



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní



PŘÍPADOVÁ STUDIE TÝMOVÉ SPOLUPRÁCE

Vývoj pracoviště pro testování baterií

Jaromír Škuta

Jiří Kulháněk

Ostrava <2012>



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu (ESF) a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu OP VK CZ.1.07/2.3.00/09.0147 „Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu“.

Název: Vývoj pracoviště pro testování baterií
<Autor/Autoři>: Jaromír Škuta, Jiří Kulhánek a kol.
Vydání: první, 2012
Počet stran: 44
Náklad: 5

Materiály pro Fakultu strojní



Tyto studijní materiály vznikly za finanční podpory Evropského sociálního fondu a rozpočtu České republiky v rámci řešení projektu Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost.



Název: Vzdělávání lidských zdrojů pro rozvoj týmů ve vývoji a výzkumu
Číslo: CZ.1.07/2.3.00/09.0147
Realizace: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

© Jaromír Škuta, Jiří Kulhánek

© Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

1 ÚVOD

Tato případová studie vznikla při řešení projektu, který se zabýval tvorbou zařízení umožňující testování baterii tj. cyklické nabíjení a vybíjení článku baterie zajišťující nabíjení elektromobilu. V rámci řešení tohoto projektu vznikly také bakalářské práce, ve kterých jsou teoreticky vypočteny délky životnosti baterie v závislosti např. na typu zatížení, způsobu zatížení, teplotě atd.

V současné době probíhá vývoj baterií pro elektromobily bouřlivými změnami a neustále se na trhu objevují nové produkty. Parametry dodané výrobcem jsou přitom mnohdy velmi stručné a není jednoznačně specifikována metodika pro jejich naměření. Proto je důležité realizovat nezávislé testy hlavních parametrů materií, případně být schopni navrhnout nové typy testů.

Pro realizaci tohoto úkolu bylo vybudováno měřicí pracoviště pro testování baterií, na tomto komplexním úkolu pracoval tým odborníků a studentů v rámci jejich bakalářských a semestrálních prací.

2 POPIS ŘEŠENÉHO PROBLÉMU – SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Při řešení jakéhokoli problému je důležitou částí přesná specifikace zadání. V našem případě zadáním bylo navrhnout systém, který bude umožňovat cyklicky nabíjet a vybíjet jeden bateriový článek napájecího zdroje elektromobilu. Nabíjecí proud je omezen na 50A. Vybíjecí proud se bude měnit v závislosti na zátěžové křivce. Maximální hodnota tohoto proudu bude omezena na 500A. Požadavkem je měření napětí na baterii, měření proudu a samozřejmě možnost jeho regulace.

Z pohledu týmové spolupráce se dá tato činnost rozdělit do několika částí:

- Systémový návrh úlohy
- Teoretický výpočet životnosti
- Návrh řídicích obvodů a jejich realizace
- Návrh aplikace umožňující konfiguraci a řízení (proudu)
- Realizace silové části úlohy
- Následné testování.

Systémový návrh celé úlohy by měl realizovat zkušenější člen týmu, který má aspoň povrchní znalosti ze všech odborností. Další části, jako je návrh řídicích obvodů nebo návrh konfiguračních řídicích úloh, konstrukční uspořádání silového obvodu, chlazení, programování, jsou části, kterým by se měl věnovat specialista v daném oboru.

Každá specifikovaná část vyžaduje, aby její řešitel (člen týmu) koordinoval svá rozhodnutí s ostatními členy týmu. Všichni členové týmu musí mít na paměti hlavně cíl řešeného projektu, drobné změny zadání jsou možné, ale nesmí popírat hlavní cíle řešení.

Takže při řešení zadaného problému se uplatní specializace a schopnosti systémového inženýra, elektronika, programátora, mechanika, konstruktéra.

3 ČLENOVÉ ŘEŠITELSKÉHO TÝMU

V týmu byly obsazeny tyto pozice:

Vedoucí projektu, koordinátor – náplní práce je definovat celkový a dílčí cíle projektu, kontrolovat jejich dosažení v určený termín a dosažení cílových parametrů zařízení. Dále motivuje ostatní členy týmu k dosažení cíle projektu.

Elektronik – technická pozice, náplní pracovníka je navrhnout a realizovat zapojení elektronických obvodů nezbytných pro vybíjení/nabíjení baterií, tvorba a osazování desek plošných spojů.

Programátor jednočipových procesorů – technická pozice, náplní práce je realizovat dílčí části řídicího algoritmu probíhajícího na vyšších frekvencích. Dále je úkolem pracovníka realizovat první stupeň zabezpečení proti havárii systému.

Programátor SCADA/HMI – technická pozice, náplní práce je realizovat na platformě PC nadřazenou část řídicího algoritmu. Definiuje průběh zkoušky, zpracovává a ukládá naměřené údaje, realizuje zabezpečení proti havárii na vyšší vrstvě aplikace.

Konstruktér - technik – technická pozice, realizuje zapojení silové části elektrického obvodu, realizaci chladicího okruhu, propojuje jednotlivé moduly a určuje výsledný stav testovacího zařízení.

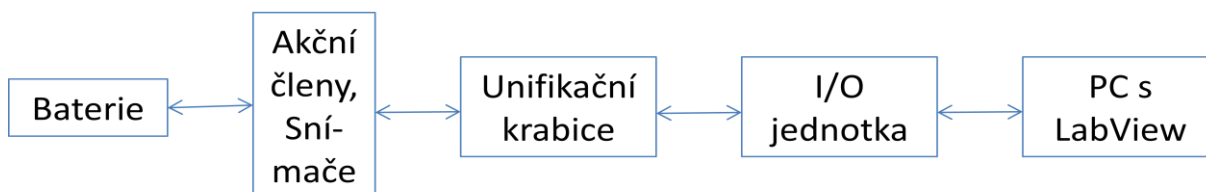
Testovací technik – studentská pozice, zpracovává dokumentaci k bateriím, na základě literatury navrhuje a realizuje jednotlivé testy. Zpracovává naměřené výsledky do výsledné podoby.

4 VÝBĚR TECHNICKÝCH PROSTŘEDKŮ A NÁVRH SYSTÉMU

Důležitým bodem řešení zadání je systémový návrh celé úlohy. Od ní se pak odvíjí směr řešení, který se může měnit v závislosti na použitých technických prostředcích, programových produktů apod.

4.1 Systémový návrh celé úlohy

Úlohu lze rozdělit na část realizující monitorování a řízení nabíjecích a vybíjecích cyklů. Pro tuto funkci lze použít např. software LabView. Tento systém bude komunikovat pomocí I/O jednotky s reálnou úlohou. Touto jednotkou může být např. NI 6009 disponující diskretními a analogovými (diferenční) I/O. Tyto I/O vstupy slouží k ovládní a monitorování celé navržené úlohy pomocí obvodových a výkonových prvků.



Obr. 1 Systémový návrh úlohy

Pro ovládní spínání zátěže k baterii nebo nabíjení baterie ze zdroje je vhodné využít PWM řízení, aby nabíjecí a vybíjecí cykly co nejvíce napodobily nabíjecí a vybíjecí cykly v reálném provozu baterie (v automobilu).

Všechny signály z měřicích členů na systému by měly mít napěťové výstupy (napětí baterie, měření proudu, ...). V případě proudového výstupu ze snímačů bude zapotřebí použít převodník proud/napětí.

4.2 Použité výkonové členy

Jako výkonové prvky byly použity nejprve tranzistory SK 260MB10 zabudovány v jednom pouzdře, kdy emitor jednoho byl spojen s kolektorem druhého, z toho důvodu bylo zapotřebí galvanického oddělení zdrojů určených pro vybíjení a nabíjení. Technické parametry použitého výkonového členu jsou v následující tabulce.

Tab. 1 Technické parametry tranzistoru SK 260MB10

Absolute Maximum Ratings		$T_s = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified	
Symbol	Conditions	Values	Units
MOSFET			
V_{DSS}		100	V
V_{GSS}		± 20	V
I_D	$T_s = 25\text{ (80) }^\circ\text{C}; 1)$	230 (180)	A
I_{DM}	$t_p < 1\text{ ms}; T_s = 25\text{ (80) }^\circ\text{C}; 1)$	460 (360)	A
T_j		-40...+150	$^\circ\text{C}$
Inverse diode			
$I_F = -I_D$	$T_s = 25\text{ (80) }^\circ\text{C};$	230 (180)	A
$I_{FM} = -I_{DM}$	$t_p < 1\text{ ms}; T_s = 25\text{ (80) }^\circ\text{C};$	460 (360)	A
T_j		-40...+150	$^\circ\text{C}$
Freewheeling CAL diode			
$I_F = -I_D$	$T_s = \text{ }^\circ\text{C}$		A
T_j			$^\circ\text{C}$
T_{stg}		- 40 ... + 125	$^\circ\text{C}$
T_{sol}	Terminals, 10 s	260	$^\circ\text{C}$
V_{isol}	a.c. 50 Hz, RMS, 1 min (1s)	2500 / 3000	V

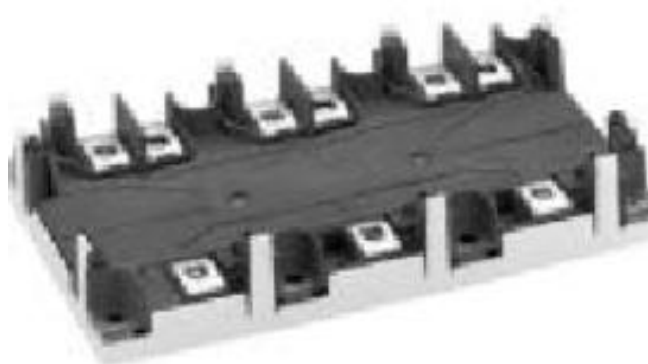


Obr. 2 Spínací člen SK 260MB10

Jako další spínací prvek byl použit spínací prvek SKiM 400GD063D jehož technické parametry jsou v následující tabulce.

Tab. 2 Technické parametry tranzistoru SKiM 400GD063D[katalogový list]

Absolute Maximum Ratings		$T_c = 25\text{ }^\circ\text{C}$, unless otherwise specified	
Symbol	Conditions	Values	Units
IGBT			
V_{CES}		600	V
I_C	$T_s = 25\text{ (70) }^\circ\text{C}$	420 (320)	A
I_{CM}	$t_p = 1\text{ ms}$	840	A
V_{GES}		± 20	V
T_j (T_{stg})		- 40 ... + 150 (125)	$^\circ\text{C}$
T_{cop}	max. case operating temperature		$^\circ\text{C}$
V_{isol}	AC, 1 min.	2500	V
Inverse diode			
I_F	$T_s = 25\text{ (70) }^\circ\text{C}$	390 (260)	A
$I_{FM} = -I_{CM}$	$t_p = 1\text{ ms}$	840	A
I_{FSM}	$t_p = 10\text{ ms}$; sin.; $T_j = 150\text{ }^\circ\text{C}$	4300	A



Obr. 3 Spínací člen SKiM 400GD063D

4.3 Zapojení řídicích obvodů

Důležitou součástí systému je návrh elektroniky, která zajistí převod analogového signálu na PWM signál ve dvou kanálech. Základem tohoto řídicího obvodu je jednočipový počítač, který podle napětí na analogovém vstupu generuje PWM signál na stanovené nosné frekvenci, kterou lze také nastavovat.

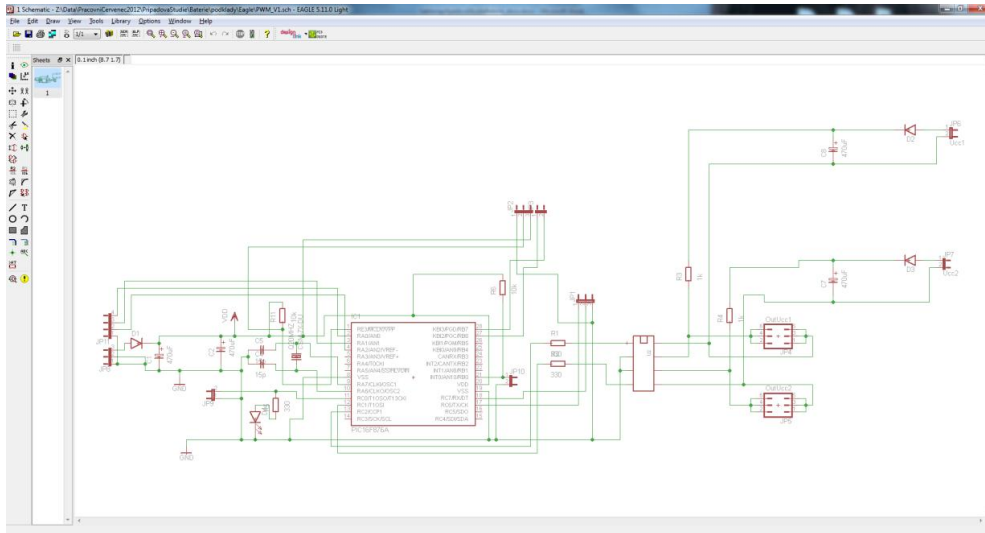
Dalším prvkem řídicích obvodů je bezpečnostní relé, které je ovládáno z prostředí LabView (při inicializaci USB jednotky NI 6009, musí být ve stavu vypnuto).

Dalším bezpečnostním prvkem je softwarový WatchDog. Na straně jednočipového počítače je testována změna diskrétního výstupu z jednotky NI 6009, ty generuje software LabView. V případě chyby aplikace, LabView přestane pracovat, přestane LabView také generovat signál. To jednočipový počítač vyhodnotí jako chybu a nastaví PWM výstupy do stavu, který zajistí rozepnutí výkonových členů.

