

Verkningsgradsanalys över mobila tillämpningars ackumulatorer

John Morelius

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Utbildningsprogram:	Elektroteknik
Identifikationsnummer:	
Författare:	John Morelius
Arbetets namn:	Verkningsgradsanalys över mobila tillämpningars ackumulatörer
Handledare (Arcada):	Rene Herrman
Uppdragsgivare:	Arcada- Nylands Svenska Yrkeshögskola
<p>Sammandrag:</p> <p>Arbetets syfte vara att forska i verkningsgraden av ackumulatörer och sekundärceller med målet av att bygga upp en samling information som kan användas för att välja ut de effektivaste typerna för mobila applikationer. Problematiken bakom ackumulatörer i mobila apparater har att göra med vikt och volym samt verkningsgraden som kan uppnås från dessa celler då de används i mycket förändrande omständigheter. Litium ion celler har varit en av de främsta cellerna är kompakta mobil apparaters val, som till exempel cellerna i mobiltelefoner. För större mobila maskiner har dock antingen bly eller nickel baserade celler används på grund av att litium har förr stora säkerhets brister samt högt Ri. Med den stora diversiteten som kommer med dessa olika typer och ändamål kommer också en större orsak till att kunna analysera dessa celler. Hypotesen som forskas i detta arbete utvecklar tanken om att kombinera två olika typer av celler i ett mobilt fordon för att komma kring de begränsningarna av en cell, med andra ord konfigurera lagringen av energi i en cell som klarar av snabba upp och ur laddningar samt en typ som kan lagra energi i en mindre volym än de som klara av stora strömmar. Verkningsgrads beräkningarna är det kritiska för detta då man med hjälp av dem kan säga om en kombination är fördelaktig till bara en enskild cell typ. För att finna dessa värden har en tester skapats som kan under en laddnings cykel av en cell eller ackumulator skapa tillräcklig data över strömflödet för att både räkna ut interna resistansen vid uppladdning och urladdning och med det beräkna Peukerts k värde och göra verkningsgrads beräkningar. Arbetet behandlar konstruktionen av denna tester och testresultat för bly syre ackumulatörer samt litium järn cell tester.</p>	
Nyckelord:	Akkumulator, intern resistans, laddning, urladdning Peukert
Sidantal:	
Språk:	Svenska
Datum för godkännande:	

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Electrical Engineering
Identification number:	
Author:	John Morelius
Title:	Efficiency analysis of batteries for mobile applications
Supervisor (Arcada):	Rene Herrman
Commissioned by:	Arcada- Nylands Svenska Yrkeshögskola
<p>Abstract:</p> <p>Work purpose was to research the properties of batteries and secondary cells with the goal of building up a collection of information that can be used to select the most optimal types for mobile applications. The problem behind the accumulators of motor-car sets have to do with weight and volume as well as efficiency to be gained from these cells when used in very changing circumstances. Lithium ion cells have been one of the primary cells for compact mobile equipment, such as cells in cellular phones. For mobile machines, however, either lead or nickel-based cells are used because the lithium is too unstable and can't sustain high power flows. With the great diversity that come with these different types and purposes will also be one more reason to be able to analyze these cells. Producers publish data relating to a new cell, but nothing that says how they age. Peukert law helps here by providing a comparable value with which one can say how good the condition of a cell is and how well the efficiency of this cell is. The hypothesis researched in this work develops the idea of combining two different types of cells in a mobile vehicle to get around the limitations of a specific cell, in other words, a configuration where one type is used that is good at storing energy in a small space but has low power flow, with another type that can't store much in a small space but has good power flow. The efficiency calculations, is critical for this, it gives a way to say whether a combination is beneficial over a single cell type. To find these values, a tester has been created that can, during a single charging cycle of a cell or accumulator provide sufficient data on the flow of current to both calculate the internal resistance when charging and discharging, from this it is possible to calculate Peukert k value and make efficiency calculations. The work deals with the design of the tester and test results for lead acid accumulators and lithium iron cell tests.</p>	
Keywords:	Accumulator, internal resistance, charge, discharge Peukert
Number of pages:	
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

OPINNÄYTE	
Arcada	
Koulutusohjelma:	Sähkötekniikka
Tunnistenumero:	
Tekijä:	John Morelius
Työn nimi:	Hyötysuhdeanalyysi mobiilisovellusten akuista
Työn ohjaaja (Arcada):	Rene Herrman
Toimeksiantaja:	Arcada- Nylands Svenska Yrkeshögskola
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Työn tavoitteena oli tutkia akkujen ja toissijaisten solujen ominaisuuksia, tiedoista tulisi perusta parhaan akun valitsemiselle mobiilisovelluksiin . Ongelma sähkö ajoneuvoissa tulee vastaan akkujen paino tehosuhteesta. Litium-ioni solut ovat yksi tärkeimmistä soluista kompakti liikkuvaan kalustoon liittyviin valintoihin, kuten solut matkapuhelimiin. Työkoneissa kuitenkin käytetään joko lyijy tai nikkeli-pohjaiset solut, koska litiumi on liian epävakaa ja sille on huonot sähkönto ominaisuudet. Suuri valikoima eri soluista tekee analysoin tärkeäksi jotta sopivat solut löytyisi. Tuottajat julkaisevat tietoja, jotka liittyvät uuteen soluun, mutta harvoin sanoo miten solut ikääntyvät. Peukert laki auttaa tässä antamalla arvo, jolla voi sanoa kuinka hyvä kunto solulla on ja kuinka hyvä hyötysuhde solulla on. Hypoteesi tutkii tässä työssä ideaa yhdistää kaksi eri solua mobiili ajoneuvon kiertäen rajoitukset jotka tulee vastaan käyttäen vaan yhtä solu tyyppiä, eli toisin sanoen löytää tyyppi joka toimisi hyvin suurilla sähkövirtauksilla ja toinen joka varastoin paljon energiaa pieneen tilaan. Hyötysuhteen laskeminen on kriittinen osa kombinaation laskelmissa, sillä voi vahvistaa jos kaksi solua voivat toimi paremmin kuin yksinäinen solu. Analyysiä varten on rakennettu testeri jonka avulla on mahdollista kerätä tietoja yhden solun tai akun sisäisestä vastuksesta yhden lataus kerran aikana. Näiden tietojen kanssa on mahdollista laskea Peukertin k arvo ja tehdä hyötysuhde analyysyjä. Tämä työ käsittelee miten testeri on rakennettu ja kokoelman kerätyistä tiedoista</p>	
Avainsanat:	Akku, sisäinen vastus, lataus, purku Peukert
Sivumäärä:	
Kieli:	Ruotsi
Hyväksymispäivämäärä:	

INNEHÅLL

1	Introduktion.....	10
1.1	Inledning	10
1.2	Bakgrund	10
1.3	Syfte och mål.....	11
1.4	Metoder	12
2	Akkumulatorceller	19
2.1	Inledning	19
2.2	Blyackumulatorn	19
2.3	Nickel-Kadmium	20
2.4	Nickel-metall hybrid	21
2.5	Silver-zink	22
2.6	Nickel-zink	22
2.7	Litiumion	23
2.8	Litium järn	23
2.9	Sammanfattning	24
3	Testinstrumentet.....	25
3.1	Introduktion.....	25
3.2	Logiken	25
3.3	Elektroniken.....	27
3.4	Noggrannheten.....	32
4	Testresultat	34
4.1	Introduktion.....	34
4.2	Blyackumulatorn	34
4.3	Nickel-zink	41
4.4	Litium järn	41
4.5	Slutsats	45
5	Diskussion	46
	Källor	47
	Bilagor	49

Figurer

Figur 1 Ekvivalentskema över en sekundär cell.....	11
Figur 2 Förenklad illustrering av en belastad cell	13
Figur 3 Illustrering av verkningsgrad i förhållande till den uttagna effekten.....	14
Figur 4 Effekt i förhållande till relationen mellan RL och Ri	15
Figur 5 Verkningsgrad i förhållande till relationen mellan RL och Ri	15
Figur 6 Interna resistansen av en cell i förhållande till tiden t vid uppladdning	17
Figur 7 Illustrering av verkningsgraden av en cell i förhållande till ström	18
Figur 8 De två urladdnings tillstånd	26
Figur 9 De två laddnings tillstånd.....	26
Figur 10 Illustrering över intern resistans i förhållande till lagrad energi.....	27
Figur 11 Grovreläernas funktionsschema.....	29
Figur 12 Kretsschemat över kretskortet.....	30
Figur 13 Slutliga kretskortet	32
Figur 14 12Ah blyackumulatorns spänning och ström.....	35
Figur 15 Laddnings Ri för en föråldrad 12Ah blyackumulator med anpassad K kurva	35
Figur 16 Lagrade energin i 12Ah blyackumulatorm	36
Figur 17 Urladdnings Ri av en 12Ah blyackumulator med anpassad K kurva.....	37
Figur 18 Verkningsgrad av en föråldrad 12Ah blyackumulator.....	37
Figur 19 45Ah blyackumulators spänning samt ström flöde.....	38
Figur 20 Laddnings Ri för en 45Ah blyackumulator	39
Figur 21 Lagrad energi för en 45Ah blyackumulator.....	39
Figur 22 Urladdnings Ri för en 45Ah blyackumulator med anpassad K kurva	40
Figur 23 Verkningsgrad av en 45Ah blyackumulator	40
Figur 24 Laddnings ström och spänning av en 2,3Ah litium järn cell	42
Figur 25 Laddnings Ri för en 2,3Ah litium järn cell med anpassad K kurva.....	43
Figur 26 Lagrad energi i en litium järn cell.....	43
Figur 27 Urladdnings Ri av en 2,3Ah litium järn cell med anpassad K kurva.....	44
Figur 28 Verkningsgrad av en 2,3Ah litium järn cell.....	44

Tabeller

Tabell 1 Sammansatt data över de primära kandidaterna.....	24
Tabell 2 Summering över precision	34

FÖRORD

Jag vill rikta ett tack till följande personer; Rene Hermann med sitt stora tålamod som min handledare, Valeria Poliakova för all den tid jag behövt att slutföra mitt slutarbete, Harri Anukka för alla tankar, verktyg och komponenter, Ville Schütt för alla små komponenter och problem lösningar under sena kvällar, Jan Nikkinen för vision av framställande av information.

ORDLISTA

Cell	I detta arbete hänvisar cell alltid till cellen av ett batteri eller av en ackumulator. En cell betyder kombinationen av en anod och katod inkapslad i en modul som har lagrings elektrolyt mellan dem.
AD	”Analog Digital” ett förkortnings akronym för analog till digital konvertering
PIC	”Programmable Interface Controller” en programmerbar grensnits kontroller vars instruktions tabell lätt kan updateras och fungera som en liten CPU för lätta kretsar
Eagle	“Easily Applicable Graphical Layout Editor” program för planerande av kretskort av CadSoft som har gratis licenser för studerande och entusiaster.
LSP	”Large solder point” är en akronym som används i eagle och står då för stor lödnings punkt
Darlington transistor	Är en dubbelstaplad transistor av mosfet typ, där första transistoren förstärker gateströmmen till nästa transistor och med detta får man ett kompaktare paket för elektroniken

1 INTRODUKTION

1.1 Inledning

Batteriet har varit känt de senaste tvåhundra åren. Volta märkte spänningsskillnaden mellan två olika metaller med hjälp av ett grodben. Volta förstod sig inte på den kemiska bakgrunden av vad som hände och trodde att batteriet skulle vara en oändlig källa för energi. 1859 satte Planté ihop första blyackumulatorn och därmed skapade han den första laddningsbara cellen. Olikt primäraceller som enbart kan förbrukas hade blyackumulatorn fördelen av att kunna uppta fria elektroner igen och lagra dem. Den laddningsbara cellen fick namnet sekundärcell (David & Thomas 2002).

Olikt vad Volta föreställde sig är en cell begränsad när det kommer till lagringskapacitet. För att beskriva hur mycket energi som finns lagrad i en cell kom Peukert ut med en formel år 1897 som beskriver hur mycket energi som lagrats i en sekundärcell då den laddas, detta var nästan 40 år efter att Planté hade skapat den första blyackumulatorn (Smart Gauge, 2008).

1.2 Bakgrund

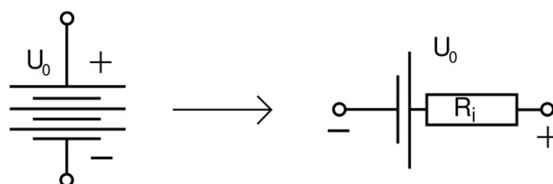
Det är mera än 100 år sedan Peukert forskade i blycellens beteende. Sedan de tiderna har många olika typer av sekundärceller utvecklats för många olika ändamål. Orsaken till den stora diversiteten av celler är att det inte ännu finns en cell som skulle erbjuda alla egenskaper man kan tänka sig behöva ur en energilagrande komponent. Celler som erbjuder liten intern resistans för urladdningar har sedan igen inte lika stor energilagring förmåga som de med större resistans. Celler med liten resistans vid laddning saknar sen igen andra egenskaper (David & Thomas, 1972, s.565-586).

För mobila applikationer kommer en sekundärcell att utsättas för mycket varierande ström flöden och gör att det är mycket mer invecklat att anpassa kemin på ett sådant sätt att den skulle fungera bra i hela bruksområdet. En ackumulator i en mobil applikation utsätts för fyra olika situationer; en snabb uppladdning, en långsam uppladdning, en snabb urladdning och en långsam urladdning. Utöver dessa situationer behöver

ackumulatören lagrar energi på ett så optimalt sätt, även klara av att ge ut det när det behövs. Detta betyder att ackumulatören borde ha så lika resistans och lagrings egenskaper under hela bruksområdet som möjligt.

1.3 Syfte och mål

För detta arbete kommer följande tolkning av en sekundär cell att användas. Cellen i sig själv består enbart av energikällan samt den interna resistansen som beskrivs som ett vanligt motstånd. I verkligheten är detta kemiska och fysiska fenomen mycket invecklat men för detta arbete behövs inte denna komplexitet.



Figur 1 Ekvivalentskema över en sekundär cell

Marknadens har fyllts med olika sekundär celler av vilka det kommit fram en kaskad av olika ackumulatörer som används i ett allt bredare bruksområde. Dessa celler kommer från fabriker som inte direkt ger fulla specifikationer och även dessa specifikationer gäller inte länge då de bara hanterar en ny cell, som efter en kort brukstid redan kommer att vara mycket annan. Därför är det så viktigt att kunna analysera dessa cellers egenskaper inte bara då de är nya men även när de används och med hjälp av dessa analytiska data kunna bestämma framtiden för cellerna. Man kan föreställa sig hur viktigt detta är i ett elfordon drivet med ackumulatörer att analytiskt kunna säga när cellerna i ackumulatören är försämrade till den punkten att de måste bytas. Samtidigt kommer analyserna till handa för att kunna hämta fram vilken cell som kan uppfylla funktionen av att driva en specifik mobil applikation, om det möjligen kan användas flera typer.

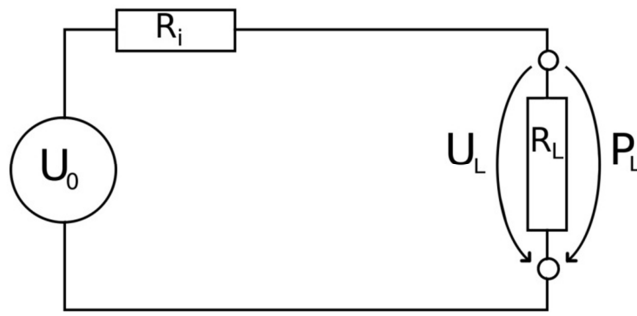
Min hypotes är att med alla dessa olika celler är att göra en hybridackumulatör av dem. Med andra ord att ta två typer av celler och kombinera dem i ett paket och därmed skapa en slutlig förpackning med högre energidensitet än de vad celler med låg resistans erbjuder men ändå möjliggöra med hjälp av celler med låg resistans och celler med hög lagringskapacitet. Ett exempel på en möjligen bra hybrid vore kombinationen mellan litiumioncellen och blycellen. Blycellen skulle ge momentana stora strömmar

och ta emot dem, och alltså då fungerar så att blycellen lämnas halvaddad, där liti-umioncellen laddar i sin tur sakta upp eller ur blycellen.

