

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Monitorování stavu akumulátorů

Battery Status Monitoring

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Gela**
Studijní program: N2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2612T015 Elektronika
Téma: **Monitorování stavu akumulátorů**
Battery Status Monitoring

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte důvody pro monitoring baterií a způsoby, jakými se provádí
2. Navrhněte jednotku pro monitorování stavu jednotlivých článků akumulátorové baterie
3. Zapojení realizujte a ověřte jeho činnost

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího závěrečné práce

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Tomáš Pavelek, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011

Datum odevzdání: 04.05.2012



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

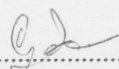
Poděkování

Tímto chci poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Tomáši Pavelkovi, Ph.D. za cenné rady a podnětné připomínky.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě. 4.5. 2012


.....
Michal Gela

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá monitorováním stavu akumulátorových baterií. V první části práce je uvedeno stručné rozdělení elektrochemických zdrojů proudu. Dále jsou zde popsány základní vlastnosti a princip olověných akumulátorů a je zde uveden rozbor jejich provozních závad jako je přebíjení, neúplné nabíjení, hluboké vybíjení, sulfatace a vliv vysokých a nízkých pracovních teplot. Dále jsou zde uvedeny důvody pro monitoring akumulátorů a způsoby, jakými se provádí. Praktická část práce se týká návrhu a realizace jednotky pro monitorování stavu jednotlivých článků akumulátorové baterie.

Klíčová slova

Akumulátor, baterie, monitorování, elektrochemický zdroj proudu, primární článek, sekundární článek, staniční baterie, trakční baterie.

Abstract

The topic of this master thesis is monitoring the state of accumulator batteries. First part of this thesis is a brief breakdown of electrochemical power sources. Additionally, there are basic principles and properties of lead-acid batteries and an analysis of operational failures, such as overcharging, incomplete charge, deep discharge, sulphation and impact of high and low operating temperatures is included. There are also described the reasons for monitoring the battery and the way it's being performed. The practical part concerns the design and implementation of unit for monitoring the status of each cell of accumulator batteries.

Key words

Accumulator, battery, monitoring, electrochemical power source, primary cell, secondary cell, station battery, traction battery

Seznam použitých symbolů a zkratek

μC		Mikrokontrolér
A	[-]	Zesílení
A/D		Analogově digitální
C		Kondenzátor
C	[A·h]	Kapacita akumulátoru
C	[F]	Elektrická kapacita
ČL		Článek baterie
D		Dioda
DC		Direct Current (stejnoseměrný proud)
DP		Dolní propust
DPS		Deska plošných spojů
F		Fuse (pojistka)
GND		Ground (elektrická zem)
H ₂ O		Voda
H ₂ SO ₄		Kyselina sírová
CHL		Chladič
I/O		Input/Output (vstup/výstup)
I ² C (IIC)		Inter Integrated Circuit Bus (meziobvodová sběrnice)
I_{nab}	[A]	Nabíjecí proud
IO		Integrovaný obvod
I_{vyb}	[A]	Vybíjecí proud
JUM		Jumper (zkratovací propojka)
KOH		Hydroxid draselný
KON		Konektor
LabVIEW		Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench (Virtuální instrumentace laboratorní techniky Workbench)
LCL		Long CLock line (dlouhá hodinová linka)
LDA		Long DAta line (dlouhá datová linka)
LED		Light-Emitting Diode (světlo vyzařující dioda)
MUX		Multiplexer
NiCd		Nikl-kadmiový akumulátor
OZ		Operační zesilovač
Pb		Olovo
PbO ₂		Oxid olovičitý
PbSO ₄		Síran olovnatý
PC		Personal Computer (osobní počítač)
Q		Krystal
Q_{nab}	[A·h]	Elektrický náboj dodaný akumulátoru nabíjením
Q_{vyb}	[A·h]	Elektrický náboj uvolněný akumulátorem při vybíjení
R		Rezistor

R	[Ω]	Elektrický odpor
R_i	[Ω]	Vnitřní odpor akumulátoru
RXD		Receive Data (příjem dat)
SCL		Serial CLock line (sériová hodinová linka)
SDA		Serial DAta line (sériová datová linka)
SMD		Surface Mounted Device (Součástka pro povrchovou montáž)
SO_4^{2-}		Síranový anion
STP		Shielded Twisted Pair (stíněná kroucená dvoulinka)
TL		Tlačítko
TWI		Two Wire Serial Interface (dvoudrátové sériové rozhraní)
TXD		Transmit Data (vysílání dat)
U_0	[V]	Napětí akumulátoru naprázdno
UART		Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (univerzální asynchronní přijímač a vysílač)
U_{BAT8}	[V]	Napětí na kladné svorce 8. článku vůči napětí U_{BAT0}
$U_{\epsilon II}$	[V]	Napětí na 1. článku
U_{IDmax}	[V]	Maximální vstupní diferenční napětí
U_N	[V]	Jmenovité napětí akumulátoru
U_{nab}	[V]	Nabíjecí napětí
$U_{nab,s}$	[V]	Střední napětí při nabíjení
UPS		Uninterruptible Power Supply (nepřerušitelný zdroj napájení)
USART		Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter (univerzální synchronní/asynchronní přijímač a vysílač)
USB		Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
UTP		Unshielded Twisted Pair (nestíněná kroucená dvoulinka)
U_{vyb}	[V]	Vybíjecí napětí
$U_{vyb,s}$	[V]	Střední napětí při vybíjení
Δ_a		Absolutní chyba
δ_r		Relativní chyba
η_{Ah}	[%]	Proudová účinnost
η_{Wh}	[%]	Energetická účinnost
ρ		Hustota elektrolytu
τ	[s]	Časová konstanta

Obsah

1. ÚVOD.....	9
2. DĚLENÍ CHEMICKÝCH ZDROJŮ PROUDU	10
2.1 DĚLENÍ PODLE PRINCIPU	10
2.1.1 Primární články.....	10
2.1.2 Sekundární články	10
2.1.3 Palivové články	10
2.2 DĚLENÍ PODLE HLAVNÍHO POUŽITÍ	10
2.3 DĚLENÍ PODLE POUŽITÉHO ELEKTROLYTU	12
3. OLOVĚNÉ (KYSELÉ) AKUMULÁTORY	13
3.1 ZÁKLADNÍ PRINCIP.....	13
3.2 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI	14
3.2.1 Napětí olověného akumulátoru	14
3.2.2 Kapacita olověného akumulátoru	16
3.2.3 Účinnost olověných akumulátorů.....	16
3.3 PROVOZNÍ ZÁVADY OLOVĚNÝCH AKUMULÁTORŮ.....	17
3.3.1 Zkrácení životnosti olověných akumulátorů.....	17
3.3.2 Nabíjení velkými proudy.....	17
3.3.3 Nadměrné nabíjení (přebíjení)	18
3.3.4 Neúplné nabíjení	18
3.3.5 Hluboké vybití	18
3.3.6 Vysoké samovybíjení.....	19
3.3.7 Sulfatace.....	20
3.3.8 Vliv teploty.....	20
3.3.9 Přepólování akumulátorů.....	22
4. MONITOROVÁNÍ AKUMULÁTOROVÝCH BATERIÍ	23
4.1 DŮVODY PRO MONITOROVÁNÍ	23
4.2 MONITOROVANÉ VELIČINY	23
4.3 ZPŮSOBY MONITOROVÁNÍ.....	24
4.3.1 Stanovení kapacity akumulátoru	24
4.3.2 Komplexní monitorovací systém.....	26
5. JEDNOTKA PRO MONITOROVÁNÍ STAVU AKUMULÁTOROVÉ BATERIE	27
5.1 KOMUNIKACE.....	27

5.1.1	USB.....	27
5.1.2	USART.....	27
5.1.3	I ² C.....	28
5.2	STRUČNÝ POPIS POUŽITÝCH IO.....	29
5.2.1	FT232RL.....	29
5.2.2	ADuM1250.....	29
5.2.3	ATmega168 / ATmega328.....	30
5.2.4	P82B96.....	31
5.2.5	LM35.....	32
5.3	BLOKOVÉ SCHÉMA JEDNOTKY.....	33
5.4	KOMUNIKAČNÍ DESKA.....	34
5.4.1	Napájecí zdroj.....	35
5.4.2	Převodník USB/UART.....	36
5.4.3	Mikrokontrolér ATmega328.....	36
5.4.4	Posilovač I ² C sběrnice.....	37
5.5	MĚŘICÍ DESKA.....	39
5.5.1	Napájecí zdroj.....	40
5.5.2	Mikrokontrolér ATmega168.....	41
5.5.3	Měření napětí.....	42
5.5.4	Měření teploty.....	43
5.5.5	Galvanické oddělení I ² C sběrnice.....	45
5.5.6	Posilovač I ² C sběrnice.....	46
5.6	PROGRAMOVÉ VYBAVENÍ JEDNOTKY.....	47
5.7	REALIZACE JEDNOTKY.....	47
5.8	UŽIVATELSKÉ ROZHRAŇÍ V LABVIEW.....	48
5.9	OVĚŘENÍ PŘESNOSTI MĚŘENÍ.....	48
6.	ZÁVĚR.....	51
7.	POUŽITÁ LITERATURA.....	52
8.	SEZNAM PŘÍLOH.....	54

1. Úvod

Elektrochemické zdroje proudu ať už primární, nebo sekundární jsou používány jako zdroje elektrické energie v různých zařízeních např. v notebookech, mobilních telefonech, počítačích, UPS, elektromobilech, atd. Na stavu těchto zdrojů proudu zásadně závisí bezporuchový a hlavně bezpečný provoz důležitých strojů a systémů ve všech oblastech, které vyžadují nepřetržitou dodávku elektrické energie. Je tedy nutné vědět, v jakém stavu je akumulátor a je-li schopen dodávat potřebné množství elektrické energie po požadovanou dobu. Z tohoto důvodu je nutné použít monitorovací zařízení ke sledování stavu akumulátorů, k informování obsluhy o stavu a režimu činnosti zařízení, k řízení činnosti systémů využívajících akumulátorové baterie s cílem optimalizovat provoz zařízení, zvýšit komfort obsluhy, zjednodušit údržbu a prodloužit životnost akumulátorových baterií.

Druhá kapitola, která následuje po úvodu, je věnována stručnému rozdělení elektrochemických zdrojů proudu. Hlavní dělení zdrojů proudu je podle principu na primární články, sekundární články (akumulátory) a palivové články. Další důležité dělení je podle hlavního použití na průmyslové, staniční, trakční, startovací a přístrojové baterie. Měřicí jednotka, která je navržena jako součást této práce, je určena pro měření olověných staničních akumulátorových baterií, a z tohoto důvodu je další rozbor soustředěn převážně na ně.

Třetí kapitola je tedy věnována olověným akumulátorům. Tento typ akumulátorů je nejpoužívanějším sekundárním elektrochemickým zdrojem proudu. V této kapitole je popsán základní princip a základní vlastnosti olověných akumulátorů. Dále je zde uveden rozbor jejich provozních závad, jako je přebíjení, neúplné nabíjení, hluboké vybíjení, sulfatace a vliv vysokých a nízkých pracovních teplot. Tyto provozní závady zhoršují vlastnosti akumulátorů a značně snižují jejich životnost. Většinu těchto závad lze předcházet správnou obsluhou akumulátorů a monitorováním jejich stavu.

Ve čtvrté kapitole jsou popsány důvody pro monitorování akumulátorových baterií, dále je zde uvedeno, které veličiny by mělo monitorovací zařízení umět měřit, zaznamenávat a předávat dalším zařízením k zobrazení nebo následnému zpracování. Jsou zde také uvedeny některé způsoby monitorování stavu akumulátorových baterií.

Pátá kapitola je věnována praktické části práce. V první části této kapitoly je uveden stručný rozbor použitých technologií pro lepší pochopení následujícího rozboru navržené monitorovací jednotky. Druhá část této kapitoly je tedy věnována návrhu a realizaci monitorovací jednotky. Toto zařízení je navrženo modulárně, což umožňuje jeho jednoduché rozšiřování. Jednotka je tvořena komunikační deskou, která slouží pro komunikaci mezi PC a jednotlivými měřicími deskami. Na PC je vytvořeno uživatelské rozhraní pomocí grafického programovacího jazyku LabVIEW. Měřicí desky jsou připojeny ke komunikační desce pomocí I²C sběrnice. Každá měřicí deska měří napětí a teplotu příslušných osmi článků akumulátorové baterie, a proto musí být galvanicky odděleny.

2. Dělení chemických zdrojů proudu

2.1 Dělení podle principu

Elektrochemické zdroje proudu je možné podle principu rozdělit do tří skupin. Primární články, sekundární články (akumulátory) a palivové články. [1]

2.1.1 Primární články

Tyto články mají omezené množství reaktantů. Když se tyto vybíjením spotřebují, nelze je nabíjením elektrickým proudem převést zpět v původní reaktanty. Tyto články lze tedy vybit pouze jednou. [1]

2.1.2 Sekundární články

Sekundární články mají stejně jako primární omezené množství reaktantů. Tyto články lze však vybit vícekrát, jelikož je možné reakční produkty vzniklé vybíjením článku znovu převést vnějším elektrickým proudem na původní aktivní reaktanty. Tato elektrická energie se v článku akumuluje ve formě chemické energie. Z tohoto důvodu se sekundární články označují jako akumulátory. Napětí těchto článků je malé (1,2 až 2V), a je tedy nutné z článků sestavit akumulátorové baterie. Tyto akumulátory se podle použitého elektrolytu dělí na kyselé (olověné), alkalické a akumulátory s nevodnými, tuhými nebo roztavenými elektrolyty. [1]

2.1.3 Palivové články

V těchto člancích probíhá tzv. studené spalování paliva za tvorby elektrického proudu. Tyto články se pouze „vybíjejí“ a fungují, je-li zajištěn přívod paliva a oksličovadla do článku. Palivo i oksličovadlo jsou kontinuálně přiváděny k elektrodám a reakční zplodiny jsou kontinuálně z článku odváděny. Jako palivo se používá např. vodík, amoniak, zemní plyn, metan, metanol, etanol, atd. Napětí těchto článků je opět malé (asi 1V), je tedy nutné z článků sestavovat baterie, které se nazývají elektrochemický generátor. [1]

2.2 Dělení podle hlavního použití

Průmyslové baterie

Dělíme je na staniční akumulátory, které mají kapacity článků řádově od desítek do deseti tisíc ampérhodin, a trakční, s kapacitami článků řádově od desítek (malá trakce) do tisíce ampérhodin (velká trakce). [1]

Staniční baterie

Tyto baterie jsou trvale dobíjeny a slouží k zajištění nepřerušeno napájení elektrickou energií v případech výpadku napětí z rozvodné sítě v energetice, telekomunikacích, v železniční dopravě, v metru, operačních sálech nemocnic, divadlech, kinech, bankách, v systémech výpočetní techniky a všude, kde by přerušení dodávky mohlo způsobit havárie, ekonomické ztráty nebo ohrožení životů. Z těchto důvodů je u staničních baterií požadována vysoká provozní spolehlivost a dlouhá životnost v provozu trvalého dobíjení. Staniční akumulátory prodělávají během své životnosti jen malý počet cyklů, proto se jejich životnost udává v rocích provozu. [1]



Obr. 1 Staniční akumulátorová baterie [13]

Trakční (dopravní) baterie

Tyto baterie se používají jako zdroj elektrické energie k pohonu elektrických pohonů dopravních prostředků, např. u elektromobilů, elektrobusů, invalidních vozíků, golfových vozíků, čistících strojů, manipulačních vozíků tažných, plošinových, zvedacích, důlních, elektrických skútrů, elektrických člunů apod. Trakční baterie pracují v cyklickém provozu nabíjení - vybíjení, a proto se jejich životnost udává v počtu cyklů nabití-vybití. [1] Nahromaděná energie se z těchto baterií odčerpává pomalu, většinou až do plného vybití. Těmto bateriím neprospívá krátký velký odběr proudu.

Startovací baterie

Tyto baterie slouží jako zdroj elektrické energie ke startování spalovacích motorů vozidel, lodí, letadel, dieselagregátů, atd. Z toho vyplývá, že jsou krátce vybíjeny vysokými proudy, které vybijí pouze část jejich kapacity, a dále jsou po dobu běhu motoru nabíjeny tak, aby byly udržovány téměř v nabitěm stavu. [1] Na rozdíl od trakční baterie startovací baterii delší a opakované vybíjení škodí.