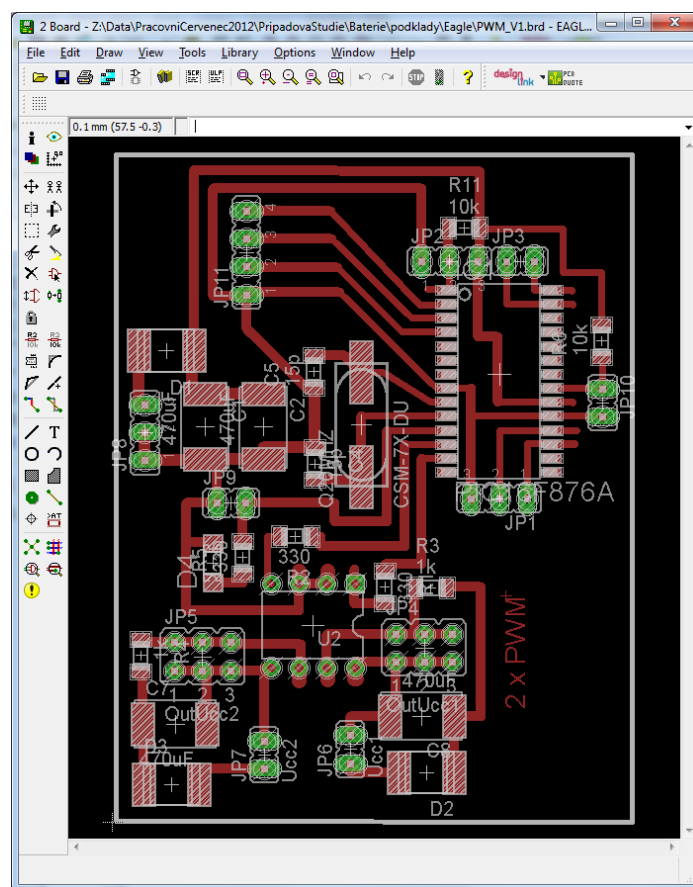
V průběhu řešení z důvodu malého počtu analogových výstupů z jednotky NI 6009 bylo ovládání PWM výstupů a bezpečnostního relé přesunuto na sériovou komunikaci.

Prostředí programu Eagle

Návrh elektronických schémát byl prováděn v programu EAGLE. Tento program má v zásadě dvě pracovní plochy, ve kterých vytváříme elektronické obvody. V první pracovní ploše vytvoříme schéma elektronického zapojení a po přepnutí se dostaneme do pracovní plochy, kde se vytváří obraz desky tištěného spoje. Na obrázku je grafické prostředí programu EAGLE.

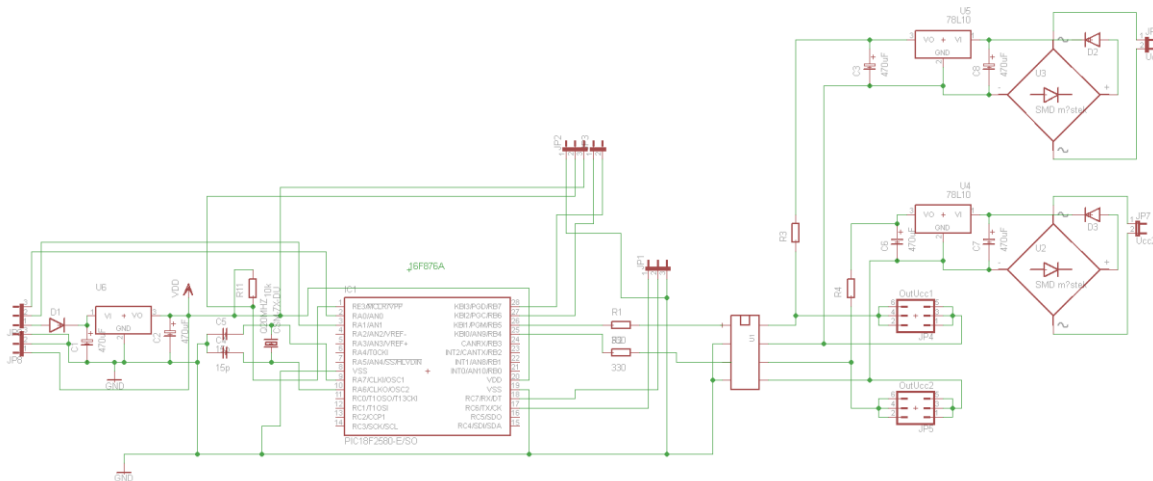


Obr. 4 Pracovní prostředí programu EAGLE (tvorba schémát)



Obr. 5 Pracovní plocha programu EAGLE (tvorba tištěného spoje)

Zapojení řídicího obvodu pro nastavování PWM výstupů je na následujícím obrázku. Vpravo na obrázku jsou zapojeny analogové vstupy, které jsou připojeny k analogovým výstupům USB I/O jednotky NI 6009 a napájecí napětí jednočipového počítače.

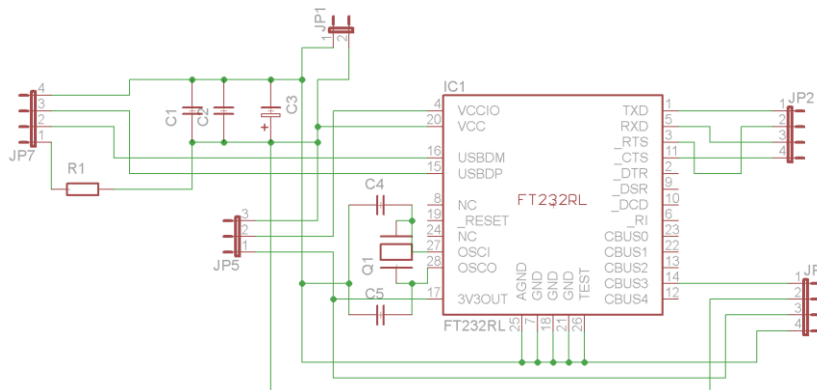


Obr. 6 Schéma zapojení PWM jednotky

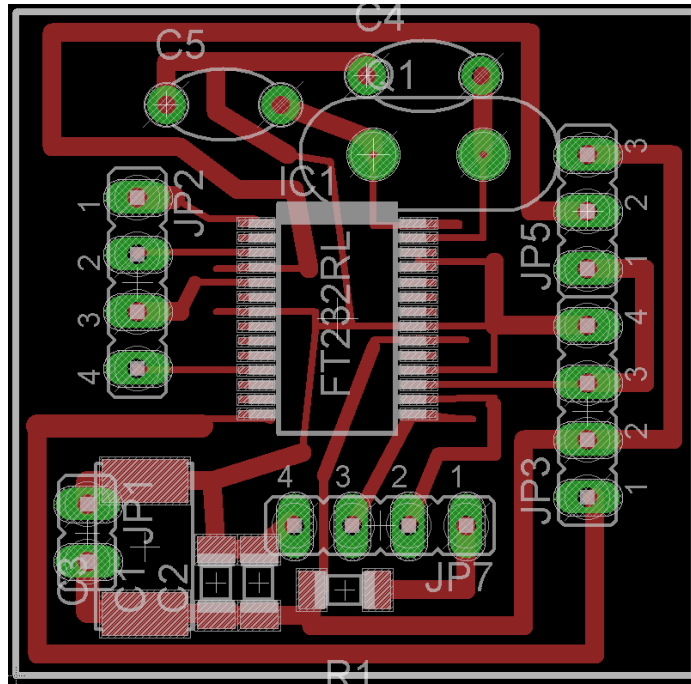
Součástí tištěného spoje jsou i napájecí obvody pro optické oddělení PWM signálů. Jednotlivé signály pro vybíjení a nabíjení musí mít oddělené napájení z důvodu zapojení silových komponent (došlo by k propojení jednotlivých zemí a zdroj by se zkratoval). Z tohoto důvodu má každý PWM výstup po galvanickém oddělení samostatný zdroj.

Na desku tištěného spoje jsou vyvedeny také programovací piny jednočipového procesoru řady PIC z důvodu možnosti následné modifikace firmware pro tento mikroprocesor.

Dále je zde vyvedeno sériové rozhraní pro možnost konfigurace přes sériovou linku. Signály pro RS232 jsou vyvedeny v TTL úrovni, pro připojení k PC je nutné využít převodník RS232/TTL nebo USB(RS232)/TTL. Na následujícím obrázku je schéma zapojení převodníku FTDI232 umožňující připojení TTL úrovní sériové linky k USB rozhraní PC. V PC se vytvoří virtuální COM a pomocí tohoto COMu by byla možnost konfigurovat vybrané parametry nahraného firmware.



Obr. 7 Převodník USB/TTL – schéma zapojení



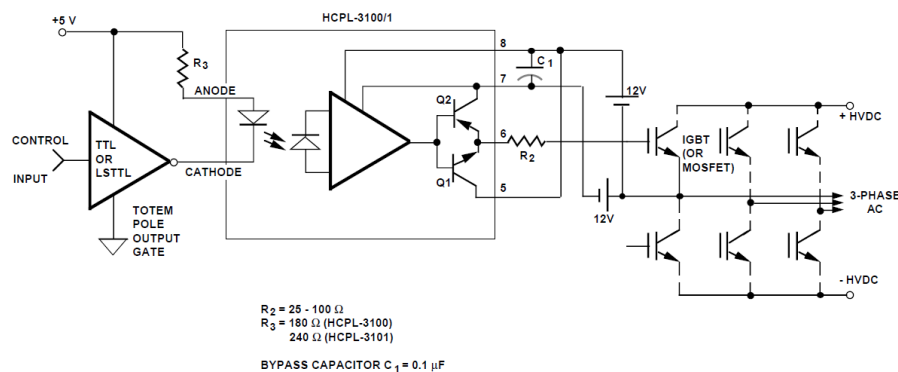
Obr. 8 Převodník USB/TTL – deska plošného spoje

V tomto návrhu je nutno zajistit napájení pěti externími zdroji:

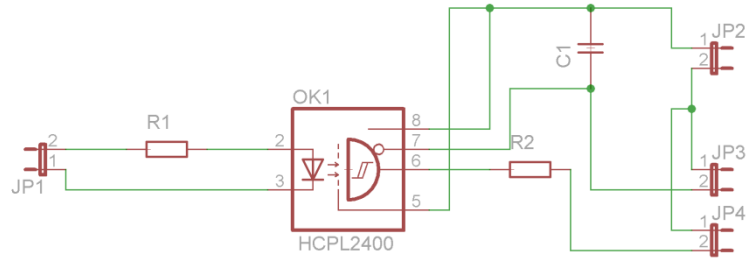
- 2x napájení PWM,
- 1x napájení mikropočítače,
- 1x napájení silového relé,
- 1x napájení ventilátorů určených pro chlazení výkonových členů.

Testovacím měřením se zjistilo, že použitý optočlen určený pro optické oddělení PWM výstupu není dostačující, proto byla navržena deska testovacího tištěného spoje s jiným optickým oddělovačem. Schéma této demo desky je na obr. 9.

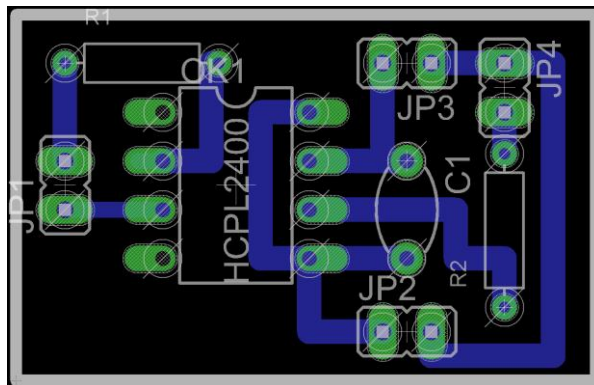
V katalogovém listu bylo doporučeno zapojení, které je použito i v našem případě.



Obr. 9 Doporučené zapojení optočlenu [katalogový list]

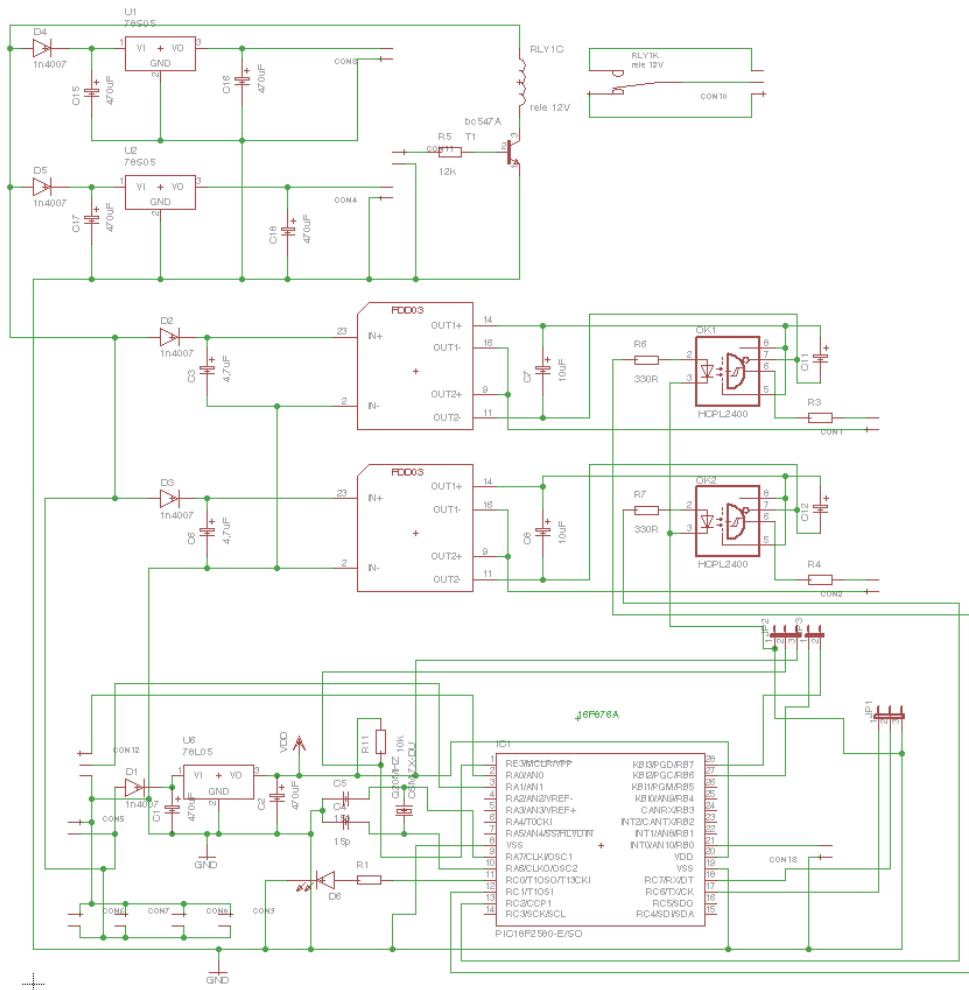


Obr. 10 Doporučené zapojení vytvořené v prostředí EAGLE



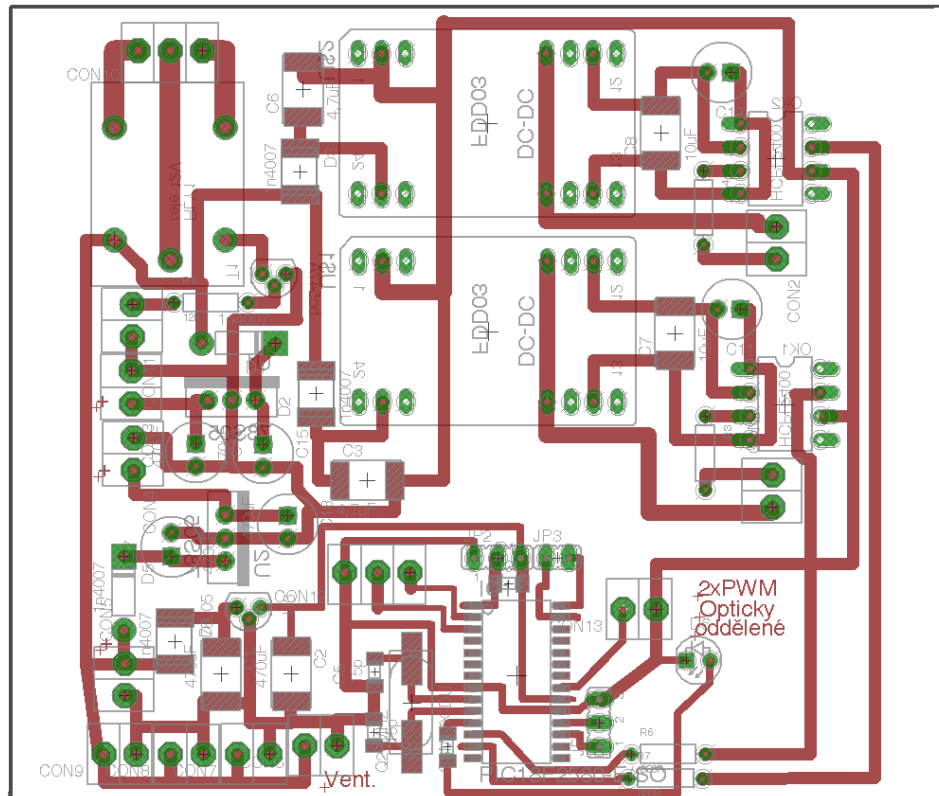
Obr. 11 Deska plošného spoje optického oddělení v prostředí EAGLE