Att kombinera två olika typer av celler direkt är något som inte fungerar. Cellerna på grund av sina olika spänningar kommer att antingen ladda direkt upp eller ur varandra samt orsaka påfrestning vid laddningssituationer av vilket slutresultat blir en halvfull cell (David & Thomas, 1972, s.565-586). En överföringselektronik är behovet för att något som en hybrid ackumulator av två olika celler är möjligt, på detta sätt kan man isolera dem från varandra. Denna elektronik kommer jag inte att undersöka utan endast tanken om två celler skulle kunna med gemensamma egenskaper förbättra en vanlig ackumulator. Det viktiga i allt detta är samverkan av cellerna och deras förluster vid användning. Det vore onödigt att överföra energi fram och tillbaka mellan två celler om slut resultatet tog mera energi än fördelen i egenskaper av bara en typs cell som kommer till samma prestanda.

1.4 Metoder

Jag valde att utföra mitt arbete som en kombination av informationsforskning och praktiskt mäta spänningen och strömmen under laddning och urladdning för att bestämma interna resistansen och med hjälp av de data göra matematiska jämförelser mellan de olika celltyperna. Där tanken är att jag först undersöker teoretisk vilka ackumulatortyper som skulle tillämpa min hypotes bäst och sedan göra tester på dessa former av celler för att se hur de verkligen klarar av belastningen i verkligheten. En ackumulators egenskaper då det kommer till urladdnings- och laddningsförmåga kan beskrivas och forskas genom ackumulators interna resistans. Denna interna resistans är det som beskriver hur mycket motstånd som uppstår i både konstruktionen samt den rent kemiska delen då elektronerna flyttar över från ett medium till ett annat. Följande figur illustrerar ett förenklat schema av en cell under belastning (David & Thomas, 2002, s.36-38).



Figur 2 Förenklad illustration av en belastad cell

I praktiken kan man mäta polspänningen U_L . R_L kan väljas till ett godtyckligt värde. P_L kan beräknas med hjälp av U_L och R_L . R_i har en signifikant roll på grund av följande.

R_i och R_L skapar en spänningsdelare.

$$U_L = U_0 * \frac{R_L}{R_i + R_L} \quad (\text{Frederick, 1972, s.538})$$

Effekten över P_L får man med.

$$P_L = \frac{U_L^2}{R_L} \quad (\text{Frederick, 1972, s.698})$$

för att utreda maximal P_L i förhållande till R_L .

$$\frac{dP_L}{dR_L} = U_0^2 \left(\frac{1}{(R_i + R_L)^2} + \frac{R_L(-2)}{(R_i + R_L)^3} \right) = 0$$

$$\frac{1}{(R_i + R_L)^2} = \frac{2R_L}{(R_i + R_L)^3}$$

$$R_i + R_L = 2R_L$$

$$R_i = R_L$$

Resonemanget ovan visar att för maximal P_L skall R_i vara samma som R_L . i en högeffektsapplikation som en eldriven bil kommer R_L att vara mycket liten och därmed för att nå maximal effekt skall även R_i den interna resistansen vara mycket liten. Det uppstår dock en problematik med detta. Ser man på det hela ur en verkningsgradssynvinkel blir valet av cell mer invecklat.

$$\eta = \frac{P_{ut}}{P_{tot}} \quad (\text{Frederick, 1972, s.382})$$

$$P_{ut} = P_L = U_0^2 \frac{R_L}{(R_i + R_L)^2} \quad (\text{Frederick, 1972, s.698})$$

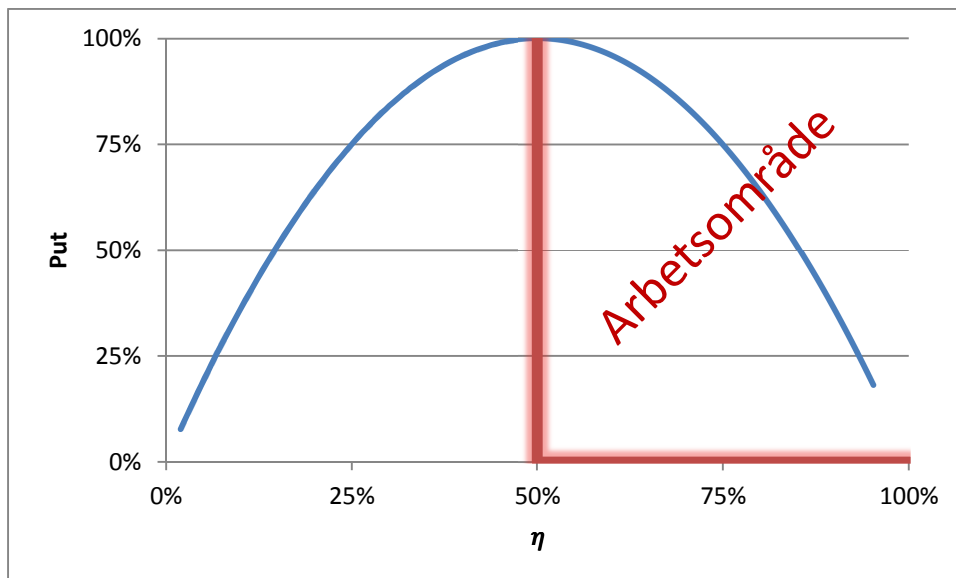
$$P_{tot} = \frac{U_0^2}{(R_i + R_L)^2}$$

$$\eta = \frac{R_L}{R_i + R_L}$$

$$R_i = R_L$$

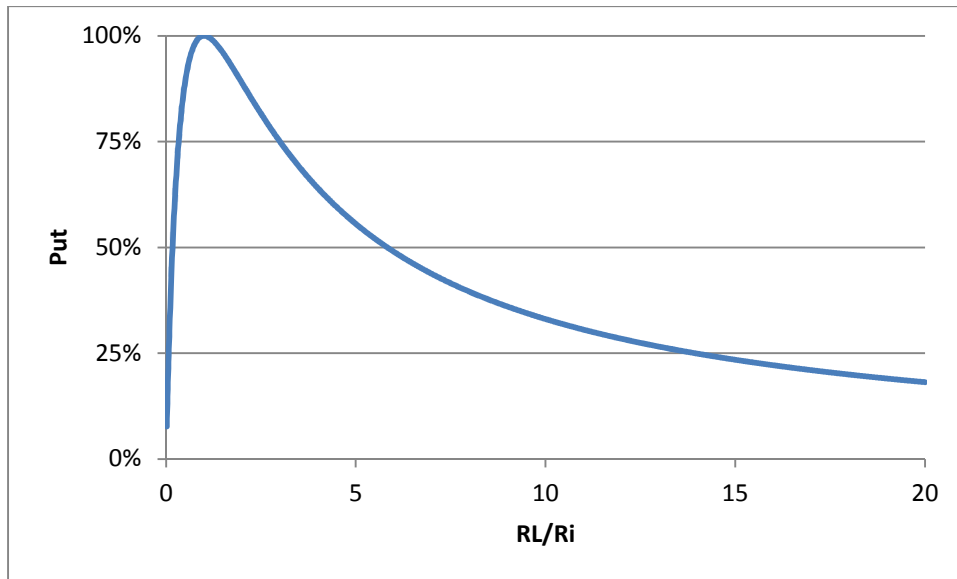
$$\eta = 50\%$$

Med andra ord, vid maximal effekt kommer verkningsgraden att vara endast 50%.

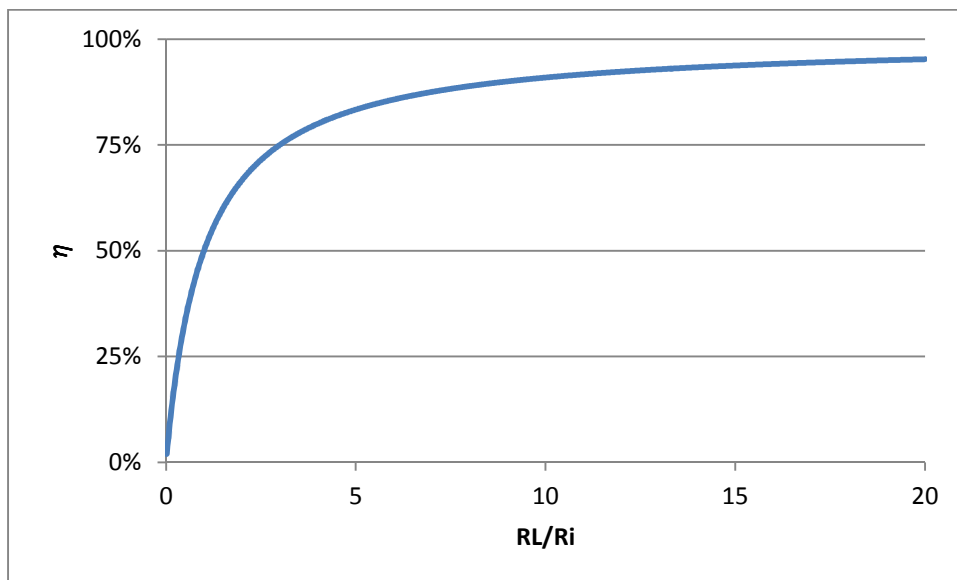


Figur 3 Illustrering av verkningsgrad i förhållande till den uttagna effekten

Vidare kan man även påvisa hur förhållandet mellan R_i och R_L kommer att påverka P_{ut} och verkningsgraden η



Figur 4 Effekt i förhållande till relationen mellan R_L och R_i



Figur 5 Verkningsgrad i förhållande till relationen mellan R_L och R_i

Med graferna ovan ser man hur en större R_L i förhållande till R_i kommer att ge en bra verkningsgrad i både laddande eller urladdande men effekten kommer inte att vara den teoretiskt maximala. Även med alla dessa grafer gäller dock att en så låg R_i som möjligt vid både laddning och urladdning kommer att ge de bästa egenskaperna för en hybridackumulator. För mig kommer då R_i att vara den centrala delen av mitt praktiska testande.

För att sedan skapa jämförbara värden för olika ackumulatortyper då de har olika spänningar kommer jag att anpassa data jag har uppmät med mitt instrument och beräkna Peukerts konstant k för de ackumulatorer jag testat. Med detta kommer det att vara möjligt för mig att bestämma egenskaperna av en ackumulator och inte bara jämföra dem utan också visa att det är möjligt att bestämma egenskaperna av en ackumulator utan att känna till originaldata utan bara med att ladda den engång i en kontrollerad miljö. Peukers lag är följande.

$$C_p = I^k t \quad (\text{Smart Gauge, 2008})$$

- C_p är kapaciteten av en cell given i amperetimmar (Ah)
- I är urladdningsströmmen given i ampere (A)
- k är Peukers konstant och saknar dimension
- t är urladdningstiden given i h

Vad formeln säger är att om urladdningsströmmen ökar över en tid så får man mindre ur cellen än vad den kapaciteten av cellen vore med en långsammare urladdning. Detta fenomen kan man lätt förklara med den interna resistansen.

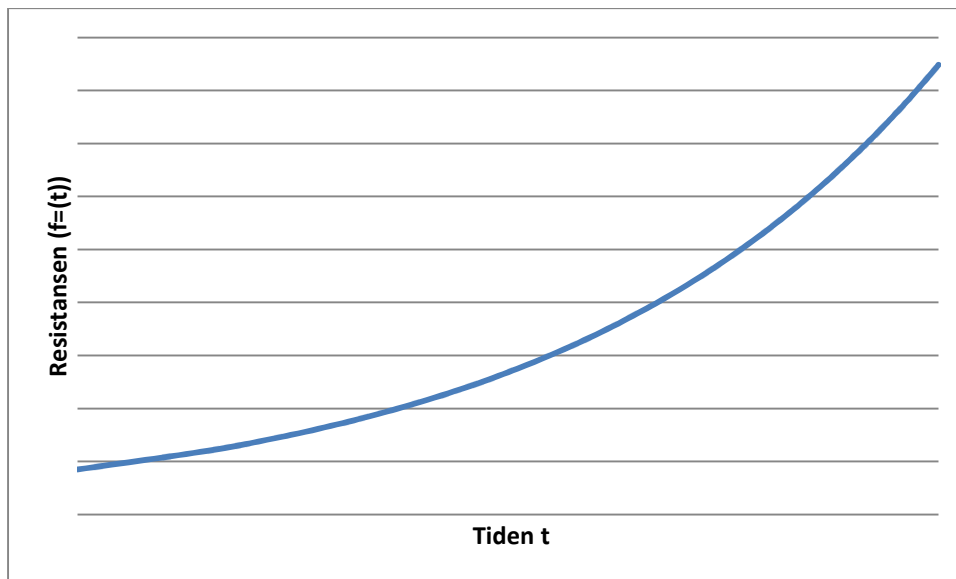
$$I = \sqrt[k]{\frac{C_p}{t}}$$

$$I = \sqrt[k]{C_p} * t^{-\frac{1}{k}}$$

Med att följande också är sant får man en formel för resistans.

$$R = \frac{U}{I} \quad (\text{Frederick, 1972, s.538})$$

$$R = \frac{U_o}{\sqrt[k]{C_p}} * t^{\frac{1}{k}}$$



Figur 6 Interna resistansen av en cell i förhållande till tiden t vid uppladdning

Med en omskriven version av Peukerts lag ser man hur strömmen är bunden till resistans. Denna resistans uppkommer på grund av att en cell är en kemisk process som har förluster. Förlusterna förekommer från det att elektronerna som lagrats i cellens lagringsmedium överförs till en annan substans, det ger begränsningar på hur bra denna överföringsyta är. Även ämnena i sig själv skapar begränsningar då de undergår förändringar i och med lagrandet. Ser man på dessa förluster ur en elteknisk synvinkel kan de betraktas som resistans. Peukerts lag beskriver denna resistans med Peukerts konstant k , om k är större kommer förlusterna under en laddning eller urladdning att vara större i och med att den interna resistansen tar sin egen del. Dagens blyackumulatorer anses vara i gott skick då deras k värde är mellan 1,1 och 1,3. Ett värde över 1,3 anses som definition av en åldrad blyackumulator då en allt för stor del av strömmen kommer att gå till spillo (Smart Gauge, 2008).

Peukerts lag kan också användas för att illustrera verkningsgraden av en cell med att jämföra tiden.

$$C_p = I^k t \quad (\text{Smart Gauge, 2008})$$

En division med I^k lämnar t ensam

$$t = \frac{C_p}{I^k}$$

Nu kan man skapa verkningsgrads ekvationen där $k=1$

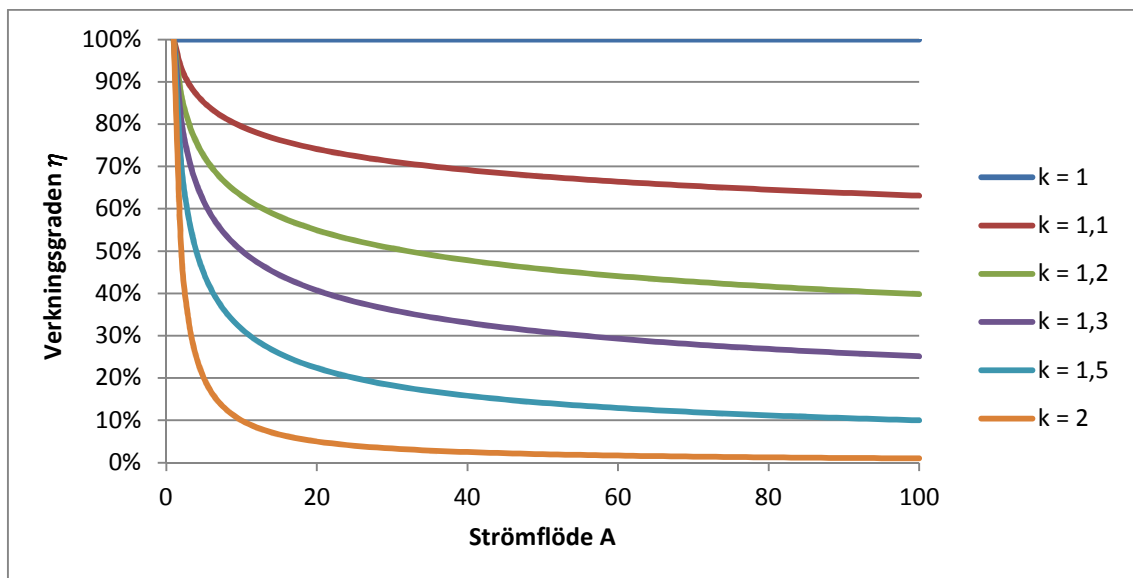
$$\eta = \frac{C_p}{\frac{I^k}{C_p}}$$

$$\eta = \frac{C_p I^1}{C_p I^k}$$

C_p tar ut varan och lämnar kvar I

$$\eta = I^{(1-k)}$$

Den slutliga formeln är mycket elegant och kan direkt användas för att påvisa hur verkningsgraden av en ackumulator eller cell försämras då den skall urladdas eller laddas med en större ström, se följande graf.