Přístrojové baterie

Tyto baterie jsou používány jako jediný zdroj elektrické energie v různých mobilních zařízeních, jako jsou mobilní telefony, měřicí přístroje, fotoaparáty, notebooky, kapesní svítilny, hračky a modely s elektrickým pohonem, MP3 přehrávače, elektrické ruční nářadí apod. Používají se zde primární nebo sekundární (akumulátorové) články. Přístrojové baterie se nejčastěji zatěžují přerušovaně až do plného vybití. [1]

2.3 Dělení podle použitého elektrolytu

- **kyselé elektrolyty** (H_2SO_4) - používají se hlavně v olovených akumulátorech
- **alkalické elektrolyty** (KOH) - používají se např. v akumulátorech Ni-Cd
- **neutrální elektrolyty** např. primární hořčíkové články aktivované vodou s obsahem chloridů nebo články voda-lithium
- **nevodné elektrolyty** - např. oxid siřičitý nebo amoniak
- **taveniny solí**
- **tuhé elektrolyty**

Nejpoužívanější elektrolyty jsou dosud vodné, ale jejich nevýhodou je vývoj plynů kyslíku a vodíku následkem elektrolýzy vody v elektrolytu. [1]

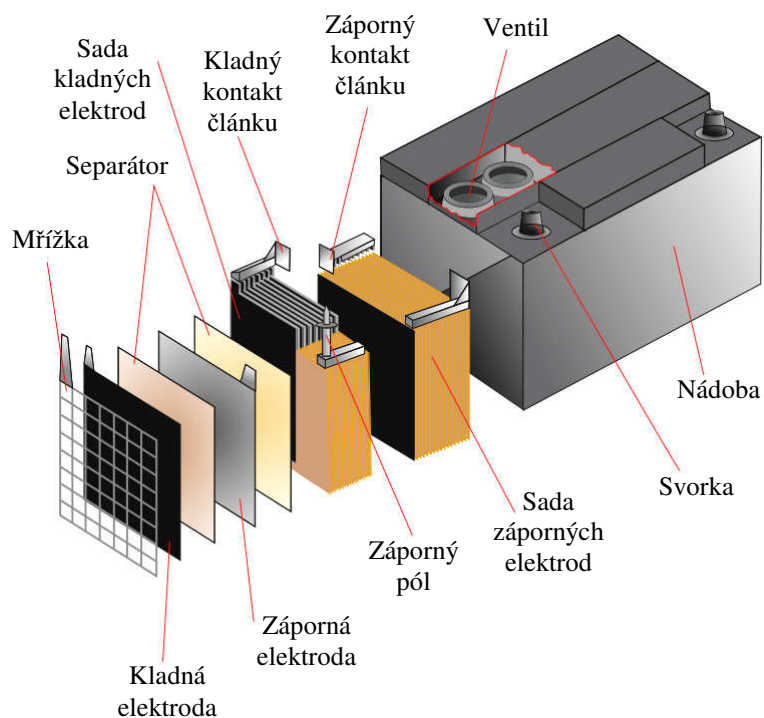
Měřicí jednotka navrhovaná v této práci je určena pro měření olovených staničních akumulátorových baterií, proto bude další rozbor soustředěn převážně na ně.

3. Olověné (kyselé) akumulátory

Tyto akumulátory jsou nejpoužívanějším sekundárním elektrochemickým zdrojem proudu, jelikož je u nich dobře zvládnuta technologie výroby, mají relativně nízkou pořizovací cenu, dobrou provozní spolehlivost a účinnost a dostatečný výkon. Vyrábí se s kapacitami řádově 1 až 10000 A·h. [1]

3.1 Základní princip

Základní princip olověného akumulátoru spočívá ve dvou elektrodách ponořených do elektrolytu. Tyto elektrody vytvářejí na pólech článku elektrické napětí. Tyto prvky dohromady vytvářejí elektrochemický článek. Elektrický proud vzniká jako produkt chemické reakce mezi elektrodami a elektrolytem. Hmoty, které tvoří elektrody nabitého akumulátoru a vstupují do chemických reakcí při vybíjení, se nazývají aktivní hmoty. Aktivní hmota elektrod je zalisována do mechanicky pevnějších mřížek, které tvoří její nosič. [17] Aby bylo možné získat širší kapacitní řady akumulátorů, spojují se kladné elektrody paralelně v sady kladných elektrod a záporné elektrody v sady záporných elektrod, jak je vidět na *Obr. 2*. Počet elektrod v sadě vynásoben kapacitou jedné elektrody pak udává kapacitu akumulátoru. Počet elektrod v sadě nemá vliv na jmenovité napětí akumulátoru. [1]



Obr. 2 Olověný akumulátor [15]

Elektrolyt

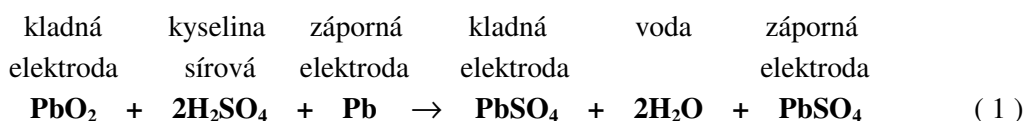
Elektrolytem u těchto akumulátorů je vodou zředěná kyselina sírová (H_2SO_4), která disocijuje na síranové ionty se záporným elektrickým nábojem a vodíkové ionty s kladným elektrickým nábojem. Ionty rozštěpené kyseliny sírové při vybíjení reagují s aktivními materiály elektrod. [1]

Záporné elektrody

Aktivní hmotu záporných elektrod tvoří porézní (houbovitě) olovo, které při vybíjení uvolňuje elektrony a reaguje se zápornými ionty kyseliny sírové (oxidují), přičemž vzniká síran (sulfát) olovnatý (PbSO_4). [1]

Kladné elektrody

Aktivní hmotu kladných elektrod tvoří oxid olovičitý (PbO_2) v modifikacích α a β . Elektrony uvolněné zápornými elektrodami při vybíjení putují vnějším elektrickým obvodem ke kladným elektrodám a současně se oxid olovičitý redukuje, přičemž vzniká síran olovnatý a voda. [1]

Celková reakce probíhající v olověném akumulátoru

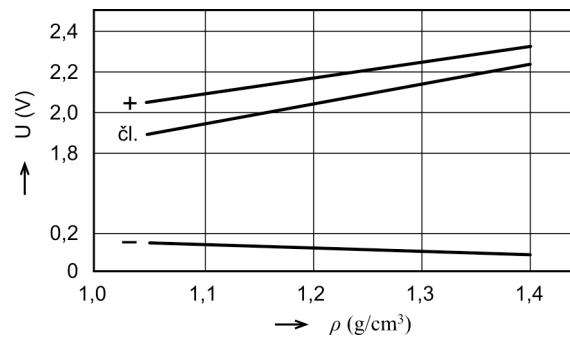
Předcházející zjednodušená chemická rovnice uvádí reakci probíhající v olověném akumulátoru při vybíjení. Při nabíjení probíhají reakce v obráceném sledu. [1]

3.2 Základní vlastnosti**3.2.1 Napětí olověného akumulátoru****Napětí naprázdno**

Napětí akumulátoru naprázdno (není vybíjen ani nabíjen) je dáno rozdílem potenciálu kladných a záporných elektrod, které jsou ponořeny do elektrolytu. Na Obr. 3 je patrný vliv hustoty elektrolytu na napětí akumulátoru. Hodnotu napětí naprázdno lze zjednodušeně vypočítat podle následujícího vzorce: [3]

$$U_0 = 0,84 + \rho, \quad (2)$$

kde ρ (g/cm^3) je hustota elektrolytu při teplotě $+20^\circ\text{C}$. [3]



Obr. 3 Vliv hustoty elektrolytu na napětí akumulátoru a potenciál kladných a záporných elektrod [3]

Závislost napětí akumulátoru na teplotě je téměř lineární v rozsahu teplot +10 až +70 °C. Tato závislost je vyjádřena teplotním součinitelem 2,6mV/°C (při vyšší teplotě je napětí vyšší). [1], [3]

Jmenovité napětí

Jmenovité napětí olověného článku U_N je zaokrouhleně 2,00V. Při sériovém spojení článků stačí pro zjištění jmenovitého napětí baterie vynásobit jmenovité napětí článku počtem článků baterie. [1]

Vybíjecí napětí

Vybíjecí napětí akumulátoru U_{vyb} je nižší než napětí naprázdno, a to hlavně kvůli tomu, že dochází k úbytku napětí na vnitřním odporu vlivem procházejícího proudu. Toto lze matematicky vyjádřit:

$$U_{vyb} = U_0 - I_{vyb} \cdot R_i \quad (\text{V; V; A; } \Omega) \quad (3)$$

Konečné vybíjecí napětí - je to předepsaná hodnota napětí, při které je vybíjení považováno za ukončené.

Nabíjecí napětí

Nabíjecí napětí akumulátoru U_{nab} je vyšší než napětí naprázdno, a to ze stejného důvodu jako u vybíjecího napětí. Nabíjecí napětí lze opět vyjádřit matematickým vztahem:

$$U_{nab} = U_0 + I_{nab} \cdot R_i \quad (\text{V; V; A; } \Omega) \quad (4)$$

Plynovací napětí - při tomto napětí začíná olověný akumulátor intenzivně plynovat následkem elektrolýzy vody v elektrolytu, při čemž vzniká vodík a kyslík. Jeho hodnota je 2,4V a při dalším nárůstu napětí se elektrolýza vody dále výrazně zvyšuje. [1]

Konečné nabíjecí napětí - tohoto napětí akumulátor dosáhne po plném nabití na konci nabíjení. Jeho hodnota se při nabíjení konstantním proudem již nemění. Velikost tohoto napětí se pohybuje v rozmezí 2,4 až 2,8V podle vnitřního odporu akumulátoru, teploty a velikosti nabíjecího proudu. Překročení tohoto napětí vede ke snížení kapacity a zkrácení životnosti akumulátorů. [1]

3.2.2 Kapacita olověného akumulátoru

Kapacita olověného akumulátoru je jeho schopnost dodat určité množství elektrické energie v požadované době do poklesu napětí na nejnižší přípustnou hodnotu a udává se v ampérhodinách (A·h). Teoretická kapacita je vždy větší než využitelná a navíc se část náboje ponechává v akumulátoru, aby se předešlo zkrácení životnosti z důvodu hlubokého vybíjení. Největší vliv na kapacitu akumulátoru má teplota a velikost vybíjecích proudů. [1]

3.2.3 Účinnost olověných akumulátorů

Účinnost udává, jak efektivně je možné elektrickou energii akumulovat a následně vydávat. Účinnost klesá se zvyšováním nabíjecího a vybíjecího proudu, s poklesem teplot a stárnutím akumulátoru. [1]

Ampérhodinová (proudová) účinnost

Proudová účinnost je poměr náboje odebraného při vybíjení k velikosti náboje, který je potřebný k obnovení počátečního stavu nabití.

$$\eta_{Ah} = \frac{Q_{vyb}}{Q_{nab}} \cdot 100 \quad (\% ; A \cdot h ; A \cdot h ;) \quad (5)$$

Watthodinová (energetická) účinnost

Energetická účinnost je poměr energie získané vybíjením, k energii dodané akumulátoru nabíjením.

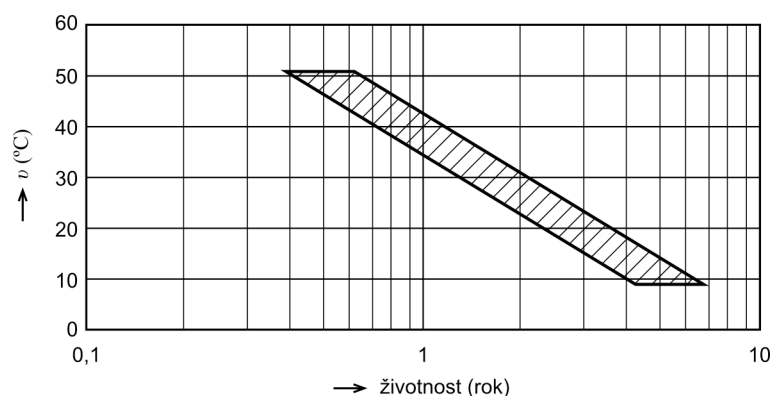
$$\eta_{Wh} = \frac{Q_{vyb} \cdot U_{vyb,s}}{Q_{nab} \cdot U_{nab,s}} \cdot 100, \quad (\% ; A \cdot h ; V ; A \cdot h ; V) \quad (6)$$

kde: Q_{vyb} (A·h) - elektrický náboj uvolněný akumulátorem při vybíjení
 $U_{vyb,s}$ (V) - střední napětí při vybíjení
 Q_{nab} (A·h) - elektrický náboj dodaný akumulátoru nabíjením
 $U_{nab,s}$ (V) - střední napětí při nabíjení [1]

3.3 Provozní závady olověných akumulátorů

3.3.1 Zkrácení životnosti olověných akumulátorů

Životnost akumulátorů závisí nejen na konstrukci, ale i na podmínkách provozu. Pro možnost srovnání životnosti různých typů akumulátorů ji výrobci uvádějí za určitých jmenovitých podmínek. Životnost se uvádí podle druhu provozu. U startovacích akumulátorů se uvádí počtem startů, počtem tzv. motohodin nebo ujetých kilometrů. U trakčních akumulátorů se uvádí počtem cyklů nabití-vybití a u staničních akumulátorů počtem roků při provozu trvalého dobíjení na konstantní napětí. Za konec životnosti akumulátorů se podle náročnosti považuje např. u staničních akumulátorů pokles kapacity pod 80 % C_N (A·h), u ostatních pod 70 - 50 % C_N (A·h). Zkrácení životnosti v provozu nastává např. z těchto důvodů: zatěžování velkými nabíjecími a vybíjecími proudy, přebíjení, hluboké vybití, vysoká teplota, velká hustota elektrolytu, použití elektrolytu nebo vody nesprávné čistoty, nesprávná výška hladiny elektrolytu, zkraty, nárazy, otřesy apod. [2] U akumulátorů provozovaných v cyklickém režimu závisí doba životnosti hlavně na hloubce vybití v každém cyklu. Při provozování akumulátorů v režimu trvalého dobíjení na konstantní napětí mají vliv na životnost hlavně provozní teplota (Obr. 4) a počet a hloubka nadměrného vybití. [21]



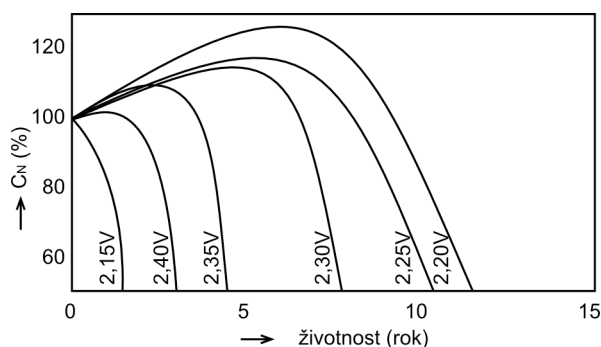
Obr. 4 Příklad vlivu teploty na životnost akumulátoru v provozu trvalého dobíjení [21]

3.3.2 Nabíjení velkými proudy

Nabíjení velkými proudy má za následek zvýšenou elektrolyzu vody v elektrolytu, vzestup teploty elektrolytu a zrychlení nežádoucích chemických reakcí zkracujících životnost akumulátorů. Dále nabíjení velkými proudy poškozuje povrchové vrstvy aktivní hmoty kladných elektrod přebíjením. [2]

3.3.3 Nadměrné nabíjení (přebíjení)

V cyklickém režimu se přebíjením rozumí nabíjení akumulátoru po dosažení znaku plného nabití. Při provozování akumulátoru v režimu trvalého dobíjení dochází k přebíjení, jestliže se dodává akumulátorům více elektrické energie, než je potřeba pro krytí ztrát jejich samovybíjením. K tomuto dochází například, je-li nastaveno vyšší konstantní napětí, než odpovídá příslušnému typu akumulátoru a provozní teplotě. Přebíjení zkracuje životnost akumulátoru, jak je vidět na *Obr. 5*. [2]



Obr. 5 Příklad vlivu konstantního napětí trvalého dobíjení na kapacitu a životnost staničních akumulátorů [1]

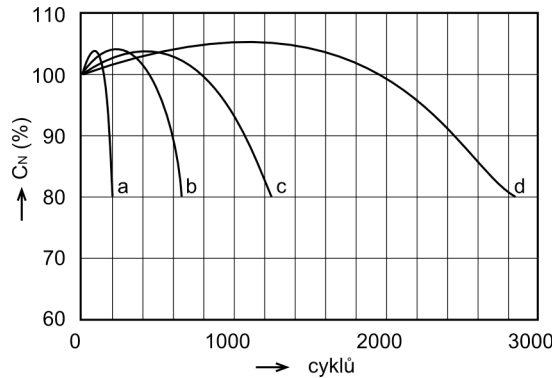
3.3.4 Neúplné nabíjení

Neúplné nabíjení znamená, že bylo nabíjení ukončeno dříve, než bylo dosaženo znaků plného nabití akumulátorů. Pokud v cyklickém provozu následuje po neúplném nabití úplné nabití, nedochází k jejich poškození. Vlivem opakovaného neúplného nabíjení vzniká poškození aktivních hmot elektrod nevratnou sulfatací. Toto může být ještě zesíleno, dochází-li i k hlubokému vybití akumulátorů. Při provozu akumulátorů v režimu trvalého dobíjení na konstantní napětí dochází k pozvolné ztrátě elektrického náboje, je-li konstantní napětí nižší, než postačuje ke krytí ztrát samovolným vybitím akumulátorů, jak je vidět na *Obr. 5*. [2]

3.3.5 Hluboké vybití

K hlubokému vybití dochází vybíjením akumulátorů pod konečné vybíjecí napětí stanovené pro příslušný vybíjecí proud výrobcem akumulátoru. Projevem hlubokého vybití je malá hustota elektrolytu, která je způsobena úbytkem iontů SO_4^{2-} z elektrolytu následkem jejich reakce s aktivními hmotami elektrod. Nastává-li hluboké vybití opakovaně, dochází k postupnému rozpínání elektrod následkem většího objemu vznikajícího síranu olovnatého PbSO_4 v aktivních hmotách a korozních produktů mezi krystaly kovu v elektrodových kolektorech. Rozpínající se aktivní hmota ztrácí kontakt s mřížkami elektrod, mřížky praskají, klesá kapacita, startovací schopnosti a zkracuje se životnost akumulátorů. Je tedy nutné, aby byl