Postupným testovacím měřením, kterým se potvrdil minimální odběr pro řídicí elektrodu cca 1mA se dospělo k názoru, že by bylo vhodnější použít jen jeden napájecí zdroj a na desku tištěného spoje zabudovat DC/DC měniče. Došlo se k závěru, že bude vhodnější celý systém napájet jedním zdrojem s vyšším výkonem a udělat výhybky pro jednotlivé potřebné napájecí zdroje. Celé toto zapojení je na následujícím obrázku.



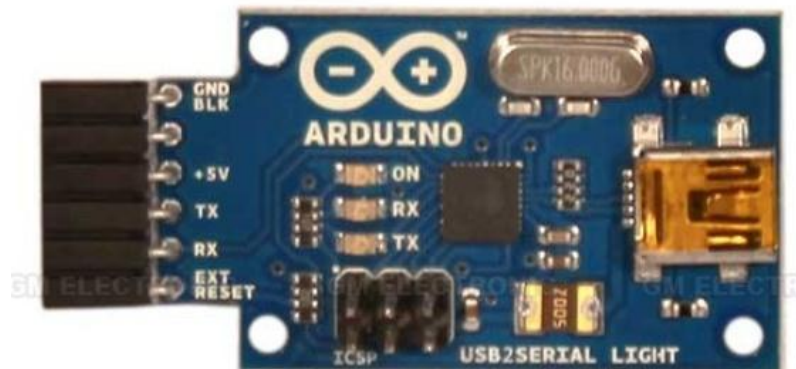
Obr. 12 Schéma zapojení koncového řídicího modulu

Návrh řídicích a unifikačních obvodů byl realizován postupně z modulů, které se daly propojit externími propojkami. Na následujícím obrázku je „bastl modul“ realizující všechny funkce. Teprve pak se vytvořil celkový koncový návrh řídicích a konfiguračních obvodů.



Obr.13 Deska plošného spoje koncového řídicího modulu

Pro komunikaci pomocí USB rozhraní byl použit komerční modul vytvářející virtuální COM na PC (obr. 14).



Obr. 14 Komerční modul realizující převod USB rozhraní na TTL [GM]

Tvorba prototypů tištěných spojů

V rámci řešení projektů jeden z členů týmu realizoval prototypy návrhů tištěných spojů. V laboratorních podmínkách se jednotlivé tištěné spoje realizovali s využitím fototechnologie. Tuto práci lze rozdělit do několika etap:

- Získání obrazce tištěného spoje
- Přenos obrazce tištěného spoje na fotocitlivý cuprextit

- Vyvolání
- Leptání
- Očištění
- Pokrytí ochrannou vrstvou
- Osazení obvodovými prvky a oživení.

Pro tvorbu těchto tištěných spojů touto cestou je zapotřebí fotosenzitivní cuprexit, na který se přenese obraz tištěného spoje, vygenerovaný programem EAGLE podle elektronického schématu. Obraz se přenese na fotosenzitivní vrstvu s využitím UV osvitové jednotky viz obr.16. Pak je nutno takto osvětlenou desku vyvolat ve vývojce a nakonec nechat vyleptat v leptacím roztoku pro DPS.



Obr.15 Vývojka a leptací roztok

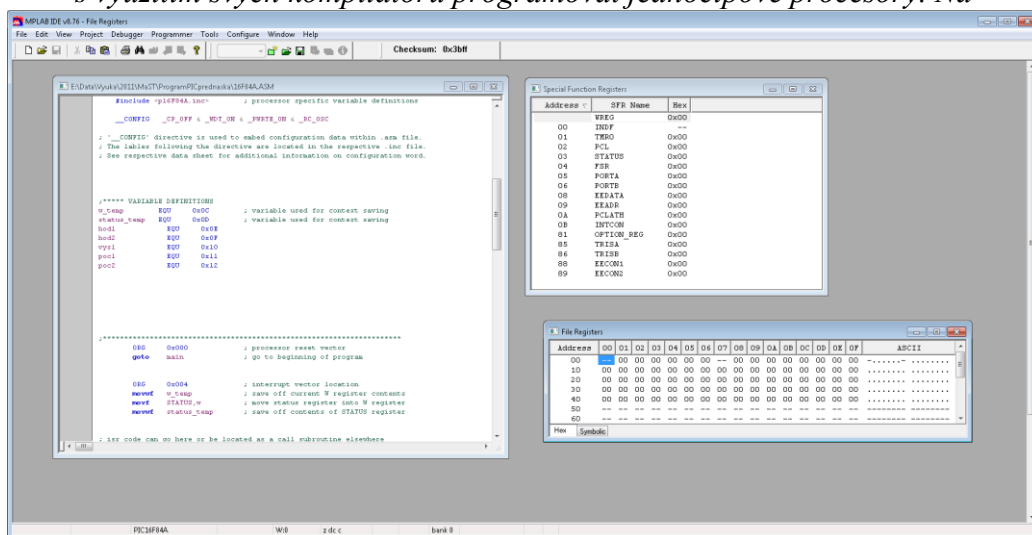
Po vyleptání je nutno zbylé vodivé cesty očistit např. lihem a nanést ochrannou vrstvu, směs lihu a kalafuny. Ta slouží nejen k ochraně spojů, ale umožňuje také lepší pájení použitých součástek. Po zaschnutí je nutno vyvrtat díry pro dané součástky dle tištěného spoje.



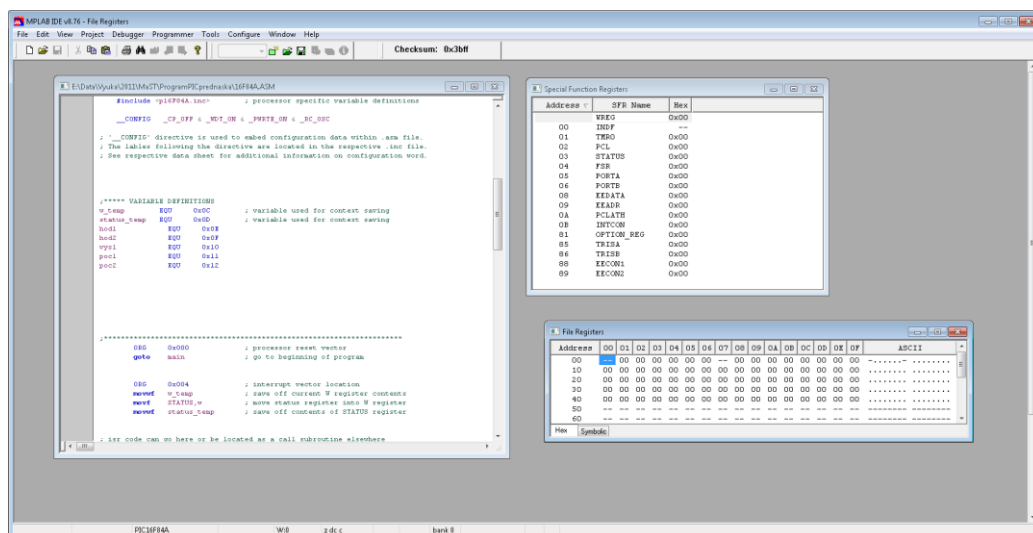
Obr.16 UV osvitová jednotka BEL 14017[GME]

4.4 Programování firmware pro PIC

Součástí řešení projektu týmové spolupráce je i vytvoření firmware pro jednočipový procesor zajišťující převod analogového signálů na PWM a realizující část WatchDogu, zajišťující bezpečnost systémů. Tvorbu tohoto firmware lze realizovat jak na úrovni strojového kódu (jazyku symbolických adres) např. v MPLABu, nebo ve vyšších programovacích jazycích MicroBasic, MicroC, ... pro PIC. Existují i jiné firmy umožňující s využitím svých kompilátorů programovat jednočipové procesory. Na



obr. 17 je vývojové prostředí MPLAB.

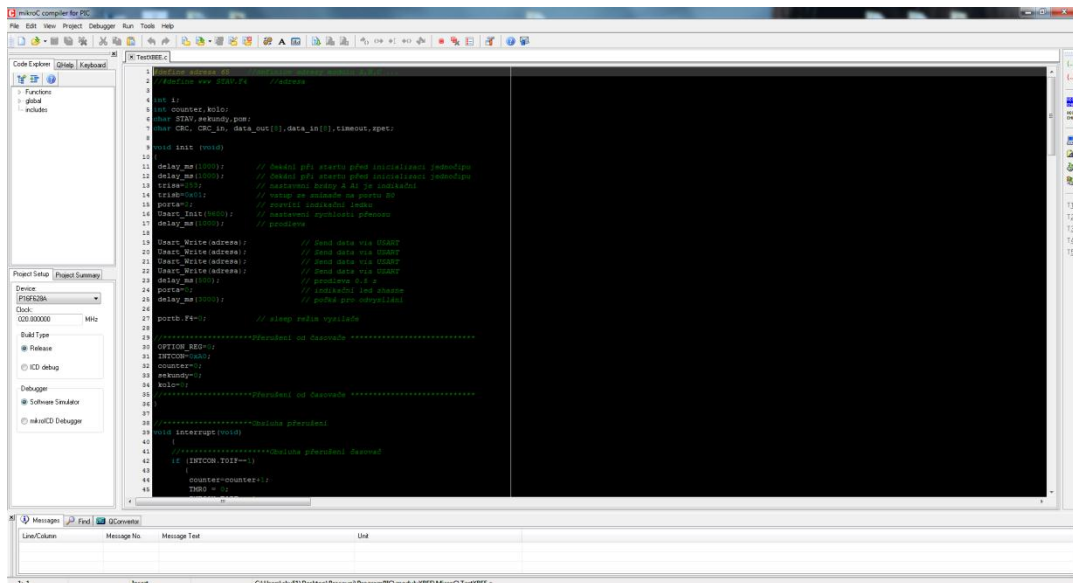


Obr. 17 Vývojové prostředí MPLAB

Výhodnější je využít vyšší programovací jazyk, který umožňuje strukturované programování. Ani na této úrovni není člověk oprostěn od znalosti vnitřní struktury jednočipového počítače, jeho modulů apod.

Vývojové prostředí MicroC

Pro tvorbu firmware jednočipového počítače řady PIC bylo zvoleno prostředí MicroC od firmy Microelektronika. Toto prostředí umožňuje programovat různé typy procesoru nejen procesorů firmy Microchiop. Na následujícím obrázku je okno vývojového prostředí pro tvorbu aplikací pro jednočipové procesory řady PIC.



Obr.18 – Vývojové prostředí MicroC firmy MikroElektronika

Vlastní algoritmus je založen na skenovacím cyklu, který zajišťuje cyklické testování vstupů a nastavování použitého výstupu podle definovaného algoritmu. Toto platí jak pro analogové vstupy (PWM výstupy), tak pro WatchDog signál.

Na následujícím obrázku je příklad rutiny napsané pro jednočipový počítač řady PIC v prostředí MicroC.

```

7 //*****
8 void init (void)
9 {
10 trisc=0;           // portc jako výstup
11 trisa=0;           // porta jako výstup
12 PORTA.FO=0;       // nastavení portu při inicializaci
13 PORTC.FO=0;       // nastavení portu při inicializaci
14 Usart_Init(19600); // přenosová rychlost RS 232 a inicializace
15 Pwm1_Init(1230);   // Initialize PWM1 modulu
16 Pwm2_Init(1230);   // Initialize PWM2 modulu
17 //Pwm1_Start();    // Start PWM
18 //Pwm2_Start();    // Start PWM
19 //CCPR1H=0;        // při startu vypnuto
20 //CCPR1L=0;        // při startu vypnuto
21 //CCPR2H=0;        // při startu vypnuto
22 //CCPR2L=0;        // při startu vypnuto
23 stavc=0;           //přepínač indikace
24 poc=0;             //Doba blikání
25 PWM1=0;            //počáteční hodnota PWM1
26 PWM2=0;            //počáteční hodnota PWM2
27 WDT=2001;          // nutná podmínka pro spuštění PWM při příjmu paketu WDT=2222
28 start=0;           // při inicializaci je vše vypnuto
29 }
30 //*****

```

Obr.19 – Příklad rutiny pro inicializaci vytvořená v prostředí MicroC

5 TECHNOLOGIE TESTOVANÝCH BATERIÍ

Pro definici požadovaných parametrů testovacího zařízení bylo nutné analyzovat typické parametry baterií, které chceme testovat. Vzhledem k převažující technologii LiFePo₄ v bateriích pro elektromobily byly analyzovány především tyto baterie (a podobné lithiové).