Figur 7 Illustrering av verkningsgraden av en cell i förhållande till ström

Grafen visar hur snabbt verkningsgraden försämras redan med en liten förändring av k. Med dessa två olika sätt att se på verkningsgraden av en cell kommer detta slutarbete att användas sig av Peukerts k värde då den ger en bättre helhets bild av en cells egenskaper.

2 ACKUMULATORCELLER

2.1 Inledning

Sen mitten av 1800-talet har sekundärcellen blivit långt mycket mer avancerad. Typerna av celler har också ökat. Egenskaperna av de olika cellerna bygger på valet av olika anod- och katodmaterial samt elektrolytsubstanten. Utvecklingsarbetet har givit celler som klarar av att hålla sin laddning mycket långa tider, samt celler som klarar av kraftiga urladdningar eller laddningar, celler som klarar av stora fysiska påfrestningar. Utvecklingen har dock inte hämtat celler som skulle kunna slå ihop alla egenskaper i en och samma typ av cell (David & Thomas, 2002, s.40-45). För att klarlägga variationen av celler har jag sammansatt följande lista.

- Blyackumulatort
- Nickel-kadmium
- Nickel-metall hybrid
- Nickel-järn
- Nickel-zink
- Silver-zink
- Silver-kadmium
- Nickel-helium
- Litium ion
- Litium järn

2.2 Blyackumulatort

Blyackumulatort är den äldsta formen av cell som kan ta emot en ström och lagra den. För tillfället är den marknadens billigaste typ och finns i många olika storlekar och undertyper. Blyackumulatort är den primära ackumulatortypen använd i bilar som startbatteri samt den för stora lagringar som behöver stor urladdningskapacitet. Den ursprungliga blyackumulatort var av "våt typ" vilket betyder att elektrolyten är i vätskeform. Moderna typer finns i gelform som inte läcker och som har stabilare kemiska

egenskaper under sin hela livstid. Blyackumulatorm kommer dock inte utan brister och även med vissa farliga egenskaper.

Blyackumulatorm svagheter har att göra med själva laddningen och urladdningen. Cellväggarna som skall överföra elektronerna från elektrolyten oxiderar lätt vilket leder till förminskad förmåga att uppehålla spänningen samt ökad Ri. Detta gör att livstiden för cellerna är kortare än många annan ackumulatortyp på marknaden. Livstiden förkortas ännu snabbare om ackumulatorm laddas med för stor eller för liten spänning eller med för stort strömflöde. Den bristfälliga laddningsmetoden förkortar inte bara livslängden av ackumulatorm utan ökar också mängden av vet-gas som produceras. Vätgas produktionen är den andra faktorn som orsakar komplikationer. I öppna utrymmen med bra ventilation orsakar det inte risk situationer men skall ackumulatorm användas i utrymmen där gasen kan ackumulera till explosiva kvantiteter blir ventilationsutrustning och övervakning extra utgifter och komplicerar bruket av ackumulatorm.

Blyackumulatorm har en stadig plats inom UPS (Uninterruptible Power Supply, ström filter) marknaden där den tjänat sin plats alla år sen UPSen börja lita på ackumulatormer. Främsta orsaken är priset, det är möjligt att för rimliga summor skapa massiva celler som kopplas samman till hela rum av ackumulatormer. För UPS marknaden är detta inget problem men då cellerna skall placeras i ett fordon blir det brist på utrymme och där med faller Blyackumulatorm efter och kan inte anses som ett rimligt alternativ. Till och med som en buffert för den snabbt laddbara/urladdbara delen fungerar inte blyackumulatorm, cellerna klarar inte av stora mängder upprepade laddningar samt svagheter under varierande laddningssituationer gör den till en icke optimal kandidat (David & Thomas, 2002, s.587-720).

2.3 Nickel-Kadmium

Nickel-Kadmium cellen hör även den till de äldre mer mogna och föråldrade cell typerna. En nickel-kadmium cell har mindre intern resistans än en bly-syra cell. Den lägre resistansen kommer från den stabilare kemiska reaktionen som inte orsakar oxidation eller gasbildning. Nickel-kadmium cellen kan därför också produceras som en sluten cell vilket betyder att hanterande av den är mycket lättare. Den stabilare kemien gör också att laddnings- och urladdningsresistansen inte varierar lika grovt som i t.ex. en bly-syra cell. Nickel-kadmium cellen är gammal och välutvecklad men den används inte

mera i USA eller Europa då kadmium är klassat som en farlig substans och får inte finnas i vanlig industri eller hemprodukter.

Nickel-kadmium cellen kommer inte att kunna användas i en hybridackumulator då cellen redan är klassad som farlig och produktionen har minskat snabbt senaste åren. Nickel-kadmium cellen är då bra att komma ihåg när man arbetar med ackumulatörer då den tekniskt överskrider en Nickel-metall hybridcell i både lagringskapasitet och toleranser (David & Thomas, 2002, s.747-840).

2.4 Nickel-metall hybrid

Nickel-metall hybridcellen kan klassas som nickel-kadmiumcellens efterträdare. Nickel-metall hybridcellen har aningen lägre energidensitet samt energi per vikt värde än nickel-kadmium celler men nickel-metall hybridcellen är en mer långlivad typ av cell. Nickel-metall hybridcellens starka sidor är stora strömvärden, den interna resistansen är liten både då cellen laddas samt då den urladdas. Den låga interna resistansen har gjort att NiMH ackumulatörer används i bärbara arbets redskap, portabla radioutrustningar och som större energilagrar för fordon som t.ex. Toyota Priusen (Toyota, 2010). Nickel-metall hybridcellen är inte heller ideal. Cellen försämras starkt under icke ideala laddningsförhållande och kan vara direkt farlig om den utsätts för allt för stora in- eller utströmmar av vilket cellens resistans ökar snabbt och gör att cellen kan bli mycket het. Cellens risk för att överhettas gör att den måste övervakas noggrant i både laddnings- och urladdningssituationer och kräver därmed extra utrustning som i sin tur ökar komplexiteten av cellens användning.

Nickel-metall hybridcellen är en stark kandidat för buffertdelen av en hybridackumulator. Nickel-metall hybrid celler används i stor utsträckning och har därmed en produktionsinfrastruktur som lätt kunde köras upp i skala för att kunna försörja en elbilsmarknad. Cellen är även kemiskt mycket mera homogen än en bly-syra cell och därmed torde brukbara området bättre användbart för att snabb ta emot eller ge ström (David & Thomas, 2002, s.841-912).

2.5 Silver-zink

Silver-zink celler är till sina egenskaper mycket avvikande då man jämför med bly- eller nickelbaserade celler. Silver-zink cellen har en stor lagringskapacitet men en mycket dålig förmåga att ta emot eller leverera ström. Även silver komponenten gör att cellerna är nämnvärt dyrare än t.ex. nickel-metall hybrider. Silver-zink cellen är också mycket långlivad och stabil. Orsaken till att jag ens tar upp den i detta arbete är för att föra fram mångfalden på marknaden. Silver-zink kan erbjuda mycket bra lagrings egenskaper men visar också den stora nackdelen som kommer med det. Om man skulle använda en Silver-zink cell för lagrande delen av hybrid ackumulator skulle det inte teoretiskt vara möjligt att ladda den under en natt om man gör det utan att skada cellerna (David & Thomas, 2002, s.982-1011).

2.6 Nickel-zink

Nickel-zink cellen är en mycket ny cell på marknaden även om kemin och idén har funnits mycket länge. Orsaken till den långa tidsskillnaden mellan första testerna till en färdig marknadsprodukt är produktionssvårigheterna som år 2009 blev lösta och gjorde att nickel-zink cellen kan produceras utan större utgifter eller komplikationer. Nickel-zink cellen har en cellspänning på 1.6 V vilket är högre än många andra liknande celler. Nickel-zink cellen har också mycket låg intern resistans och klarar av att leverera stora strömmar då den också kan ta emot dem. De förbättrade egenskaperna i förhållande till nickel-metall hybriden kommer dock med priset av att inte kunna lagra exakt lika mycket energi som en nickel-metall hybrid cell. Andra positiva egenskaper av nickel-zink cellen är naturvänligheten och den stora toleransen för externa påfrestningar. Nickel-zink celler fungerar bra i ett brett värmeområde och den mekaniska strukturen tål mycket resonans. Nickel-zink cellen har inte heller nickel-metall hybridens natur av att vid stor påfrestning öka i intern resistans och där med behövs inte lika avancerade övervakningssystem (David & Thomas, 2002, s.913-949).

Nickel-zink cellen är en mycket stark kandidat för en buffert då den klarar av stora strömmar och är stabil över ett stort lagringsområde. Även internationellt är det svårt att finna försäljare och de få producenter som finns har små leverationsmängder.

2.7 Litiumion

Litiumion har blivit den ledande typen av ackumulatorcell inom den kompakta mobila marknaden. Då jag talar om litiumion behandlar jag även polymerversjonen av den, som är till sin natur och egenskaper mycket lika, med ända egentliga skillnaden att elektrolyten är en fast polymer i stället för det organiska lösningsmedlet, detta gör att celler är stabilare för fysiska påfrestningar som stötar och vibration. Även med den instabila naturen av cellen används den effektivt med skydd elektronik som ser till att cellerna laddas ur på rätt sätt och att de inte kan laddas för snabbt. Skyddelektroniken är även kapabel av att ladda ur cellerna vid situationer som skulle kunna orsaka en explosion. Nämnvärt är också att den skyddande elektroniken stänger av cellen från den urladdande källan om spänningen faller för lågt, detta på grund av att Litiumioncellerna förstörs om laddningen faller för lågt. Litiumion tog över Nickel-metall hybridens marknad på grund av dess fördelaktiga laddningsegenskaper och längre livscykeltid (David & Thomas, 2002, s.1012-1167).

För en hybridackumulatorbank kan litiumioncellen vara ett bra alternativ som långtidslagringsenhet. Den stora energidensiteten samt det stora energi till viktförhållandet gör den en mycket bra kandidat. Tesla Roadster är ett exempel på fordon där man använt litiumionceller. I Tesla Roadster löstes litiumion urladdningsbegränsningar med hjälp av ett kondensatorpaket (Tesla, 2010).

2.8 Litium järn

Litium järn celler är mycket nya på marknaden, liksom nickel-zink har litium järn en låg internresistans men i förhållande till nickel-zinken en högre lagringsförmåga. Litium järn har dock inte lika hög lagrings förmåga som en litiumioncell och teoretiskt kan litium järn kombinationen aldrig kemiskt lagra lika mycket som litiumion då skillnaden mellan anod och katod materialet inte är kemiskt lika laddat. Fördelarna är dock även så mycket starka. Dagens litium järn celler som ännu är under stark utveckling klara av att leverera ström liksom en kondensator. Olikt de andra cellerna på marknaden har litium järn cellen en nästan totalt flat internresistanskurva vid både ut- och uppladdning. Detta betyder att cellen kommer att vara effektiv över nästan hela lagringsområdet. Litium järn cellerna är också totala motsatsen när det kommer till stabilitet i förhållande till litium

ion. En litium järn cell har ingen explosionsfara, cellen är stabil i kyla och reagerar inte med vatten. Cellen tål till och med mycket bra att överladdas och även att djupurladdas långt förbi rekommenderade minimum. Cellen skall dock övervakas när den laddas. Litium järn cellen anses vara full när cellspänningen når 3,6 V, efter denna tröskel stiger cellspänningen snabb och cellen kan inte mera lagra energi men i stället för att interna resistansen skulle stiga som till exempel i en bly-syra cell kommer energin i stället bara att avges som värme. Litium järn cellen kommer inte att förstöras av att detta händer utan resistansen kommer att saturera och därmed bli självreglerande. Denna värmeökning är dock inte önskvärt då det lätt kan skada annat och förkortar cellens livstid (Isao & Tomotada & Takeshi & Yasushi & Koichi, 2009).

2.9 Sammanfattning

Med denna data av de olika cellerna ser man att nykomlingarna litium järn och nickel-zink är de som har största potentialen att uppfylla rollen som buffert. Lagringskapacitet är litium ions starkaste sida och ingen cell kommer nära den i vikt- eller volymlagringsförmåga. Observera att interna resistansen som är angiven i tabellen nedan är producenters genomsnittsvärde vid laddning.

typ	energi per vikt Wh/kg	energi densitet Wh/l	nominal cell spänning V	laddnings cyklar 80% DOD	intern resistans mΩ
Bly-syra	30-40	60-75	2,105	500-800	25
Li-ion	100-250	250-360	3,7	>1000	45
Li-järn	90-110	220	3,3	2000-7000	<1
Ni-Cad	40-60	50-150	1,2	2000	10
NiHM	30-80	140-300	1,2	500-1000	6
Ni-Zi	100	280	1,6	400-1000	3

Tabell 1 Sammansatt data över de primära kandidaterna

3 TESTINSTRUMENTET

3.1 Introduktion

För att forska de olika ackumulatorerceller som finns på marknaden i dagens läge tog jag an en praktisk del av att planera och bygga en ackumulatorladdare som monitorerar laddningen och samtidigt som den laddar gör momentana urladdningar för att på en enda laddningscykel skapa en helhet av ackumulatorns karakteristiker för både laddning och urladdning.

De grundläggande faktorerna för laddaren var följande:

- Laddaren skall vara lätt anslutbar till vad än för strömkälla för att leverera ström för laddning.
- Laddarens shuntar skall vara lätt utbytbara för att kunna tillämpas i olika cellstorlekstester.
- Laddarelektroniken skall köras av en egen intern strömkälla så att inte själva logiken rubbas av ändringar i laddnings strömmen.
- Laddaren skall vara robust och funktionssäker.
- Laddarens urladdningsmotstånd skall vara lätt utbytbart.

För att uppfylla dessa krav gjordes beslutet att urladdningsmotståndet, shuntarna samt laddnings strömkällan blir externa. Själva logiken av laddaren sköts av en PIC16F688, valet av en PIC kommer från min bakgrund i att programmera dessa samt att redan en mycket billig PIC har alla egenskaper som behövs för att utföra uppgiften.

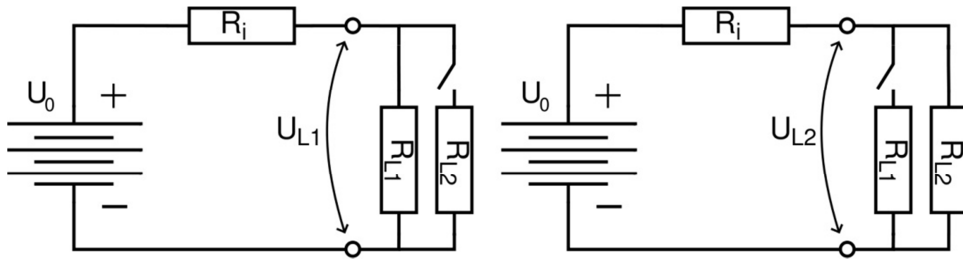
3.2 Logiken

Reflekterar man till figur 1, så ser man att komponenterna som kommer att vara relevant är få. R_i kommer att bestämmas med hjälp av en spänningsdelares funktionsprincip.

$$U_0 = \frac{U_L(R_i+R_L)}{R_L} \quad (\text{Frederick, 1972, s.538})$$

I formeln ovan kommer testaren att klara av att mäta U_L . R_L bestäms med vad än för belastningsmotstånd som valts för testkretsen. Det förblir då två okända men för att lösa detta kommer två urladdningar att göras direkt efter varandra genom två olika motstånd.

Detta kommer att möjliggöra följande. U_0 kommer att förbli lika i och med dom snabba sekventiella urladdningarna och man får två olika U_L och R_L .