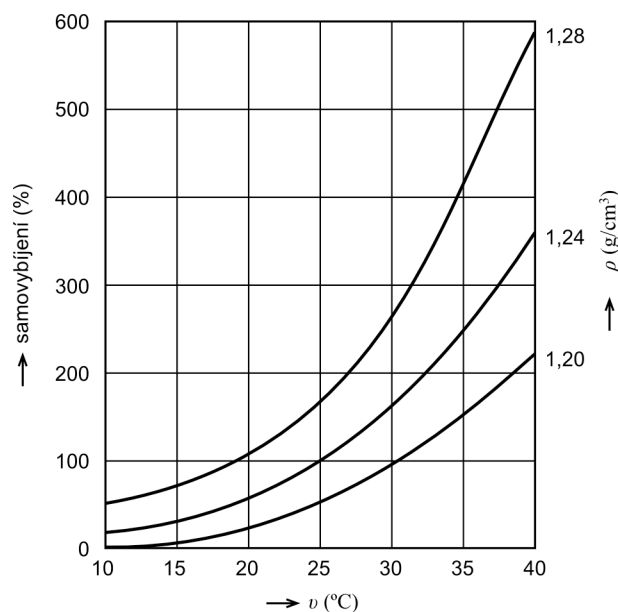
provozní režim nastaven např. tak, aby se z akumulátoru odebíral proud maximálně 80% C (A) z jeho skutečně dosahované kapacity. [2]



Obr. 6 Příklad vlivu hloubky vybití akumulátoru na životnost v cyklech (hloubka vybití: a) 100%, b) 50%, c) 30%, d) 10%) [1]

3.3.6 Vysoké samovybíjení

Urychlení samovybíjení nastává např. vlivem vnějšího prostředí, nečistotami v elektrolytu nebo v doplňované vodě, vysokou koncentrací elektrolytu, vyšší teplotou, stářím akumulátorů, atd. Akumulátory je tedy nutné skladovat a provozovat pouze v místech bez škodlivých plynů a par. K plnění akumulátorů se musí používat kyselina a voda předepsané kvality. Dále je vhodné provozovat akumulátory při teplotách do 20 °C, jelikož nižší teploty zpomalují nežádoucí chemické reakce. [2]



Obr. 7 Příklad vlivu teploty a hustoty elektrolytu na rychlost samovybíjení [3]

3.3.7 Sulfatace

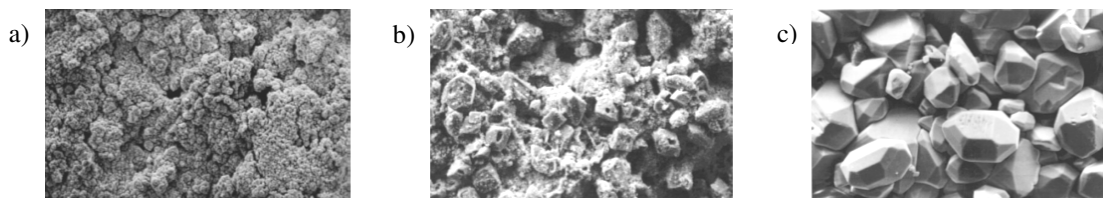
Sulfatací se rozumí tvorba síranu olovnatého PbSO_4 , který vzniká reakcí iontů kyseliny sírové SO_4^{2-} s aktivními hmotami elektrod při vybíjení a samovolném vybíjení olověných akumulátorů. Sulfatace může být vratná nebo nevratná. [2]

Vratná sulfatace

Vratná sulfatace vzniká za normálních podmínek vybíjení akumulátorů, jestliže jsou vybíjeny maximálně do konečného vybíjecího napětí a poklesu hustoty elektrolytu stanovených pro příslušný typ a vybíjecí proud výrobcem. Velmi drobné krystalky síranu olovnatého PbSO_4 , které vznikají v aktivních hmotách elektrod, se nabíjením snadno rozkládají na původní aktivní materiály elektrod a ionty kyseliny sírové. Malá část krystalů zůstává i po nabití nerozložena. Tyto krystaly zpevňují aktivní hmotu kladných elektrod, aby měla potřebnou soudržnost. [2]

Nevratná sulfatace

Nevratná sulfatace vzniká postupnou přeměnou drobných krystalků síranu olovnatého na velké krystaly. Tyto krystaly jsou nevodivé, ucpávají póry v aktivních hmotách a roztahují je. Aktivní hmota se uvolňuje z mřížek elektrod, ty jsou roztahovány a trhají se. Tato sulfatace již nelze nabíjením odstranit. Nevratná sulfatace vzniká např. vybíjením akumulátoru pod konečné vybíjecí napětí nebo trvalým neúplným nabíjením. [2]



Obr. 8 Sulfatace elektrod (zvětšeno 550x) [10]

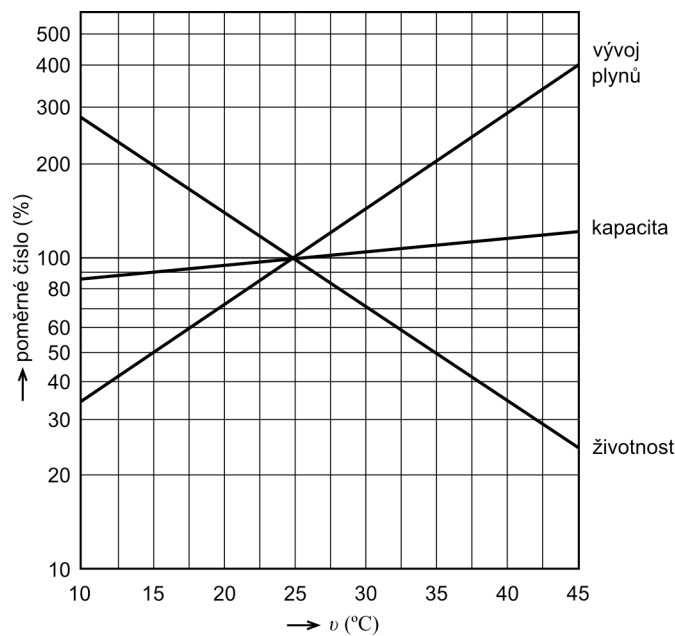
- a) Nový akumulátor
- b) Vratná sulfatace
- c) Nevratná sulfatace

3.3.8 Vliv teploty

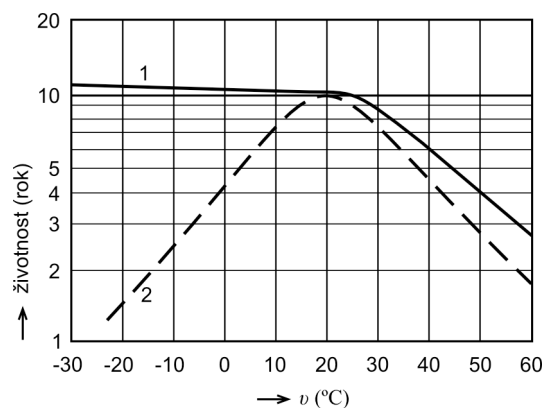
Vysoké teploty

V důsledku vysokých teplot dochází ke zrychlení chemických reakcí probíhajících v akumulátoru. Parametry uváděné výrobcem jsou pro jmenovité teploty např. +20 °C u staničních akumulátorů, +30 °C u trakčních akumulátorů a +27 °C u startovacích akumulátorů. Vyšší teploty mají za následek malý nárůst kapacity, ale výrazné zvýšení samovybíjení a úbytku vody z elektrolytu. Zároveň se velice zkracuje životnost akumulátorů. Například, pracuje-li

akumulátor s trvale zvýšenou teplotou o 10 °C nad jmenovitou hodnotou, může se zkrátit životnost až o 50%. Kdyby bylo toto trvalé zvýšení teploty o 20 °C nad jmenovitou teplotu, mohla by se životnost zkrátit až o 25%. Na *Obr. 9* je porovnání vlivu teploty na životnost, kapacitu a vývoj plynů u olovených akumulátorů se zaplavenými elektrodami. U akumulátorů řízených ventilem navíc urychluje zkrácení životnosti při zvýšených teplotách „vysychání“ elektrolytu, zejména není-li regulována velikost napětí pro nabíjení a trvalé dobíjení v závislosti na teplotě (*Obr. 10*). [1] Z těchto důvodů se uvádí jako mezní teplota +40 °C, která nemá být překračována, přestože jsou akumulátory schopné pracovat i při vyšších teplotách. [3]



Obr. 9 Příklad vlivu teploty na životnost, kapacitu a vývoj plynů elektrolýzou vody v elektrolytu olovených akumulátorů se zaplavenými elektrodami [3]



Obr. 10 Příklad vlivu teploty na životnost ventilem řízených akumulátorů v provozu trvalého dobíjení (1 - při kompenzaci napětí podle teploty, 2 - bez kompenzace) [1]

Nízké teploty

V důsledku nízkých teplot dochází ke zpomalení chemických reakcí. To je výhodné, jelikož se zpomalí samovybíjení a anodická koroze a prodlouží se životnost akumulátorů. Toho je možné využít při skladování akumulátorů. Z provozního hlediska ale nízké teploty výhodné nejsou, jelikož způsobují snížení kapacity i startovacích proudů a zároveň nárůst vnitřního elektrického odporu akumulátorů. Změnu kapacity v závislosti na teplotě ovlivňuje také velikost vybíjecího proudu. Pokles teploty má navíc za následek snížení nabíjecí schopnosti akumulátorů, a proto je nelze plně nabít. Pokles kapacity a zhoršení účinnosti akumulátorů při nízkých teplotách je pouze přechodný jev, který odezní při dosažení normální teploty elektrolytu. Nejnáchylnější k zamrznutí elektrolytu jsou vybité akumulátory, jelikož jejich elektrolyt má nejnižší hustotu. Akumulátory tedy nelze využít při teplotách blízkých bodu mrznutí elektrolytu. [2], [3]

3.3.9 Přepólování akumulátorů

Přepólování článku (monobloku) v baterii

Přepólování článku v baterii může nastat při vybíjení baterie do konečného vybíjecího napětí, jestliže má článek sníženou kapacitu. K tomuto může dojít např. při použití článku s nižší kapacitou zapojeného do série v baterii, zvýšeným samovybíjením článku nebo zkratem. [2]

Přepólování celé baterie

K přepólování celé baterie může dojít například nesprávným připojením k nabíjecímu zdroji, který není vybaven ochranou proti přepólování baterie. Po připojení k nabíjecímu zdroji se napětí sníží oproti hodnotě napětí baterie v klidu (při rozpojeném okruhu) a dále klesá. Dosáhne-li napětí nulové hodnoty, začne opět narůstat, ale s obrácenou polaritou. [2]

Většině závad popsaných v této kapitole lze předcházet správnou obsluhou akumulátorů a monitorováním jejich stavu.

4. Monitorování akumulátorových baterií

Akumulátorové baterie jsou používány jako zdroje elektrické energie v různých zařízeních, např. v noteboocích, mobilních telefonech, počítačích, UPS, elektromobilech, atd. U těchto zařízení je potřeba monitorovací zařízení ke sledování stavu akumulátorů, k informování obsluhy o stavu a režimu činnosti zařízení, k řízení činnosti systémů využívajících akumulátorové baterie s cílem optimalizovat provoz zařízení, zvýšit komfort obsluhy, zjednodušit údržbu a prodloužit životnost akumulátorových baterií. [1]

4.1 Důvody pro monitorování

Na bateriových systémech zásadně závisí bezporuchový a hlavně bezpečný provoz důležitých strojů a systémů ve všech oblastech, které vyžadují nepřetržitou dodávku elektrické energie. Je tedy nutné vědět, v jakém stavu je akumulátor a je-li schopen dodávat potřebné množství elektrické energie po požadovanou dobu. Monitorování je také důležité z hlediska údržby akumulátorů a ověření jejich životnosti, popř. naplánování jejich výměny nebo opravy. [11] Dalším důvodem pro monitorování akumulátorových baterií může být např. zajištění maximální doby činnosti zařízení napájeného bateriemi, např. s maximálním dojezdem vozidla, nebo maximální výdrž notebooku. Dále je možné ze znalosti okamžitého stavu akumulátoru zjistit dobu činnosti systému v jednom cyklu nabití-vybití (dojezd elektrického vozidla, doba výdrže notebooku na baterii), zvolit optimální nabíjecí i vybíjecí režim, odhadnout životnost baterie apod. [1] Hlavní důvody, proč je důležité monitorování stavu olovených akumulátorů při provozu, jsou rozebrány v kapitole 3.3.

4.2 Monitorované veličiny

Pro správné vyhodnocování stavu akumulátoru by mělo monitorovací zařízení umět měřit, vypočítávat, zaznamenávat a předávat dalším zařízením k zobrazení nebo k následnému zpracování tyto veličiny: [1]

- Napětí celé baterie, jednotlivých bloků a článků
- Nabíjecí i vybíjecí proud
- Výkon dodávaný při nabíjení do baterie i z baterie do zátěže
- Aktuální čas, časy nabíjení a vybíjení, popř. provozu příslušného zařízení na baterii
- Náboj (A·h), který byl dodán do baterie v režimu nabíjení, odebraný z baterie a zbytkový
- Energie (kW·h), která byla do baterie dodána, odebrána a zbytková
- Teplota vzduchu v okolí, teplota povrchu baterií a vybraných dílů
- Doba činnosti bateriového systému např. pro stanovení dojezdu vozidla nebo výdrže notebooku na baterii [1]

4.3 Způsoby monitorování

Monitorování stavu akumulátorů může být realizováno od různých jednoduchých testerů, které jsou sestaveny např. z několika LED diod, přes jednoduché měřiče zbývající kapacity například s LED displejem až po komplexní monitorovací systémy, které bývají vybaveny např. PC pro ukládání a vyhodnocení naměřených veličin a vykreslení grafů v reálném čase. Způsoby zjišťování, je-li akumulátor schopen dodávat elektrickou energii, je možné obecně rozdělit na statické nebo dynamické testování. [11]

Statické testování

Při statickém testování se měří parametry jednotlivých komponent (např. na článcích baterie) a ty se vyhodnocují. Měřené údaje se zaznamenávají pomocí záznamníku dat (dataloggeru). [11]

Dynamické testování

Při dynamickém testování se provádí simulace skutečných provozních stavů, jako je odběr konstantního proudu nebo výkonu po určitý časový interval, a případně současný záznam parametrů jednotlivých článků. Tento test bývá simulovaný pro případ, že by nastala porucha baterie, a místo reálných spotřebičů se používá aktivní proměnná zátěž. [11]

4.3.1 Stanovení kapacity akumulátoru

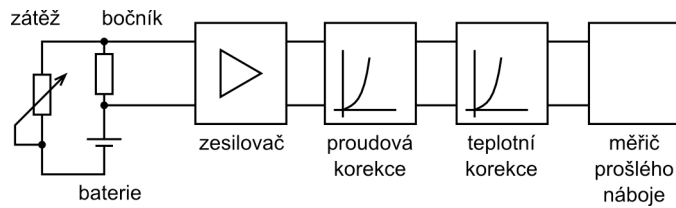
Nejčastější způsob vyhodnocení stavu akumulátorové baterie je pomocí měření její kapacity. Stanovení kapacity akumulátoru je možné zkoumáním chemických dějů v akumulátoru (např. měření hustoty elektrolytu), nebo měřením elektrických veličin. [1]

Stanovení kapacity měřením prošlého náboje

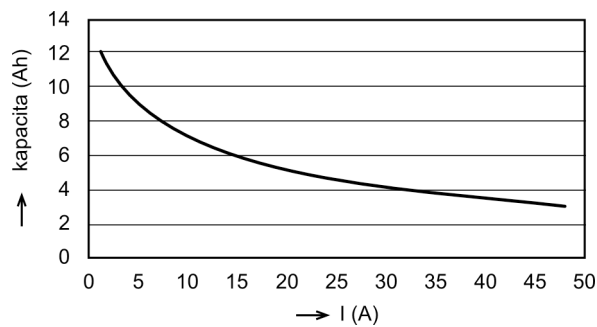
Při této metodě se měří náboj přenesený z baterie do zátěže po dosažení konečných znaků vybití akumulátoru. Jelikož akumulátor není ideální, musí se zde zahrnout závislost využitelné kapacity akumulátoru na velikosti odebíraného proudu (*Obr. 12*) a na teplotě. Pro zlepšení přesnosti měření je tedy nutné provést korekci těchto závislostí, jak je možné vidět v blokové struktuře měření na *Obr. 11*. Proud odebíraný z akumulátoru je zde měřen jako úbytek napětí na bočníku. Dále se zesílí a provedou se potřebné korekce. Blok měření prošlého náboje pracuje jako integrátor okamžité hodnoty proudu. Může být realizován například pomocí integračního zesilovače. [1]

Stanovení prošlého náboje je možné podle následujícího vzorce:

$$Q = I \cdot t \quad (\text{A} \cdot \text{h}; \text{A}; \text{h};) \quad (7)$$



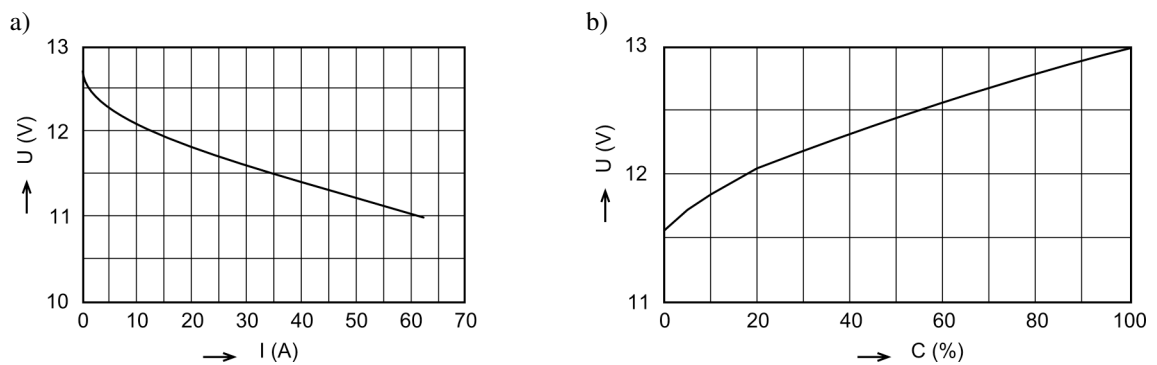
Obr. 11 Blokové schéma zařízení na měření kapacity akumulátoru měřením prošlého náboje [1]



Obr. 12 Závislost využitelné kapacity konkrétního olověného akumulátoru na velikosti odebraného proudu [1]

Stanovení kapacity měřením napětí a korekcí vnitřního odporu

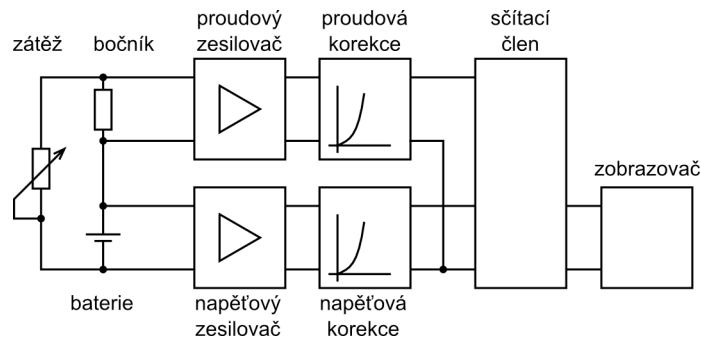
Další možnost, jak stanovit kapacitu akumulátoru, je měřením jeho napětí. Z naměřené hodnoty napětí lze usuzovat na velikost kapacity akumulátoru, jak je vidět na *Obr. 13 a*). Jelikož se napětí akumulátoru mění při změnách odběru vlivem vnitřního odporu akumulátoru, je nutné provést korekci.



