Parametrar som valdes beskrivs under sin respektive underkategori nedan.

För att läsa av och styra de kretsar som mäter de önskade parametrarna används en Mikroprocessor. Mikroprocessorn valdes ut för att uppfylla de krav som ställdes för att kontrollera systemet, se kravspecifikation. Då projektgruppen hade tidigare erfarenhet av framförallt C programmering valdes en mikroprocessor som var kompatibel med MPLAB X. MPLAB X är en programvara som använts i tidigare kurser och är kompatibel med språket C.

Nästa steg var en omfattande faktainsamling för att få den kunskap som var nödvändig för att utveckla de delsystem som behövdes till projektet. Kostnad och utrymme var två aspekter som vägde tungt vid utvecklingen av delsystem. Om en färdig komponent var väldigt dyr att köpa in kunde komponenten byggas av mindre komponenter för att hålla nere kostnaden. Detta förutsatt att systemet inte blev opraktiskt stort. En optimal balans av storlek kontra kostnad var något som eftersträvades.

4.1.2 Val av komponenter

När komponenter till respektive delsystem skulle väljas gjordes först en lista med alla komponenttyper samt antal av respektive komponent. För att hitta rätt typ av komponent lades mycket tid på att läsa om vilka metoder som är effektivast för ändamålet idag. Därefter bestämdes vilken typ av komponent som skulle användas. Därefter spenderades cirka två veckor på att studera formelblad för att hitta en modell av varje komponenttyp som passade så bra som möjligt till projektet. Detta med avseende på prestanda och kostnad. Ett antal kandidater jämfördes noggrant för varje komponenttyp från flera leverantörer och märken för att finna den mest optimala modellen.

4.1.3 Simulering och kretskonstruktion

När alla komponenter var utvalda påbörjades kretskonstruktion och simulering. En modell av respektive delsystem byggdes upp i LTspice och därefter utfördes noggranna simuleringar för att säkerställa systemets funktion. När varje delsystem var färdigt byggdes en modell av hela kretsen upp i LTspice för att använda som ritning när systemet skulle byggas i fysisk form.

Efter att simuleringarna var slutförda påbörjades kretsrealiseringen. Samtliga delsystem löddes för hand av medlemmarna i projektgruppen. De olika delsystemen löddes på separata kretskort för att underlätta testning av dessa.

4.1.4 Testning av hårdvara

Systemen testades noggrant med Multimetern FLUKE 115 och som strömförsörjning användes Digimess HY3003-3.

4.1.5 Mjukvaruutveckling

Det första som gjordes var att skaffa kunskap i hur processorn var utformad samt att identifiera och förstå nödvändiga register, instruktioner och funktioner. Analog till digital omvandling implementerades först då denna är den mest grundläggande funktion som behövs för att något delsystem ska kunnas kopplas in. Både spänningsmätningssystemet och strömsensorerna använder sig utav A/D omvandlingen.

Först konfigurerades alla nödvändiga inställningar för processorn och därefter konfigurerades de olika in- och ut-gångarna för att göra A/D omvandling möjligt. A/D omvandlaren testades först på en rad lysdioder mot en variabel inspanning för att säkerställa att A/D omvandlararen verkligen fungerade. Därefter påbörjades utveckling samt konfigurering av koden för det specifika spänningsintervall som spänningsmätarna skulle mäta mellan. När detta var inställt påbörjades utveckling utav kod för balanseringskretsen.

Konceptet för balanseringskretsen är att varje batteri ska bränna av överflödig energi i sitt dedicerade effektmotstånd när motsvarande spänningsmätning uppnår det bestämda tröskelvärde. Därför behövdes motsvarande spänningsvärde till tröskelvärde beräknas för utveckling av kod för balanseringskretsen. Då spänningsmätningsskretsen konverterar ned spänning till potentialer som processorn kan arbeta med utav hjälp av spänning till ström omvandlare vars utspänningsvärden troddes kunde variera från utgång till utgång beroende på tolerans på motstånd vid konstruktion behövdes tester utföras för att se om kalibrering i koden var nödvändig för respektive ingång då en för stor felmarginal skulle orsaka säkerhetsrisker.

Varje in och utgång från spänningsmätningsskretsen mättes upp med hjälp utav Fluke 115 Multimeterar[19]. Varje kanal matades med identisk inspanning och den resulterade utspänningen antecknades. Resultaten presenteras i resultatavsnittet men kalibrering av ingångarna var ej nödvändig då felmarginalen var såpass liten. Detta

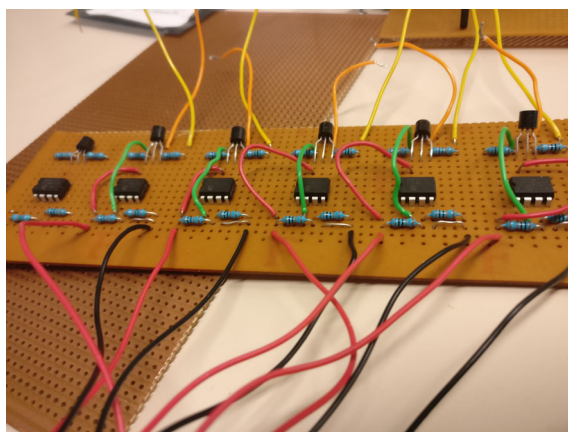
minskade mängden nödvändig kod då samma tröskelvärde kunde användas för alla ingångar.

Motsvarande tröskelvärde för den nedkonverterade spänningen beräknades till 61,579% (ca 2,03952 V) av processorns maxspänning 3,312 V då det okonverterade tröskelvärdet bestämdes till 4,2 V. Eftersom variabeln i processorn lagrades i en 16-bitars variabel behövdes motsvarande 16 bitars värde beräknas för brytning. Värdet variabeln fick utav processorn var ett 10-bitars värde då processorns ADC består utav 10 bitar. ADC konfigurerades för högerjusterat 10-bitars värde vilket medför att maxvärdet i den skapade 16-bitars variabeln blir 0x03FF i hexadecimal form vilket motsvarar 1023 i decimal form. Därför bestämdes tröskelvärdet för att aktivera balanseringen till 61,579% av 1023 vilket motsvarar 630.

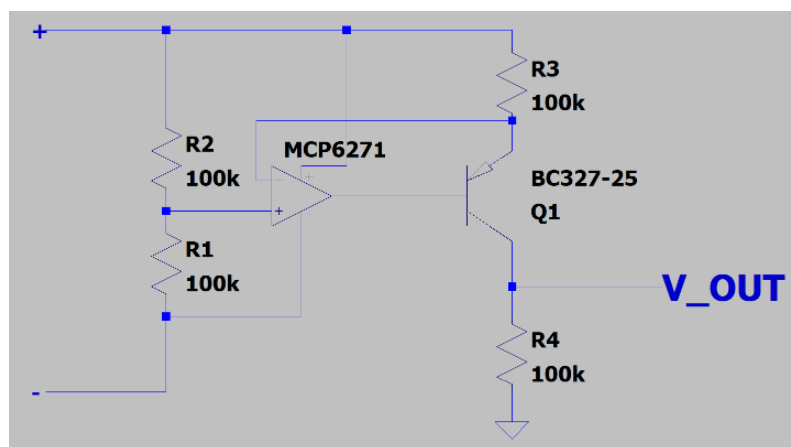
Det var också tänkt från början att utveckla kod för kommunikation med de temperaturgivare som skulle användas via kommunikationsprotokollet I2C men tyvärr fanns det inte tid till att utveckla detta. Kalibrering av strömsensorer valdes heller inte att göras på grund utav tidspress, dock finns den mesta delen som behövs till denna kod redan skriven i spänningsmätningssdelen.