Figur 8 De två urladdnings tillstånd

Med dessa två lägen som illustreras i figur 6 gäller följande ekvation.

$$\frac{U_{L1}(R_i + R_{L1})}{R_{L1}} = \frac{U_{L2}(R_i + R_{L2})}{R_{L2}}$$

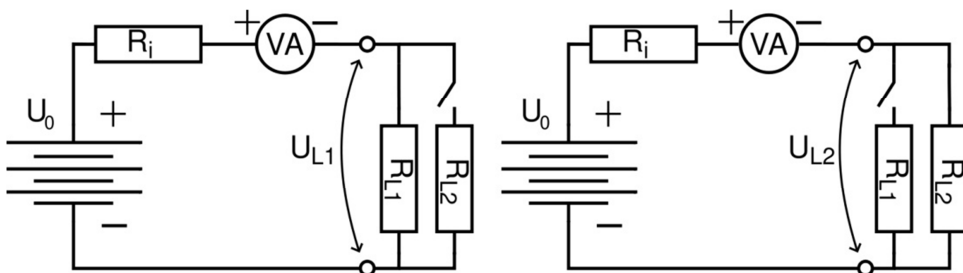
$$U_{L1}R_{L2}(R_i + R_{L1}) = U_{L2}R_{L1}(R_i + R_{L2})$$

$$U_{L1}R_{L2}R_i - U_{L2}R_{L1}R_i = U_{L2}R_{L1}R_{L2} - U_{L1}R_{L1}R_{L2}$$

$$R_i(U_{L1}R_{L2} - U_{L2}R_{L1}) = R_{L1}R_{L2}(U_{L2} - U_{L1})$$

$$R_i = \frac{R_{L1}R_{L2}(U_{L2} - U_{L1})}{U_{L1}R_{L2} - U_{L2}R_{L1}}$$

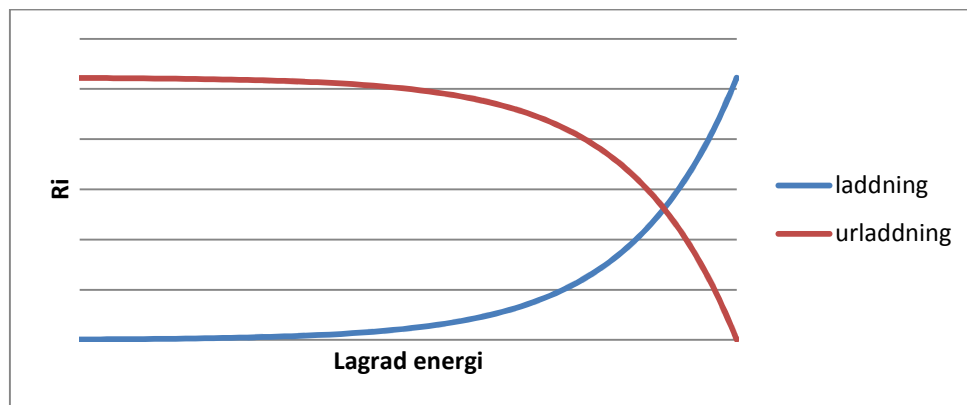
Med ekvationen ovan kommer det att vara möjligt att bestämma den interna resistansen av vad än för ackumulator eller cell som kopplas till testaren och då informationen samlas över hela testkörningens tid med ett par minuters mellanrum kommer det att vara möjligt att skapa detaljerade grafer över ackumulators eller cellens karakteristik.



Figur 9 De två laddnings tillstånd

Ekvationen fungerar även i laddningsskede så som figur 7 illustrerar. Behovet av många mätningar över hela laddningens tid kommer från att den interna resistansen varierar på basis av ackumulators eller cellens laddningsstadium. En tom cell kommer att kunna

acceptera mycket ström, där med är den interna resistansen liten då igen när den börjar bli full ökar denna resistans. Då igen i urladdningsskedet är funktionen omvänd, en tom cell klarar inte av att ge ut mycket då den interna resistansen är hög och sedan då cellen fylls finns det mera energi att ge och den interna resistansen minskar. Förhållande av dessa egenskaper kommer att variera för olika celltyper och är en av de grundläggande skillnaderna.

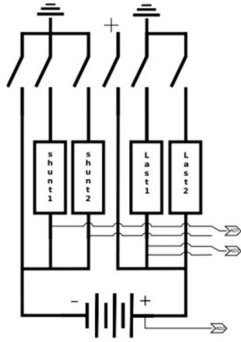


Figur 10 Illustrering över intern resistans i förhållande till lagrad energi

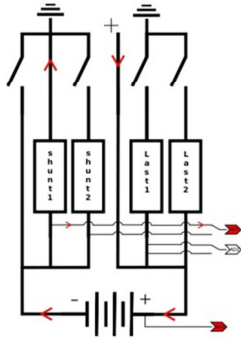
3.3 Elektroniken

Hela elektroniken är byggd upp runt en PIC16F688, denna PIC valdes då jag har tidigare erfarenhet av att programmera just denna typ samt det att denna modell har tillräckligt med egenskaper. I den slutliga versionen av testaren som användes för att samla data för detta arbete användes allt förutom ett ben som lämnades kvar som en möjlig RX kanal till PICen om det skulle visa sig att en tvåvägskommunikation behövs implementeras.

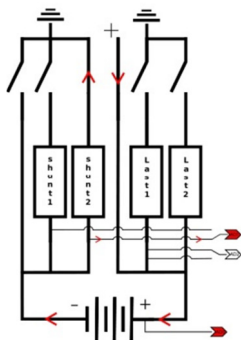
PICen har som uppgift att inte bara samla data utan fungerar också som regelsätaren för alla operationer som körs under hela laddningen. Man kan dela in den logiska processen av PICen i fem skeden.



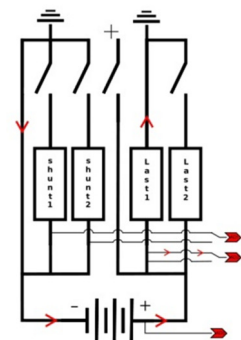
1. PICen kommer in i sitt start skede. Där definieras vilka ben som är konfigurerade på vilket sätt samt vilka variabler som kommer att arbetas med under körningen. Även avbrottsintervallen och PICens interna hastighet ges nu.



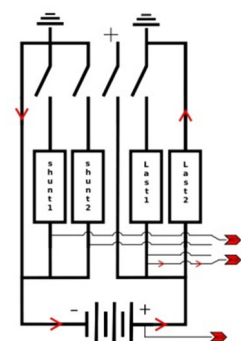
2. PICen slår på första shuntreläet samt matningsströmmens relä och börjar skicka data som samlas från AD0 och AD1.



3. PICen byter över shuntreläet till den andra shunten och låter matningen förbli på. Data samlas på samma AD0 och AD1 identifikationen ändras så man kan identifiera vad som samlats från vilken shunt.



4. PICen kopplar av det andra shuntreläet samt strömmatningen. Sedan kopplar PICen på första urladdningsreläet samt kopplar jorden rakt till kretsen jord för att hålla jordreferensen. Då urladdningen är kopplad avläser PICen AD0, AD1 och AD2 och skickar data över serie bussen. Detta görs två gånger för att verifiera data

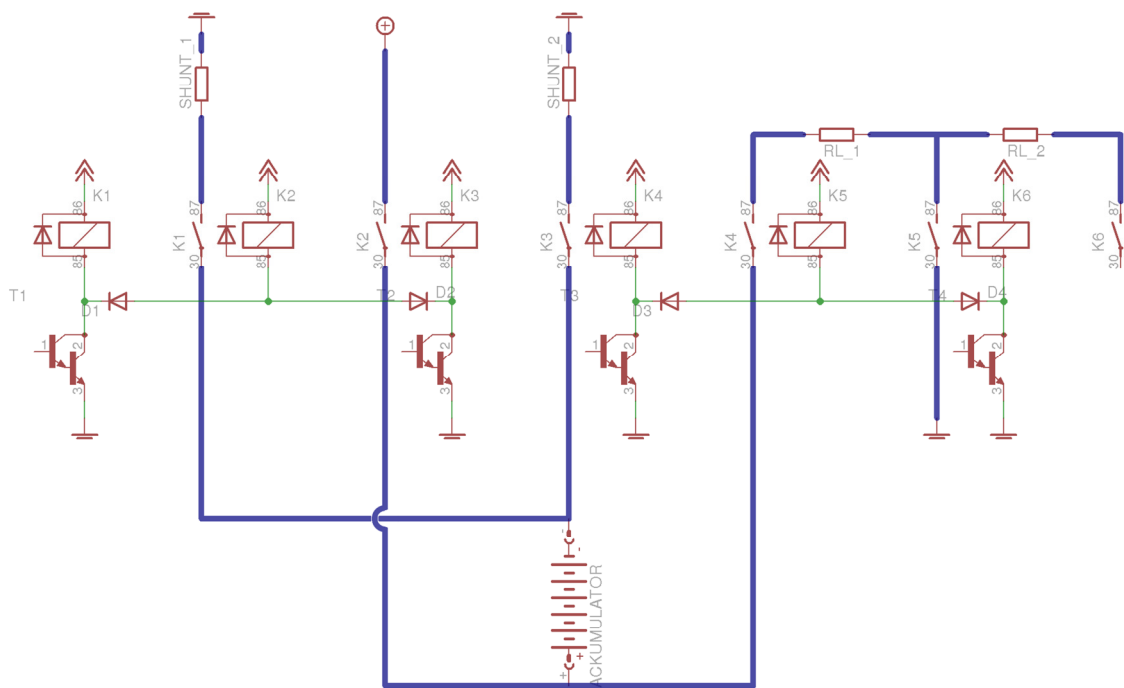


5. PICen kopplar direkt efter andra skickade värdet av första urladdningsreläet och sedan direkt på det andra urladdningsreläet. Då det är gjort görs igen två sekvenser av avläsning och skickande för att i efterhand kunna verifiera att omkopplingarna lyckats och det mätta värdet är stabilt.

Då steg fem är avklarat går PICen tillbaka till punkt 2 och förblir i en oändlig loop tills strömmen till testaren stängs av. Orsaken till att även AD1 skickas under urladdningskede är följande. Det möjliggör ett sätt att verifiera att shunt reläerna har blivit avkopplade (AD1 visar 0) vilket också betyder att strömförsörjningen från strömkällan till akumulatormen under laddning är avstängd (det är samma ström som driver shunt reläet och strömförsörjnings reläet). Skickande av AD1 gör också att datatabellen som kommer över serierbussen förblir lätt avläsbar då strukturen förblir lika.

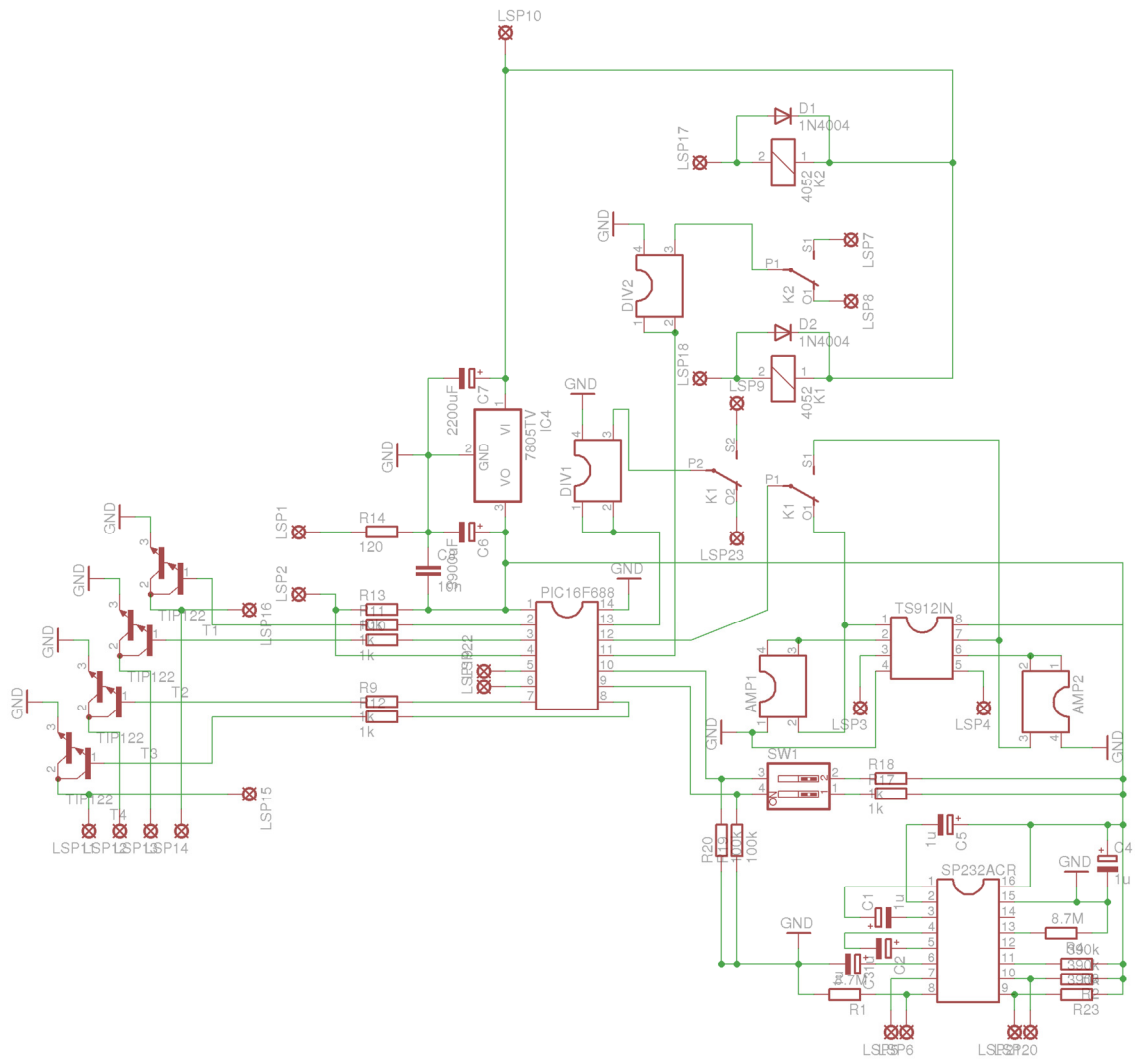
Själva ritande av elektroniken gjordes med Eagle. Eagle på grund av att jag använt programmet tidigare och för att det är ett av de få som har en gratisversion.

Reläerna tål 200 A på 12 V detta för att klara av de mycket stora strömmar som kan förekomma både vid laddnings skede samt urladdnings skede. Testaren använder sig av 6 st reläer av denna typ samt två av typen RT424 012 för att kunna koppla mellan vilken signal som går till ADna på PICen när mätpunkten ändras.



Figur 11 Grovreläernas funktionsschema

Schemat ovan förklarar hur kopplingen av de sex 200 A reläerna kopplas. Med hjälp av en diod från jord och laddning strömförsörjningsreläerna (K2 och K5) är det möjligt att styra hela processen med bara fyra ben från PICen. Darlington NPN transistorerna (TIP122) möjliggör att köra reläkopplingen med endast ett transistorpaket (TO-220) och ett 1 kΩ motstånd.



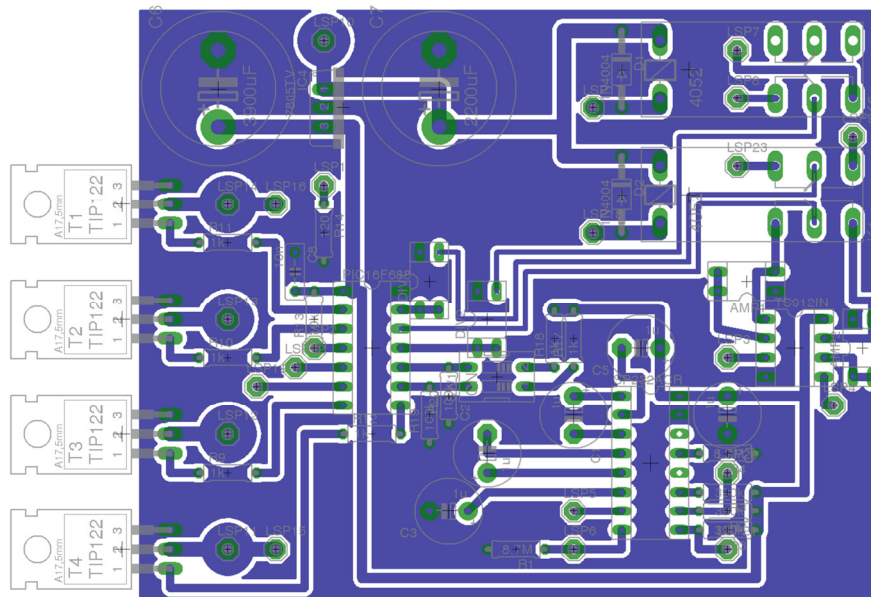
Figur 12 Kretsschemat över kretskortet

Figuren ovan är schemat över allt som slutligen behövdes för att skapa en laddare som arbetar med dubbla laddningsshuntar och dubbla urladdningsmotstånd. Om man börjar gå genom kretsen från övre kanten nedåt. LSP står för "large solder point" från eagle och i det här fallet är LSP10 punkten där +12 V kommer in. Följer man banan till vänster kommer man till de två reläerna som sitter på kretskortet, dessa behöver 12 V och placerades därmed nära till strömkällan. För att styra dem kördes de fast till darlington transistorerna. Då jag inte fick ihop bra banor för både signaler och styrströmmen för reläerna gjorde jag det med överföringskablar, LSP9 och LSP17 kopplar alltså över till LSP15 och LSP16. Tillbaks till LSP10 och rakt nedåt. 7805 är en rimligt stabil 5 V regulator och med de mycket små strömbehoven som kretsen har fungerar den mycket pålitligt, den behöver inte kylning. Denna regulators 5 V fungerar också som referens för PICens ADn. Den slutliga versionen har en 2200 μF kondensator på 12V sidan och

en 3900 μF kondensator på 5 V sidan. Under testbruk hade jag endast 500 μF kondensatorer på vardera sida om regulatoren och verifierade med ett oscilloskop att spänningen inte svajade då reläerna kopplades om eller när RS232 förstärkaren arbetade med att skicka data till datorn. Till vänster om regulatoren ligger reset, LSP1 och LSP2 är avsedda att kopplas till en vanlig tryck knapp med pull up. C8 är placerad in för att minska möjligt flimmer vid bruket av tryckknappen.