Obr. 13 Závislost napětí konkrétního olověného akumulátoru na:
 a) jeho zbytkové kapacitě
 b) hodnotě odebraného proudu [1]

Závislost napětí akumulátoru na hodnotě odebraného proudu je na *Obr. 13 b*). Tuto závislost je nutné změřit na vzorcích konkrétní baterie, aby bylo možné provést návrh korekčního členu. Na *Obr. 14* je uvedeno blokové schéma pro měření kapacity akumulátoru

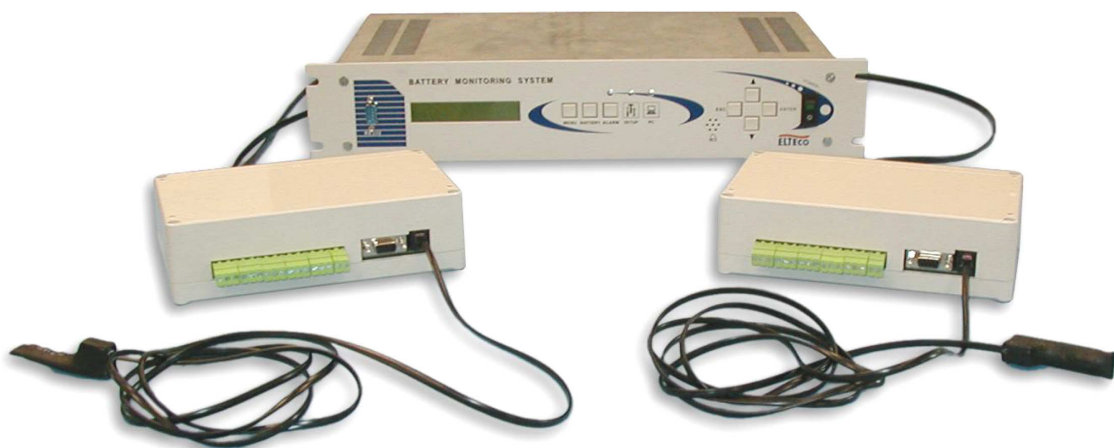
měření napětí s korekcí vnitřního odporu. Proud odebraný z akumulátoru je zde měřen jako úbytek napětí na bočniku. Napěťový zesilovač upravuje napětí baterie na potřebnou hodnotu. Signály odpovídající proudu a napětí baterie jsou přivedeny do korekčních členů a dále do sčítacího členu. Signál za sčítacím členem již odpovídá kapacitě akumulátoru.



Obr. 14 Blokové schéma zařízení na měření kapacity akumulátoru měřením napětí a korekcí vnitřního odporu [1]

4.3.2 Komplexní monitorovací systém

Složitější monitorovací systémy využívají ke své činnosti mikroprocesory, jelikož umožňují měřit a vyhodnocovat více parametrů. Komplexní monitorovací systémy bývají často vybaveny PC pro ukládání a vyhodnocení naměřených veličin a vykreslení grafů v reálném čase. Z důvodu, že má každý uživatel na monitorovací systém jiné nároky, je vhodné tyto systémy koncipovat jako modulární, přičemž jednotlivé moduly mezi sebou komunikují pomocí nějakého komunikačního rozhraní (RS485, I²C, atd). Ukázka takového systému je uvedena na Obr. 15. Návrh jednoduchého modulárního monitorovacího systému je uveden v kapitole 5.



Obr. 15 Ukázka komerčního monitorovacího systému [9]

5. Jednotka pro monitorování stavu akumulátorové baterie

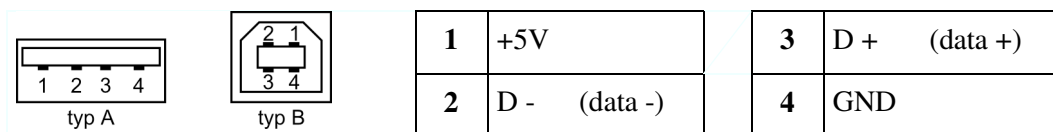
Před samotným popisem návrhu jednotky pro monitorování stavu akumulátorové baterie je vhodné pro lepší pochopení uvést stručný teoretický rozbor použitých technologií.

5.1 Komunikace

5.1.1 USB

USB (Universal Serial Bus) je univerzální sériová sběrnice, která se využívá u PC pro připojení periférií, jako jsou např. myš, klávesnice, tiskárna, skener, fotoaparát, videokamera, externí pevný disk, MP3 přehrávač, atd. Tato zařízení je možné připojovat bez nutnosti restartování PC nebo nutnosti ruční instalace ovladačů díky technologii Plug&Play. Zařízení mohou být napájena přímo z USB sběrnice napájecím napětím +5V, přičemž mohou odebírat maximálně proud 500mA. Na USB sběrnici je možno připojit až 127 zařízení.

Na *Obr. 16* je uvedeno zapojení nejpoužívanějších USB konektorů. Typ A se používá zejména u PC, u periférií se pak používá typ B nebo některý z mikro nebo mini USB konektorů. Propojovací kabel USB má čtyři vodiče, přičemž vodiče D+ a D- jsou kroucené. [20]



Obr. 16 Zapojení USB konektoru na panelu (zásuvka)

5.1.2 USART

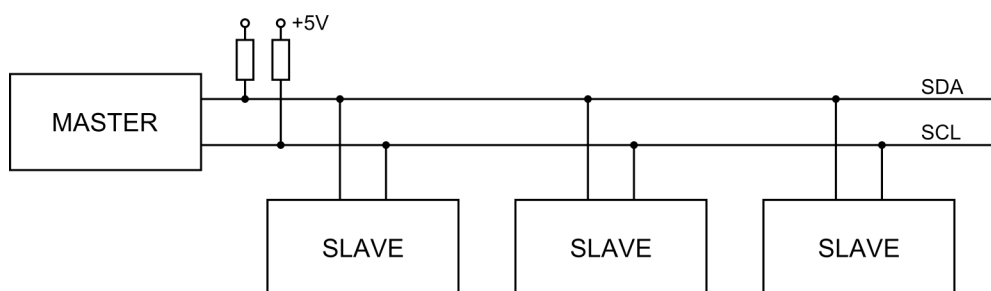
USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver and Transmitter) je univerzální sériové rozhraní, které používají mikrokontroléry pro komunikaci se svým okolím, a lze ho nastavit buď na synchronní, nebo asynchronní přenos. Také je možné nastavit rychlost vysílání a přijímání.

Synchronní přenos se používá pro komunikaci s perifériemi, jako jsou A/D a D/A převodníky, sériová EEPROM, nebo pro komunikaci mezi mikrokontroléry. V tomto režimu je používána hodinová a datová linka. Asynchronní přenos (UART) se používá pro komunikaci s PC prostřednictvím sériového rozhraní RS232 nebo sběrnice USB s použitím převodníku (viz kapitola 5.2.1). V tomto režimu jsou data přenášena signály TXD a RXD pro vysílání a příjem dat. Příjem i vysílání dat mohou probíhat zároveň - full duplex. [19]

5.1.3 I²C

I²C (IIC - Inter-Integrated Circuit) je obousměrná multi-masterová dvoudrátová sériová sběrnice, která byla vyvinuta firmou Philips pro komunikaci mezi integrovanými obvody na společné DPS v televizních přijímačích. Jelikož si firma Philips nechala tuto technologii patentovat, označují ji někteří výrobci např. TWI (Two Wire Serial Interface - dvoudrátové sériové rozhraní). Tato sběrnice se používá pro komunikaci mezi mikrokontroléry, nebo pro komunikaci mezi mikrokontrolérem a periferiemi na krátkou vzdálenost, většinou v rámci jediného zařízení.

Na *Obr. 17* je uvedeno základní zapojení uzlů na I²C sběrnici. Na sběrnici je připojeno vždy alespoň jedno zařízení typu MASTER, které zahajuje a řídí komunikaci, a pak několik zařízení typu SLAVE (dohromady až 128 zařízení). Adresování zařízení typu SLAVE u sběrnice I²C není řešeno pomocí zvláštních signálů, ale zavedením adresace přímo do samotného protokolu. Každému SLAVE zařízení je tedy přiřazena jednoznačná adresa. Řízení sběrnice má na starosti zařízení typu MASTER. V jednu chvíli může pracovat jako MASTER pouze jedno zařízení, aby nedocházelo na sběrnici ke kolizím. Ostatní zařízení, které jsou typu SLAVE, tedy nemohou sběrnici řídit, a tedy ani nemají možnost samy zažádat o vysílání nebo příjem dat. [14]



Obr. 17 Zapojení uzlů na sběrnici I²C

Sběrnice I²C se skládá ze dvou linek. Jedna linka slouží pro obousměrný přenos dat (SDA - serial data), druhou linkou pak zařízení typu MASTER posílá hodinový signál ostatním zařízením (SCL - serial clock). Obě linky pracují s TTL napětíovými úrovněmi. V klidovém stavu je na obou linkách udržována vysoká logická úroveň pomocí pull-up rezistorů. Aby byla zajištěna obousměrnost linek, jsou řešeny výstupy číslicových obvodů jako otevřený kolektor. [6] Maximální délka obou linek je dána jejich nejvyšší přípustnou kapacitou 400pF. Kromě datového vodiče SDA a hodinového vodiče SCL je nutné všechna zařízení propojit i společným vodičem GND. [14]

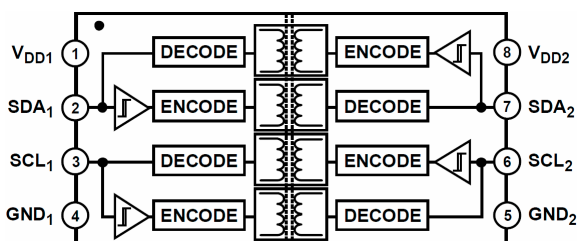
5.2 Stručný popis použitých IO

5.2.1 FT232RL

Integrovaný obvod FT232RL slouží hlavně jako převodník z USB na sériové rozhraní UART. Tato verze obvodu, oproti starším typům, velice zjednodušuje návrh převodníku. Je to dáno hlavně tím, že má integrovanou paměť EEPROM, potřebné rezistory, filtry a obvod hodinového signálu, díky čemuž není nutné připojovat externí krystal. V paměti EEPROM je možné např. nastavovat vstupně/výstupní vývody CBUS. Je tedy možné tyto piny naprogramovat například pro připojení LED diod, které signalizují probíhající komunikaci. Interní paměť EEPROM se programuje přímo přes USB sběrnici pomocí programu MPROG, který je možné stáhnout z oficiálních stránek výrobce (www.ftdichip.com). Na těchto stránkách je také možné stáhnout ovladače pro různé operační systémy. [12]

5.2.2 ADuM1250

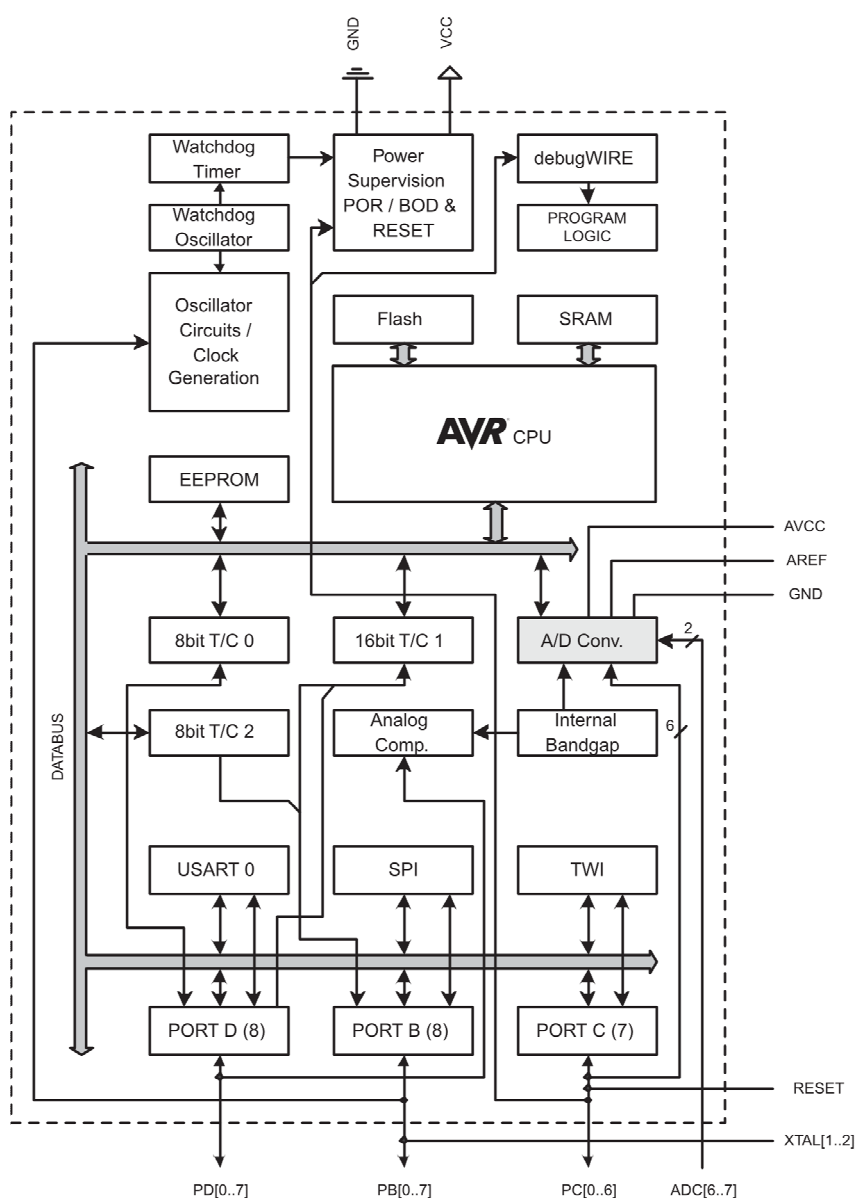
Integrovaný obvod ADUM1250 je galvanický izolátor pro I²C a další podobné sběrnice. Největší problém u galvanického oddělení I²C sběrnice je to, že datová i hodinová linka musí být obousměrné (v některých zvláštních případech může být hodinová linka jednosměrná). Z tohoto důvodu není možné jednoduše I²C sběrnici oddělit pomocí zařazení optočlenů, jelikož optočlen je jednosměrné zařízení. Při použití optočlenů by tedy bylo nutné použít na každý vodič (SDA i SCL) dva optočleny a navíc je doplnit o další součástky. Takováto metoda není tedy příliš vhodná. Navíc má i další nevýhody, jako jsou zátky a zpoždění způsobené kapacitou optočlenů. Jako vhodnější způsob galvanického oddělení se jeví použití tzv. iCouplerů. Obvody iCoupler představují číslicovou náhradu optopřevodníků. Na rozdíl od nich používají pro přenos signálů magnetickou vazbu, která je vytvořena pomocí CMOS technologie ve spojení s mikroskopickými transformátory. Uvedený integrovaný obvod ADUM1250 tedy využívá technologie iCoupler, díky čemuž je možné s těmito obvody dosahovat přenosové frekvence až 1 MHz, tedy komunikační rychlosti fast mode plus. Tyto obvody nabízí izolaci až 2,5 kV rms. [5], [4]



Obr. 18 Vnitřní zapojení obvodu ADUM1250 [5]

5.2.3 ATmega168 / ATmega328

Integrovaný obvod ATmega168 (ATmega328) představuje 8-bitový nízko příkonový CMOS mikrokontrolér od firmy Atmel, který je založen na rozšířené RISC architektuře. Hlavní rozdíl mezi mikrokontroléry ATmega168 a ATmega328 je ve velikostech paměti. Z tohoto důvodu je na měřicí desce použit mikrokontrolér ATmega168 a na komunikační desce mikrokontrolér ATmega328. Na *Obr. 19* je uvedeno blokové schéma vnitřní struktury těchto mikrokontrolérů.