5.1 Lithium-iontové akumulátory

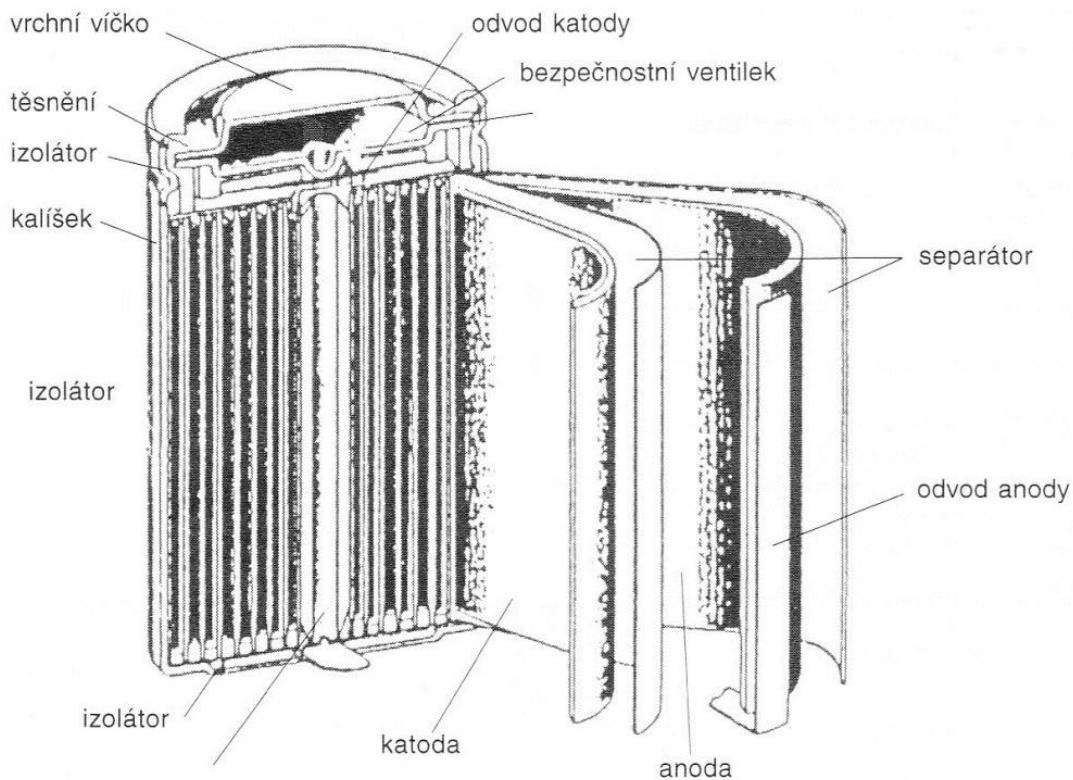
Baterie označované jako Li-Ion, u tohoto typu akumulátoru se ionty lithia pohybují mezi uhlíkovou anodou a katodou tvořenou oxidem kovu. Elektrolyt je tvořen lithiovou solí v organickém rozpouštědle. Každá baterie obsahuje čip, který hlídá stav a kontroluje průběh nabíjení. Vysoká hustota energie vzhledem k objemu se výborně hodí pro přenosná zařízení. Tento typ akumulátoru nepodléhá paměťovému efektu. Hlavní stinnou stránkou těchto baterií je jejich stárnutí, což je výrazné snižování kapacity nezávisle na používání. Oproti Ni-Cd a Ni-MH akumulátorům mají Li-Ion baterie vyšší vnitřní odpor, proto není možné z nich získat tak vysoký proud. V případě přehřátí nebo připojení vyššího napětí může baterie explodovat.

Výhody Li-Ion akumulátorů

- Velmi vysoká hustota energie (160 Wh/kg).
- Možnost výroby v téměř libovolných tvarech.
- Nepodléhá paměťovému efektu.
- Pomalé samovybíjení.
- Vysoké nominální napětí.
- Dobrá dobíjecí účinnost (80-90%).

Nevýhody Li-Ion akumulátorů

- Velmi rychlé stárnutí baterie (životnost 2-3 roky).
- Při špatném zacházení explozivní.
- Při úplném vybití je téměř vždy zničená.



Obr. 20 Průřez lithiovým článkem

5.2 Lithium-železo-fosfátové akumulátory

Zkráceně LiFePO₄ jsou druhem lithium-iontového akumulátoru. Toto označení získaly díky záporné elektrodě vyrobené z tohoto materiálu. Mají mnoho společných vlastností s lithium-iontovými bateriemi. Tento typ baterií se vyznačuje vysokou bezpečností (odolnost proti tepelným vlivům), schopnost dodávat vysoký proud ve špičkách, menším vlivem stárnutí, to znamená pomalejší snižování kapacity.

Výhody LiFePO₄ akumulátorů

- Téměř plochá křivka až do úplného vybití akumulátoru.
- Vysoký počet dobíjecích cyklů (2000 - 3000).
- Netoxické.
- Nepodléhá paměťovému efektu.
- Vysoká životnost (3-10 let).
- Vynikající dobíjecí účinnost (95%).
- Cenová dostupnost.
- Vyšší hustota energie (80-120 Wh/kg).

Nevýhody LiFePO₄ akumulátorů

- Rychlé dobíjení snižuje životnost.
- Možnost předčasného selhání při větším množství hlubokých cyklů (vybití pod 33%).



Obr. 21 Bateria pack z LiFePo baterií

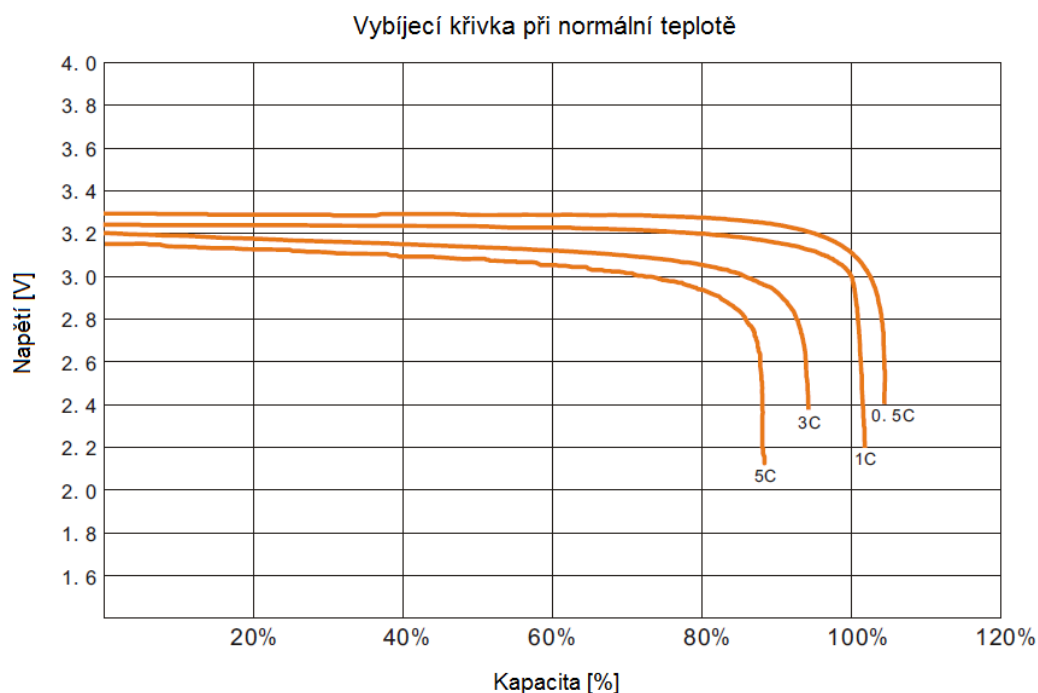
6 PARAMETRY TESTOVANÝCH BATERIÍ

6.1 Baterie Winston TS-LFP100AHA

Tab. 3 Parametry baterie Winston

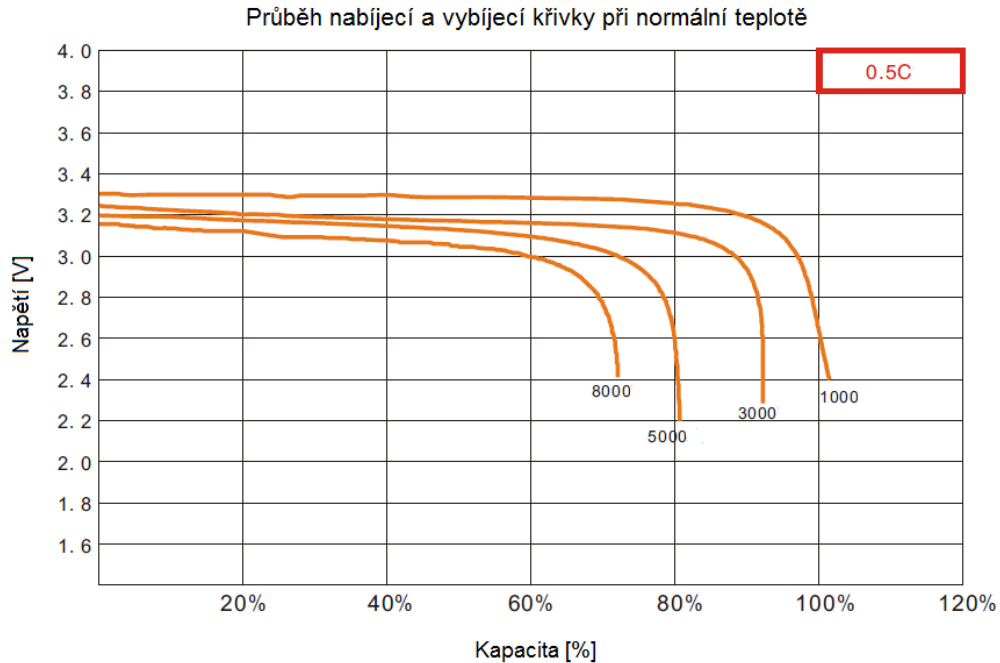
Výrobce: Winston		Model: TS-LFP100AHA	
Jmenovitá kapacita	100Ah		
Pracovní napětí	Nabíjení do	4,25V	
	Vybíjení do	2,5V	
Maximální nabíjecí proud	≤ 300A		
Maximální vybíjecí proud	Konstantní	≤ 300A	
	Impulsní	≤ 2000A	
Standardní nabíjecí/vybíjecí proud	50A		
Životnost	(80DOD%)	≥ 3000 cyklů	
	(70DOD%)	≥ 5000 cyklů	
Teplotní odolnost nouzdra	≤ 200°C		
Provozní teplota	Pro nabíjení	-45°C~85°C	
	Pro vybíjení	-45°C~85°C	
Samovybíjení	≤ 3% za měsíc		

Charakteristiky udávané výrobcem:



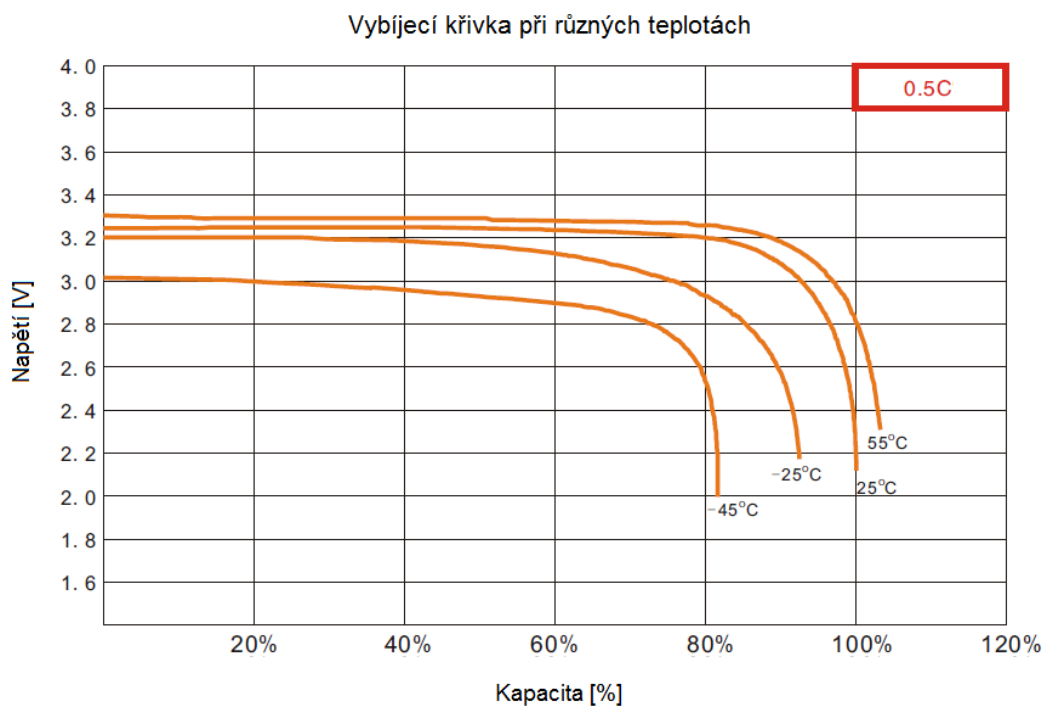
Obr. 22 Vybíjecí křivka baterie Winston TS-LFP100AHA

Vybíjecí charakteristika znázorňuje pokles pracovního napětí v závislosti na hodnotě vybíjecího proudu. Čím vyšší bude vybíjecí proud, tím strměji bude hodnota napětí klesat. Při kapacitě mezi 20-80 procenty lze nejlépe určit tzv. tvrdost akumulátoru, v ideálním případě je zde křivka téměř vodorovná. Čím bude sklon větší, tím bude článek měkký. Tzv. měkký akumulátor má velký vnitřní odpor řádově stovky ohmů.