Till vänster om PICen ligger de motstånden som driver darlington transistorerna samt LSP19 och LSP20 som skall kopplas med överföringskabel till LSP20 och LSP21, dessa två signaler är TX från PICen och RX till PICen. Till ben 11 och 13 kommer spänningen från ackumulatoren samt urladdnings motstånden och därmed har jag placerat in DIV1 och DIV2 dessa är DIL4 socklar som jag använt då det möjliggör att lätt lägga in motstånd med vilka man kan skapa olika spännings fördelare och därmed hämta ner till exempel 12V spänningen vid laddningen av en blyackumulator så att den ligger inom 5V området som PICen kan hantera i sina ADen. Till PICens ben 12 kommer signalen från TS912IN, denna förstärkare har två sidor och därmed valde jag att förstärka shuntarnas spänning och sedan koppla om mellan dem. AMP1 och AMP2 på vardera sida om TS912IN är också DIL4 socklar som sitter där igen för att bära motstånd så att man lätt kan byta ut dem och därmed skapa olika lämpliga förstärkningsvärden.

SP232ACR är en serie kommunikationsförstärkare och är planerad efter databladets specifikationer. LSP 5 och LSP6 är var TX och RX kopplas för seriekommunikationen till datorn och är de ända ledarna för seriekabeln, detta på grund av att applikationen inte behöver implementera flödeskontroll. SW1 är dipswitchen med vilken man kan styra multiplikationen av PICens väntetid mellan mätningar. Den är placerad in med hjälp av en pull down resistor krets.



Figur 13 Slutliga kretskortet för testaren

Den slutliga ensidiga kretsen var den som användes för testerna jag har dokumenterat i detta arbete och fungerade pålitligt. Noterbart om själva placeringen av komponenterna samt vissa lösningar kan vara värt att nämna. TIP122 darlington transistorerna sattes långsmed en sida då de behöver kylning, denna lösning möjliggör att de till och med kan skruvas fast i stommen av en låda. LSP 10 till 15 har jag lämnat en extra kopparyta runt så att man kan borra större hål och löda fast tjockare kablar. LSP10 försörjer hela kretskortet och de externa reläerna så där genom kommer att gå ca 1,1A på 12V sedan LSP 11 till 14 styr två 200A reläer per gång så strömmen kommer upp till 1A per yta på 12V. Jag valde att LSP7 och LSP8 under ett av de små reläerna då det gjorde kretsen kompaktare och själva reläet satt ändå bra på sin plats. Kretskortet har inte utsatt plats för jord eller fästes hål på grund av att jag vid tidpunkten av producerande inte ännu hade planerat låda samt på grund av tidsbristen var det viktigare att komma till en funktionerande testare som inte behövde vara inkapslad.

3.4 Noggrannheten

Det är också viktigt att känna till begränsningarna av denna testare och hur de varierar under olika omständigheter. Under de många stegen ända fram till PICens AD kommer det att finnas avvikelser samt det att PICens AD inte kan registrera en oändlig mängd nivåer kommer det slutliga värdet att ha en beräkningsbar avvikelse.

Om man antar att shuntarna samt belastnings motstånd är perfekta. Även att motstånden som är valda för spänningsdelar eller förstärkarkoefficient inte varierar under testning kvarstår följande:

1. Precisionen av TI912IN.
2. Variation av förlust över kablar.
3. Precisionen av 5V regulatorn mot vilken alla värden är jämförda.
4. Precisionen av PICens interna 10 bitars AD.
5. Kastet som uppkommer av själva AD konversionen.

TI912IN är specificerad vid 5 V försörjning till en precision av 300 pA, därmed om man använder minst 10 k Ω motstånd för förstärknings faktorn och shuntar med mindre än 0,01 Ω kommer precisionen att vara 300 ppm (TS912, 2001, s.4).

Vi kan anta att kablarna som används inte blir längre än 1 meter och därmed är största kastet en obefintligt kort kabel (ingen resistans ändring) och en som är 1 meter lång. Detta gör att om interna resistansen bestäms på basis av två motstånd får vi nu en till resistans mellan dessa och då värdena mäts fast vid belastnings motståndet eller shunten kommer R_i att inkludera även denna kabel förlust. En 1 meter lång 2,5 mm² koppar kabel har en resistans på 7 m Ω . Om längden av kablar kan mätas med en centimeter noggrannhet blir felmarginalen 70 ppm (Frederick, 1972, s.41).

7805TV regulatorn har ett maximalt kast av 50 mV på själva försörjningens spänning. Denna skall inte orsaka problem för noggrannheten då värdena är kalibrerade mot den spänning som finns till handa vid kretsens start. 7805TV har dock ett brus på 42 μ V så precisionen är totalt 42 ppm (KA78XX/KA78XXA, 2001, s.2).

PIC16F688 databladet anger inte noggrannheten av själva AD konverteraren men i alla fall är det möjligt att beräkna den totalt noggrannheten av en 10 bitars konversion 2^{10} ger 1024 steg. Precisionen av det då hela 5 V området används som jämförelse är 4883 ppm (PIC16F688, 2004, s.65-72).

Det framgår tydligt att om man tar i beaktande kabelns resistans så blir största felet vid själva omvandlings skede då PICen skapar ett digitalt värde. Totala felet kan avrundas till 5300ppm.

komponent	felet	% totala
TI912IN	300	5,67 %
2,5mm ² kabel	70	1,32 %
7805TV 5V regulator	42	0,79 %
AD pression	4883	92,22 %
totalt	5295	100,00 %

Tabell 2 Summering över precision

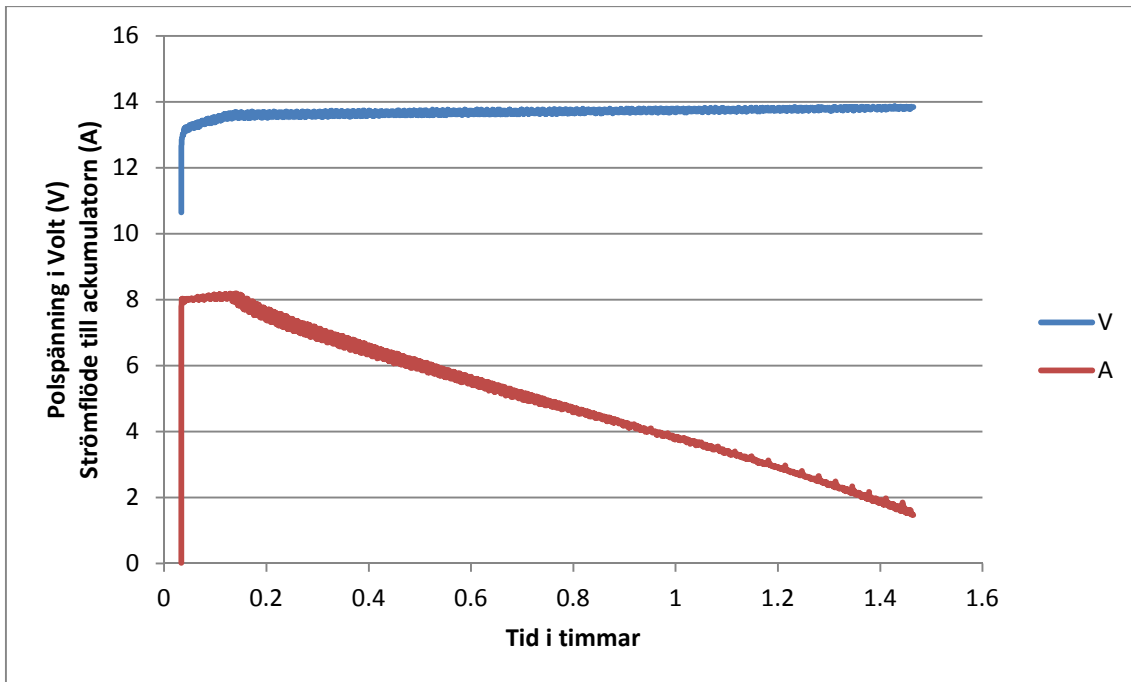
4 TESTRESULTAT

4.1 Introduktion

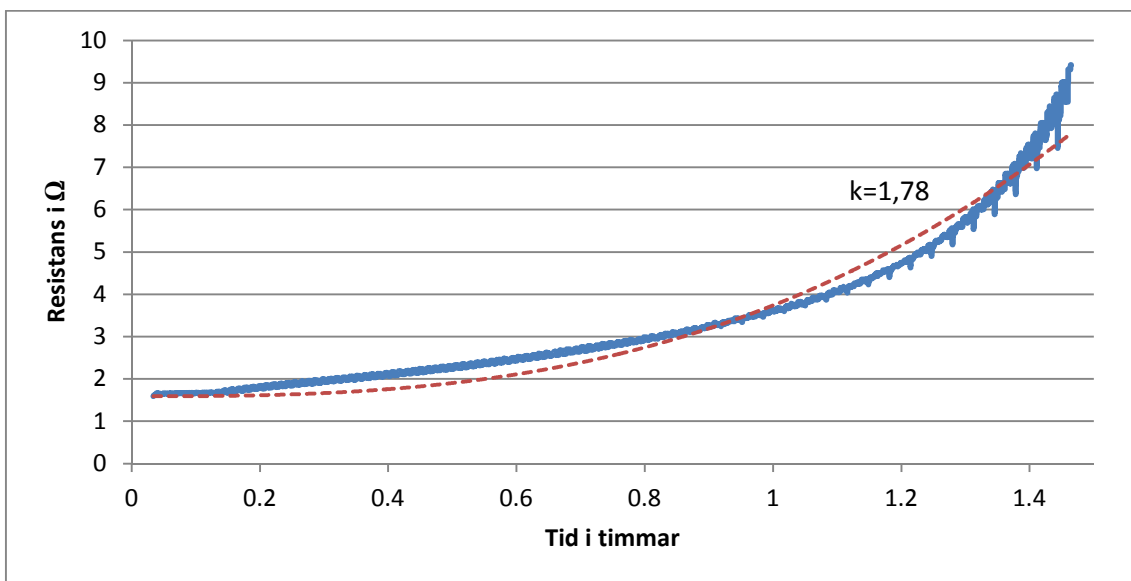
Med den PIC drivna testaren var det möjligt för mig att bestämma den interna resistansen av en ackumulator eller cell. Testaren gav även ut mycket bra data med vilken jag kunde skapa grafer och kalkyler för att påvisa de karakteristiska dragen av specifika cell typer.

4.2 Blyackumulatorn

Som första test kandidat tog jag mig två redan använda blyackumulatörer för att se hur de beter sig och för att testa hur bra mätinstrumentet funkar. Den mindre av de två ackumulatörerna var en 12 Ah 12 V geléackumulator och hade varit i bruk i diverse laborations tester där den utsatts för icke ideala laddningar samt oregelbundna och stora urladdningar. Själva testande gick mycket bra med testapparaturen och data som kom ur det visar bra vad jag var ute efter. Strömflödet han just stiga till 8 A förren interna resistansen var vid en sådan nivå att ackumulatorn själv begränsade flödet efter vilket resistansen ökade mer linjärt en exponentiellt. Graferna visar också bra att en blyackumulator av denna typ inte har ett vidare bra användnings område då R_i snabbt ökar i både urladdning och laddning. Då ackumulatorn börjar vara tom kommer den inte att ge ut nästan någon ström alls då den igen kan ta emot mycket ström. Motsatsen gäller då ackumulatorn börjar vara full, den kommer att ge ut bra men tar inte emot just något alls. Teoretiskt vid mittpunkten av kapaciteten vore den mest funktionell för strömmar i båda riktningarna.



Figur 14 12Ah blyackumulatorns spänning och ström

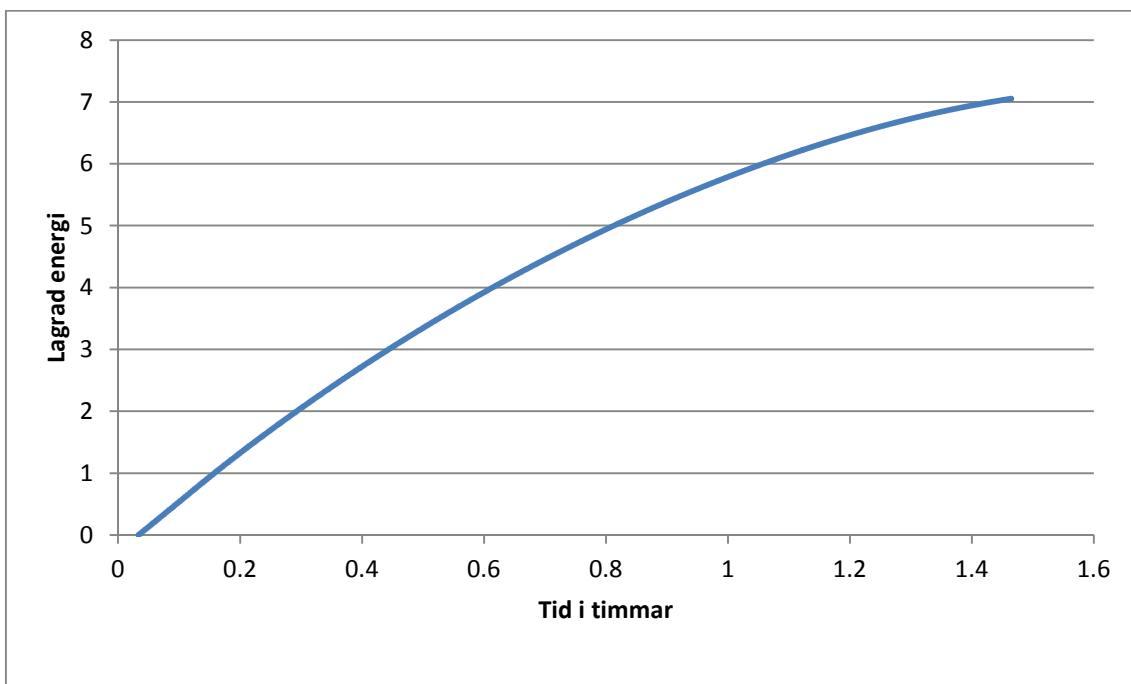


Figur 15 Laddnings R_i för en förordrad 12Ah blyackumulator med anpassad K kurva

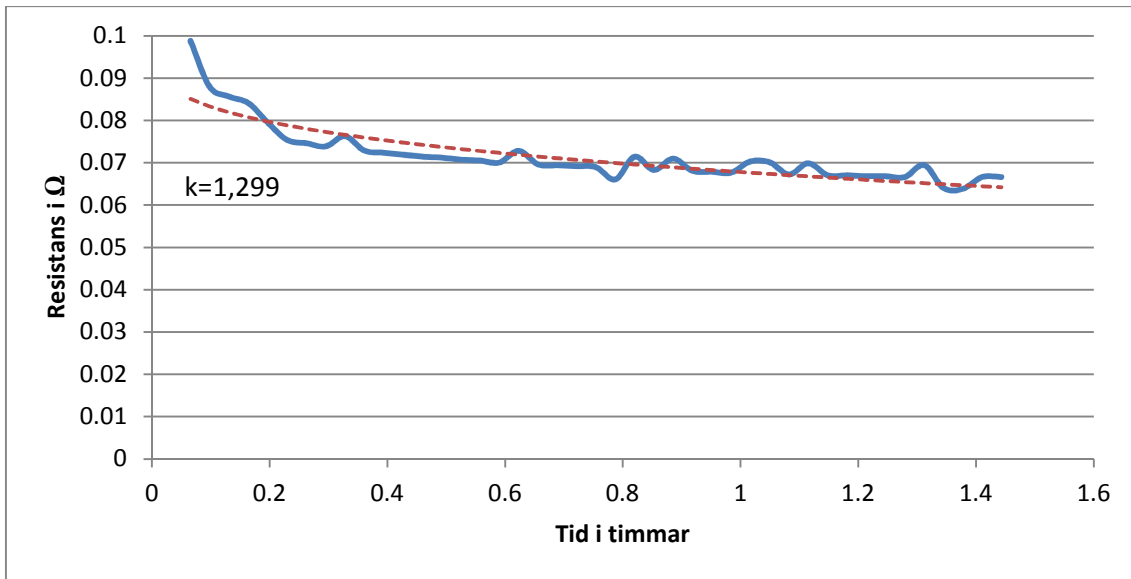
Teorin för en blyackumulator om man reflekterar tillbaks till sid 9 säger att det skall finnas en Peukerts konstant med vilken man kan säga i hur bra skick en ackumulator är. 1,1 till 1,3 var värdet för en frisk blyackumulator. Jag använde mig av QtiPlot för att anpassa en kurva mot data för figur 12 och fick ett k av 1,78 vilket säger en mycket dålig ackumulator. Formeln för kurvan var en förenklad version av

$$R = \frac{U_o}{\sqrt[k]{C_p}} * t^{\frac{1}{k}}$$

där jag ersatt $\frac{U_o}{\sqrt[k]{C_p}}$ med en konstant. Jag testade även i QtiPlot att göra anpassningen med den fullständiga formeln och lade in de värden jag fått under en körning, spänning, resistans (räknad från ström och spänning), samt Cp och tid. Det slutliga k värdet var i vardera fall lika till tredje decimalen vilket för mig tillräckligt noggrant. QtiPlot använder sig av Levenberg-Marquardt anpassningsalgoritm som ger ett RMSE (root mean square error) i laddnings fallet är den 0,33.