4.1.6 Spänningsmätning

Spänningen över respektive battericell mäts parallellt över respektive cell. Då spänningen över batterierna i fulladdat tillstånd är 4,2 V och processorn som används har analoga ingångar som maximalt kan mäta den valda matningsspänningen 3,3 V behövs det spänningsdelning. Eftersom processorn har gemensam jord för alla ben kan inte vanlig spänningsdelning med enbart resistorer användas. Trots att spänningen mellan battericellens poler skulle bli under 4,2 V skulle dock potentialen på respektive analog ingång bli betydligt högre. Av denna anledning används istället en spänning till strömomvandlare. Denna flyttar med hjälp av en negativt återkopplad OP förstärkare och en PNP transistor spänningen som delas av resistorerna R1 och R2 före förstärkaren som en ström ner till resistor R4 som är placerad efter transistoren. Över denna placeras med samma värden på samtliga resistorer, cirka halva spänningen jämfört med spänningen över batteriet. En uppsättning av denna krets används per battericell.



Figur 4.1: Kretskonstruktion av spänningsmätningsskretsen



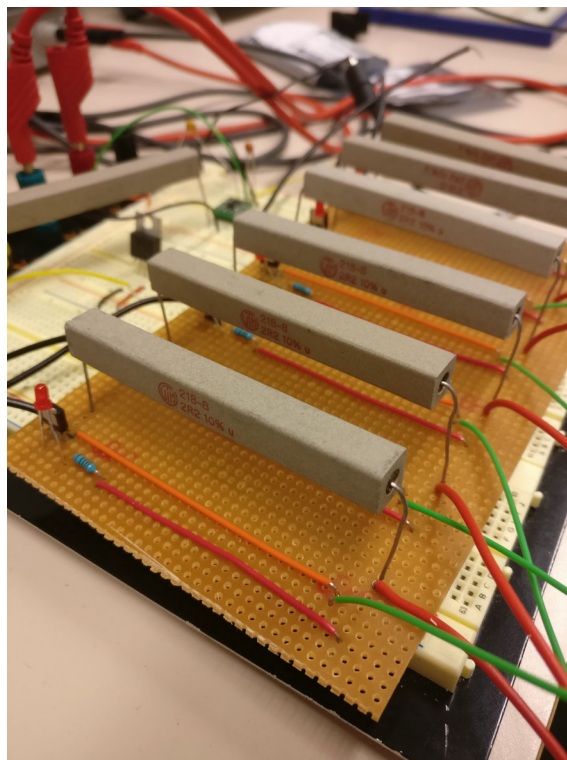
Figur 4.2: Kretsschema för spänningsmätningsskrets för en battericell, simulering gjordes med en ideal operationsförstärkare men i verkligheten användes en MCP6273

4.1.7 Balanseringskrets

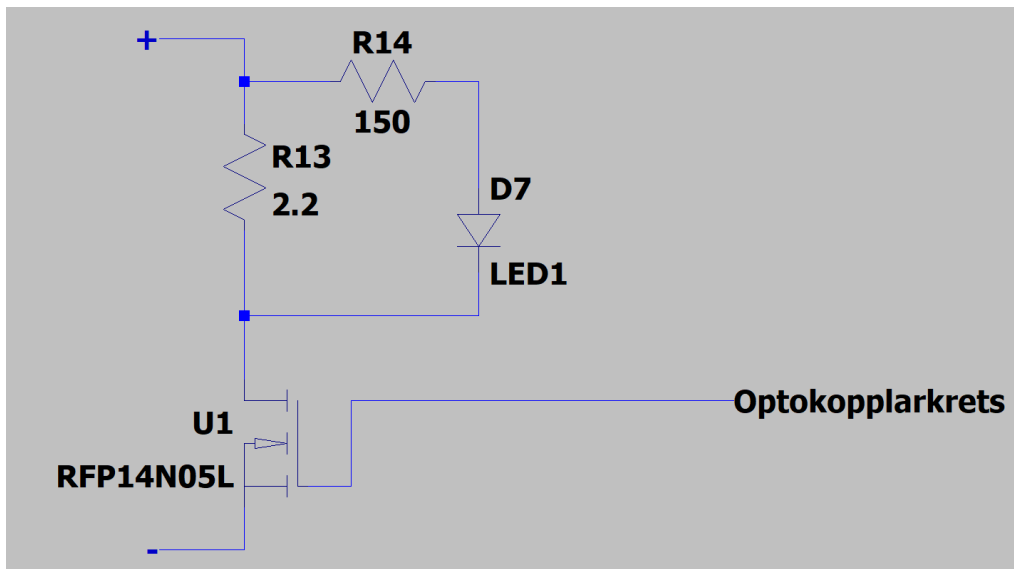
En balanseringskrets används för att reglera skillnader i spänningsnivåer mellan batterierna. Det finns två olika varianter av balanseringskretsar som används för Battery Management System: passiv respektive aktiv. I denna konstruktion används en passiv balanseringskrets vars enda uppgift är att se till att ett batteri inte blir överladdat till skillnad från ett aktivt system som flyttar över laddning i överladdade batterier till ett batteri med mindre spänning.

Vid konsekutiv användning utav batterierna slits de och dess maximala kapacitet kan sjunka. Ifall batteriernas maximala kapacitet sjunker olika mycket skapar det behovet av balanseringskretsen. Eftersom batterierna laddas seriellt går det inte att stänga av strömmen till ett specifikt fulladdat batteri om fortsatt laddning önskas utföras till de andra batterierna. Med hjälp av den passiva balanseringskretsen konsumeras den överflödiga energin i batteriet i ett effektmotstånd tillhörande balanseringskretsen. Det finns en balanseringskrets per batteri som aktiveras med hjälp utav

en N-kanals MOSFET-transistor som styrs med hjälp utav PIC-processorn. Processorn får information från spänningsmätningsskretsen och reglerar sin utgång kopplad till transistorn när den maximalt tillåtna spänningen överskrids hos batteriet. Ett effektmotstånd på 2,2 ohm valdes för att strömmen vid 4,2 V skulle överstiga 1,650 A. Med en tolerans på 10% var denna storlek på motståndet garanterad att ge en tillräckligt stor ström inom hela potentiella felmarginalen på motståndet.



Figur 4.3: Konstruktion av balanseringskrets



Figur 4.4: Kopplingsschema för balanseringskrets, plus och minus kopplas in till respektive plus- och minuspole på battericellen och signal från processorn skickas till gate på transistoren via optokopplarkretsen.

Optokopplarkrets till balanseringsmosfet

Att driva N-mosfeten som styr balanseringskretsen med processorns digitala utgångar på 3,3 V fungerar bara för den första balanseringskretsen i i serie. Detta beror på att potentialen ut från processorn är max 3,3 V vilket är för lite för att driva alla mosfet transistorer då alla utom den första kräver högre potential. Mosfetens gate behöver en potential som är minst 3 V högre än mosfetens source för att denna ska leda. Detta är inget problem för den första cellen där potentialen är 4,2 V på battericellens pluspol och 0 V på batteriets minuspole. Men för övriga celler blir det ett problem, för den sista cellen kommer potentialen att vara 25,2 V på battericellens pluspol och 21 V på dess minuspole vilket resulterar i att spänningen mellan gate och source blir -17,7 V och transistoren kommer därmed aldrig att aktiveras. För att lösa detta problem används optokopplare för alla balanseringskretsar utom den som balanserar den första cellen. En optokopplare kan användas som nivåskiftare och fungerar genom att två olika spänningskällor kopplas till vardera sida av optokopplaren. På en sidan sitter en LED som när denna aktiveras med en ström sänder ut ljus vilket i sin tur aktiverar den andra sidan av kretsen som är en transistor och därmed aktiverar den andra strömmen. Förhållandet mellan ingångsströmmen I_F och utgångsströmmen I_C kan bestämmas med hjälp av parametern Current Transfer Ratio (CTR). Denna enhet är dock mycket olinjär och varierar med ingångsspänning, temperatur och drifttid[11].