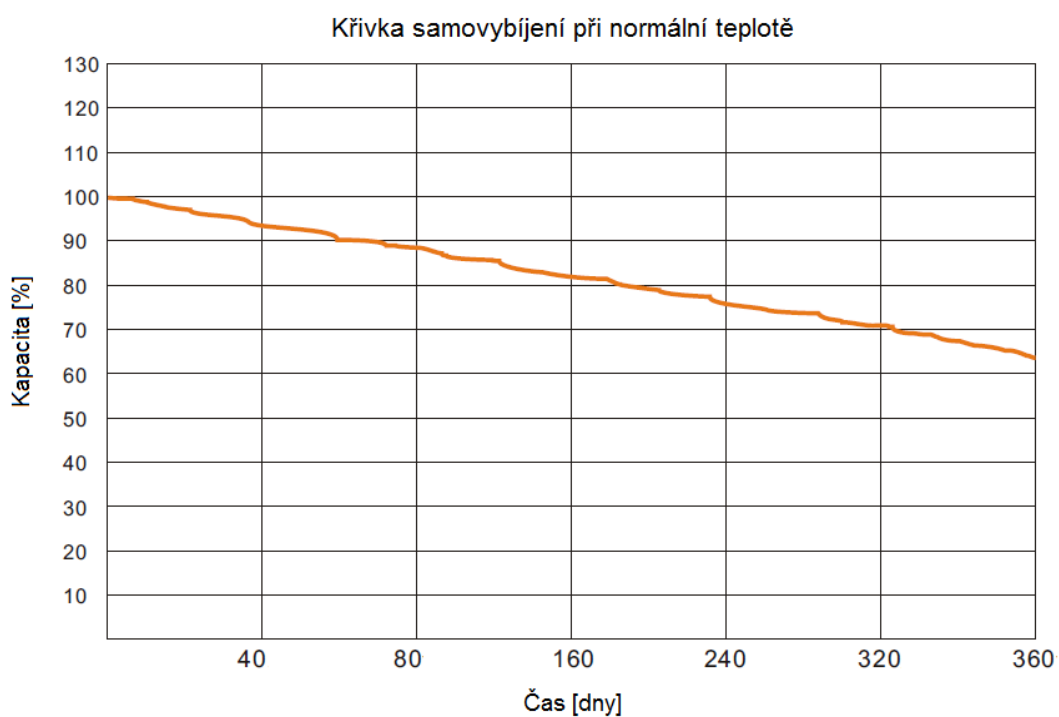
Obr. 23 Vybíjecí křivka baterie Winston TS-LFP100AHA

Na obrázku je zobrazena křivka životnosti v závislosti na hloubce vybití. Vybíjecí proud má konstantní hodnotu 50A. S rostoucí hloubkou vybití dochází ke snižování počtu cyklů nabití a vybití. Při vybití na 80 procent kapacit bychom měli dosáhnout téměř 5000 nabíjecích a vybíjecích cyklů. V případě vybití do 100 procent jmenovité kapacity bychom dosáhli pouze pětinaové hodnoty.



Obr. 24 Vybíjecí křivka při různých teplotách baterie Winston TS-LFP100AHA

Na obrázku je zobrazena závislost pracovního napětí článku na teplotě, při standardním vybíjecím proudu 50A. Z grafu je patrné, že s klesající teplotou výrazně klesá hodnota dostupné kapacity článku. Naopak s rostoucí teplotou roste i hodnota kapacity a napětí článku klesá pomaleji.



Obr. 25 Křivka samovybíjení baterie Winston TS-LFP100AHA

Optimální podmínky pro skladování lithiových baterií jsou při teplotě 0°C až 25°C. Lithiové články skladujeme vždy v nabitém stavu. Samovybitení lithiových článků se pohybuje mezi 1 až 3 procenty za měsíc. V důsledku samovybitení klesá náboj článku. Doporučuje se proto, každých 6 až 12 měsíců nabít baterii na 40 až 50 procent jmenovité kapacity. [Kincl, 2011]

6.2 Baterie Dow Kokam SLPB70460330

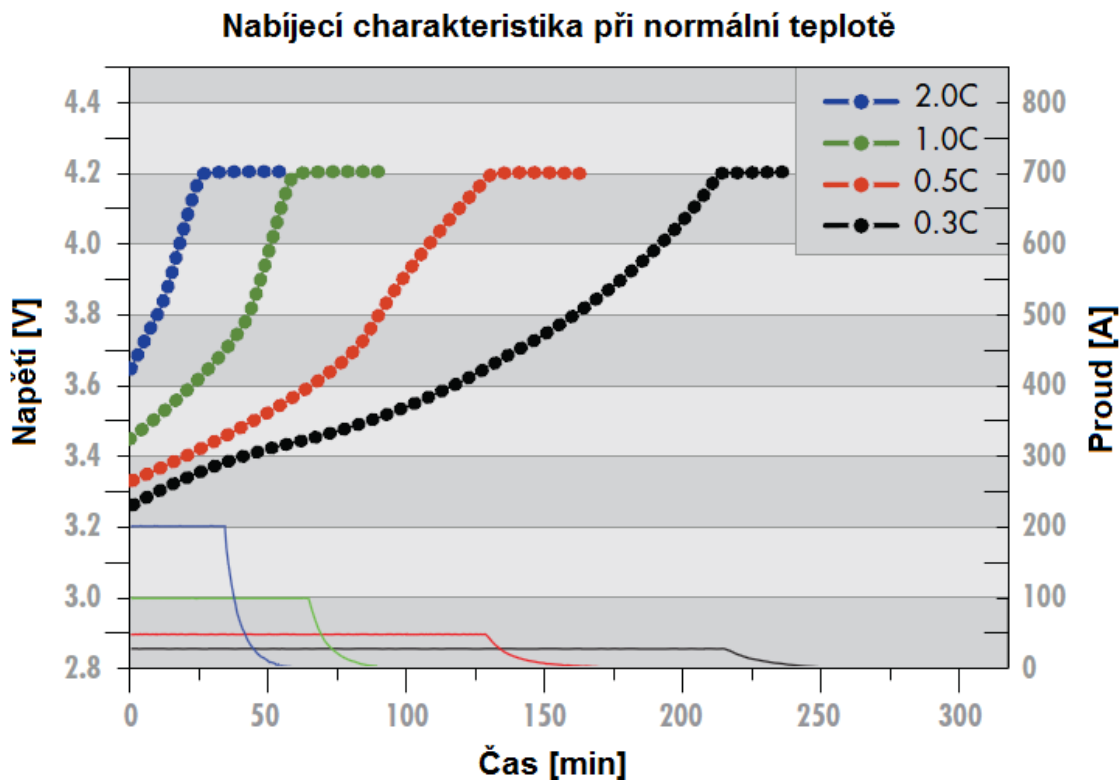
Tab. 4 Parametry baterie Dow Kokam [Dow Kokam, 2010]

Výrobce: Dow Kokam Model: SLPB 70460330		
Jmenovitá kapacita	h	100A
Jmenovité napětí		3,7V
Nabíjení	Maximálním proudem	100A
	Maximální napětí	4,2V
Vybíjení	Stejnoseměrným proudem	100A
	Maximálním proudem	300A
	Minimální napětí	2,7V
Životnost	(80%DOD)	> 3000 cyklů
Provozní teplota	Pro nabíjení	0°C~45°C
	Pro vybíjení	20°C~60°C

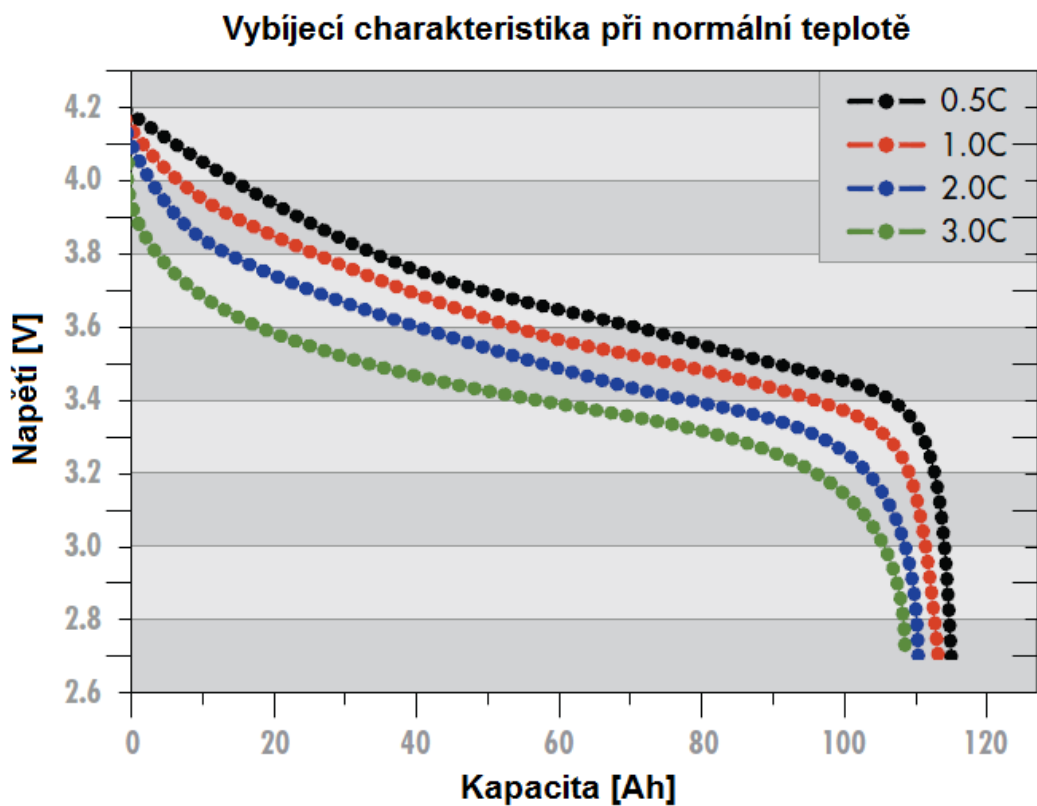
Charakteristiky udávané výrobcem:

Nabíjecí metoda, kterou obrázek ilustruje, se označuje jako CC - CV (Constant Current - Constant Voltage). Nabíjení článku by se dalo rozdělit do dvou fází. V první fázi se článek nabíjí konstantním proudem. Tento stav trvá přibližně do 80 procent nabíjecího času a napětí na článku zde dosáhne svého maxima. Při nabíjení roste také náboj, avšak v tomto okamžiku článek není ještě plně nabit. Od této doby začne nabíjení konstantním napětím a nabíjecí proud se začíná poměrně rychle zmenšovat. Jakmile nabíjecí proud klesne pod hodnotu 0,05C je článek již plně nabitý.

Jsou-li články úplně nové, doporučují výrobci provést asi tři nabíjecí a vybíjecí cykly nízkými proudy (řádově desítky C). Po absolvování této procedury už mohou být akumulátory nabíjeny i vybíjeny maximálními proudy, které výrobce uvádí.

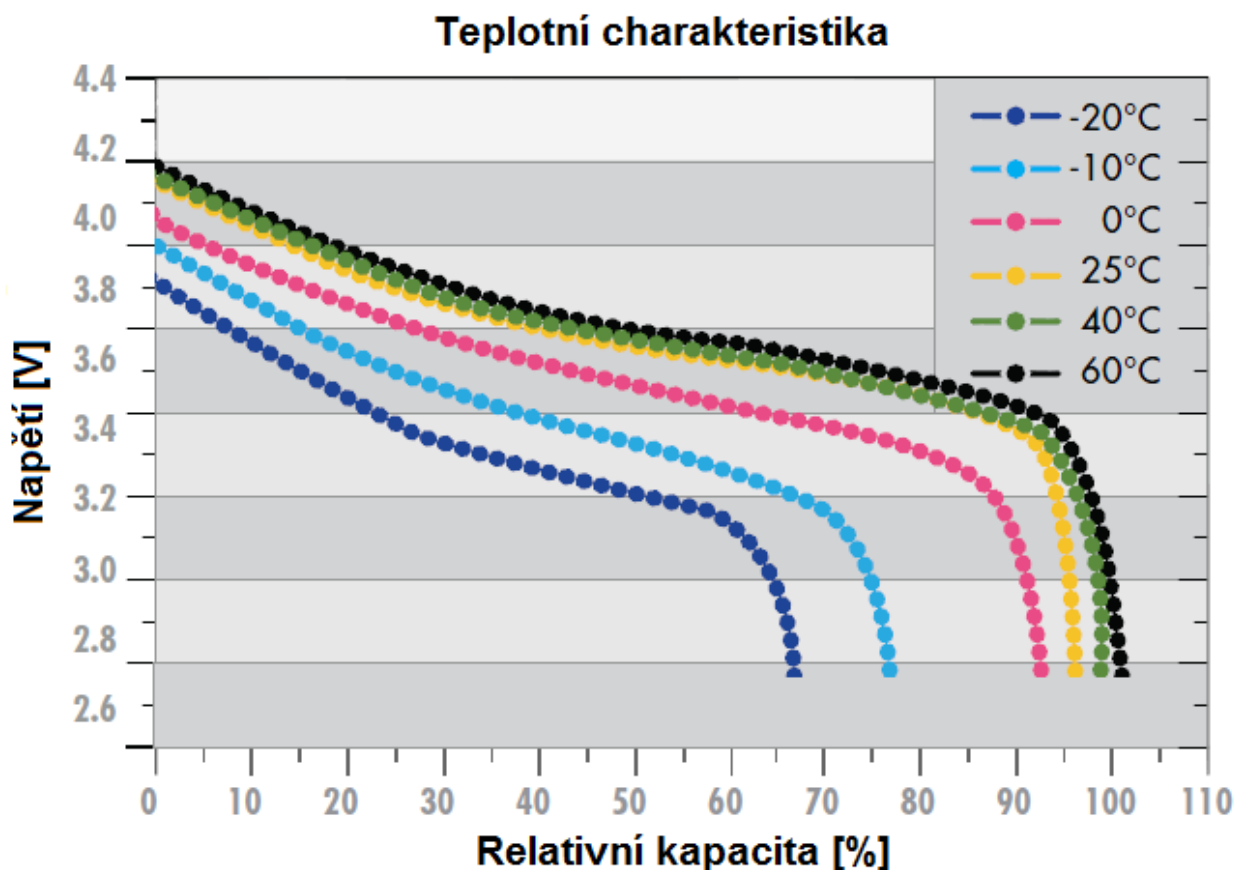


Obr. 26 Nabíjecí charakteristika baterie Dow Kokam SLPB 70460330 [Dow Kokam, 2010]



Obr. 27 Vybijecí charakteristika baterie Dow Kokam SLPB 70460330 [Dow Kokam, 2010]

Vybíjecí charakteristika kromě počátku a konce mírně klesá. Po připojení zátěže klesne napětí naprázdno na hodnotu středního vybíjecího napětí, jehož velikost udává velikost vybíjecího proudu a dále se snižuje jen pozvolna. Pokud se článek blíží ke stavu vybití, začne napětí poměrně rychle klesat. Vybíjení je nutné ukončit při dosažení minimálního napětí, v tomto případě 2,7V. Z grafu na obrázku je patrné, že s rostoucím vybíjecím proudem klesá i střední vybíjecí napětí. Za normální teplotou v tomto případě považujeme teplotu 23°C.