Obr. 19 Blokové schéma mikrokontroléru ATmega168 / ATmega328 [7]

Základní vlastnosti:

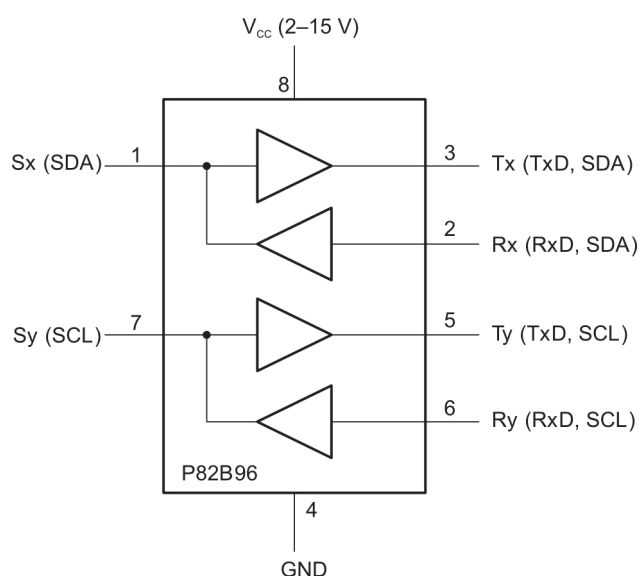
- 131 instrukcí - většina z nich je vykonána v jednom cyklu
- Programová flash paměť (ATmega168 – 16kB, ATmega328 – 32kB)
- Paměť EEPROM (ATmega168 – 512B, ATmega328 – 1kB)
- Interní datová paměť SRAM (ATmega168 – 1kB, ATmega328 – 2kB)
- Dva 8-bitové čítače/časovače
- Jeden 10-bitový čítač/časovač
- Šest PWM kanálů
- Šestikanálový 10-bitový A/D převodník
- Programovatelné sériové rozhraní USART
- Master/Slave SPI sériové rozhraní
- Dvoudrátové sériové rozhraní TWI (kompatibilní s I²C)
- Zdroje externího a interního přerušení [7]

5.2.4 P82B96

Integrovaný obvod P82B96 slouží jako obousměrný posilovač I²C a podobných sběrnic. Základní princip posílení těchto sběrnic spočívá ve snížení jejich impedance, což umožní připojení vedení o větší celkové kapacitě. Maximální délka normální I²C sběrnice je omezena nejvyšší přípustnou kapacitou 400pF. Jelikož je u tohoto obvodu možné použít nižší hodnoty pull-up rezistorů, je možné dosáhnout až 10x vyšších proudů, a tedy i 10x vyšší maximální kapacity sběrnice (až 4000pF). Navíc se do této kapacity nepočítá kapacita vedení a zařízení připojených na Sx/Sy straně obvodů. Další výhodou těchto obvodů je možnost použití jiného napětí logických úrovní na posílené sběrnici. Hodnoty logických úrovní na posílené sběrnici jsou dány podle napájecího napětí obvodu, ke kterému jsou připojeny příslušné pull-up rezistory. Zvýšením napětí na posílené sběrnici je možno dosáhnout vyšší odolnosti proti rušení. Tento obvod dále umí rozložit obousměrný signál na dva jednosměrné, což umožňuje například jednoduché použití optočlenů pro galvanické oddělení I²C sběrnice. Tyto signály je možné jednoduše zase spojit dohromady. Na *Obr. 20* je uvedeno jednoduché vnitřní schéma zapojení tohoto integrovaného obvodu. V *Tab. 1* jsou uvedeny jednotlivé piny a popis jejich funkce [18]

Pin	Název	Popis
1	Sx	Sériová datová linka (SDA)
2	Rx	Přijímaný signál. Rozšířená I ² C sběrnice.
3	Tx	Vysílaný signál. Rozšířená I ² C sběrnice.
4	GND	Zem
5	Ty	Vysílaný signál. Rozšířená I ² C sběrnice.
6	Ry	Přijímaný signál. Rozšířená I ² C sběrnice.
7	Sy	Sériová hodinová linka (SCL)
8	V _{cc}	Napájecí napětí

Tab. 1 Popis pinů obvodu P82B96 [18]



Obr. 20 Vnitřní zapojení integrovaného obvodu P82B96 [18]

5.2.5 LM35

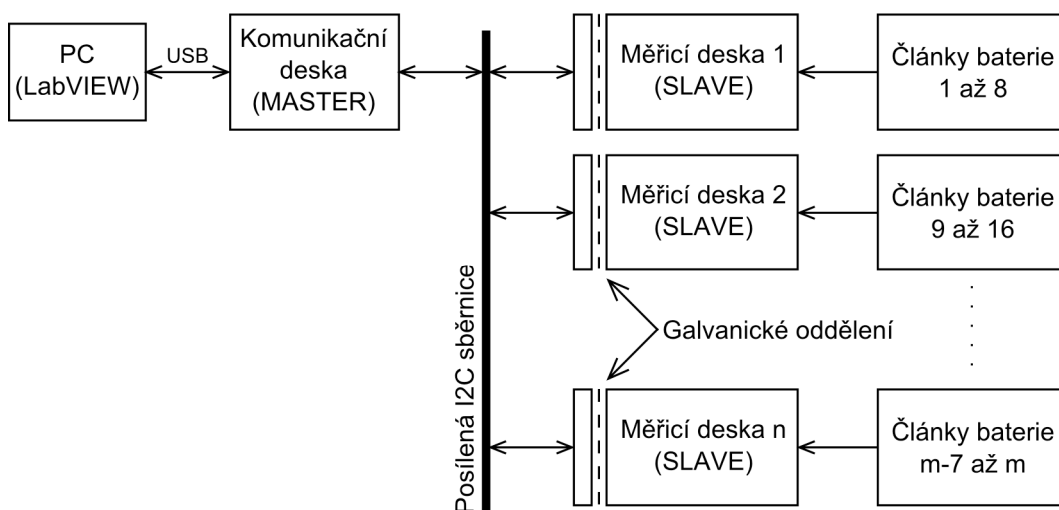
Integrovaný obvod LM35 je přesný lineární teplotní senzor, který na svém výstupu poskytuje napětí úměrné teplotě přímo ve stupních Celsia. Podle verze teplotního senzoru se liší jejich rozsah měřených teplot. LM35C a LM35CA měří v rozsahu -40°C až $+110^{\circ}\text{C}$, LM35D v rozsahu 0°C až $+100^{\circ}\text{C}$. LM35 (bez dalších písmen) a LM35A měří v plném rozsahu -55 až 150°C . Tento teplotní senzor se vyrábí v různých pouzdrech, z nichž nejvýhodnější je pouzdro TO-220, které umožňuje přímou montáž pomocí šroubku na měřené místo.

Vlastnosti:

- Kalibrován přímo ve stupních Celsia
- Lineární převod $10\text{mV}/^{\circ}\text{C}$
- Přesnost $0,25^{\circ}\text{C}$ při pokojové teplotě, $0,75^{\circ}\text{C}$ v plném rozsahu
- Rozsah měřených teplot -55 až 150°C
- Vhodný pro vzdálené aplikace
- Napájecí napětí 4 až 30V
- Nízký proudový odběr (pod $60\ \mu\text{A}$)
- Nízké zahřívání ($0,08^{\circ}\text{C}$)
- Nelinearita pouze $\pm 1/4^{\circ}\text{C}$
- Nízká výstupní impedance ($0,1\ \Omega$ při zatížení 1mA) [16]

5.3 Blokové schéma jednotky

Jednotka je tvořena komunikační deskou, která slouží pro komunikaci mezi PC a jednotlivými měřicími deskami. Komunikační deska komunikuje s PC přes USB sběrnici. Uživatelské rozhraní na PC je vytvořeno pomocí grafického programovacího jazyku LabVIEW. Měřicí desky 1 až n jsou připojeny ke komunikační desce pomocí I²C sběrnice. Na této sběrnici je komunikační deska MASTER a měřicí desky jsou SLAVE. Každá měřicí deska měří napětí a teplotu příslušných osmi článků akumulátorové baterie, a proto musí být galvanicky odděleny. Toto je provedeno galvanickým oddělením I²C sběrnice pomocí obvodu ADuM1250.



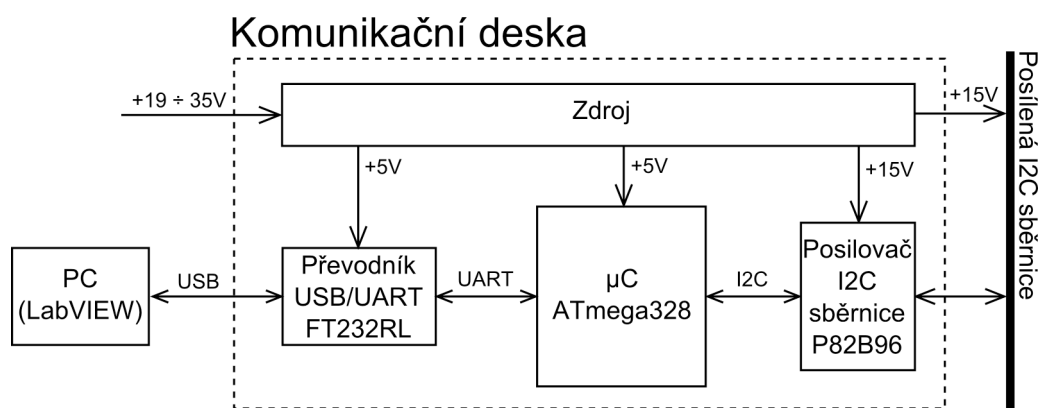
Obr. 21 Blokové schéma jednotky pro monitorování stavu akumulátorové baterie



Obr. 22 Komunikační a měřicí deska propojené pomocí I2C sběrnice

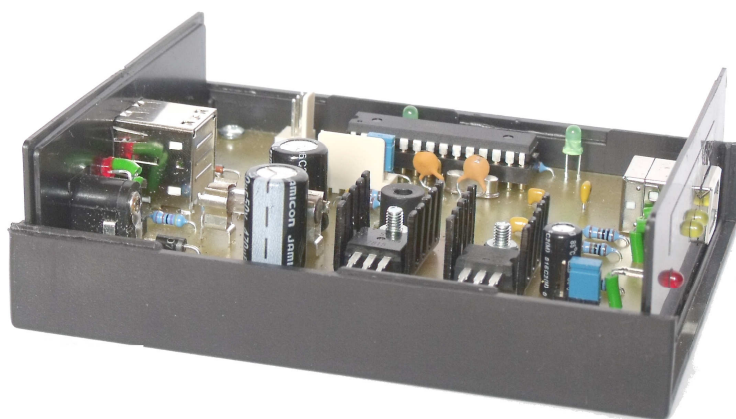
5.4 Komunikační deska

Komunikační deska slouží pro komunikaci mezi PC a jednotlivými měřicími deskami. Její blokové schéma je na *Obr. 23*.



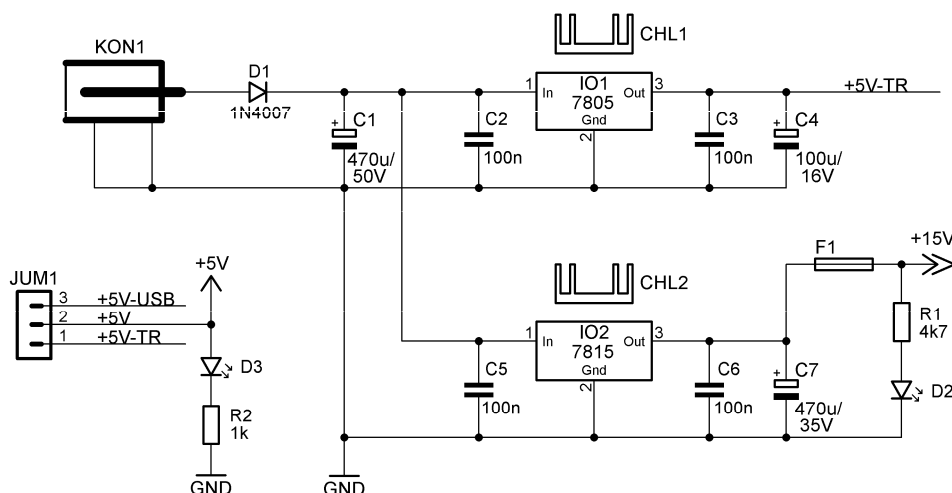
Obr. 23 Blokové schéma komunikační desky

Komunikace s PC probíhá po USB sběrnici, která je převedena pomocí obvodu FT232RL na UART. Komunikace s měřicími deskami probíhá po I²C sběrnici, která je posílena pomocí obvodu P82B96, aby mohla být použita na delší vzdálenost a měla vyšší odolnost proti rušení. Komunikační deska je na I²C jako MASTER. To vše je řízeno mikrokontrolérem ATmega328. Dále je zde napájecí zdroj, který poskytuje napětí 5V pro převodník, a mikrokontrolér a 15V pro posilovač I²C sběrnice. Komunikační deska může být také použita pro programování měřicí desky, což bude dále rozebráno v kapitole 5.4.3.



Obr. 24 Komunikační deska v krabičce

5.4.1 Napájecí zdroj



Obr. 25 Schéma zapojení napájecího zdroje komunikační desky

Schéma zapojení je na Obr. 25. Napájecí napětí je zde přivedeno pomocí konektoru KON1 ze síťového napájecího adaptéru s napětím $+19 \div 35\text{V}$ (minimální hodnota 19V je volena proto, že stabilizátor ke své správné funkci potřebuje na vstupu napětí alespoň o 3V vyšší a také na ochranné diodě dochází k úbytku napětí). Dioda D1 slouží proti přepólování napájecího napětí přivedeného z napájecího adaptéru. Napájecí zdroj obsahuje monolitický stabilizátor napětí 7805, který stabilizuje napětí na 5V potřebných pro převodník USB/UART tvořený obvodem FT232RL a pro mikrokontrolér ATmega328. Toto napětí je také možno přivést přímo z portu USB zapojením zkratovací propojky na pinech JUM1 podle Obr. 26 a). Tímto odpadne nutnost připojení napájecího adaptéru při programování mikrokontroléru nebo při použití komunikační desky při programování měřicí desky (viz kapitola 5.4.3). Dioda D2 indikuje přítomnost napětí 5V na zařízení.



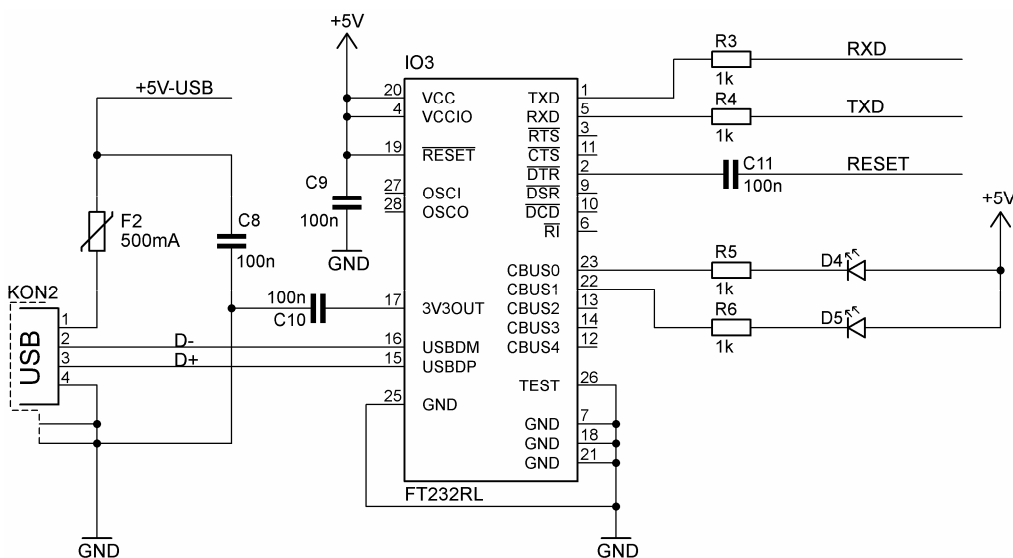
Obr. 26 Zapojení zkratovací propojky JUM1
a) napájení z USB, b) napájení ze síťového adaptéru

Dále napájecí zdroj obsahuje monolitický stabilizátor napětí 7815, který stabilizuje napětí na 15V potřebných pro napájení posilovače I²C sběrnice tvořeného obvodem P82B96. Toto napětí je dále přiváděno prostřednictvím posílené I²C sběrnice k měřicím deskám pro napájení posilovače sběrnice a jedné strany galvanického oddělovače I²C sběrnice tvořeného obvodem ADuM1250. Z tohoto důvodu je zde zařazena pojistka F1, aby ochránila komunikační

desku před zkratem na sběrnici. Diody D2 indikuje přítomnost napětí 15V na posílené I²C sběrnici. Blokovací kondenzátory C1 až C7 slouží k omezení rušení obvodu, zamezení rozkmitání stabilizátorů a k vyhlazení výstupního napětí stabilizátorů.