I detta projekt optokopplaren att dra en relativt stor ström mot vad en mosfet behöver för att leda, denna beräknas nedan till 8 mA. Detta innebär att en mindre lastresistans kan användas. Detta ger i sin tur ger en snabbare krets då ingångskapacitans laddas ut snabbare med en mindre resistor. Detta är kapacitansen på mosfetens gate och source. Denna kapacitans att laddas upp när mosfeten aktiveras och mosfeten stryps inte igen innan denna kapacitans är urladdad[12].

Optokopplaren som används i projektet är av modellen VISHAY VO615A-9 och

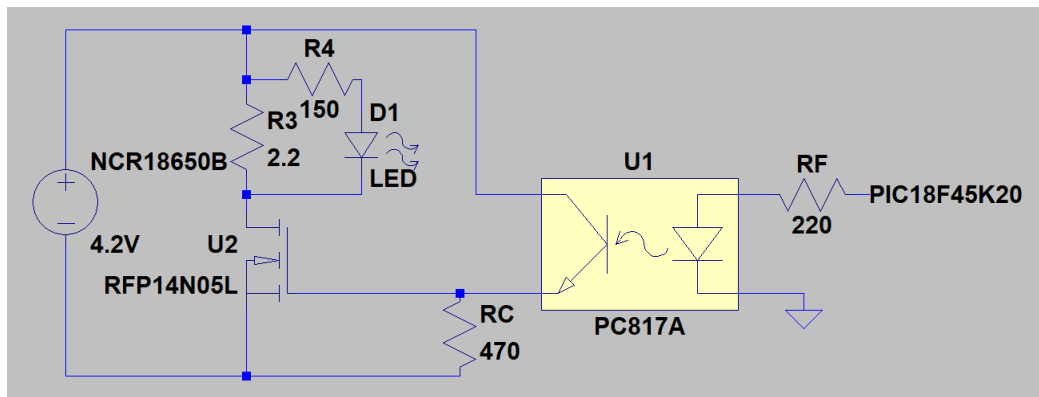
har den sin största CTR vid $I_F = 5 \text{ mA}$. Här beräknas utifrån formelblad denna till minst $200\% \cdot 0,8 = 160\%$. Detta innebär att resistorerna ska beräknas så att utgångsströmmen blir 160% större än ingångsströmen. Detta ger att utgångsströmmen $I_C = 8 \text{ mA}$. Över utgången kommer det också att ske ett spänningsfall U_{CE} över transistoren som enligt formelbladet bör vara cirka $0,4 \text{ V}$. Detta innebär att spänningen in till mosfeten kommer bli ungefär $3,8 \text{ V}$ med ovan nämnda förhållande. V_F som är spänningsfallet över dioden ligger för 5 mA på $1,15 \text{ V}$ vilket innebär att spänningen över R_F enbart kommer att bli $3,3 - 1,15 = 2,15 \text{ V}$ [13]. För att uppnå dessa parametrar krävs därför en ingångsresistor, R_F på

$$R_F = \frac{2,15}{0,005} = 268 \text{ ohm}$$

samt en lastresistor mellan gate och source på mosfeten på

$$R_C = \frac{3,8}{0,008} = 475 \text{ ohm}$$

. Dessa värden avrundades till närmaste motstånd i E3 serien, 470 respektive 220 ohm . Utspänningen som ska driva balanseringskretsens mosfet mättes upp till mellan $4,07$ till $4,08 \text{ V}$ för samtliga kretsar vilket är tillräckligt för att driva mosfetarna.



Figur 4.5: Modell visar den implementerade optokopplaren

4.2 Komponentlista

Nedan redovisas samtliga komponenter som användes för att konstruera de olika subsystemen och sammanfoga dessa till ett BMS.

4.2.1 Hjälpmedel

- Lödstation
- Pickit 3
- MPLabX IDE
- MPLabX IPE

4.2.2 Mätutrustning

- strömförsörjning Digimess HY3003-3
- Multimeter FLUKE 115

4.2.3 Analoga komponenter

- MOSFET Fairchild RFD14N05L 6st
- MOSFET IR IRF1018EPBF 2st
- Transistor PNP ON semiconductor BC327 6st
- Effektoresistor Vithrom 2,2 ohm 17W
- Switchregulatorkrets Texas Instruments SG2524N
- Switchregulatorkrets ACS712ELCTR-20A-T
- Operationsförstärkare Microchip MCP6273 6st
- resistorer från E12 serien
- Röd standard lysdiod 1,6 V 6st

4.2.4 Digitala Komponenter

- Microprocessor Microchip PIC18F45K20
- Temperaturgivare Microchip TC74A0-5.0VAT 6st
- Hall-effekt strömsensor Allegro Microsystems ACS712ELCTR-20A-T 2st

5

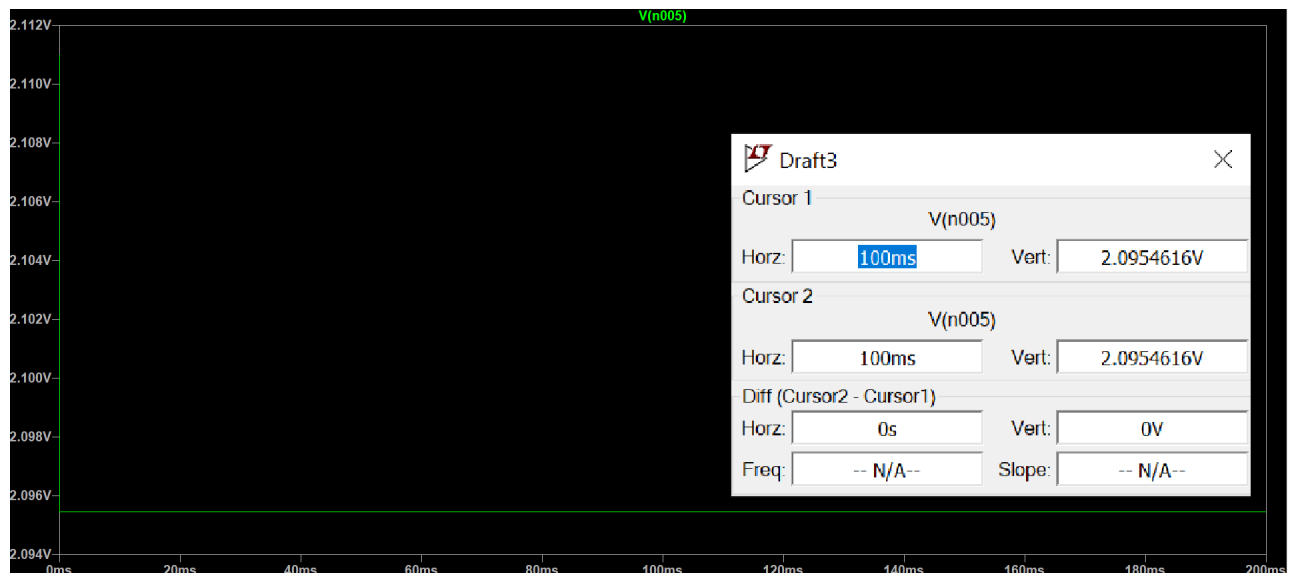
Resultat

I nedanstående avsnitt presenteras resultaten hämtade från de olika konstruerade delsystemen och de beräkningar som var nödvändiga att utföra för att dimensionera dem.

5.1 Resultat från simuleringar

5.1.1 Spänningsmätning

Vid simulering av spänningsmätningsskretsen användes bara ideella komponenter förutom transistor BC327 vars spice-modell infördes i LTspice. Kretsschemat för kretsen kan hittas i figur 2.3. Inspänningen till kretsen i simuleringen är 4,2 V och den resulterande utspänningen är 2,095 V vilket kan ses i figur 4.1 nedan. Att spänningen inte blir 2,1 V beror för låg strömförstärkning i transistor.