Obr. 28 Teplotní charakteristika baterie Dow Kokam SLPB 70460330 [Dow Kokam, 2012]

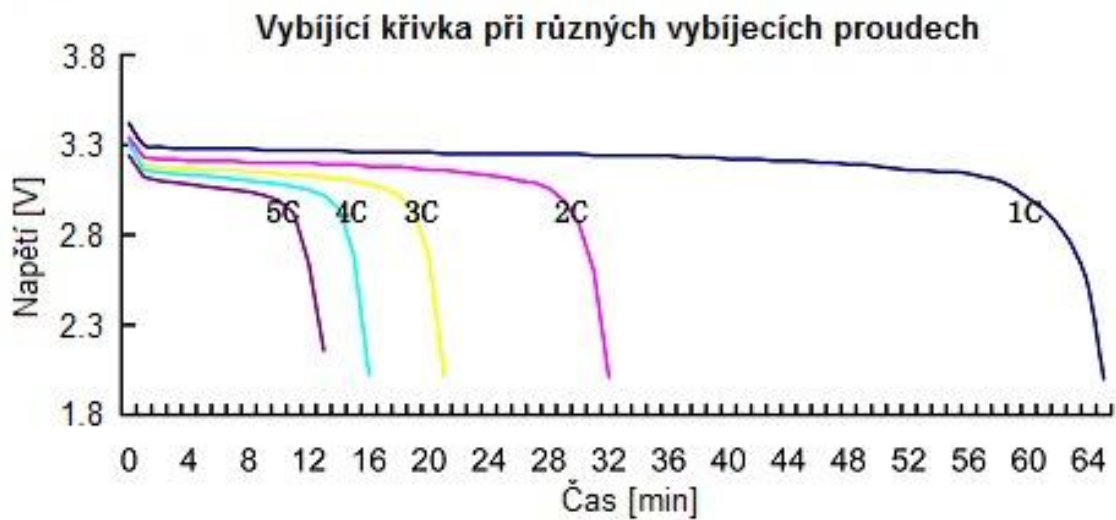
Při používání tohoto typu zdroje elektrické energie musí být také dbáno na provozní a skladovací teplotu. Výrobce udává provozní teplotu článků v rozsahu -20°C až 60°C. Provoz baterie při nízké teplotě způsobuje pokles její kapacity. Jak je vidět na obrázku, čím je teplota nižší, tím menší je hodnota dostupné kapacity a vybíjení se tak urychluje. Při vyšších teplotách dochází k urychlení chemických reakcí a baterie dosahují 100 procent své kapacity.

6.3 Baterie Hipower HP-PW-100AHA

Tab. 5 Parametry baterie Hipower [Hipower, 2012]

Výrobce: Hipower Model: HP-PW-100AHA		
Jmenovitá kapacita		100A h
Jmenovité napětí		3,2V
Vnitřní odpor		\leq 1m Ω
Standardní nabíjecí/vybíjecí proud		33A
Nabíjení	Maximálním proudem	300A
	Maximální napětí	3,6V
Vybíjení	Maximálním proudem	500A
	Minimální napětí	2,0V
Životnost	(80%DOD)	$>$ 2000 cyklů
Provozní teplota	Pro nabíjení	0°C~ 45°C
	Pro vybíjení	20°C~60°C

Baterie od firmy Hipower se od svých konkurentů liší svým nižším jmenovitým napětím 3,2V. Kratší je také životnost baterie, která se pohybuje okolo 2000 cyklů. Výrobce ve svém katalogu oproti předchozím bateriím uvádí hodnotu vnitřního odporu. Tato hodnota je definována pro nové baterie při teplotě 23°C, avšak po absolvování několika desítek cyklů nabíjení a vybíjení se změní. Provozní teplota baterie je téměř stejná jako u ostatních, výrobce pouze nedoporučuje baterii nabíjet při teplotách nižších než 0°C.

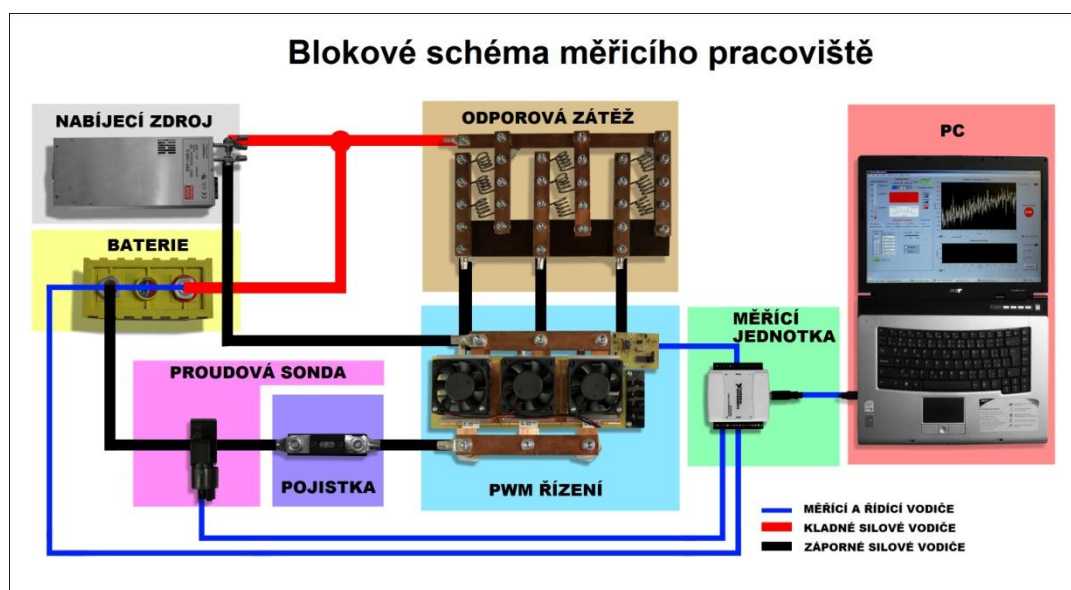


Obr. 29 Vybíjecí křivka baterie Hipower [Hipower, 2012]

Vybíjecí charakteristika dodávaná výrobcem ukazuje, že pro vybití baterie na minimální hodnotu napětí nám při vybíjecím proudu 100A trvá přibližně hodinu. Pokud budeme baterii proudem 500A, potom je baterie vybita za pouhých 13 minut.

7 TESTOVACÍ APARATURA

1. Nabíjecí část je tvořena spínaným napájecím zdrojem MeanWell RSP-1500-5, jehož výstupní napětí je 5V a výstupní proud 240A.
2. Vybíjecí část je tvořena odporovou zátěží, která se skládá ze tří větví odporových drátů. Odpor jednotlivých větví regulujeme připojením nebo odpojením odporových drátů.
3. Ovládací část je tvořena třemi výkonovými tranzistory typu MOSFET, bylo nutné použít tři tyto tranzistory, z důvodu jejich proudového omezení do 200A. Každý tranzistor je připojen na jednu z větví odporové zátěže. Pro ovládání je zde použita PWM regulace.
4. Ochranná část je tvořena stykačem s tlačítkem a pojistkou z důvodu bezpečnosti, protože obvodem protékají vysoké proudy řádově stovka ampér.
5. Měřicí část je tvořena měřicí jednotkou, která snímá proud a napětí na baterii. Připojen je také termočlánek, který měří teplotu baterie.



Obr. 30 Blokové schéma měřicího pracoviště

7.1 PWM regulace

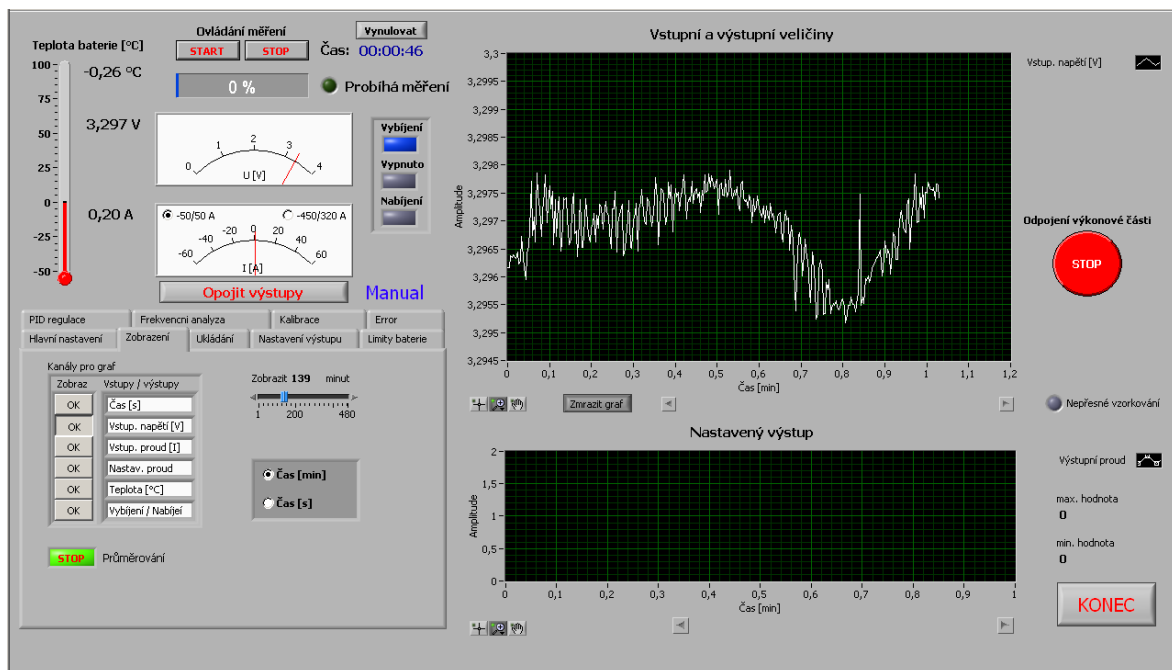
Jedná se o proces, kdy dochází ke změně šířky impulzu nosného signálu při určité konstantní frekvenci. PWM signál má obdélníkový tvar tedy nabývá dvou hodnot „0“ a „1“. Poměr mezi šířkou pulzu a šířkou mezery se nazývá střída. Střída se nejčastěji udává procentuálně. Prvky řízeny touto regulací jsou ovládány napětově např. motor. Čím větší amplitudu pulzy mají, tím větší je velikost protékajícího proudu v impulzu a jeho velikost určuje točivý moment motoru. Pokud použijeme vysokou frekvenci impulzů, dosáhneme

hladšího průběhu a snížíme tak vliv rušení a rostoucí teplotu. Výhodu PWM regulace jsou nízké ztráty a to díky tomu, že výkonové MOSFET tranzistory mají v sepnutém stavu velmi nízký odpor.

7.2 Software pro řízení a diagnostiku měřícího řetězce

Tento software byl vytvořen v prostředí programu LabVIEW. LabVIEW je graficky programovatelné prostředí, ve kterém můžeme vytvářet sofistikovaná měření, testování a řídicí systémy s využitím intuitivních grafických ikon a drátů, které se podobají vývojovému diagramu. Nabízí integritu s tisíci hardwarovými zařízeními a poskytuje stovky knihoven pro pokročilou analýzu a vizualizaci dat.

Ovládací software je z grafického hlediska rozdělen do dvou hlavních částí. Část nastavení a část zobrazení. Část zobrazení je tvořena grafy zobrazujícími průběh vstupní a výstupní veličiny. V části nastavení v kartě zobrazení můžeme zvolit kanál pro vykreslení grafu - čas, vstupní napětí, výstupní napětí, proud, teplotu a hodnoty veličin pro nabíjení a vybíjení. Hodnoty zobrazovaných veličin jsou průměrovány. Můžeme také nastavit dobu zobrazení. Další důležitou kartou je nastavení výstupu. V této kartě můžeme nastavovat hodnotu výstupního napětí, velikost amplitudy signálu, vzorkovací periodu a fázový posun. Část nastavení obsahuje měřicí přístroje voltmetr a ampérmetr zobrazující aktuální hodnotu a také ukazatel teploty baterie.



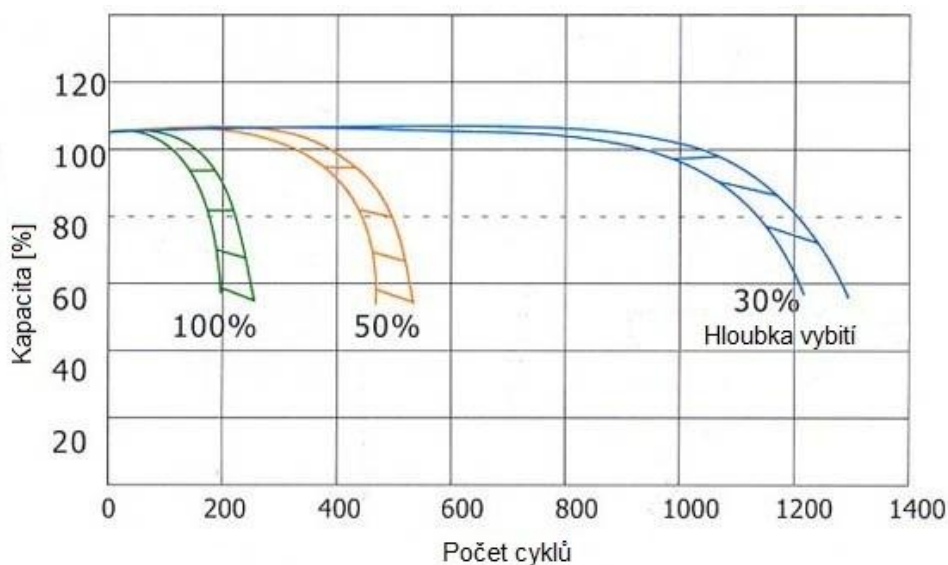
Obr. 31 Ovládací software - ukázka nastavení zobrazení

8 METODIKY TESTOVÁNÍ BATERIÍ

8.1 Návrh testu životnosti baterie

Významným parametrem akumulátoru je životnost. Je to vztah mezi maximálně dosažitelným počtem vybíjecích a nabíjecích cyklů a stupněm vybití článku v každém cyklu (hloubka vybití). Při běžném používání nabíjecích článků s rostoucím počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů mírně stoupá maximální využitelná kapacita (řádově o několik procent), avšak po uplynutí několika stovek cyklů (200 až 300) začíná pomalu klesat. Maximální počet cyklů je často definován poklesem využitelné kapacity článku pod hranici 60 procent a tím je dána životnost článku. Dosažením této hodnoty se však článek nestává nepoužitelným, má pouze nižší kapacitu, která klesá s každým dalším cyklem.

Pokud budeme uvažovat úplné nabití a následné úplné vybití článku, potom můžeme říci, že pokud vybijeme článek dvakrát po sobě pouze na polovinu, bude se jednat o dva poloviční cykly, které s ohledem na životnost odpovídají jednomu úplnému cyklu. Pokud budeme články vybíjet pouze na polovinu jejich kapacity, maximální počet cyklů vzroste. Použijeme-li úplné cykly, můžeme říci, že čím vyšší bude hloubka vybití, tím menší počet cyklů můžeme baterii v rámci své životnosti poskytnout. [Hlavinka, 2011]



Obr. 32 Cyklus životnosti baterie [Elnika, 2010]

Graf zobrazuje závislost hloubky vybití na počtu vybíjecích cyklů. S rostoucí hloubkou vybití klesá počet vybíjecích cyklů. Pokud bychom chtěli dosáhnout křivky delší životnosti, použili bychom baterii s vyšší kapacitou. U naší zvolené baterie Winston TS-LFP100AHA je dána životnost pro 80 procentní hloubku vybití více než 3000 cyklů a pro 70 procentní hloubku vybití více než 5000 cyklů. Abychom mohli ověřit tyto hodnoty, je potřeba použít velmi podobný postup jako výrobce.