5.4.2 Převodník USB/UART

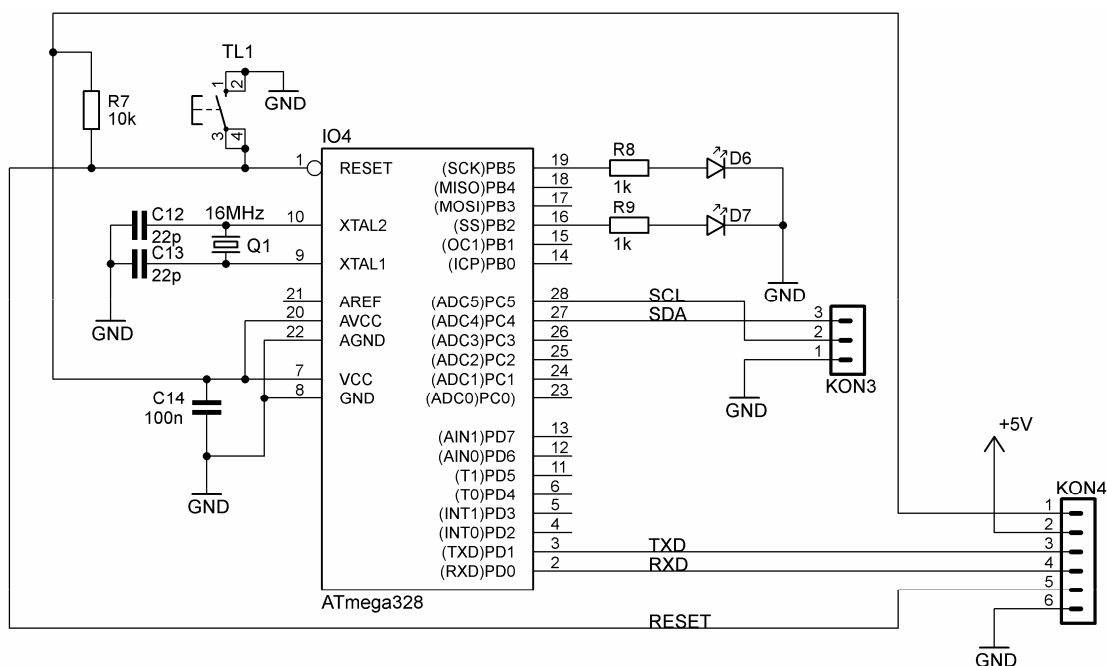
Schéma zapojení je na Obr. 27. Převodník je tvořen obvodem FT232RL. Diody D4 a D5 indikují probíhající komunikaci s PC. Diody D4 indikuje čtení hodnot z PC a dioda D5 zápis. F2 je rychlá vratná pojistka určená k ochraně USB portu v PC. Kondenzátory C8, C9 a C10 slouží jako blokovací. Signály TXD a RXD slouží pro komunikaci s mikrokontrolérem. Signál RESET slouží pro resetování mikrokontroléru při nahrávání programu.



Obr. 27 Schéma zapojení převodníku USB/UART s FT232RL

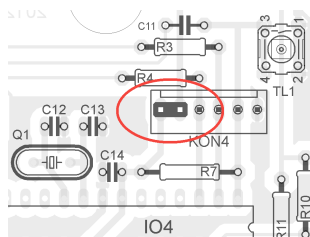
5.4.3 Mikrokontrolér ATmega328

Jako mikrokontrolér je u komunikační desky použit ATmega328. Jeho zapojení je na Obr. 28. Řídící kmitočet mikrokontroléru je zde dán krystalem Q1, tedy 16MHz. Tlačítko TL1 slouží pro resetování mikrokontroléru. Kondenzátor C14 slouží jako blokovací. Diody D6 a D7 je možné pomocí programu použít pro libovolnou funkci. Signály sériové komunikace UART (TXD a RXD) slouží pro komunikaci s PC pomocí převodníku USB/UART tvořeného obvodem FT232RL. Signály sběrnice I²C (SCL a SDA), které jsou posíleny posilovačem P82B96, slouží ke komunikaci s měřicími deskami. Konektor KON3 zde sloužil pro zjednodušení ožívování jednotky pro měření akumulátorových baterií a pro vlastní funkci jednotky nemá význam.

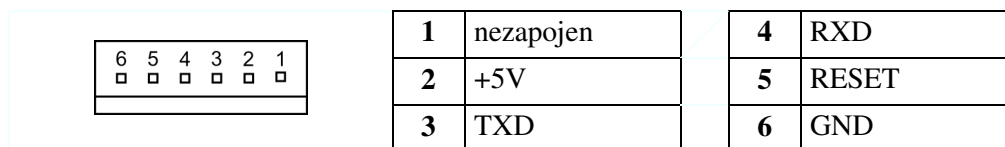


Obr. 28 Schéma zapojení mikrokontroléru ATmega328

S využitím konektoru KON4 je možné použít komunikační desku pro programování měřicí desky. V tomto režimu se propojí konektor KON4 komunikační desky s konektorem KON1 měřicí desky kabelem, přičemž není zapojen kabel na pinu č. 1. V normálním režimu je na konektoru KON4 zapojena zkratovací propojka podle Obr. 29.



Obr. 29 Zkratovací propojka na konektoru KON4

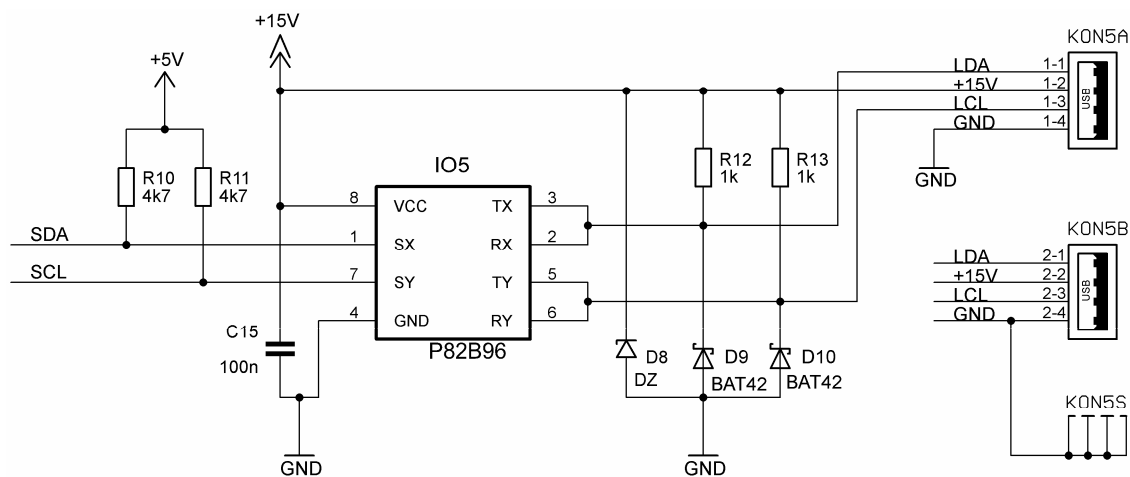


Obr. 30 Zapojení konektoru KON4 na DPS (konektor se zámkem – vidlice)

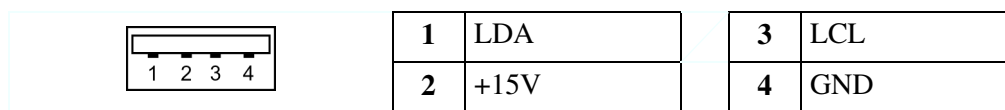
5.4.4 Posilovač I²C sběrnice

Sběrnice I²C je primárně určena pro komunikaci mezi mikroprocesory v rámci jednoho plošného spoje, maximálně v rámci jednoho zařízení. Z tohoto důvodu je nutno použít obvod pro posílení sběrnice. Tyto obvody dovolují zvýšit délku sběrnice na desítky až stovky metrů.

Tohoto je dosaženo snížením impedance sběrnice (snížení hodnot Pull-Up rezistorů), což umožňuje zvýšení kapacity sběrnice a tedy i její celkové délky. Obvodů pro tento účel existuje celá řada, např. P82B715 nebo P82B96. Druhý jmenovaný obvod navíc umožňuje zvýšit napětí logických úrovní až na 15V, díky čemuž značně vzroste odolnost proti rušení. Pro jednoduchost jsou pro I²C sběrnici použity USB konektory, které dovolují použití standardních USB kabelů. Pro lepší vlastnosti mohou být USB kabely nahrazeny UTP nebo STP kabelem s kroucenou dvoulinkou, jelikož USB kabel obsahuje pouze jeden kroucený pár a druhý pár kroucený není. Schéma zapojení posilovače sběrnice je uvedeno na *Obr. 31*. USB konektor na komunikační desce je dvojitý, což umožňuje jednoduché připojení zařízení na I²C sběrnici. Jeho zapojení je uvedeno na *Obr. 32*. Kondenzátor C15 slouží jako blokovací. Diody D9 a D10 slouží pro omezení záporných špiček na LDA a LCL. Schottkyho diody jsou použity z důvodu, že mají nižší prahové napětí. Zenerova dioda D8 chrání integrovaný obvod IO5 před přepětím, které může vzniknout na sběrnici. R10 až R13 jsou takzvané Pull-Up rezistory, které v klidovém stavu udržují na sběrnici vysokou logickou úroveň.



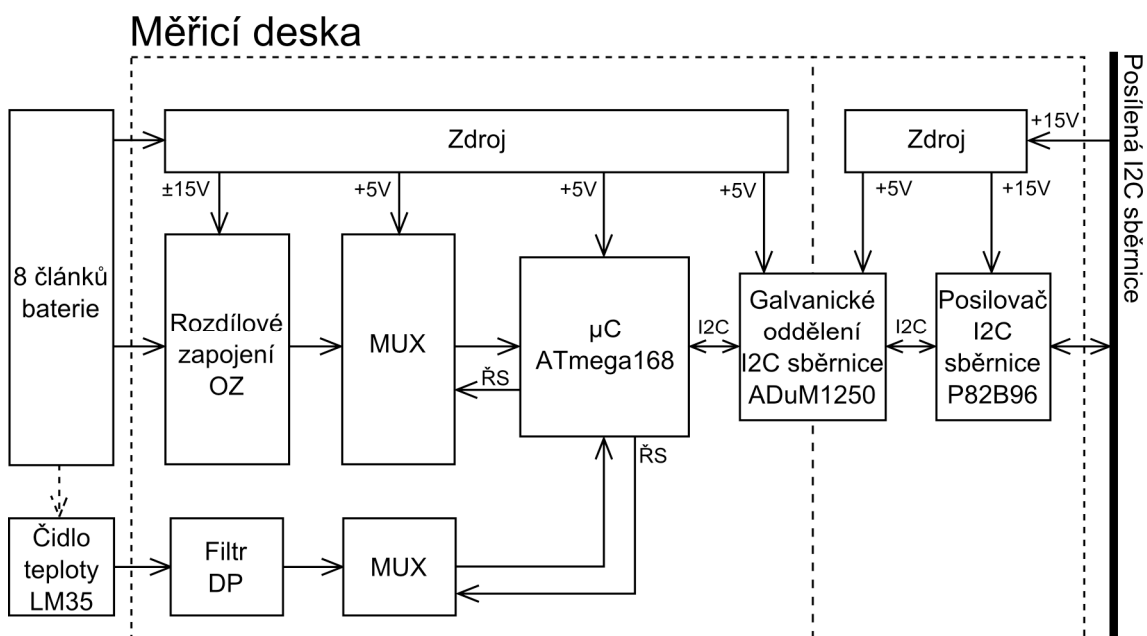
Obr. 31 Schéma zapojení posilovače I²C sběrnice s P82B96



Obr. 32 Zapojení konektoru KON5A a KON5B na DPS (konektor USB A – zásuvka)

5.5 Měřicí deska

Měřicí deska slouží pro měření napětí a teploty příslušných osmi článků akumulátorové baterie. Její blokové schéma je na *Obr. 33*.

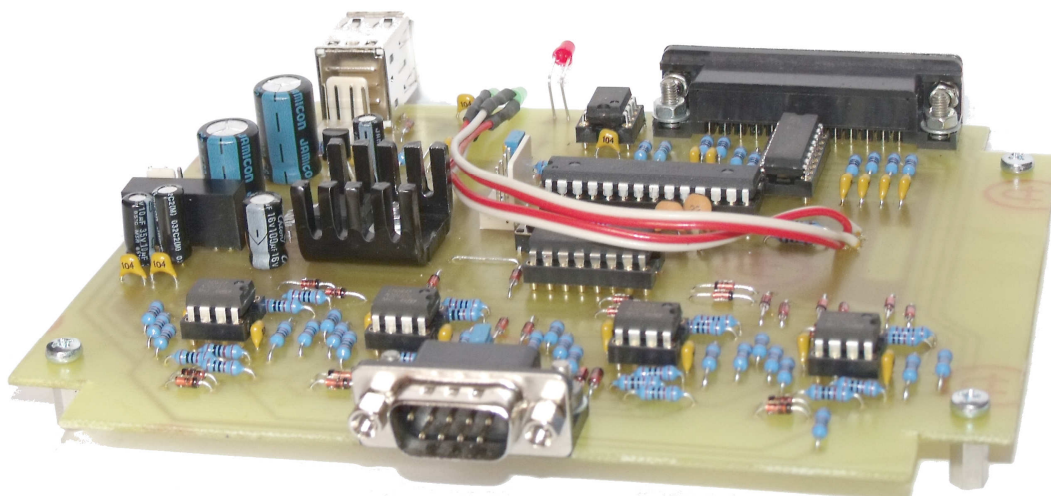


Obr. 33 Blokové schéma měřicí desky

Základem měřicí desky je mikrokontrolér ATmega168, který řídí přepínání multiplexerů pomocí řídicích signálů RS, převádí analogové hodnoty naměřených napětí na digitální a obstarává komunikaci s komunikační deskou přes I²C sběrnici. Měřicí deska je na sběrnici jako SLAVE. Jelikož je potřeba měřit jednotlivé články akumulátorové baterie, musí být měřicí deska galvanicky oddělena. Toto je provedeno galvanickým oddělením I²C sběrnice pomocí obvodu ADuM1250. I²C sběrnice je dále posílena pomocí obvodu P82B96, aby mohla být použita na delší vzdálenost a měla vyšší odolnost proti rušení. Napájecí napětí pro posilovač sběrnice a pro jednu stranu galvanického oddělovače je přiváděno pomocí sběrnice z komunikační desky. Napájecí napětí pro hlavní část měřicí desky je získáno přímo z měřených článků akumulátorové baterie.

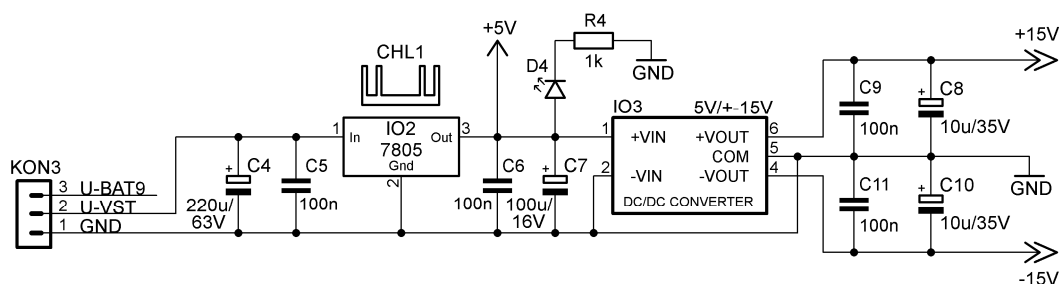
Napětí na jednotlivých člancích akumulátorové baterie jsou vyhodnocena pomocí operačních zesilovačů v rozdílovém zapojení a dále jsou pomocí multiplexeru přiváděna na A/D převodník v mikrokontroléru.

Teplota jednotlivých článků je snímána pomocí lineárních teplotních senzorů LM35D, které poskytují signál 10.0 mV/°C s rozsahem měřených teplot 0 až 100°C. Tyto signály jsou po filtraci filtrem typu dolní propust pomocí multiplexeru přiváděny na A/D převodník v mikrokontroléru.



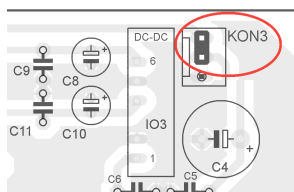
Obr. 34 Měřicí deska

5.5.1 Napájecí zdroj



Obr. 35 Schéma zapojení napájecího zdroje měřicí desky

Schéma zapojení je na Obr. 35. Konektor K0N3 slouží pro přivedení externího napájecího napětí například při ožívování zařízení. Při normální funkci je napětí přiváděno z měřených článků baterie, což je nastaveno zkratovací propojkou na konektoru K0N3 podle Obr. 36. Napájecí zdroj obsahuje monolitický stabilizátor napětí 7805, který stabilizuje napětí na 5V potřebných pro mikrokontrolér ATmega168, multiplexery, teplotní senzory a jednu stranu galvanického oddělovače I²C sběrnice tvořeného obvodem ADuM1250. Diode D4 indikuje přítomnost napětí 5V na zařízení. Symetrické napájení $\pm 15V$ pro operační zesilovače je vytvořeno DC/DC měničem. Blokovací kondenzátory C4 až C11 slouží k omezení rušení obvodu, zamezení rozkmitání stabilizátorů a k vyhlazení výstupního napětí stabilizátoru a DC/DC měniče.