Figur 5.1: Simulering av spänningsmätningsskretsen vid en inspänning av 4,2 V vilket resulterar i en utspänning av 2,095 V

5.1.2 Balanseringskrets

Även vid simulering utav balanseingskretsen användes bara ideella komponenter förutom MOSFET-transistor vars spice-modell infogades i LTspice. Kopplings-

5. Resultat

schemat för kretsen kan hittas i figur 2.6 och det intressanta i denna simulering är strömmen som går igenom 2,2 ohm effektmotståndet R13 och den effekt som utvecklas i den. I simuleringen av balanseringskretsen uppmättes spänningen över motståndet till 4,034 V samt strömmen igenom motståndet till 1,833 A, vilket demonstreras i figur 4.2 nedan. Effekten som utvecklas i motståndet beräknas med $P = U \cdot I$ och resulterar i 7,37 W vilket är inom god marginal för det konstruerade systemet. Detta då de valda effektmotstånden klarar upp till 17 W. Strömmen är även tillräckligt stor för att balansering då den klarar att ladda ur batterierna snabbare än vad de laddas upp.



Figur 5.2: Simulering av balanseringskretsen

5.2 Test av delsystem

5.2.1 Spänningsmätning

Som tidigare förklarat under mjukvaruutveckling i metodkapitlet behövdes tester göras på det konstruerade spänningsmätningssystemet för att bedöma ifall individuell kalibrering av inportar till processorn behövde göras. Detta då utspänningen kan variera på olika utgångar vid samma inspanning vilket kan ses i tabellen under. Denna felmarginal misstänks bero delvis på grund av toleransen i de använda resistorerna som är 1% samt den för låga strömförstärkningen i transistorerna.

Det är väldigt viktigt att spänningsmätaren ger rätt resultat på grund av att om den mäter ett för högt värde blir batterierna aldrig riktigt fulladdade samt ifall den mäter för lågt riskerar batterierna att bli överladdade vilket kan resultera i förkortad livslängd alternativt att de uppnår så kallad termisk rusning (eng. thermal rising) vilket i värsta fall kan resultera i att litiumbatteriet börjar brinna.

Risken för termisk rusning uppstår då en battericell laddats till en spänning på över 4,3 volt. För att minimera risken för termisk rusning är det viktigt att mjukvaran som ska styra spänningsmätningsskretsen är rätt kalibrerad. Därför gjordes ett test som kan ses i tabellen nedan där alla kanaler på kretsen matas med samma spänning för att undersöka hur mycket spänningen på utgångarna skiljer sig från varandra i procent av spänningen in. Den största skillnaden som uppmättes var 0,35 procentenheter vilket motsvarar en skillnad på 0,708%. Detta innebär att om mjukvaran kalibreras efter den krets som visar störst procent av spänningen in så kommer kanalen med minst förhållande att visa 4,170 V. Om mjukvaran kalibreras efter den kanal som visar minst procent av spänningen in så kommer kanalen med störst förhållande att visa 4,229 V. Detta ligger långt ifrån det riskabla tröskelvärdet på 4,3 volt och därför behöver inte varje kanal kalibreras individuellt. Multimetern FLUKE 115 som användes vid mätningarna har en felmarginal på $\pm(0,5\% + 2)$, vilket inte heller kommer att påverka resultatet nämnvärt[19].

Tabell 5.1: Nedan visas samtliga kanaler för spänningsmätningsskretsens utgående spänning i förhållande till den ingående spänningen.

Spänningsmätare ordning	Spänning (Volt) in	Spänning (Volt) ut	Utspänning/ Inspänning (%)
1	4,202	2,091	49,76
2	4,202	2,079	49,48
3	4,202	2,079	49,48
4	4,202	2,085	49,61
5	4,202	2,077	49,44
6	4,202	2,076	49,41

5.2.2 Balanseringskrets

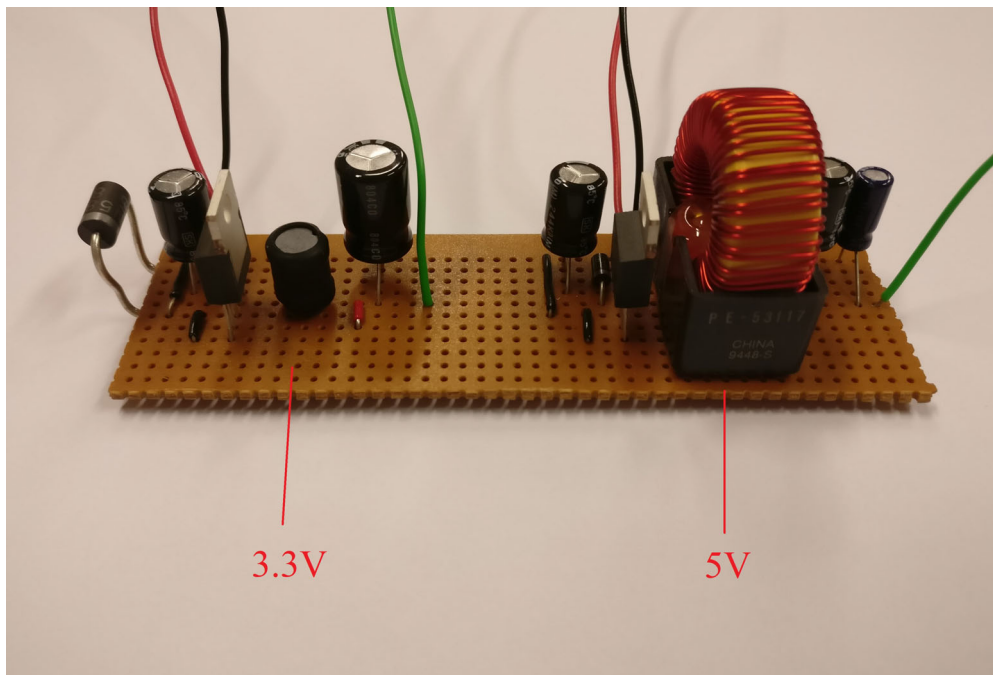
Även vid test av det färdiga systemet uppfylldes kraven för balanseringskretsen. Samtliga kanaler på balanseringskretsen utvecklar vid en spänning på 4,2 volt en ström genom motstånden som överstiger laddningsströmmen på 1,650 ampere. Detta innebär att kretsen kommer att kunna balansera svagare celler även vid maximal laddningsström. Hur mycket ström som flyter genom respektive kanal redovisas i nedanstående tabell. Mätningarna gjordes med hjälp av nätaggregatet Digimess HY3003-3. Värdena lästes av från instrumentets ampere indikator som har en noggrannhet på $\pm(1,5\% + 2)$ för amperemätning. Men då strömen som visades översteg 1,650 ampere med mycket god marginal ansågs inte någon noggrannare mätutrustning behövas för att garantera resultatet[20].

Tabell 5.2: Nedan visas den uppmätta strömen som flyter genom effektmotstånden för var och en av balanseringskretsens kanaler.

Ballanseringskanal	ström genom motstånd (Ampere)
1	1,77
2	1,83
3	1,83
4	1,83
5	1,80
6	1,84

5.2.3 Spänningsomvandling

Två system för spänningsomvandling implementerades på ett kretskort. Designen som följdes togs ifrån medföljande formelblad och kan för 3,3 volt versionen ses i sin helhet i figur 2.7. kretsschemat för 5 volt versionen har samma design men har andra värden på spole, diod och kondensatorer. Systemen testades därefter för att säkerställa att utspänningen var som specificerad. Spänningsomvandlarna kopplades upp mot Digimess HY3003-3 med en spänning på 25,2 volt för att simulera den seriella spänningen från batterierna. Utspänningen som mättes upp var inom godkända spänningsintervall för att inte skada någon av komponenterna. Exakta värden var 3,312 V för 3,3 V versionen och 5,067 V för 5,0 V versionen vid en matningsspänning på 25,2 V. spänningen ut sjunker med några tusendelar när matningsspänningen sjunker och stannar på 3,311 V respektive 5,061 V då matningsspänningen är 15 V vilket motsvarar urladdade batterier.