8.2 Test životnosti baterie

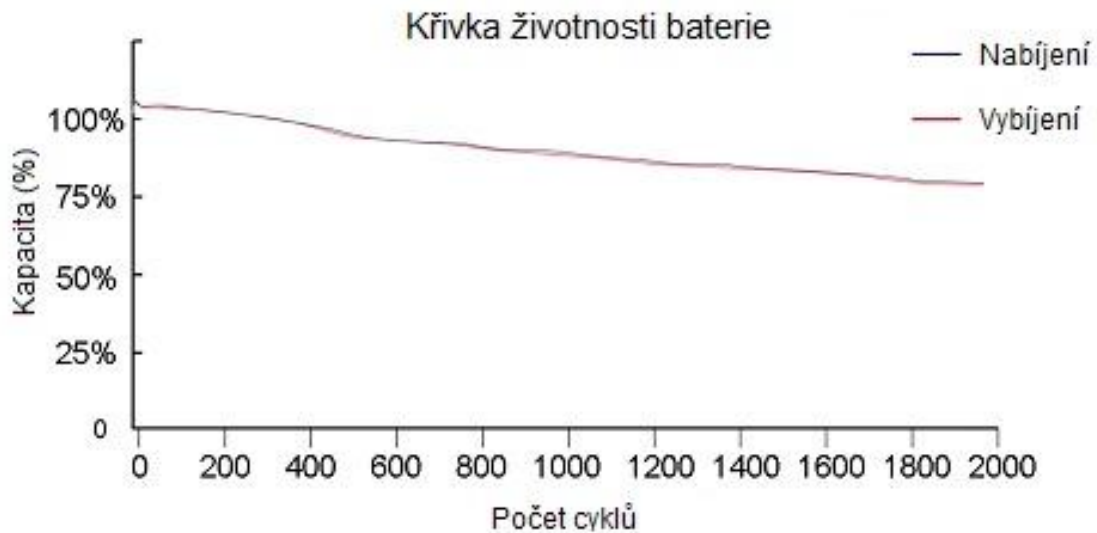
Výrobce uvádí podmínky, při kterých by se tento test měl provádět.

Podmínky: Tlak vzduchu: 86kPa – 106kPa

Teplota: 23°C±1°C

Postup:

1. Baterii nabíjíme konstantním proudem 33A dokud nedosáhneme napětí 4,25V, potom začneme nabíjet konstantním napětím 3,6V, dokud nabíjecí proud nebude menší než 1A.
2. Vybijeme baterii konstantním proudem 33A, dokud odebraná energie nedosáhne 80% aktuální kapacity. Napětí však nesmí klesnout pod povolenou mez 2,5V.
3. Stokrát opakujeme krok 1,2 dokud nebude baterie plně vybita, zapíšeme hodnoty dostupné kapacity.
4. Opakujeme kroky 1,2,3 a zapisujeme hodnoty pro opakování 100, 200, 300 nabíjecích cyklů atd. do té doby dokud dostupná kapacita není menší než 80% jmenovité kapacity.
5. Naměřené hodnoty pro opakovací cykly 100, 200, 300 atd. a hodnoty dostupné kapacity vykreslíme v grafu. Výsledkem bude křivka životnosti testované baterie.



Obr. 33 Příklad výsledného grafu životnosti baterie [Hipower, 2011]

8.3 Měření vnitřního odporu

Vnitřní odpor se udává v ohmech. Čím je hodnota vnitřního odporu menší, tím je akumulátor „tvrdší“. U ideálního akumulátoru se vnitřní odpor blíží nule a byl by schopen dodat jakýkoliv proud bez poklesu svorkového napětí. Ideální akumulátor však neexistuje.

U skutečného akumulátoru dochází vždy k poklesu napětí, což je způsobeno jeho vnitřním odporem. Čím vyšší proud budeme z obvodu odebírat, tím větší bude pokles napětí a vnitřní odpor poroste. Podle definice Ohmova zákona bude platit, čím bude vnitřní odpor nižší, tím bude protékající proud vyšší. Malý vnitřní odpor akumulátoru zajišťuje, při velkém zatížení, poskytnout vysoký vybíjecí proud, aniž by došlo ke značnému poklesu napětí v obvodu akumulátoru. Vnitřní odpor roste s úrovní vybití článku.

Pokud je potřeba stanovit pokles napětí na akumulátoru při jeho zatížení, je třeba změřit jeho vnitřní odpor. Pokud je k dispozici možnost srovnání vnitřního odporu měřeného akumulátoru s hodnotami nového akumulátoru, tak vnitřní odpor může sloužit i jako dobrý indikátor technického stavu akumulátoru. V praxi platí, že čím je akumulátor starší a čím více cyklů prodělal, tím se jeho vnitřní odpor zvětšuje.

Postup měření:

1. Vybijeme baterii konstantním proudem 0,2CA na minimální napětí baterie uváděné výrobcem, každý krok provádíme při dané teplotě.
2. Nabijeme baterii na maximální napětí dle výrobce.
3. Ponecháme baterii při dané teplotě po dobu 1 - 4 hod.
4. Proudem $I_1=0,2CA$ budeme baterii vybíjet po dobu 10 sekund a změříme vybíjecí napětí U_1 , po té zvýšíme vybíjecí proud na 1CA a ihned změříme napětí U_2 .
5. Sestavíme tabulku naměřených hodnot a vykreslíme výsledný graf.

Měření provádíme na kontaktech nezávislých od vedení proudu. Vnitřní stejnosměrný odpor R_{dc} vypočteme podle vztahu:

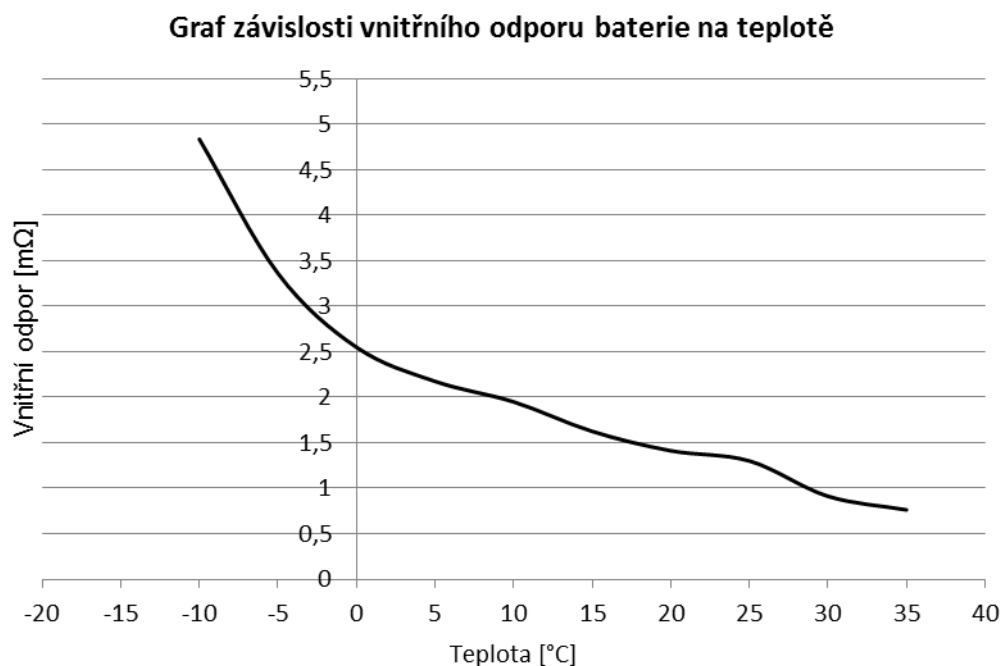
$$R_{dc} = \frac{U_1 - U_2}{I_2 - I_1} [\Omega; V, V, A, A] \quad (1)$$

Vybíjecí proudy I_1, I_2 jsou konstantní a napětí U_1, U_2 jsou napětí měřená při zatížení.

Tab. 6 Tabulka naměřených hodnot

Teplota [°C]	U_1 [V]	U_2 [V]	I_1 [A]	I_2 [A]	R_{dc} [mΩ]
35	3,312	3,251	20	100	0,7625
30	3,308	3,235	20	100	0,9125
25	3,292	3,188	20	100	1,3
20	3,235	3,122	20	100	1,4125
15	3,231	3,101	20	100	1,625
10	3,228	3,072	20	100	1,95
5	3,226	3,052	20	100	2,175
0	3,223	3,019	20	100	2,55
-5	3,174	2,905	20	100	3,3625
-10	2,945	2,558	20	100	4,8375

Při měření byly baterie ponechávány při dané teplotě po dobu 2h, což bylo časově dosti náročné. Původně mělo být měření prováděno v rozmezí teplot -20°C až 40°C. Bohužel k dispozici jsme měli pouze chladicí zařízení, které bylo schopno baterii ochladit na teplotu -10°C. Při této teplotě došlo k poklesu napětí článku pod minimální mez udávanou výrobcem. Z toho důvodu jsme měření při nižší teplotě zavrhlí, protože by mohlo dojít k poškození baterie. Z naměřených hodnot je patrné, že vnitřní odpor baterie s klesající teplotou roste. Klesá také napětí článku, což je způsobeno opakovaným vybíjením.



Obr. 34 Graf závislosti vnitřního odporu baterie na teplotě

Vnitřní odpor akumulátoru se mění i v závislosti na úrovni vybití akumulátoru, proto je dobré stanovit hodnoty vnitřního odporu několika změřenými vzorky, od plného nabití až do vybití akumulátoru. Tímto způsobem je možné sestavit křivku vnitřního odporu a následně stanovit do jaké úrovně vybití je měřený akumulátor schopen dosáhnout požadovaných parametrů.

Vliv vysokých a nízkých teplot

Vysoké teploty urychlují veškeré chemické reakce probíhající v akumulátorech. Teplotu, při které dosahují akumulátory nejvyšší kapacity, udávají výrobci. Při vyšších teplotách mírně vzrůstá kapacita akumulátoru a snižuje se vnitřní odpor. Výrazně se zvyšuje vliv samovybití a zkracuje se životnost akumulátorů.

Nízké teploty naopak chemické reakce zpomalují a tím dochází k výraznějšímu snižování jejich kapacity. Změna kapacity v závislosti na teplotě ovlivňuje velikost vybíjecích proudů. Při nízkých teplotách vnitřní odpor roste a odběr vysokého proudu způsobuje výrazný pokles napětí. S klesající teplotou se snižuje schopnost plného nabití akumulátoru. [Cenek, 2003]

8.4 Měření kapacity baterie

Hlavním parametrem baterie je její kapacita. Podle velikosti kapacity baterie můžeme určit, v jakém stavu se baterie nachází a kolik dalších cyklů je schopna vydržet, než poklesne její kapacita na hodnotu, kdy ji bude třeba vyměnit za novou. S rostoucím počtem prodělaných cyklů nabíjení a vybíjení kapacita baterie klesá. Například nová 100Ah baterie může dosahovat někdy až hodnoty například 110Ah. Abychom mohli určit dostupnou kapacitu baterie, navrhli jsme tento test. Postup je podobný jako u měření vnitřního odporu.

Postup měření:

1. Vybijeme baterii konstantním proudem 0,2CA do minimální hodnoty napětí.
2. Baterii nabijeme proudem 0,2CA na maximální hodnotu napětí.
3. V tomto stavu baterii ponecháme 1 - 2 hod.
4. Začneme baterii vybíjet konstantním proudem 0,2CA a měříme dobu, za kterou klesne napětí článku na minimální hodnotu uváděnou výrobcem.

Kapacitu baterie vypočteme podle vztahu:

$$C_N = I_V \cdot t_V [Ah; A, h] \quad (2)$$

V tomto případě je vybíjecí proud I_V konstantní a měříme dobu vybíjení t_V .

Tab. 7 Tabulka naměřených hodnot

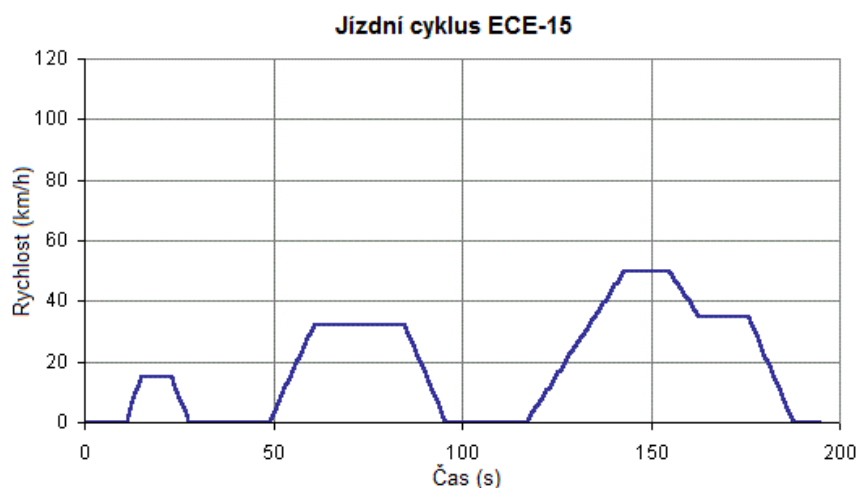
U [V]	I_V [A]	t_V [h]	C_N [Ah]
3,34	20	4,8	96
3,32	20	4,71	94,2
3,23	20	4,54	90,8

Pro tento test byly náhodně vybrány tři baterie. Všechny baterie jsme vybili a opět nabili konstantním proudem dle výše uvedeného postupu. V tabulce naměřených hodnot jsou uvedena maximální napětí, kterých bylo u jednotlivých baterií dosaženo. Už podle hodnoty napětí baterií můžeme určit, že už prodělaly několik stovek cyklů vybití a nabití. Každou baterii byla vybíjena konstantním proudem 20A a pomocí ovládacího softwaru byl změřen čas, po který se baterie vybíjely. Měření bylo vždy ukončeno, jakmile napětí baterie dosáhlo

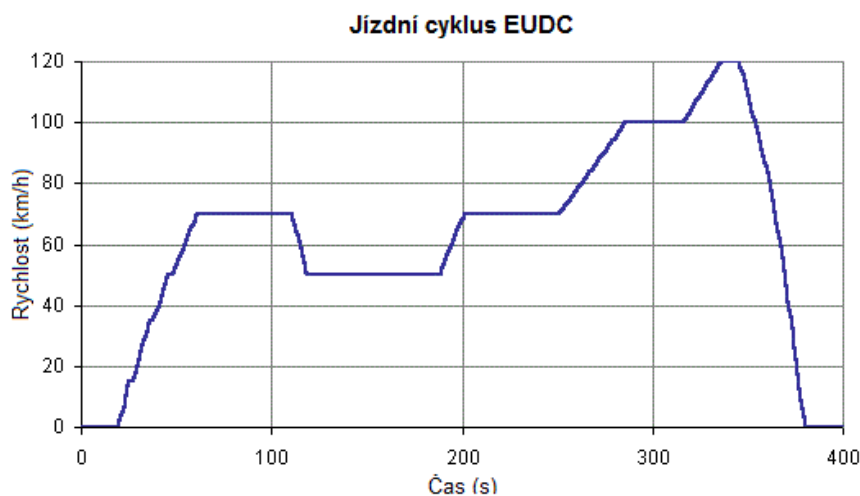
hodnoty 2,5V. Výsledný čas byl přepočten na hodiny a zapsán do tabulky. Výsledné kapacity byly dopočteny podle vztahu 2.