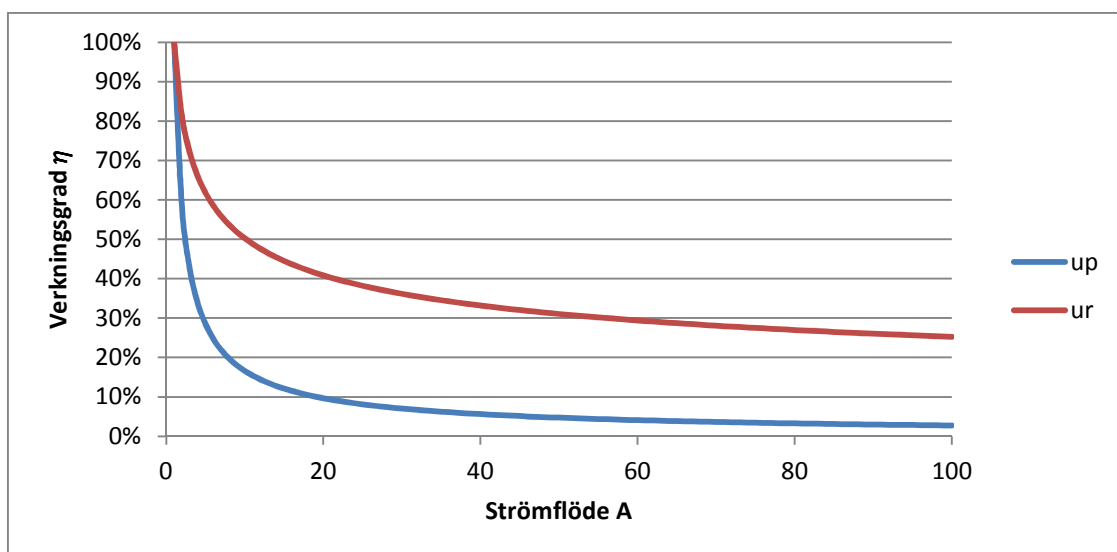
Figur 16 Lagrade energin i 12Ah blyackumulatorm



Figur 17 Urladdnings R_i av en 12Ah blyackumulator med anpassad K kurva

Urladdningsresistanskurvan följer bättre en anpassad k kurva där k blev så bra som 1,299 med RMSE av 0,0032. Dessa två detaljer säger redan hur olika till laddnings och urladdnings natur denna ackumulator är och därmed hur icke ideal den också är, vore den teori enligt borde laddnings k värde vara samma som urladdnings k värde. Jag räknade ut k värde för urladdningen genom att helt enkelt svänga om resistans tabellen i förhållande till tid i QtiPlot därmed behövde jag inte invertera formeln som används för laddnings beräkning.

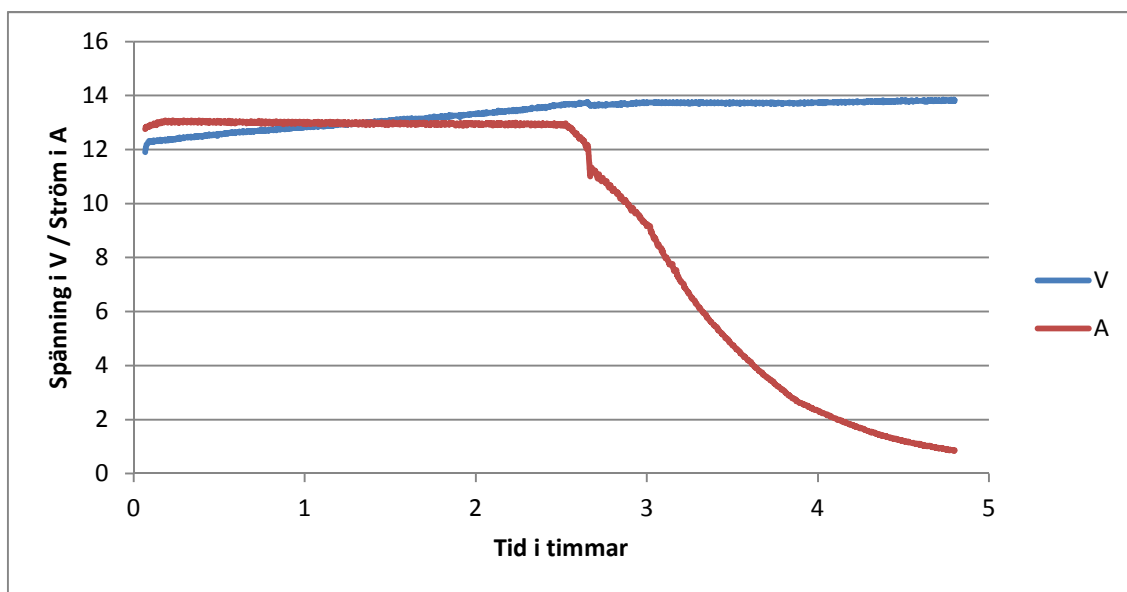
Med k värdena är det möjligt att skapa en verkningsgradsgrafik över ackumulatorm



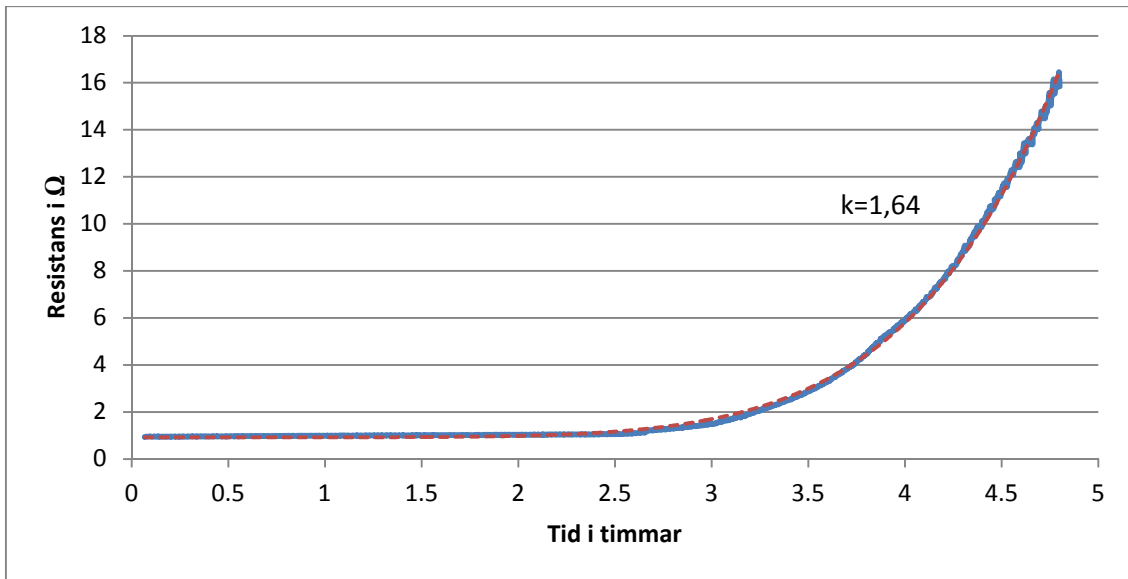
Figur 18 Verkningsgrad av en föråldrad 12Ah blyackumulator

De höga k värdena speglar sig direkt på hur mycket förluster man får i ackumulatordrift. Vid uppladdning faller verkningsgraden redan under 50 % då ström flödet är 2,5 A, vid urladdning faller verkningsgraden under 50 % vid 10 A belastning.

Jag gjorde även tester på en 45 Ah blyackumulator som var i nyare och i bättre skick. Denna ackumulator visade att test armaturen funkade bra då igen strömkällorna jag använde var för små. Jag kunde inte ladda med mera än 13A stabilt och denna ackumulator kunde ta emot en sådan ström under nästan hela laddningstiden vilket betyder att strömvärdena som kan användas för att beräkna interna resistansen vid laddning blev få. Urladdningsvärden samt beräkningen av interna resistansen lyckades mycket bra och var konstant över de tre laddnings cyklar jag gjorde.

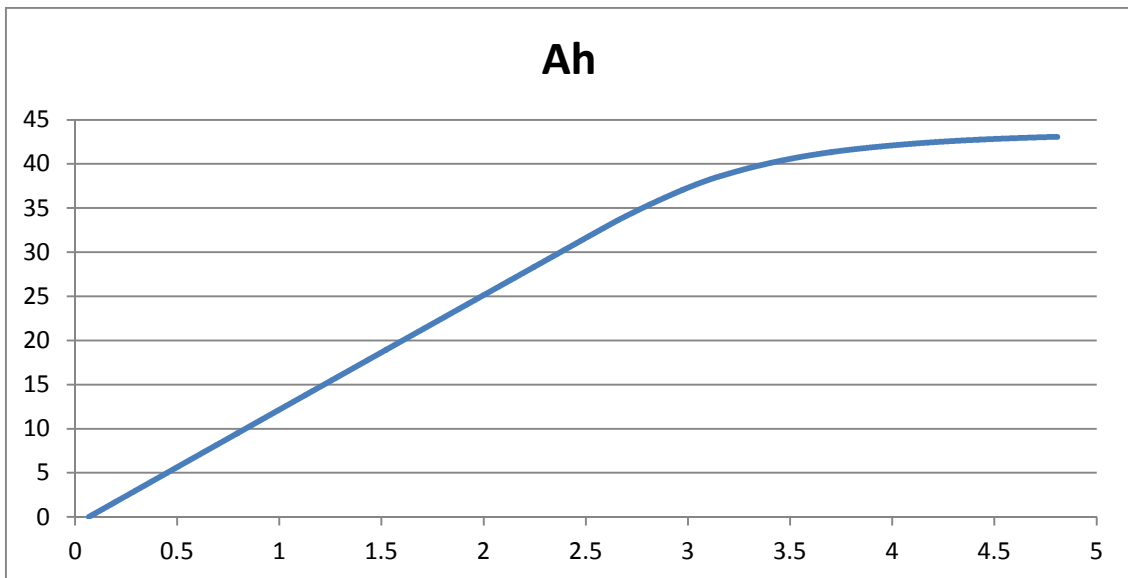


Figur 19 45Ah blyackumulators spänning samt ström flöde

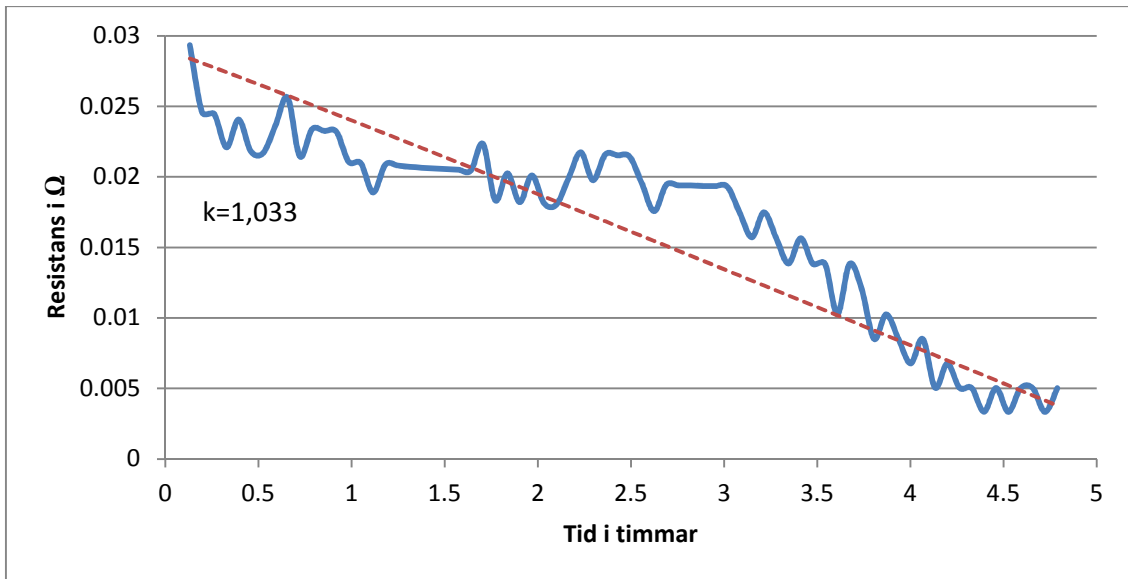


Figur 20 Laddnings R_i för en 45Ah blyackumulator

I fallet av den interna resistansen i grafen under laddningstid skall man notera att så länge den ligger vid ca 1ohm så är det inte ackumulatorn som begränsar strömmen utan strömkällan. Så grafen gäller bara från och med 2,5h där man ser hur den börjar öka kraftigt. K värdet för denna ackumulator vid laddning kom fram till 1,6383 med RMSE av 0,116. Noterbart är dock att k varierar med $\pm 0,2$ beroende på var under de första 2,5 timmarna man börjar anpassa kurvan.

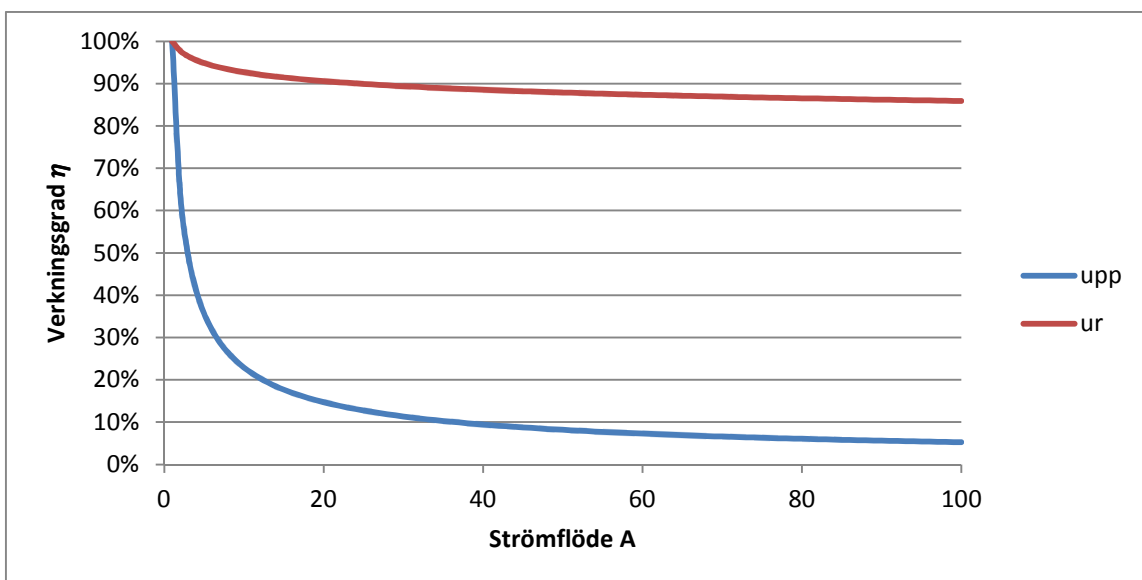


Figur 21 Lagrad energi för en 45Ah blyackumulator



Figur 22 Urladdnings R_i för en 45Ah blyackumulator med anpassad K kurva

Urladdningen är även för denna ackumulator grovt olik från laddning och jag fick ett k värde av 1,033 då RMSE är 0,003. Jag har svårt att tro att denna ackumulator är nästan ideal vid urladdning med sen igen kan det visa att jag inte använde mig av tillräckligt stora urladdningsströmmar. Skillnaden mellan k värden vid in- och urladdning är i detta fall också stora. Med en graf kan man påvisa mycket effektivt hur stor verkningsgradskillnad ackumulatort har i förhållande mellan uppladdning och urladdning. Ackumulatort är alltså i sämre skick än jag trodde.