Figur 5.3: Färdig kretskonstruktion av de två olika spänningsomvandlarna, till vänster för 3,3 V och till höger för 5 V

5.3 Test av Mjukvara

Mjukvaran som utvecklades designades för att via 6 analoga ingångar kunna ta emot spänningsnivån för respektive kanal ut från spänningsmätningsskretsen. Därefter skulle den med hjälp av processorns ADC genomföra AD konvertering och därefter kunna läsa av om spänningen på någon ingång motsvarar ett en för hög spänning på en battericell. Om så är fallet skulle den kunna aktivera ballansering på motsvarande kanal för ballanseringsskretsen och kontinuerligt fortsätta läsa av spänningar för att kunna avaktivera ballansering om cellen sjunker till ett tillåtet värde igen. Processorns ingångar kopplades upp mot en variabel spänning och dess utgångar till balanseringsskretsen. Testet visade att mjukvaran som implementerats fungerade som avsett.

5.4 Systemet i förhållande till kravspecifikation

Systemet klarar av att övervaka spänningen över respektive battericell, dock har det inte i nuläget skrivits mjukvara för att övervaka den totala spänningen över hela kretsen. Krav 1.1 anses därför endast delvis uppnått. Totalt sett är det endast tre krav som är helt uppnådda. Krav 1.7, att kretsen kan balansera batterierna effektivt om någon cell uppnår en högre spänning än 4,2 volt. Krav 1.8, att samtliga aktiva komponenter ska kunna drivas av batteriernas seriella utspänning genom att implementera spänningsomvandlare. Det sista kravet 1.9, att spänningen ska vara max 25,2V är också uppfyllt genom att kretsen är byggd för 6 stycken battericeller i serie. Detta resulterar i en maximal utgåend spänning på $4,2 \cdot 6 = 25,2V$. Däremot är

de system och komponenter som behövs för att uppnå samtliga krav konstruerade och inköpta. Det som saknas är mjukvara för att processorn ska kunna styra alla subsystem. För att hela systemet ska fungera som avsett krävs ytterligare mjukvaruutveckling.

6

Diskussion

Det har varit ett mycket givande projekt som vi har utfört dock känner vi att vi inte riktigt har hunnit ta fram en lika färdig slutprodukt som vi hade önskat. Detta beror i princip endast på tidsbristen vi upplevde i slutet av projektet, färdigställda koncept finns för alla de delar som vi hade velat implementera och alla kravspecifikationer skulle vi kunna uppnå.

Hårdvara och kretskonstruktion finns färdig att använda men det vi inte hann med var mjukvaruutvecklingen till alla delar då vi hade planerat att utveckla mjukvaran i slutet av projektet. Vi hann inte implementera de MOSFET-transistorerna som skulle användas för att sätta på och stänga av strömmen in och ut från kretsen. Detta är en grundläggande kriterie för att kunna uppnå kravspecifikation 1.5: Systemet ska kunna bryta strömmen genom kretsen om någon av de uppmätta parametrarna går utanför tillåtna gränsvärden. Det hade även varit bra att ha implementerat transistorerna för att utföra krav 1.6: Systemet ska kunna ladda batterierna med hjälp av extern strömförsörjning på ett säkert sätt. För att stänga av och sätta på transistorerna räckte inte processorns 3,3 V spänning till utan denna skulle behöva förstärkas upp till 5 V. Koden för kommunikationen med transistorerna skulle vara väldigt enkel då det endast skulle behövas en funktion som stänger skickar ut en 1/0 när man kallar på den. Det svåra ligger i när man ska kalla på den vilket bestäms i koden för de andra sensorerna.

Vi hann även inte implementera strömsensorerna vilket vi tyckte var väldigt tråkigt då många av våra krav skulle uppfyllas med hjälp utav denna sensor samtidigt som den mesta kod som behövs för detta delsystem är redan utvecklad till spänningsmätningsskretsen. Ifall vi hade implementerat strömsensorerna i vår krets hade vi uppfyllt både krav 1.2: Systemet ska kunna övervaka hur stor ström som konsumeras från kretsen vid urladdning och krav 1.3: Systemet ska kunna övervaka hur stor ström kretsen matas med vid laddning av batterierna. Det hade även varit väsentligt att ha fungerande strömsensorer för att uppfylla krav 1.5: Systemet ska kunna bryta strömmen genom kretsen om någon av de uppmätta parametrarna går utanför tillåtna gränsvärden ordentligt. Strömsensorerna fungerar på det sättet att de skickar ut ett analogt värde beroende på strömmen som går genom dem, så all kod som egentligen behövdes var ADC-omvandling som redan fanns utvecklat till spänningsmätningsskretsen som tidigare nämnt. Man hade även behövt bestämma ett tröskelvärde för där strömmen ska brytas men mer än det behövs inte.

Det var tänkt från början att vi skulle ha temperatur-sensorer som övervakar varje

batteri, vilket var en aspekt som skulle skilja vårt system från de billiga alternativen. Med hjälp utav detta system skulle vi uppfylla krav 1.4: Systemet ska kunna övervaka batteriernas temperatur samt hade systemet varit nödvändigt för att uppfylla krav 1.5: Systemet ska kunna bryta strömmen genom kretsen om någon av de uppmätta parametrarna går utanför tillåtna gränsvärden på ett säkert sätt. För att implementera sensorerna till vårt system hade vi behövt implementera den svåraste mjukvaruutvecklingen för vårt system, nämligen kommunikationsprotokollet I2C. Vi hade dock redan lagt ned en hel del tid på att lära oss hur I2C fungerar och troligtvis hade vi kunnat utveckla koden för detta system utan större problem om tidsressurserna fanns till.

Tanken var att det sista som skulle implementeras i kretsen var batterierna då det fanns brandrisker och annat med batterierna vilket medförde att vi ville vara helt säkra på att alla delsystem fungerade felfritt innan vi började använda oss utav batterierna. Tyvärr kom vi aldrig så långt att vi kunde använda oss utav batterierna, men istället simulerades batterispänningarna med hjälp utav spänningsaggregat.

Eftersom batterierna inte implementerades kunde vi inte heller testa systemet på de motorer som var tänkt att vi skulle testa på. Tanken var från början att vi skulle testa vårt system på en väldigt stor drönare konstruerad av tidigare examensarbetare för Sigma Technology som vi skriver Examensarbetet för. Planen var att ha drönaren fastsatt i en testbänk då det system vi konstruerat skulle vara alldeles för stort för att fästa på en drönare. Detta skulle dock kunna åtgärdas genom att designa ett mönsterkort och sätta på SMD-komponenter istället för de stora klumpiga THT-komponenterna vi har använt. Detta med undantag för effektmotstånden då dessa inte går att få i mindre storlek.

Att ladda batterierna med hjälp av kretsen skulle vara praktiskt möjligt tack vare att balanseringskretsen och spänningsmätningsskretsen är implementerade. Dock skulle detta inte kunna ske på ett säkert sätt med tanke på att kretsen inte har någon möjlighet att bryta strömmen om något skulle gå fel. Dessutom är risken för att något går fel större just nu än med samtliga krav uppfyllda då det i nuläget inte finns någon möjlighet att övervaka varken temperatur eller laddningsström. Med dessa säkerhetsaspekter i åtanke kan därför inte krav 1.6 ses som uppnått även om det är möjligt att genomföra dess innebörd. Prestandamålet från krav 1.6 ses därför som genomförbart, men inte på ett säkert sätt och därav kan inte kravet ses som uppfyllt.