8.5 Zatížení baterie v běžném provozu

Tento test se zabývá zatížením baterií v městském provozu. K simulaci městského provozu využijeme takzvané jízdny cykly. Jízdní cyklus má standardizovaný tvar. Mezi evropské jízdny cykly patří ECE a EUDC. Tyto testy se používají pro emisní certifikaci vozidel. Měření probíhá na dynamometru. Celý cyklus je tvořen čtyřmi městskými cykly ECE-15, které se bez přerušení opakují, a následně jedním EUDC (Extra Urban Driving Cycle) cyklem. Cyklus ECE-15 známý také jako UDC (Urban Driving Cycle) simuluje typický městský provoz automobilu. Vyznačuje se nízkými rychlostmi a zatížením motoru. EUDC test je zaměřen na mimoměstský provoz. Je charakterizován vyššími rychlostmi, zrychlením a nedochází k častému zastavení vozidla. [GFEI, 2008]



Obr. 35 Jízdní cyklus ECE-15 [GFEI, 2008]



Obr. 36 Jízdní cyklus EUDC [GFEI, 2008]

Tab. 8 Parametry testů ECE-15 a EUDC [DieselNet, 2008]

Parametr	Jednotky	ECE-15	EUDC
Dráha	km	52 4·1,013=4,0	6,955
Doba trvání	s	4·195=780	400
Průměrná rychlost	km/h	18,7	62,6
Maximální rychlost	km/h	50	120

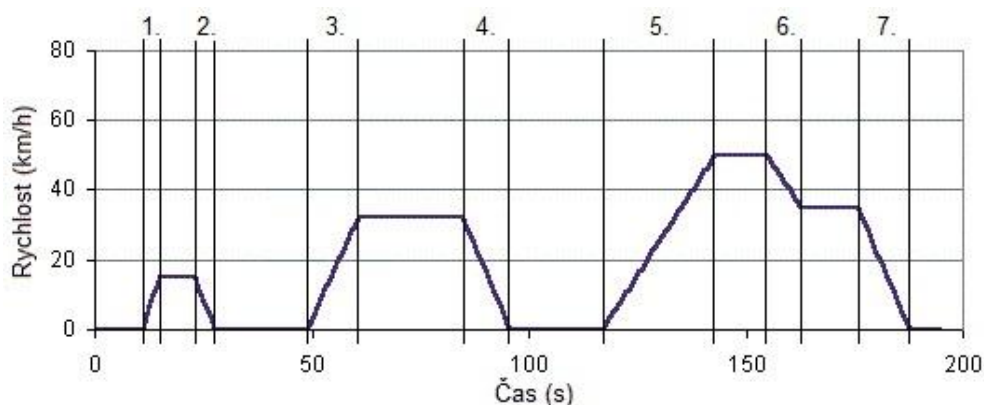
Návrh metodiky zatížení v městském provozu

Pro náš test použijeme graf ECE15. Tento pohyb je charakteristický svým konstantním zrychlením. Vozidlo se bude pohybovat rovnoměrně zrychleným pohybem. V případě zrychlování vozidla bude nutné dodávat elektromotoru vysoký proud. Při snižování rychlosti bude naopak docházet k takzvanému regeneračnímu dobíjení, které bude nabíjet akumulátor. Vliv pasivních odporů jako jsou valivý odpor pneumatik, aerodynamika, spotřeba elektrické energie spotřebičů vozidla tento test zanedbává.

Postup řešení:

1. Nejprve si v grafu vyznačíme úseky, ve kterých dochází ke zrychlení a zpomalení. S těmito úseky budeme pracovat. Například úsek číslo 5. zaměřili jsme se na zrychlování vozidla z rychlosti v_1 v čase t_1 na rychlost v_2 v čase t_2 . Z těchto hodnot určíme zrychlení vozidla.

$$a = \frac{(v_2 - v_1)}{(t_2 - t_1)} [m \cdot s^{-2}; m \cdot s^{-1}, m \cdot s^{-1}, s, s] \quad (3)$$



Obr. 37 Upravený graf cyklu ECE-15

2. Podle prvního Newtonova zákona určíme velikost síly, kterou se vozidlo pohybuje.

$$F = a \cdot m \text{ [N; } m \cdot s^{-2}, kg] \quad (4)$$

3. Určíme vztah pro mechanickou práci.

$$W_M = F \cdot s \text{ [J; N, m]} \quad (5)$$

4. Určíme vztah pro elektrickou práci.

$$W_E = U \cdot I \cdot (t_2 - t_1) \text{ [J; V, A, s, s]} \quad (6)$$

5. Vycházíme z předpokladu, že mechanická práce se rovná práci elektrické.

$$F \cdot s = U \cdot I \cdot (t_2 - t_1) \quad (7)$$

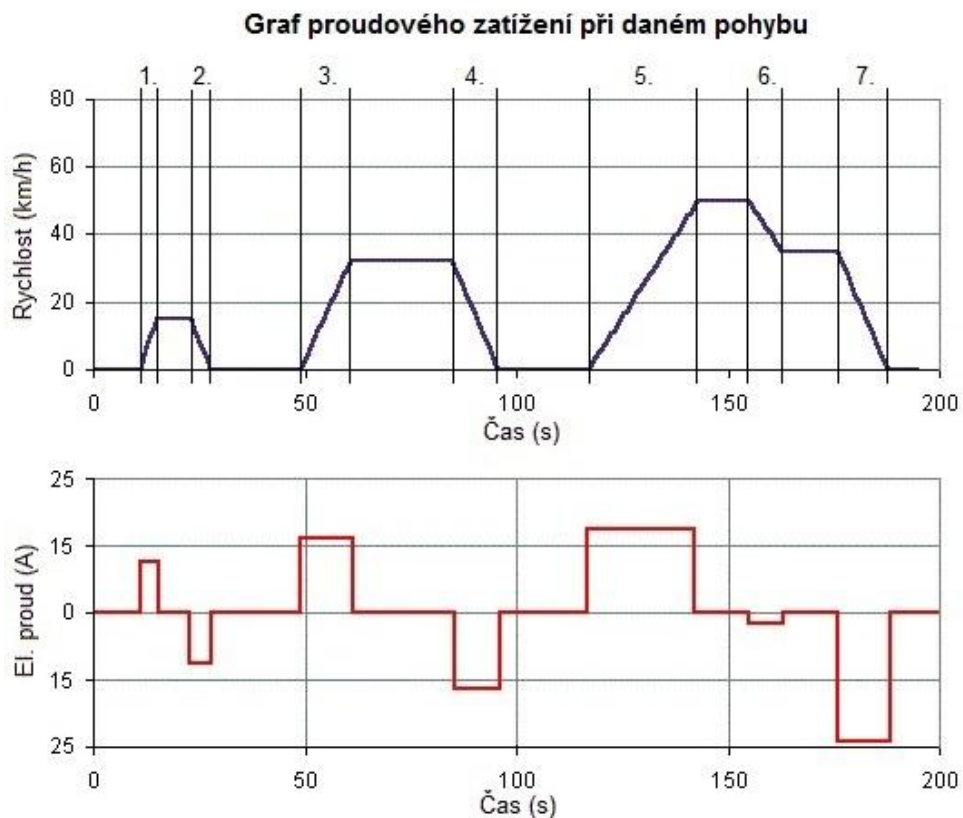
Z rovnice si vyjádříme elektrický proud.

$$I = \frac{F \cdot s}{U \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{F \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot (t_2 - t_1)^2}{U \cdot (t_2 - t_1)} = \frac{F \cdot \frac{1}{2} \cdot a \cdot (t_2 - t_1)}{U} \text{ [A; N, } m \cdot s^{-2}, s, s, V]$$

Z grafu na byly pro jednotlivé úseky odečteny jejich parametry a následně zapsány do tabulky. Zbývající hodnoty byly vypočítány podle uvedeného postupu. Pro vykreslení grafu závislosti elektrického proudu na čase byl použit elektromobil Nissan Leaf s parametry: hmotnost $m=1525$ kg, celkové napětí baterie $U=345$ V.

Tab. 9 Tabulka vypočtených hodnot

Úsek	t_1 [s]	t_2 [s]	v_1 [$m \cdot s^{-1}$]	v_2 [$m \cdot s^{-1}$]	a [$m \cdot s^{-2}$]	s [m]	F [N]	I [A]
1.	10	13,5	0	17	1,35	8,26	2057,54	13,31
2.	25	28,5	17	0	-1,35	-8,26	-2057,54	13,31
3.	49	60	0	33	0,83	50,42	1270,83	15,96
4.	83	94	33	0	-0,83	-50,42	-1270,83	15,96
5.	116	140	0	50	0,58	166,67	882,52	16,79
6.	155	161	50	38	-0,56	-10,00	-847,22	3,87
7.	175	185	38	0	-1,06	-52,78	-1609,72	23,28



Obr. 38 Proudové zatížení baterie při jízdním cyklu ECE-15

V případě použití uvedeného pohybu dochází k zatížení baterie pouze proudem desítek ampér. Je to způsobeno malým zrychlením elektromobilu. Pokud by bylo zrychlení elektromobilu vyšší, došlo by k růstu proudu řádově až ke stovkám ampér. Dalším parametrem, který by měl vliv na průběh proudu je účinnost elektromotoru.

9 ZÁVĚR

V rámci řešení tohoto projektu byl vytvořen systém umožňující řízené vybíjení a nabíjení bateriových článků využívaných v elektromobilech. Pro úspěšné řešení projektu bylo nutné navrhnout a technicky realizovat testovací zařízení a pomocí něj následně provést celou řadu testů baterií.

V týmové spolupráci se zde setkaly odbornosti, jako jsou projektant, elektronik, programátor, konstruktér, testovací technik.

Výstupem je testovací systém umožňující různé typy zkoušek baterií simulující reálný provoz v elektromobilu, včetně testování extrémních teplotních a zátěžových stavů.

10 LITERATURA

VLACH, J. *Počítačová rozhraní, přenos dat a řídicí systémy*. Praha, BEN-technická literatura, 1997, ISBN 80-85940-17-4

HRBÁČEK, J. 1996. *Mikrořadiče PIC16CXX a vývojový kit PICSTART*. Praha BEN – technická literatura, 1996, 142 s. ISBN80-901984-0-6

HRBÁČEK, J. 1997. *Programování mikrokontroléru PIC16CXX*. Praha, BEN – technická literatura, 1997, 111 s. ISBN 80-86056-16-3

HRBÁČEK, J. 1999. *Komunikace mikrokontroléru s okolím – 1. díl*. Praha, BEN – technická literatura, 1999, 159 s. ISBN 80-86056-36-8

HRBÁČEK, J. 2002. *Komunikace mikrokontroléru s okolím –2. díl*. Praha, BEN – technická literatura, 2002, 151 s. ISBN 80-86056-73-2

VACEK, V. 2001. *Učebnice programování PIC*. Praha, BEN – technická literatura, 2001, 144 s. ISBN 80-86056-87-2

Cenek M., *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-86534-03-0.

DieselNet: *Emission Test Cycles*, [online]. 4.8.2001 [cit. 2011-08-12] Dostupné z: http://www.dieselnet.com/standards/cycles/ece_eudc.php

Dow kokam: *Baterie SLPB70460330*, [online]. 14. 12. 2010 [cit. 2012-03-25] Dostupné z: http://www.dowkokam.com/resources/SpecSheet_100Ah.pdf

Calb: *LiFePO₄ cell 100AHA*, [online]. 5. 7. 2009 [cit. 2012-03-25] Dostupné z: <http://en.calb.cn/Product/?id-115.html>

Electroauto: *Elektromobily Toyota*, [online]. 13. 8. 2005 [cit. 2011-10-6] Dostupné z: <http://www.electroauto.cz/elcars1.html>

Elnika: *VRLA (AGM) baterie*, [online]. 2. 11. 2010 [cit. 2012-13-12] Dostupné z: <http://www.elnika.cz/elnika.php?p=cze/akumulatory-specifikace>

Evtalk: *New Electric Smart Car on the way*, [online]. 27. 9. 2010 [cit. 2012-01-10] Dostupné z: <http://www.evtalk.org/255/new-electric-smart-car-on-the-way/>

Global fuel economy initiative: *European Test Cycles*, [online]. 4. 6. 2008 [cit. 2011-08-12] Dostupné z:

http://www.unep.org/transport/gfei/autotool/approaches/information/test_cycles.asp

Hipower: *Performance test LiFePO₄ battery*, [online]. 18. 1. 2011 [cit. 2011-10-22] Dostupné z: <http://www.hipowergroup.com/2010/1019/1.html>

Hipower: *Baterie HP-PW-100AH*, [online]. 1. 5. 2010 [cit. 2012-04-10] Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/45078745/Specification-of-100Ah-Single-Cells>

Hlavinka S., *Nabíjecí články a baterie*, [online]. 30. 4. 2011 [cit. 2011-10-11] Dostupné z: <http://skyfly.cz/pristroj/baterky02.htm>

Kincl Z., *Akumulátory v praxi*, [online]. 28. 4. 2009 [cit. 2011-12-23] Dostupné z: <http://www.prcek.ic.cz/stranky/index.php?id=15>

Krátký F., *Baterie v elektromobilech*, [online]. 22. 6. 2010 [cit. 2011-10-12] Dostupné z: elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech

Vegr J., *Elektromobily - historie a současnost*, [online]. 1. 3. 2008 [cit. 2012-01-20] Dostupné z: <http://www.pro-energy.cz/clanky7/3.pdf>

Winston: *Baterie TS-LFP100AHA*, [online]. 1. 1. 2007 [cit. 2011-11-20] Dostupné z: <http://www.everspring.net/TS-LFP100AHA.pdf>