Figur 23 Verkningsgrad av en 45Ah blyackumulator

4.3 Nickel-zink

Denna typ av cell skulle jag mycket gärna testat men under den tid jag haft att göra detta arbete var det omöjligt att hitta typer som var av större typ än vanliga AA sorter som inte skulle ge jämförbara värden mot de resultat jag får med litiumjärn cellerna eller blyackumulatorena. Teoretiskt borde denna typ vara mycket bra men också är den så ny att Finlands marknad inte har av den och företag som säljer av dessa typer utomlands säljer bara i stora kvantiteter.

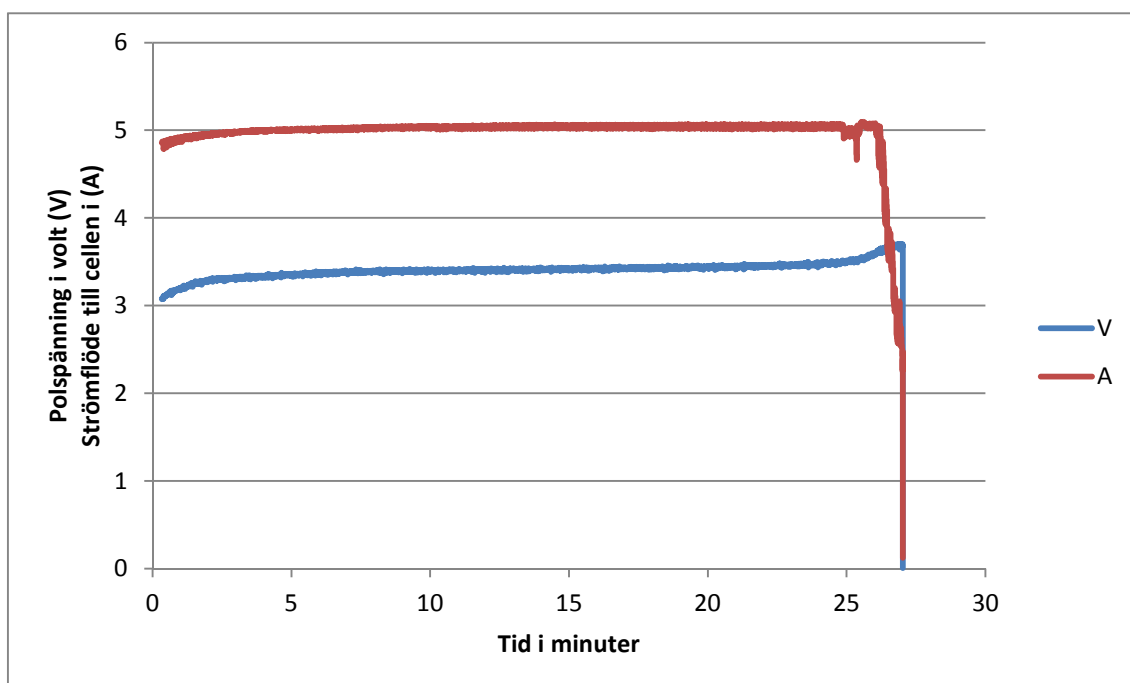
4.4 Litium järn

Litium järn är en så ny produkt att jag hade svårt att få tag på celler för rimligt pris eller i rimlig storlek så att det vore möjligt att belasta dem till sina extrem. Efter en längre tid hittade jag en liten hobby affär som hade "A123 systems" celler i förråd. De två typer jag anskaffade och börja testa är 18650 och 26650. 18650 är en 1,1 Ah litium järn cell som enligt specifikationerna skall klara av att leverera strömmar upp till 30 A. Jag testade detta och fan det sant. Med 30 A betyder det att cellen klarar av urladdningar av 27 C (30 A / 1,1 Ah). För dom officiella testerna valde jag att använda den större cellen av de två, 26650 är alltså en 2,3 Ah litium järn cell som är specificerad till 10 A laddningsström och 70 A urladdningsström, med 120 A puls urladdning på 10 sekunder. 10 A för cellen är 4,35 C (10 A / 2,3 Ah). Jag testade att ladda cellen med 16 A och fann att den tog emot energin utan problem. Då jag laddade cellen full med 16 A konstant hade inte cellen nått en temperatur av mera än 43°C då polspänningen nått 3,6 V vilket är rekommenderade avstängningsspänning och säger att cellen är full. 7 C (16 A / 2,3 Ah) är mycket bra prestanda för en så liten cell.

Urladdningstesterna blev mycket intressanta att göra. Med en cellspänning på 3,3V och bara en cell under test gör att till och med 2,5 mm² kabel har mycket resistans i förhållande till strömmen som flödar genom den. Med en shunt i serie med ett ställbart motstånd ställde jag in urladdningen till 75 A och körde en full laddad cell ända ner till 1.6 V som är enligt specifikationerna lägsta hälsosamma cellspänning. cellen klara av att leverera strömmen under hela denna tid och efter testen var cellen den svalaste komponent i kretsen, med en ytemperatur av 48°C, kablarna och banankontakterna var för heta att hantera med bara händer och motståndet kunde inte beröras. 32,6 C (75 A / 2,3

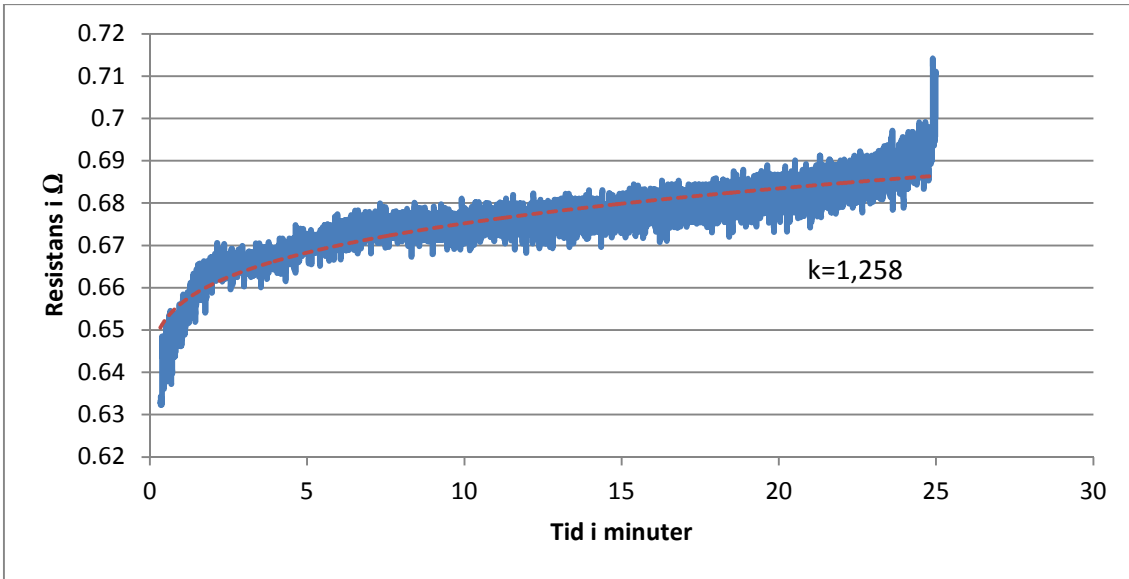
Ah) är imponerande och är definitivt klass ledande tal. Jag försökte skapa ett 120 A urladdnings test men detta lyckades inte, resistansen i de övriga komponenterna som behövs för att övervaka en sådan urladdning hettades upp förbi rimliga gränser fören jag ens hade tid att avläsa stabila värden (*High Power Lithium Ion ANR26650M1A*, 2009).

Efter preliminära tester där jag bestämde godtyckliga laddnings och urladdning strömmar för 26550 cellen satte jag den fast i min själv byggda testare och testade den genom diverse laddningscyklar med varierande laddningsspänning och urladdningsmotstånd. Följande grafer visar bra litium järn cellernas överlägsna egenskaper i mobila applikationer.



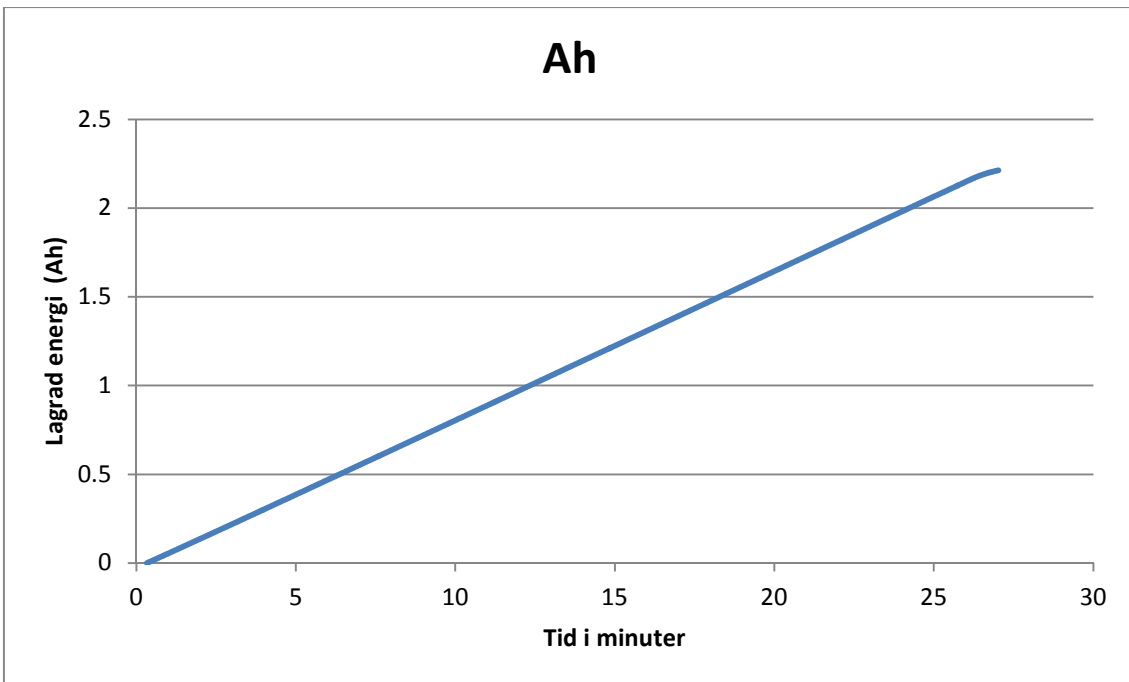
Figur 24 Laddnings ström och spänning av en 2,3Ah litium järn cell

Spänningen samt strömflödet är nästan flata kurvor och är med andra ord så nära det ideala då det kommer till att kunna ladda eller urladda cellen så snabbt som möjligt i vilket stadie av en cykel som möjligt.

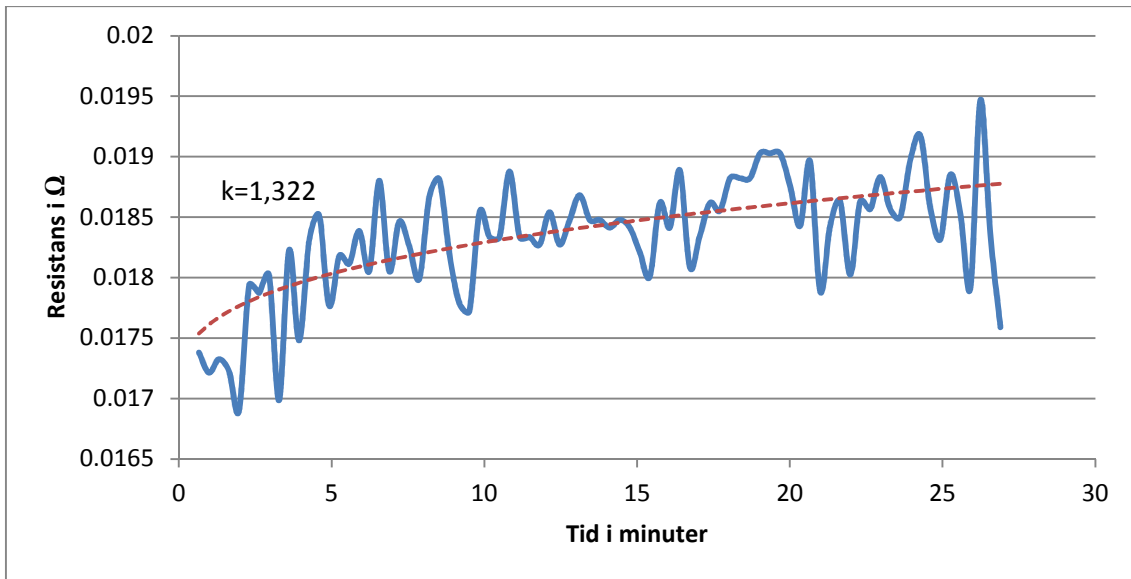


Figur 25 Laddnings R_i för en 2,3Ah litium järn cell med anpassad K kurva

I denna graf ser man inte litium järn cellens interna resistans förrän efter 25minuter, för-
 rän det är resistansen en representant av begränsaren i strömkällan. Jag anpassade dock
 ett k för grafen som är 1,258, RMSE 0,004.

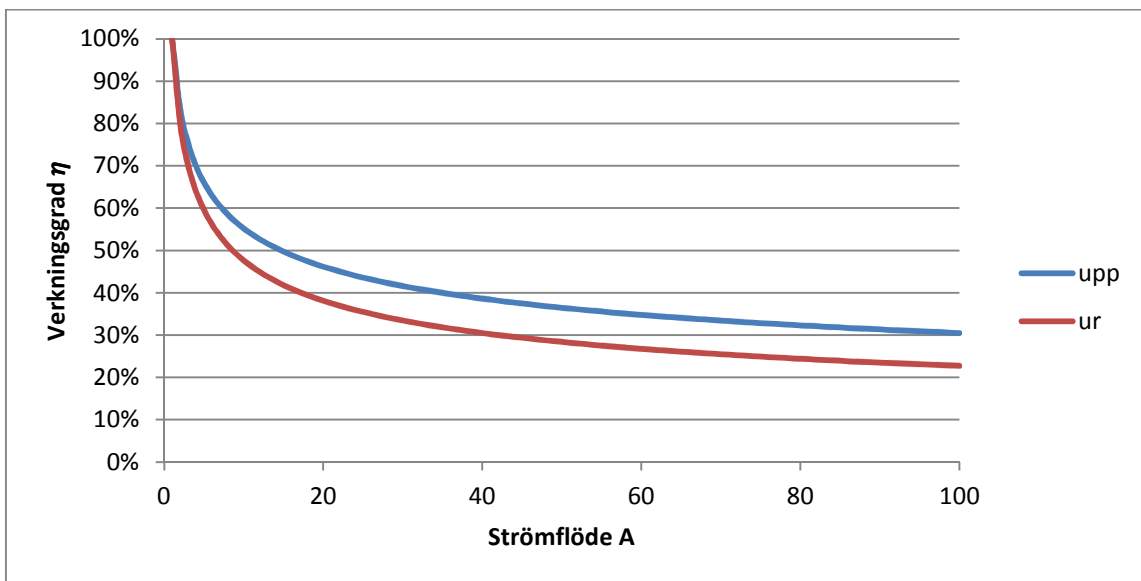


Figur 26 Lagrad energi i en litium järn cell



Figur 27 Urladdnings R_i av en 2,3Ah litium järn cell med anpassad K kurva

Urladdningen fick ett k av 1,322, RMSE 0,000377. K värde för upp- och urladdning av litium järn cellen är mycket mer homogena och säger alltså att cellen är mera ideal än t.ex. de två blyackumulator jag testat.