Från början önskades temperaturmätare som var kompatibla med SPI att användas med mikroprocessorn. Detta då projektgruppens handledare Göran Hult rekommenderat denna metod för kommunikation då den är smidigare att implementera än I2C. Mycket tid lades på att läsa om hur SPI fungerade. Men när sedan komponenter skulle inhandlas hittades inte någon komponent som kommunicerade med SPI som var kompatibel med den valda mikroprocessorn. Därför beslutades att istället använda en temperatursensor som kommunicerade med I2C. Att behöva avsätta tid till att införskaffa kunskap om båda dessa metoder gjorde att planeringen brast med ungefär 3 dagar, vilket bidrog till att projektet inte kunde slutföras inom avsatt tid.

En annan metod för spänningsmätning planerades också att användas i början av projektet. Tanken var att konstruera en egen instrumentförstärkare för att transformera ned spänningspotentialerna från bettericellerna och mäta dessa. Denna metod byttes dock ut mot en spänning-till-strömmvandlare då denna metod sågs som mer exakt samt att förstärkarna som var avsedda att användas hade opassande prestanda. Instrumentförstärkaren baserades på en design med 7 st motstånd medan spänning till strömmvandlaren enbart behövde 4st. Motstånden som användes har en felmarginal vilken medförde att färre komponenter var att föredra.

I början av projektet när planeringen för arbetet gjordes underskattades den tid som krävdes för att hitta rätt komponenter. Att hitta en komponent som var kompatibel med hela systemet tog långt tid mot vad som förväntades. Anledningen var i första hand att noggran granskning av formelblad var nödvändig för att finna rätt komponent vilket var tidskrävande då vi inte var särskilt duktiga på det i början. Området var också väldigt nytt för oss och mycket efterforskning fick göras för att veta vilken typ av komponent som var effektivast att använda för ändamålet.

6.1 Diskussion av resultat

Resultatet för test av spänningsmätning var bra nog för att inte orsaka någon säkerhetsrisk men i efterhand kom vi på en strategi som skulle medföra ett ännu bättre precision i mätningarna. Eftersom den maximala spänningen som processorn kunde mäta var dess matningspänning 3,3 V borde vi ha anpassat motstånden på nedkonverteringssidan i spänningskretsen för att få ännu bättre upplösning på resultatet.

De resultat som erhöles när vi testade balanseringskretsen var godtagbara för dess applikation. I efterhand kan man argumentera att den balanseringskrets vi har tillverkat är överdimensionerad för dess syfte. Balanseringskretsen klarar av att förbruka av mer ström än vad batterierna laddas med samtidigt som laddningsströmmen till batterierna avtar med tiden. Vår balanseringskrets klarar alltså teoretiskt sett av att ladda ett tomt batteri medan ett fullladdat batteri sitter i seriellt.

Som föregående sektion beskriver så uppnåddes inte alla kraven som specificerats i kravspecifikationen. Projektet resulterade därför inte i ett färdigt battery management system designats. Därav kunde inte heller några tester på drönaren göras. Vårt att tilläggas är dock att systemet är designat för användning tillsammans med drönaren. Systemet har en utgående spänning som är optimerad för att vara kompatibel med motorerna i drönaren. Därför kan slutsatsen dras att systemet hade fungerat med drönaren om det hade färdigställts.

6.2 Fortsatt arbete och förslag på vidareutveckling

Då Systemet inte hann färdigställas finns det gott om förslag på vidareutveckling. Det viktigaste förslaget är att vidareutveckla mjukvaran så att samtliga system kan anslutas till processorn. Det område som kan behöva mest arbete är att skriva mjukvara för att implementera temperaturgivarna. I övrigt behöver också en P-kanals mosfet implementeras för att kunna bryta strömmen ut från kretsen vid sista batteriets pluspol samt att en optokopplare måste kopplas in för att höja spänningen där. En P-kanals mosfet behövs då denna mosfet kommer att kopplas in mellan sista batteriets pluspol och lasten. För att implementera den mosfet som bryter strömmen vid kretsens minuspol behövs också en krets för att öka spänningen för processorns utgång som ska kopplas till denna. Detta behövs då mosfeten som är tänkt att användas kräver en högre gate-source spänning än 3,3 volt för att fungera.

Ett annat område som har potential för vidareutveckling är en mer avancerad mätning av ström och spänning där batteriets totala kapacitet beräknas vid urladdning och uppladdning för att bedöma batteriets styrka i förhållande till den typiska kapaciteten hos en ny cell. Genom en sådan beräkning skulle mikroprocessorn veta när ett batteri börjar bli dålig och därefter visa när det är dags att byta ut en cell. Detta skulle kunna visas på ett effektivt sätt genom att exempelvis ansluta en LCD skärm där information kan utläsas.

Ytterligare ett område som beroende på implementation kan övervägas är aktiv balansering. Detta är ett mycket komplext område och som det diskuteras nedan kanske inte nödvändigt för implementation i just en drönare. Men denna typ av konstruktion kan användas även i andra sammanhang där aktiv balansering kanske skulle ge ett stort övertag.

6.3 Aktiv balansering kontra passiv balansering

En balanseringskrets som använder sig av aktiv balansering hade varit att föredra rent prestandamässigt i ett BMS system för en drönare. Detta då ett korrekt utvecklat sådant system garanterar att dess användare kan utvinna den totala kapaciteten från alla battericeller i kretsen. Dock är ett sådant system mycket komplext att utveckla. Att utveckla en sådan produkt var något som ej kunde genomföras i detta arbete på grund av tidsbrist. Det är dock även försvarbart att hävda att ett sådant system inte skulle vara nödvändigt i en drönare av kostnadsskäl förutsatt att denna inte är en mycket avancerad och påkostad variant. De få procent extra kapacitet som drönaren skulle få ut av ett sådant system skulle sannolikt inte kunna motivera en sådan kostnadsökning som detta skulle medföra vid försäljning.

6.4 Miljöaspekt

Detta projekt är väldigt relevant miljömässigt då det lutar mot att alla produkter som är trådlösa kommer drivas av batterier inom framtiden. Om Battery Management System utvecklas till dess fulla potential och effektiviseras så mycket som möjligt medför detta att övergången och förverkligningen av ett miljövänligt samhälle kommer vara möjligt utan fossila och miljöfarliga bränslen. Om BMS optimeras innebär det även att den energi som används i olika system som drivs av batterier varar längre samt att de batterier som används varar längre.

7

Slutsats

Det råder för oss ingen tvekan om att den tiden som planerats för arbetet har lagts ned. Gruppen har lagt ned mycket tid och mer än de 320 timmar som är vad kursen ska omfatta. Slutsatsen är därmed att detta arbete var för stort för att lösa på utsatt tid och att vi tog på oss för mycket arbete. Eftersom systemet inte blev klart i tid uppfylldes inte projektets mål och syfte fullt ut. Slutsatsen är därmed att projektet behöver mer tid men att det inte kvarstår mycket för att få en färdig produkt.

Litteraturförteckning

- [1] Battery Management System Tutorial. Renesas, USA 2018, <https://www.renesas.com/eu/en/doc/whitepapers/battery-management/battery-management-system-tutorial.pdf>.
- [2] PIC18F2XK20/4XK20. Microchip, USA 2010, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/40001303h.pdf>.
- [3] Panasonic Litihium ion NCR18650B. SANYO energy, USA 2012, <https://www.batteryspace.com/prod-specs/NCR18650B.pdf>.
- [4] Safety and Preventing Thermal Run Away in Large Li-Ion Batteries. SouthWest Electronic Energy Group, USA 2011, <https://www.batterypoweronline.com/markets/testingservices/safety-and-preventing-thermal-run-away-in-large-li-ion-batteries/>.
- [5] BU-409: Charging Lithium-ion. Battery University, USA 2018, https://batteryuniversity.com/learn/article/charging_lithium_ion_batteries.
- [6] Understanding the I2C Bus. TEXAS INSTRUMENTS, USA 2015, <http://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf>.
- [7] Tiny Serial Digital Thermal Sensor. Microchip, USA 2001, tillgänglig: https://www.elfa.se/Web/Downloads/_t/ds/TC74_eng_tds.pdf.
- [8] LM2576xx Series SIMPLE SWITCHER 3A Step-Down Voltage Regulator. TEXAS INSTRUMENTS, USA 2016, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>.
- [9] LM1575/LM2575/LM2575HV SIMPLE SWITCHER 1A Step-Down Voltage Regulator. TEXAS INSTRUMENTS, USA 2013, <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2575-n.pdf>.
- [10] ACS712 Fully Integrated, Hall Effect-Based Linear Current Sensor IC with 2.1 kVRMS Isolation and a Low-Resistance Current Conductor, Allegro Microsystems, USA 2012, <http://www.farnell.com/datasheets/1759100.pdf>.