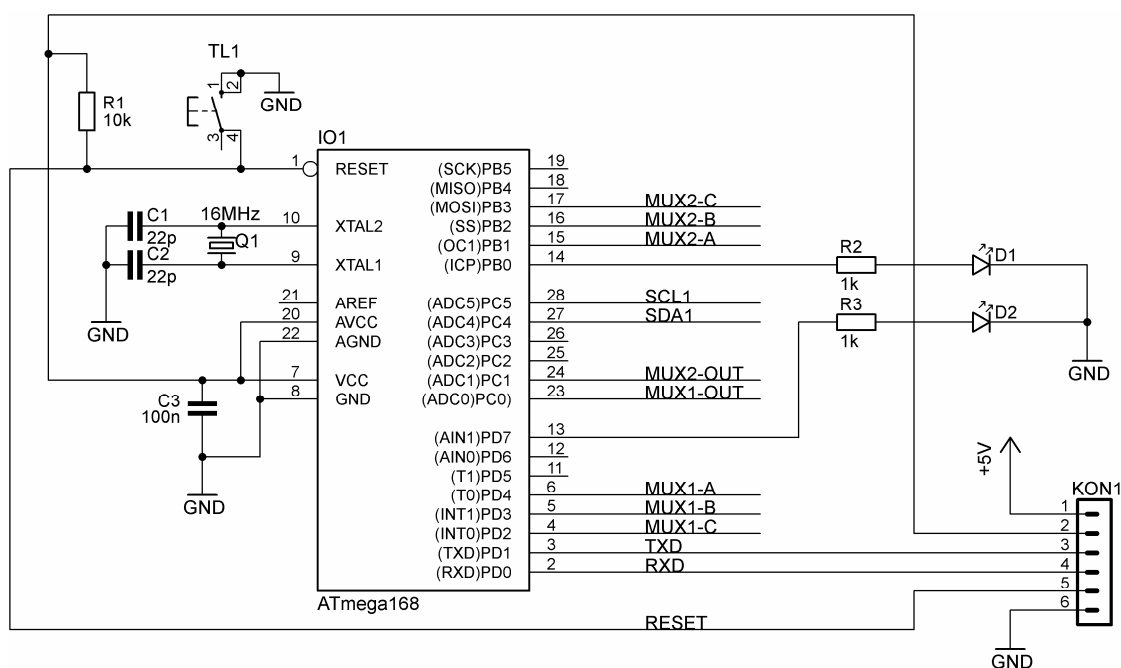
Obr. 36 Zkratovací propojka na konektoru K0N3

5.5.2 Mikrokontrolér ATmega168

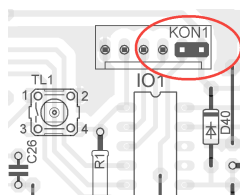
Jako mikrokontrolér je u měřicí desky použit ATmega168. Jeho zapojení, které je obdobné jako u komunikační desky, je na *Obr. 37*. Řídicí kmitočet mikrokontroléru je dán opět krystalem Q1, tedy 16MHz. Tlačítko TL1 slouží pro resetování mikrokontroléru. Kondenzátor C3 slouží jako blokovací. Diody D1 a D2 je možné pomocí programu použít pro libovolnou funkci. Konektor KON1 je zde pro možnost programování s využitím komunikační desky (viz kapitola 5.4.3). V normálním režimu je na konektoru KON1 zapojena zkratovací propojka podle *Obr. 38*. Signály sériové komunikace UART (TXD a RXD) a signál RESET jsou používány při nahrávání programu do mikrokontroléru. Signály sběrnice I²C (SCL a SDA), které jsou posíleny posilovačem sběrnice P82B96, slouží ke komunikaci s komunikační deskou.

Napětí z multiplexeru odpovídající napětím jednotlivých článků akumulátorové baterie je přivedeno na A/D převodník v mikrokontroléru signálem MUX1-OUT. Tento multiplexer je ovládán pomocí řídicích signálů MUX1-A, MUX1-B a MUX1-C.

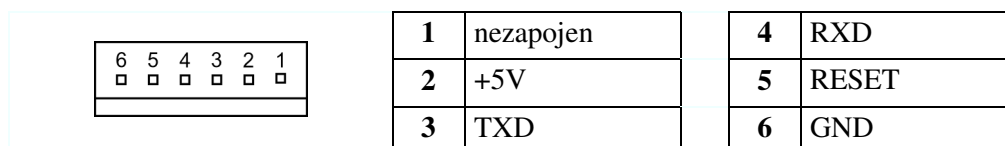
Napětí z multiplexeru odpovídající teplotám jednotlivých článků akumulátorové baterie je přivedeno na A/D převodník v mikrokontroléru signálem MUX2-OUT. Tento multiplexer je ovládán pomocí řídicích signálů MUX2-A, MUX2-B a MUX2-C.



Obr. 37 Schéma zapojení mikrokontroléru ATmega168



Obr. 38 Zkratovací propojka na konektoru KON1



Obr. 39 Zapojení konektoru KON1 na DPS (konektor se zámkem– vidlice)

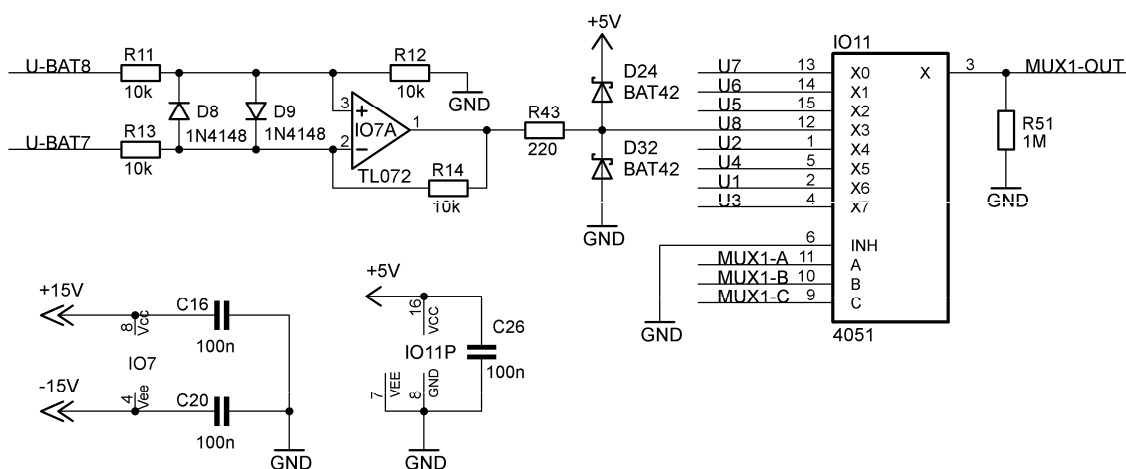
5.5.3 Měření napětí

Pro měření napětí jednotlivých článků akumulátorové baterie zapojených v sérii, bez jejich odpojení, je nejvýhodnější použít operační zesilovač v rozdílovém zapojení, jelikož na jeho výstupu je právě napětí měřeného článku vynásobené zesílením, jak je vidět z následujícího vzorce.

$$U_{\text{čl8}} = (U_{\text{BAT8}} - U_{\text{BAT7}}) \cdot A \quad (8)$$

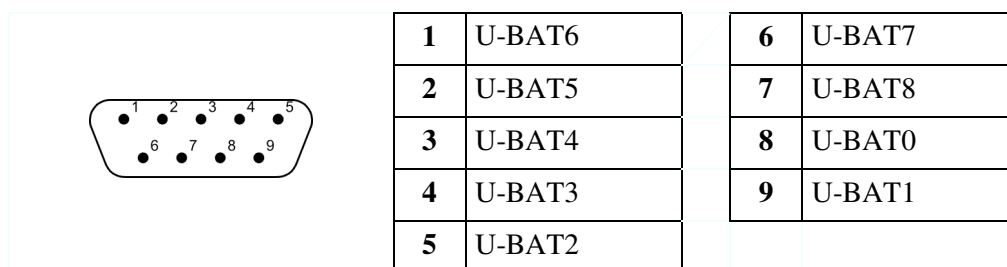
Největší přesnosti rozdílového zapojení operačního zesilovače lze dosáhnout při zesílení $A = 1$, jelikož jsou hodnoty všech rezistorů rovny a nedojde k tak velké odchylce zesílení z důvodu tolerance součástek. Na Obr. 40 je schéma zapojení pro měření napětí na jednom článku baterie. Polovina integrovaného obvodu IO7A a rezistory R11 až R14 tedy tvoří rozdílové zapojení operačního zesilovače. Diody D8 a D9 chrání operační zesilovač proti překročení hodnoty U_{IDmax} . Diody na výstupu operačního zesilovače D24 a D32 slouží k omezení výstupního napětí na dovolené hodnoty kvůli ochraně následujících obvodů v případě nežádoucích přepětí. Jsou zde použity Schottkyho diody, jelikož mají nižší prahové napětí (cca 400mV). Výstupní napětí je tedy omezeno na hodnoty -04 až 5,4V. Rezistor R43 slouží pro omezení výstupního proudu operačního zesilovače v případě poruchy. Na napájecí svorky operačního zesilovače jsou připojeny blokovací kondenzátory C16 a C20, které dodávají energii při přechodných stavech.

Na měřicí desce je tedy osm rozdílových zesilovačů, jeden pro každý článek akumulátorové baterie. Jejich výstupní signály jsou přivedeny na vstupy multiplexeru IO11, které jsou ve schématu označeny U1 až U8. Výstup multiplexeru MUX1-OUT je přiveden na A/D převodník v mikrokontroléru ATmega168. MUX1-A, MUX1-B a MUX1-C jsou řídicí signály přiváděné z mikrokontroléru. Celkové schéma zapojení části pro měření napětí je uvedeno v příloze II.

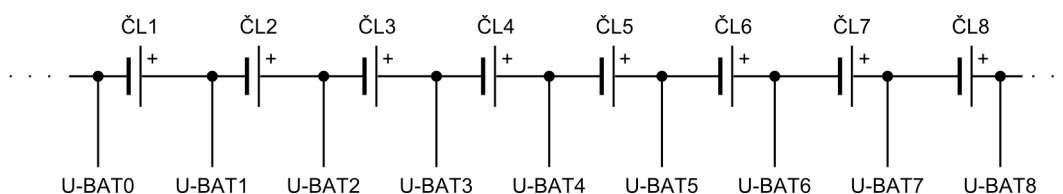


Obr. 40 Schéma zapojení měření napětí

Napětí jednotlivých článků je k měřicí desce přivedeno pomocí konektoru KON6, jehož zapojení je na Obr. 41. Na Obr. 42 je znázorněno připojení příslušných článků akumulátorové baterie k měřicí desce pomocí CANON konektoru.



Obr. 41 Zapojení konektoru KON6 na DPS (konektor CANON 9 – vidlice)



Obr. 42 Připojení příslušných osmi článků baterie k měřicí desce

5.5.4 Měření teploty

Teplota jednotlivých článků je snímána pomocí lineárních teplotních senzorů LM35D, na jejichž výstupu je signál $10.0 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ s rozsahem měřených teplot 0 až 100°C . Signál z teplotního senzoru je k měřicí desce veden pomocí stíněného vodiče. Jelikož je výstupní signál

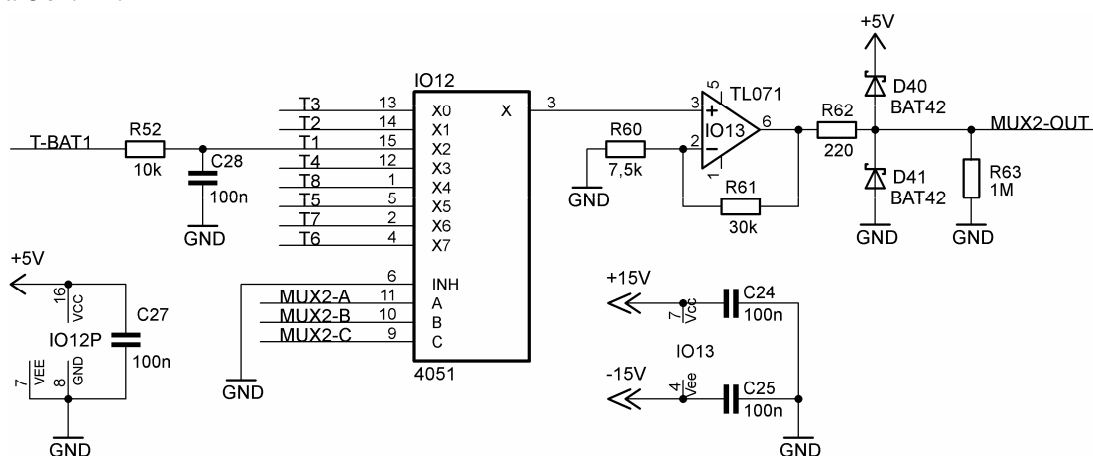
z teplotního senzoru náchylný na rušivé signály, je zde zařazen filtr typu dolní propust s časovou konstantou:

$$\tau = R_{52} \cdot C_{28} = 10000 \cdot 100 \cdot 10^{-9} = \underline{\underline{1ms}} \quad (9)$$

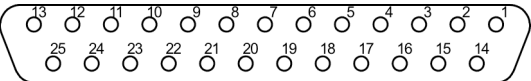
Jelikož se teplota měřeného článku mění jen pomalu, zařazená časová konstanta nezpůsobí chybu měření. Na *Obr. 43* je schéma zapojení pro měření teploty jednoho článku akumulátorové baterie. Rezistor R52 s kondenzátorem C28 tvoří filtr typu dolní propust. Na měřicí desce je tedy osm filtrů, jeden pro každý teplotní senzor. Výstupní signály z filtrů jsou přivedeny na vstupy multiplexeru IO12, které jsou ve schématu označeny T1 až T8. Výběr vstupu multiplexeru je prováděn pomocí řídicích signálů MUX2-A, MUX2-B a MUX2-C, které jsou přiváděny z mikrokontroléru ATmega168. Z důvodu, že výstupní signál z teplotních senzorů je v rozmezí 0 až 1V a vstupní rozsah A/D převodníku v mikrokontroléru je 0 až 5V, následuje za výstupem z multiplexeru neinvertujícího zapojení operačního zesilovače IO13 se zesílením:

$$A = 1 + \frac{R_{61}}{R_{60}} = 1 + \frac{30000}{7500} = \underline{\underline{5}} \quad (10)$$

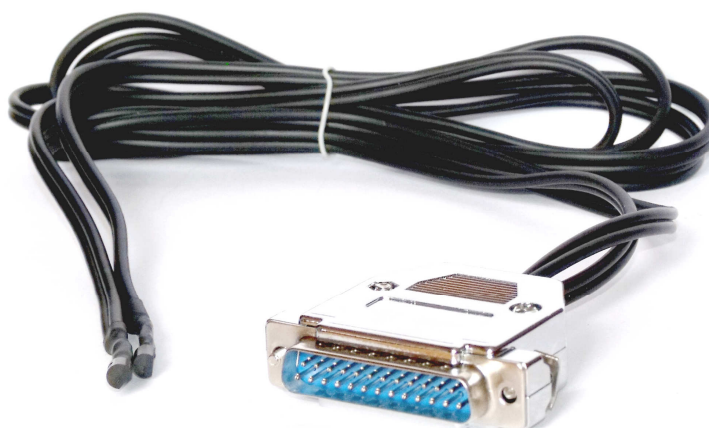
Tím je dosaženo plného využití rozsahu A/D převodníku. Diody na výstupu operačního zesilovače D40 a D41 slouží k omezení výstupního napětí na dovolené hodnoty kvůli ochraně analogového vstupu mikrokontroléru v případě nežádoucích přepětí. Jsou zde použity Schottkyho diody, jelikož mají nižší prahové napětí (cca 400mV). Výstupní napětí je tedy omezeno na hodnoty -0,4 až 5,4V. Rezistor R62 slouží pro omezení výstupního proudu operačního zesilovače v případě poruchy. Na napájecí svorky operačního zesilovače jsou připojeny blokovací kondenzátory C24 a C25, které dodávají energii při přechodných stavech. Výstupní signál z operačního zesilovače MUX2-OUT je přiveden na A/D převodník v mikrokontroléru. Celkové schéma zapojení části pro měření teploty je uvedeno v příloze II. Teplotní senzory jsou k měřicí desce připojeny pomocí konektoru KON7, jehož zapojení je na *Obr. 44*.