Figur 28 Verkningsgrad av en 2,3Ah litium järn cell

Med dessa egenskaper och de stora toleranser som litium järn cellen har är det svårt att hitta någon cell på marknaden som kan tävla med den i fallet av kompakta hög energi flödes mobila applikationer. Som ett exempel, om man lägger 4st 26550 celler i serie och där med hämtar spänningen upp till 13, 2V och sedan lägger en till sådan sats parallellt så att ampere timmarna kommer upp till 4,6 Ah. Med denna ackumulator

borde det vara möjligt att ersätta en bil blyackumulator. Denna litium järn ackumulator skulle väga 560gram och borde enligt all teori kunna leverera tillräckligt ström för att tryggt starta en bil. Fördelarna är även att litium järn cellerna tål mycket bra kyla och har inte därmed samma försämring som blyackumulatorm.

4.5 Slutsats

Jag var överraskad av QtiPlot som verktyg för anpassande av kurvorna på sådant sätt att jag snabbt och smidigt kunde hitta k värden för ackumulatorerna, detta ger mig ett värde att jämföra över de olika typerna och säger grovt vad för cell som är hur bra. Det ger också ett effektivt sätt att bestämma Peukers konstant utan allt för mycket arbete och därmed kan man i ett enda testsvep bedöma en ackumulator. I fallet bly-ackumulatorer finns det redan färdiga ideal Peukert värden, jag har inte hittat liknande värden för andra ackumulatorer men ganska så säkert hittat man dem själv efter ett par olika ackumulatörer och ett par tester.

Under testerna av mina två typer blev det redan klart för mig att en kombination av två olika celler inte kan över skrida den prestanda som en litium järn cell kan leverera. Litium järn har en energi densitet som är mycket nära litium ion celler (se tabell 1). Min hypotes är med andra ord felaktig och jag tänker illustrera det med följande beräkningar. Vi tar fallet att jag har till mitt förfogande litium ion celler med de bästa lagrings egenskaperna på marknaden 250 Wh/kg samt 360 Wh/l. Som buffert har jag litium järn med marknadens minsta interna resistans. Första fallet är en retardation av ett motorfordon som väger 1,5 ton från 16,7 m/s (60 km/h) till stillastående på 30 sekunder. Energin som uppstår är ca 25 kWh. Nu om regenereringen kan antas som 90 % blir vi med 22,5 kWh. Om detta skall läggas in en litium järn cell kommer strömflödet att bli 6,8 kA vilket ger en resistans för processen av 0,5 m Ω . Detta förhållande i resistans mot intern resistans kommer redan att ge teoretiskt 50 % spillo. Nu då för att överföra bort denna energi från litium järnet var bara 11,25 kWh finns kvar leder till följande tid. Vi antar att verkningsgraden skall vara över 80 % med andra ord förhållande mellan litium ions interna resistans skall vara 0,8 och vi får 4 Ω . Denna resistans gör att ström flödet till litium ion cellen blir 0,925 A och tiden skulle då vara 2 dagar och 11 timmar. Det finns alltså med andra ord ingen orsak att flytta över till litium ion cellen denna energi.

Min hypotes fungerar inte på grund av att de celltyper som har större lagringsdensitet har helt enkelt för stor internresistans och den överföring som skulle behöva ske kommer antingen att orsaka för stora förluster eller sedan orsaka för långa tider för processen.

5 DISKUSSION

Min hypotes som började hela detta arbete och som visade sig felaktigt gav mig ändå möjligheten att arbeta med sekundära celler av mycket intressant typ. Jag skulle rekommendera som uppföljare till mitt arbete att utveckla vidare på testaren så att den kan användas i realtid i till exempel en bil. Som andra arbeten vore att undersöka litium järn cellen vidare eller forska i hur den kemiskt kan göras ännu bättre. I de texter jag läst nämns det mycket om arbete som strävar till att göra litium järn cellen till en konkurrent med kondensatorn, detta skulle revolutionera själva mobila applikationen. Man kan föreställa sig en bil som kan laddas på 30 sekunder i stället för över hela natten.

KÄLLOR

David Linden, Thomas B. Reddy, 2002, Handbook of Batteries Third Edition, McGraw-Hill HANDBOOKS, 1454s.

Frederick Emmons Terman, 1972, Integrated Electronics, McGraw-Hill HANDBOOKS, 911s.

PIC16F668 Data Sheet, 2004, MICROCHIP, 174s, hämtat 2.7.2010.

KA78XX/KA78XXA 3-Terminal 1A Positive Voltage Regulator, 2001, Fairchild Semiconductor Corporation, 29s, hämtat 1.9.2010.

TS912 RAIL TO RAIL CMOS Dual Operational Amplifier, 2001, STMicroelectronics, hämtat 1.9.2010.

Isao Suzuki, Tomotada Mochizuki, Takeshi Nakamoto, Yasushi Uebo, Koichi Nishiyama, 2009, *High-Performance Electric Vehicle Battery with Lithium Iron Phosphate for Positive Active Material*, Corporate R&D Center, GS Yuasa Corporation, 5s, hämtat 3.9.2010.

Armin Pauza, år?, *Lithium Iron Phosphate (LiFePO₄) Batteries for Electric Boats*, EBAA business member, 5s, hämtat 3.9.2010.

High Power Lithium Ion ANR26650M1A, 2009, A123 Systems, 1s, hämtat 2.7.2010.

Smart Gauge, An in depth analysis of the maths behind Peukert's Equation, 2008, [www] http://www.smartgauge.co.uk/peukert_depth.html hämtat 3.9.2010.

Tesla, Roadster Innovations, [www] <http://www.teslamotors.com/roadster/technology/> , hämtat 3.9.2010.

Toyota, Prius, 2010, [www], <http://www.toyota.com/prius-hybrid/>, hämtat 3.9.2010.

BILAGOR

Bilaga 1

main.c

```
#include <pic.h>
#include "serial.c"

__CONFIG(UNPROTECT & BORDIS & MCLREN & PWRTEN & WDTDIS & INTIO);

#define TID_LADDA_KOEFF 120 //efter koeff multiplicerad med dip_value (RC0 och RC1) 31 max

unsigned char tid_raknare_ladda=0;
unsigned char tid_limit_ladda=0; //efter avbrott gör en laddningsmätning

unsigned char tid_raknare_byt=0;
unsigned char tid_limit_byt=10;

unsigned char tid_raknare_urladda=0;
unsigned char tid_limit_urladda=60; //efter value en urladdning

int RAKNARE = 0;

void init()
{
    OSCCON=0b01110101; //check this - 8 Mhz Internal oscillator, DS p.30
    CMCON0=0b00000111; // Disable comparator module
    TRISA=0b00001111; //analog och digital ingång
    TRISC=0b00000011; //RC5=RX, RC4=TX, RC3 och RC2 är relestyrning,RC0 till RC1 är tidsstyrning
    ingång
    PORTA=0b00000000;
    PORTC=0b00000000; //RC2 på starta laddning.
    ADCON1=0b01100000; //konverteringshastigheten clk/64
    OPTION=0b00000111; //kolla om hastigheten bit 0 till bit 2
}

void set_interrupt_on()
{
    TOIE = 1;
    PEIE = 1;
    GIE = 1;
}

void set_interrupt_off()
{
    TOIE = 0;
    PEIE = 0;
    GIE = 0;
}

unsigned int adconv(char kanal)
{
    int value=0;

    switch(kanal)
    {
        case 0 : ADCON0=0b10000001;
        ANSEL=0b00000001; break;
        case 1 : ADCON0=0b10000101;
        ANSEL=0b00000010; break;
        case 2 : ADCON0=0b10001001;
        ANSEL=0b00000100; break;
        default: break;
    }

    ADIF=0;
```

```

ADIE=0;

ADRESL=0;
ADRESH=0;

//AD startas
GODONE = 1;

while(!ADIF){           //Wait AD conversion to finish
    continue;
}

value =ADRESL;
value +=(ADRESH << 8);

return value;
}

void send_numer_as_char(int data)
{

    putch(48+((data-data%1000)/1000));           //hundralet räknas ut och skrivs ut
    putch(48+((data%1000)-(data%100))/100);     //tiondelstalet räknas ut
    putch(48+((data%100)-(data%10))/10);        //tiondelstalet räknas ut
    putch(48+(data%10));                         //räknar och skriver ut talet

}

void send_measurement_data(void)
{

    putch('1');
    putch(':');
    putch('T');           //skriva T till serielänk
    putch(':');           //skriva till serielänk
    send_numer_as_char(RAKNARE);
    putch(':');           //skriva till serielänk
    putch('V');           //skriva V till serielänk
    putch('0');           //skriva 0 till serielänk
    putch(':');           //skriva till serielänk
    send_numer_as_char(adconv(0));
    putch(':');           //skriva till serielänk
    putch('V');           //skriva V till serielänk
    putch('1');           //skriva 1 till serielänk
    putch(':');           //skriva till serielänk
    send_numer_as_char(adconv(1));

    putch('\n');         //skriva new line till serielänk
    putch('\r');         //skriva new row till serielänk

}

void send_measurement_data2(void)
{

    putch('2');
    putch(':');
    putch('T');           //skriva T till serielänk
    putch(':');           //skriva till serielänk
    send_numer_as_char(RAKNARE);
    putch(':');           //skriva till serielänk
    putch('V');           //skriva V till serielänk
    putch('0');           //skriva 0 till serielänk
    putch(':');           //skriva till serielänk
    send_numer_as_char(adconv(0));
    putch(':');           //skriva till serielänk
    putch('V');           //skriva V till serielänk
    putch('1');           //skriva 1 till serielänk
    putch(':');           //skriva till serielänk
}

```

```

send_numer_as_char(adconv(1));

putch('\n');           //skriva new line till serielänk
putch('\r');           //skriva new row till serielänk

}

void send_URLADDNING_data(void)
{

putch('3');
putch(':');
putch('T');           //skriva V till serielänk
putch(':');           //skriva till serielänk
send_numer_as_char(RAKNARE);
putch(':');           //skriva till serielänk
putch('V');           //skriva V till serielänk
putch('0');           //skriva 0 till serielänk
putch(':');           //skriva till serielänk
send_numer_as_char(adconv(0));
putch(':');           //skriva till serielänk
putch('V');           //skriva V till serielänk
putch('1');           //skriva 1 till serielänk
putch(':');           //skriva till serielänk
send_numer_as_char(adconv(1));
putch(':');           //skriva till serielänk
putch('V');           //skriva V till serielänk
putch('2');           //skriva 2 till serielänk
putch(':');           //skriva till serielänk
send_numer_as_char(adconv(2));

putch('\n');           //skriva new line till serielänk
putch('\r');           //skriva new row till serielänk

}

void send_URLADDNING_data2(void)
{

putch('4');
putch(':');
putch('T');           //skriva V till serielänk
putch(':');           //skriva till serielänk
send_numer_as_char(RAKNARE);
putch(':');           //skriva till serielänk
putch('V');           //skriva V till serielänk
putch('0');           //skriva 0 till serielänk
putch(':');           //skriva till serielänk
send_numer_as_char(adconv(0));
putch(':');           //skriva till serielänk
putch('V');           //skriva V till serielänk
putch('1');           //skriva 1 till serielänk
putch(':');           //skriva till serielänk
send_numer_as_char(adconv(1));
putch(':');           //skriva till serielänk
putch('V');           //skriva V till serielänk
putch('2');           //skriva 2 till serielänk
putch(':');           //skriva till serielänk
send_numer_as_char(adconv(2));

putch('\n');           //skriva new line till serielänk
putch('\r');           //skriva new row till serielänk

}

main()
{
init();
serial_setup();
set_interrupt_on();

while(1)

```

```

        {
        //bakgrund is idle
        }
    }

static void interrupt min_interrupt(void)
{
    set_interrupt_off();           //stäng av alla avbrott
    if(T0IF)                       //TMR0 avbrott
    {
        //kolla på tiden
        //inställa tiden med dipswitchar
        tid_limit_ladda
TID_LADDA_KOEFF*(PORTC&0b0000011)+TID_LADDA_KOEFF;

        tid_raknare_ladda++;

        if(tid_raknare_ladda==tid_limit_ladda) //nu utförs faktiskt en laddning
        {
            RAKNARE++;
            if(RAKNARE==9999)
            RAKNARE=0;
            if(RC2==1)
            {
                send_measurement_data(); //anropa measurement
            }
            if(RC3==1)
            {
                send_measurement_data2();
            }
            tid_raknare_ladda=0;
            tid_raknare_urladda++;
            tid_raknare_byt++;

            if(tid_raknare_byt==tid_limit_byt)
            {
                tid_raknare_byt=0;
                RC2=!RC2;
                RC3=!RC3;
            }

            if(tid_raknare_urladda==tid_limit_urladda) //nu utförs en urladdning
            {
                tid_raknare_urladda=0;
                RC2=0; //relä1 laddning av
                RC3=0; //relä2 laddning av
                RA4=1; //relä3 urladdning på
                RA5=0; //relä4 urladdning av
                send_URLADDNING_data();
                send_URLADDNING_data();
                RA4=0; //relä3 av
                RA5=1; //relä4 på
                send_URLADDNING_data2();
                send_URLADDNING_data2();
                RA5=0; //relä4 av
                RC2=0; //relä2 laddning av
                RC3=1; //relä1 laddning på
                //putch('x'); - anropa en urladdningstest
            }
        }
        T0IF=0; //nolla TMR0 avbrottet
    }
    set_interrupt_on(); //sätt avbrotterna på igen
}

```

Bilaga 2

serial.c

```
#include <pic.h>
```

```

void serial_setup()
{
  SPBRG=51;           //Datasheet p.82-84 9600 baud 8N1
  BRGH=1;            //High baud rate
  SPEN=1;
  CREN=1;
  SREN=0;
  TXIE=0;            //Disable TX,RX interrupts
  RCIE=0;
  TX9=0;             //8-bit transmission
  RX9=0;             //8-bit reception
  SYNC=0;            //Asynchronous
  TXEN=0;            //Reset TX
  TXEN=1;            //Enable TX //det där kanske vi glömde
}

void putch(unsigned char c)
{
  while(!TXIF)       //set when register is empty
  {
    CLRWDT();
  }
  TXREG=c;
}

unsigned char getch(void)
{
  while(!RCIF)
  {
    CLRWDT();
  }
  return RCREG;
}

```

Bilaga 3

komponentlista

Del	värde	komponent	formfaktor
-----	-------	-----------	------------

C1	1 μ F	CPOL-EUE5-8.5	
C2	1 μ F	CPOL-EUE5-8.5	
C3	1 μ F	CPOL-EUE5-8.5	
C4	1 μ F	CPOL-EUE5-8.5	
C5	1 μ F	CPOL-EUE5-8.5	
C6	3900 μ F	CPOL-EUE10-20	
C7	2200 μ F	CPOL-EUE10-20	
C8	10nF	C-EU050-025X075	
D1		1N4004	DO41-10
D2		1N4004	DO41-10
SW1		dipswitch	DIL4
K1	4052	4052	
K2	4052	4052	
LSP1	1,4mm		
LSP2	1,4mm		
LSP3	1,4mm		
LSP4	1,4mm		
LSP5	1,4mm		
LSP6	1,4mm		
LSP7	1,4mm		
LSP8	1,4mm		
LSP9	1,4mm		
LSP10	1,4mm		
LSP11	1,4mm		
LSP12	1,4mm		
LSP13	1,4mm		
LSP14	1,4mm		
LSP15	1,4mm		
LSP16	1,4mm		
LSP17	1,4mm		
LSP18	1,4mm		
LSP19	1,4mm		

Del	värde	komponent	formfaktor
-----	-------	-----------	------------

LSP20	1,4mm		
LSP21	1,4mm		
LSP22	1,4mm		
LSP23	1,4mm		
R1	8.7M Ω		
R2	390k Ω		
R3	390k Ω		
R4	8.7M Ω		
R9	1k Ω		
R10	1k Ω		
R11	1k Ω		
R12	1k Ω		
R13	10k Ω		
R14	120 Ω		
R17	1k Ω		
R18	1k Ω		
R19	100k Ω		
R20	100k Ω		
R23	390k Ω		
AMP1		DIL4	DIL4
AMP2		DIL4	DIL4
DIV1		DIL4	DIL4
DIV2		DIL4	DIL4
T1	TIP122	TIP122	TO220
T2	TIP122	TIP122	TO220
T3	TIP122	TIP122	TO220
T4	TIP122	TIP122	TO220
IC4	7805TV	7805TV	TO220V
TS912IN		TS912IN	DIL8
SP232ACR		SP232ACR	DIL16
PIC16F688		PIC16F688	DIL14