- [11] Current Transfer Ratio (CTR) and Response Time of Photocouplers / Optocouplers. Renesas, USA, <https://www.renesas.com>.
- [12] RFD14N05L, RFD14N05LSM, RFP14N05L. Fairchild, USA 2004, https://www.elfa.se/Web/Downloads/_t/ds/RFD14N05L_eng_tds.pdf.
- [13] Optocoupler, Phototransistor Output, High Temperature, 110°C Rated. RS Components 2006, <https://docs-emea.rs-online.com/webdocs/1196/0900766b81196e5a.pdf> s, 2-6.
- [14] PICkit™ 3 In-Circuit Debugger. Microchip, USA 2019, <https://www.microchip.com/DevelopmentTools/ProductDetails/pg164130>.
- [15] MPLAB X Integrated Development Environment (IDE). Microchip, USA 2019, <https://www.microchip.com/mplab/mplab-x-ide>.
- [16] MPLAB® XC Compilers. Microchip, USA 2019, <https://www.microchip.com/mplab/compilers>.
- [17] MPLAB Integrated Programming Environment (IPE). Microchip, USA 2019, <https://www.microchip.com/mplab/mplab-integrated-programming-environment>.
- [18] LTspice. Analog Devices, USA 2019, <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html>.
- [19] Fluke 114, 115, and 117 True-rms Multimeters. FLUKE, USA 2006, <https://www.fluke.com/en-us/product/electrical-testing/digital-multimeters/fluke-115#>.
- [20] HY Series Power Supply Units, Digimess, land okänt årtal okänt, formelblad finns på <https://uk.farnell.com/digimess/hy3003-3/power-supply-3ch-30v-3a-adjustable/dp/4283259>.

A

Appendix A

A.1 Processor kod

```

#include <xc.h>

#define _XTAL_FREQ 64000000

#pragma config FOSC = INTIO67       /* Oscillator Selection bits (Internal oscillator block, port function on
#pragma config FCMEN = OFF          /* Fail-Safe Clock Monitor Enable bit (Fail-Safe Clock Monitor disabled)
#pragma config IESO = OFF          /* Internal/External Oscillator Switchover bit (Oscillator Switchover mode
#pragma config FWRT = OFF          /* Power-up Timer Enable bit (FWRT disabled) */
#pragma config BOREN = OFF          /* Brown-out Reset Enable bits (Brown-out Reset disabled in hardware and
#pragma config BORV = 18           /* Brown Out Reset Voltage bits (VBOR set to 1.8 V nominal) */
#pragma config WDTCN = OFF          /* Watchdog Timer Enable bit (WDT is controlled by SMDTEN bit of the WDTCR
#pragma config WDTCS = 32768        /* Watchdog Timer Postscale Select bits (1:32768) */
#pragma config CCP2MX = PORTC        /* CCP2 MUX bit (CCP2 input/output is multiplexed with RC1) */
#pragma config PBADEN = OFF          /* PORTB A/D Enable bit (PORTB<4:0> pins are configured as digital I/O on
#pragma config LPT1OSC = ON          /* Low-Power Timer1 Oscillator Enable bit (Timer1 configured for low-power
#pragma config HFOFST = OFF          /* HFINTOSC Fast Start-up (The system clock is held off until the HFINTOSC
#pragma config MCLRE = ON            /* MCLR Pin Enable bit (MCLR pin enabled/* RE3 input pin disabled) */
#pragma config STVREN = ON           /* Stack Full/Underflow Reset Enable bit (Stack full/underflow will cause
#pragma config LVP = OFF             /* Single-Supply ICSP Enable bit (Single-Supply ICSP disabled) */
#pragma config XINST = OFF           /* Extended Instruction Set Enable bit (Instruction set extension and Instruction

/* Turn off all write, table read and code protection */
#pragma config WRTC = OFF
#pragma config CP0 = OFF, CP1 = OFF, CP2 = OFF, CP3 = OFF, CPB = OFF, CPD = OFF
#pragma config WRTO = OFF, WRT1 = OFF, WRT2 = OFF, WRT3 = OFF, WRTB = OFF, WRID = OFF
#pragma config EBTR0 = OFF, EBTR1 = OFF, EBTR2 = OFF, EBTR3 = OFF, EBTRB = OFF

/* Interrupt handlers

```

```

void __interrupt () InterruptHandlerHigh( void )
{
    #ifdef _DEBUG
        for(;;); /* on debug spin if this interrupt should fire */
    #endif
}

void __interrupt (low_priority) InterruptHandlerLow( void )
{
    #ifdef _DEBUG
        for(;;); /* on debug spin if this interrupt should fire */
    #endif
}

/*-----
** ADC Interface
*/
unsigned short ADC_Value;
int D_reg[6];

void ADC_Init (void)
{
    ADCON2 = 0b10101100; /* Right justify, FOSC/4, & 12 TAD ACQ time */
    ADCON1 = 0b00000000; /* ADC ref = Vdd,Vss */
    TRISA |= 0b00101111; /* Set RA0-3 + RA5 to Input */
    ANSEL |= 0b00111111; /* Set AN0-AN5 to Analog */
    ADCON0 = 1; /* AN0, ADC on */
}

```

```
void ADC_Read(int ch)
{
    ADCON0 = ch;
    ADCON0bits.GO = 1;    /* Start conversion */
    while (ADCON0bits.GO); /* Wait for conversion to complete */
    ADC_Value = ((unsigned short) (ADRESH << 8 ) | ADRESL);
}

/*-----
** INITIALIZE THIS PIC AND HARDWARE
*/

void balans(unsigned short ADC_var1, int ch) {
    int ch_1 = ch/4;
    if(ADC_var1 > 630) {
        D_reg[ch_1] = 1;
    }
    else {
        D_reg[ch_1] = 0;
    }
    LATDbits.LATD0 = D_reg[0];
    LATDbits.LATD1 = D_reg[1];
    LATDbits.LATD2 = D_reg[2];
    LATDbits.LATD3 = D_reg[3];
    LATDbits.LATD4 = D_reg[4];
    LATDbits.LATD5 = D_reg[5];
}
```

```

void PIC_Init (void)
{
    INTCONbits.GIEH = 0;          /* Disable all interrupts */
    RCONbits.IPEN = 1;           /* Enable priority levels on interrupts */
    OSCCON = 0x50;                /* Set primary oscillator as system clock source */
    OSCTUNE = 0x00;               /* and use 4MHz internal oscillator */
    ANSEL = 0x3F;                 /* Turn off 4x PLL */
    ANSELH = 0x00;                /* Configure AN0 and analog input AN7 to AN1 as digital I/O */
    ANSELH = 0x00;                /* Configure AN12 to AN8 as digital I/O */

    LATA = 0;                     /* Initialize PORTA by clearing output data latches */
    TRISA = 0x2F;                 /* Set RA0-3 + RA5 to Input */

    WPUB = 0;                     /* Turn off weak pull ups on PORTB */
    IOCB = 0;                     /* Turn off interrupt on change of PORTB<7:4> */
    LATB = 0;                     /* Initialize PORTB by clearing output data latches */
    TRISB = 0;                     /* Set RB<7:0> as outputs */

    LATC = 0;                     /* Initialize PORTC by clearing output data latches */
    TRISC = 0;                     /* Set RC<7:0> as outputs */

    LATD = 0;                     /* Initialize PORTD by clearing output data latches */
    TRISD = 0;                     /* Set RD<7:0> as outputs */

    LAPE = 0;                     /* Initialize PORTE by clearing output data latches */
    TRISEbits.TRISE2 = 0;         /* Set RE2 as output */
    TRISEbits.TRISE1 = 0;         /* Set RE1 as output */
    TRISEbits.TRISE0 = 1;         /* Set RE0 as Input */
}

```

```

LATD = 0; /* Initialize PORTD by clearing output data latches */
TRISD = 0; /* Set RD<7:0> as outputs */

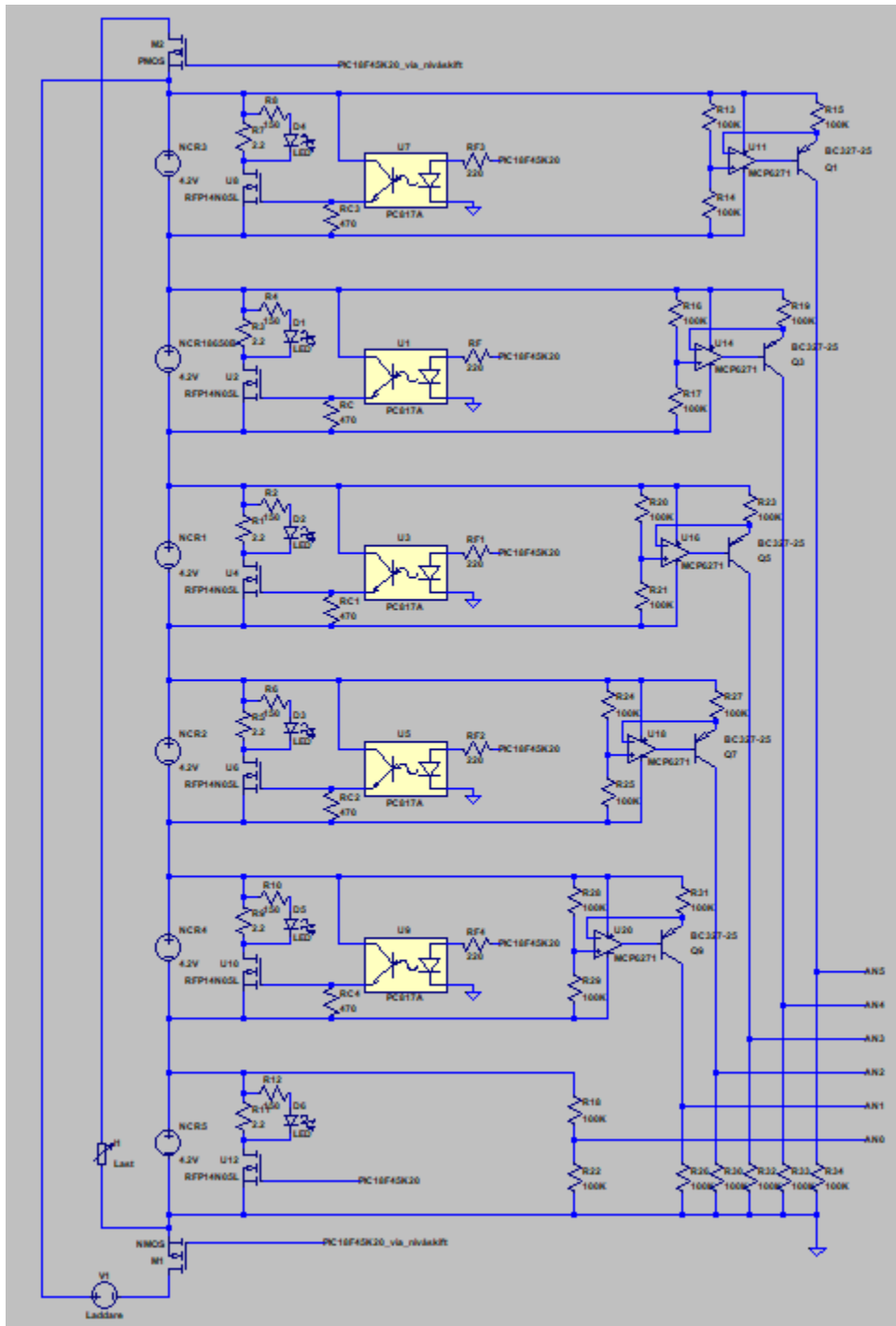
LATE = 0; /* Initialize PORTE by clearing output data latches */
TRISEbits.TRISE2 = 0; /* Set RE2 as output */
TRISEbits.TRISE1 = 0; /* Set RE1 as output */
TRISEbits.TRISE0 = 1; /* Set RE0 as Input */
}

/*-----
** MAIN PROGRAM
*/

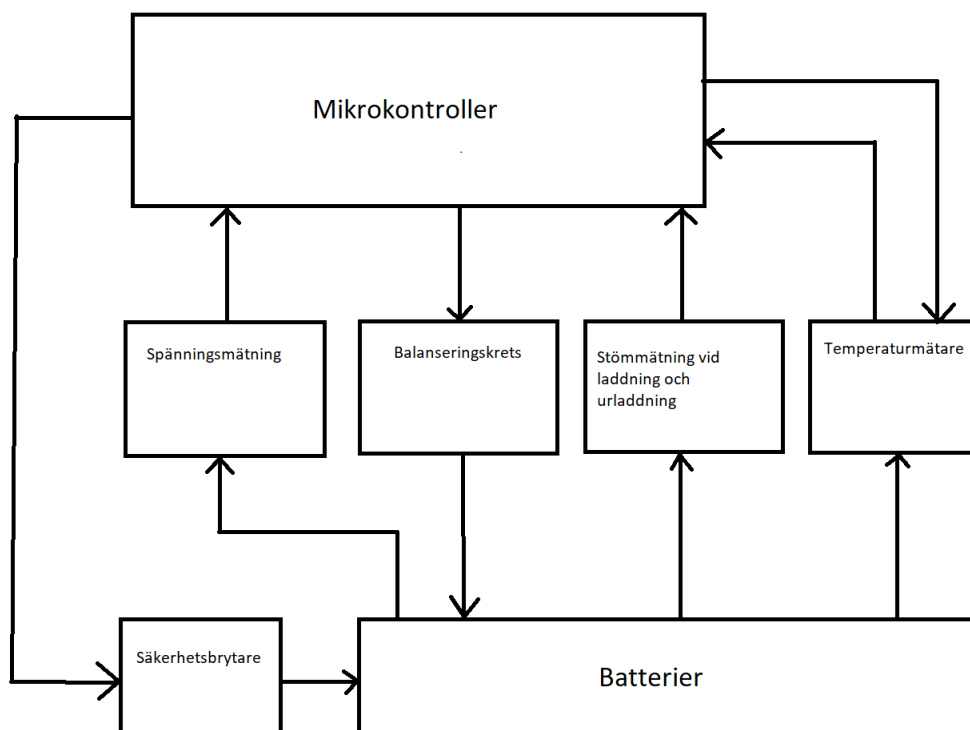
void main (void)
{
    PIC_Init();
    ADC_Init();

    for (;;)
    {
        for(int ch = 1; ch <= 21; ch = ch + 4){
            ADC_Read(ch);
            balans(ADC_Value, ch);
        }
    }
}
```

A.2 Kopplungsschema



A.3 Blockdiagram



A.4 Flödesschema

Flödesschemat nedan är relativt översiktligt för vissa processer då som nämnt under mjukvaruutvecklingsavsnittet är inte alla funktioner implementerade. Schemat är mer ett förslag på hur de funktioner som var tänkt att användas kan implementeras på ett enkelt sätt.