Obr. 43 Schéma zapojení měření teploty

	1	GND	14	+5V
	2	T-BAT8	15	GND
	3	T-BAT7	16	+5V
	4	GND	17	+5V
	5	T-BAT6	18	GND
	6	T-BAT5	19	+5V
	7	GND	20	+5V
	8	T-BAT4	21	GND
	9	T-BAT3	22	+5V
	10	GND	23	+5V
	11	T-BAT2	24	GND
	12	T-BAT1	25	+5V
	13	GND		

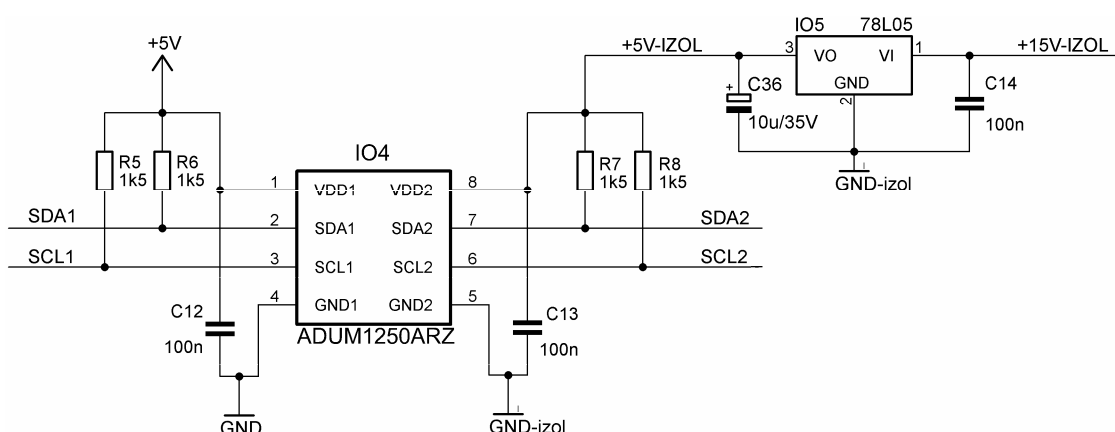
Obr. 44 Zapojení konektoru KON7 na DPS (konektor Cannon 25 – zásuvka)



Obr. 45 Konektor se dvěma teplotními senzory

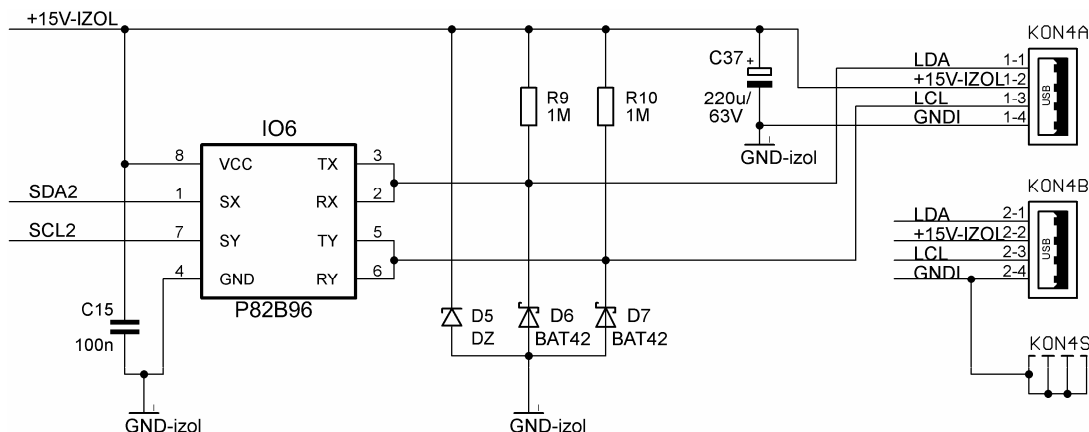
5.5.5 Galvanické oddělení I²C sběrnice

Hlavním požadavkem na měřicí desku bylo galvanické oddělení. Toto je provedeno galvanickým oddělením I²C sběrnice pomocí obvodu ADuM1250. Tento obvod musí být napájen z obou galvanicky oddělených stran. Strana 1 je napájena z napájecího zdroje na měřicí desce. Strana 2 je napájena z napájecího napětí přivedeného z posílené I²C sběrnice. Toto napětí je stabilizováno pomocí monolitického stabilizátoru napětí na 5V. Rezistory R5 až R8 jsou takzvané Pull-Up rezistory, které v klidovém stavu udržují na sběrnici vysokou logickou úroveň. Kondenzátory C12, C13, C14 a C36 slouží jako blokovací.



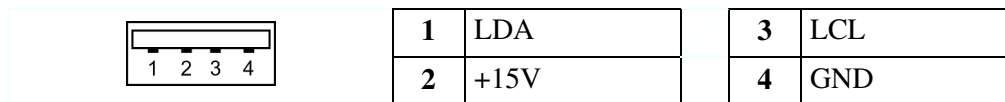
Obr. 46 Schéma zapojení galvanického oddělení I²C sběrnice s ADUM1250

5.5.6 Posilovač I²C sběrnice



Obr. 47 Schéma zapojení posilovače I²C sběrnice s P82B96

Schéma zapojení posilovače sběrnice je na Obr. 47 a je obdobné jako na komunikační desce. USB konektor na měřicí desce je dvojitý, což umožňuje jednoduché vytvoření odbočky na I²C sběrnici. Zapojení konektoru je uvedeno na Obr. 48. Kondenzátor C15 slouží jako blokovací. Diody D6 a D7 slouží pro omezení záporných špiček na LDA a LCL. Schottkyho diody jsou použity z důvodu, že mají nižší prahové napětí (cca 400mV). Zenerova dioda DZ chrání integrovaný obvod IO6 před přepětím, které může vzniknout na sběrnici. Rezistory R9 a R10 jsou Pull-Up rezistory, které v klidovém stavu udržují na sběrnici vysokou logickou úroveň.



Obr. 48 Zapojení konektoru KON4A a KON4B na DPS (konektor USB A – zásuvka)

5.6 Programové vybavení jednotky

Pro programování mikrokontrolérů bylo zvoleno programovací prostředí z projektu Arduino (oficiální stránky <http://www.arduino.cc/>), jelikož je díky tomu možné mikrokontroléry programovat bez nutnosti speciálních programátorů. Toto programovací prostředí je možné zdarma stáhnout z oficiálních stránek projektu. Mikrokontrolér, ve kterém je nahrán bootloader, stačí připojit k sériové lince, popřípadě použít převodník RS232/USB. Výhodou tohoto programovacího prostředí je také to, že je možné využít mnoho již napsaných a odladěných knihoven pro zjednodušení a zefektivnění programování a také je na internetu a v různé literatuře dostupné množství ukázkových programů. Samozřejmostí je i možnost programovat přímo v C++ a pracovat s registry mikrokontroléru. Použité vývojové prostředí je určeno pro vývojový kyt Arduino a z tohoto důvodu jsou I/O piny v programu označovány jinak, než na samotném mikrokontroléru, jak ukazuje *Obr. 49*. Programy pro měřicí a komunikační desku jsou uvedeny v přílohách VI a VII.

Arduino function					Arduino function
reset	(PCINT14/RESET) PC6	1	28	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)	analog input 5
digital pin 0 (RX)	(PCINT16/RXD) PD0	2	27	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)	analog input 4
digital pin 1 (TX)	(PCINT17/TXD) PD1	3	26	PC3 (ADC3/PCINT11)	analog input 3
digital pin 2	(PCINT18/INT0) PD2	4	25	PC2 (ADC2/PCINT10)	analog input 2
digital pin 3 (PWM)	(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	5	24	PC1 (ADC1/PCINT9)	analog input 1
digital pin 4	(PCINT20/XCK/T0) PD4	6	23	PC0 (ADC0/PCINT8)	analog input 0
VCC	VCC	7	22	GND	GND
GND	GND	8	21	AREF	analog reference
crystal	(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	9	20	AVCC	VCC
crystal	(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	10	19	PB5 (SCK/PCINT5)	digital pin 13
digital pin 5 (PWM)	(PCINT21/OC0B/T1) PD5	11	18	PB4 (MISO/PCINT4)	digital pin 12
digital pin 6 (PWM)	(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	12	17	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)	digital pin 11 (PWM)
digital pin 7	(PCINT23/AIN1) PD7	13	16	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)	digital pin 10 (PWM)
digital pin 8	(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	14	15	PB1 (ADC2/PCINT1)	digital pin 9 (PWM)

Obr. 49 Označení pinů mikrokontroléru ATmega168 / ATmega328 na vývojovém kytu Arduino [8]

5.7 Realizace jednotky

Jednotlivé DPS byly navrženy v editoru plošných spojů Eagle od firmy CadSoft. Komunikační i měřicí desky jsou navrženy na jednostranný plošný spoj s použitím klasických součástek s drátovými vývody. Jen integrované obvody FT232RL, ADuM1250 a P82B96 jsou v provedení SMD, a jsou tedy umístěny na plošném spoji na straně spojů. Jelikož je DPS jednostranná, nebylo možné vyhnout se použití několika drátových propojek. Výkresy plošných spojů jsou uvedeny v přílohách I a II. Monolitické stabilizátory napětí jsou opatřeny chladiči. Jednotlivé DPS jsou umístěny v plastových krabičkách. Komunikační deska je ke krabičce přichycena čtyřmi vruty. Měřicí desky jsou ke krabičce přichyceny pomocí distančních sloupků s vnitřním závitem na obou stranách. Měřicí desky byly zhotoveny dvě, přičemž u první z nich

bylo pár chyb v návrhu, které byly u druhé již odstraněny. Největší chybou bylo otočení integrovaného obvodu IO4, který je tedy na první desce připájen vzhůru nohama.

5.8 Uživatelské rozhraní v LabVIEW

Uživatelské rozhraní pro obsluhu monitorovací jednotky je vytvořeno v programu LabVIEW. Díky tomuto rozhraní je možné sledovat aktuální naměřené hodnoty, vykreslovat je v reálném čase a zároveň zaznamenávat zvolené naměřené hodnoty do souboru. Ovládání rozhraní je rozloženo na čtyřech kartách. Na první kartě se nastavují parametry komunikace a ukládání, na druhé kartě jsou zobrazeny aktuální naměřené hodnoty a na třetí a čtvrté kartě je možné vykreslovat průběhy napětí a teploty vybraných článků baterie v reálném čase. Podrobný popis ovládání uživatelského rozhraní je uveden v příloze IV.

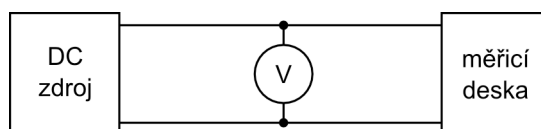
5.9 Ověření přesnosti měření

Přesnost měření monitorovací jednotky byla ověřena srovnáním naměřených hodnot se skutečnými. Jako skutečné hodnoty byly použity hodnoty naměřené přesným digitálním multimetrem FLUKE 87V.

Přesnost digitálního multimetru FLUKE 87V:

- DC napětí: $\pm (0,05\% + 1)$
- teplota: $\pm (1\% + 10)$

Měření napětí



Obr. 50 Blokové schéma měření napětí

Pro výpočet chyby měření byly použity následující vzorce:

- absolutní chyba (vzhledem ke skutečné hodnotě)

$$\Delta_a = U_N - U_S \quad (\text{V}) \quad (11)$$

- relativní chyba (vzhledem ke skutečné hodnotě)

$$\delta_r = \frac{\Delta}{U_S} \cdot 100 \quad (\%) \quad (12)$$

U_S (mV)	U_N (mV)	Δ_a (mV)	δ_r (%)
1000	986	-14	-1,40
1100	1079	-21	-1,91
1200	1187	-13	-1,08
1300	1275	-25	-1,92
1400	1377	-23	-1,64
1500	1489	-11	-0,73
1600	1587	-13	-0,81
1700	1680	-20	-1,18
1800	1787	-13	-0,72
1900	1880	-20	-1,05
2000	1982	-18	-0,90
2100	2080	-20	-0,95
2200	2178	-22	-1,00
2300	2275	-25	-1,09
2400	2378	-22	-0,92
2500	2470	-30	-1,20
2600	2573	-27	-1,04
2700	2675	-25	-0,93
2800	2777	-23	-0,82
2900	2871	-29	-1,00
3000	2970	-30	-1,00

Tab. 2 Tabulka naměřených hodnot

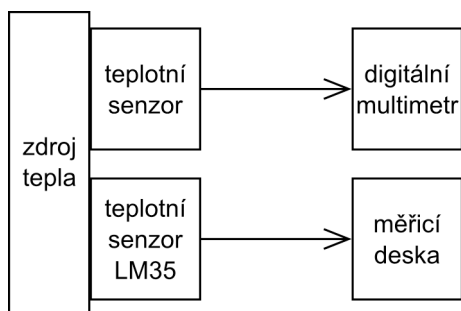
U_S skutečná hodnota (naměřeno digitálním voltmetrem)

U_N naměřená hodnota (naměřeno pomocí měřicí desky)

Z naměřených hodnot uvedených v Tab. 2 je patrné, že relativní chyba měření měřicí desky při měření napětí nepřesáhla 2%.

Měření teploty

Při ověřování přesnosti měření teploty byl jako zdroj tepla použit výkonový rezistor, ke kterému byly připevněny teplotní senzory.



Obr. 51 Blokové schéma měření teploty

Pro výpočet chyby měření byly použity následující vzorce:

- absolutní chyba (vzhledem ke skutečné hodnotě)

$$\Delta_a = T_N - T_S \quad (\text{V}) \quad (13)$$

- relativní chyba (vzhledem ke skutečné hodnotě)

$$\delta_r = \frac{\Delta}{T_S} \cdot 100 \quad (\%) \quad (14)$$

T_S (mV)	T_N (mV)	Δ_a (mV)	δ_r (%)
20	19,6	-0,4	-2,00
25	24,3	-0,7	-2,80
30	29,3	-0,7	-2,33
35	35,5	0,5	1,43
40	40,2	0,2	0,50
45	44,6	-0,4	-0,89
50	50,3	0,3	0,60
55	56	1,0	1,82
60	60,6	0,6	1,00
65	64,3	-0,7	-1,08
70	70,2	0,2	0,29
75	75,8	0,8	1,07
80	82	2,0	2,50
85	86,5	1,5	1,76

Tab. 3 Tabulka naměřených hodnot

T_S skutečná hodnota (naměřeno digitálním voltmetrem)

T_N naměřená hodnota (naměřeno pomocí měřicí desky)

Z naměřených hodnot uvedených v *Tab. 3* je patrné, že relativní chyba měření měřicí desky při měření teploty nepřesáhla 3% oproti hodnotě naměřené digitálním multimetrem.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo uvést důvody pro monitorování baterií a způsoby, jakými se provádí. Dále bylo za úkol navrhnout jednotku pro monitorování stavu jednotlivých článků akumulátorové baterie a tuto jednotku realizovat.

V teoretické části práce je proveden rozbor provozních závad olověných akumulátorů, jako je přebíjení, neúplné nabíjení, hluboké vybíjení, sulfatace a vliv vysokých a nízkých pracovních teplot. Tyto provozní stavy zhoršují vlastnosti akumulátorů a značně zkracují jejich životnost. Z tohoto důvodu je vhodné monitorovat stav akumulátorových baterií.

V praktické části práce byl proveden návrh a realizace monitorovací jednotky pro monitorování stavu jednotlivých článků olověných akumulátorů, které mají jmenovité napětí 2V. Jednotka je navržena modulárně, což umožňuje její jednoduché rozšiřování. Jednotka je tvořena komunikační deskou, která slouží pro komunikaci mezi PC a jednotlivými měřicími deskami. Na PC je vytvořeno uživatelské rozhraní pomocí grafického programovacího jazyku LabVIEW. V tomto uživatelském prostředí je možné sledovat aktuální naměřené hodnoty, vykreslovat grafy v reálném čase a zároveň jsou požadované hodnoty ukládány do souboru. Měřicí desky jsou připojeny ke komunikační desce pomocí I²C sběrnice. Každá měřicí deska měří napětí a teplotu příslušných osmi článků akumulátorové baterie, a proto musí být galvanicky odděleny. Součástí práce bylo také ověření přesnosti měření měřicích desek. Při měření napětí relativní chyba měření nepřesáhla 2% a při měření teploty relativní chyba měření nepřesáhla 3%. Přesnost měření by se dala ještě vylepšit použitím lepších, ale dražších operačních zesilovačů, např. LF412, které mají nižší napěťový offset bez použití korekčních obvodů.

7. Použitá literatura

- [1] CENEK, Miroslav et al. *Akumulátory od principu k praxi*. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-865-3403-0.
- [2] CENEK, Miroslav et al. *Akumulátory a baterie*. Praha: STRO.M, 1996, 149 s.
- [3] KOZUMPLÍK, Josef. *Olověné akumulátory*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství dopravy a spojů, 1975, 244 s.
- [4] ADUM1250 Application note AN-913. *Analog Devices* [online]. 2007 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.analog.com/static/imported-files/application_notes/AN_913.pdf
- [5] ADUM1250 Datasheet. *Analog Devices* [online]. 2011 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADUM1250_1251.pdf
- [6] Architektury počítačů a paralelních systémů. OLIVKA, Petr a David SEIDL. *POLI* [online]. 2011 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://poli.cs.vsb.cz/edu/apps/lab/apps-cvic.pdf>
- [7] ATmega168/328 Datasheet. *Atmel Corporation* [online]. 2009 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.atmel.com/Images/doc8271.pdf>
- [8] ATmega168/328-Arduino Pin Mapping. *Arduino* [online]. 2010 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://arduino.cc/it/Hacking/PinMapping168>
- [9] Bateriový monitorovací systém HB monitoring. *ELTECO-UPS s.r.o.* [online]. 2007 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://everest.natur.cuni.cz/konference/2007/sponzori/elteco/ELTECO_UPS/Ostatni/HBmonitoring.pdf
- [10] Battery Basics and Sulfation. *Canadus Power System* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.canadus.com/pages/page.asp?s=3510>
- [11] Diagnostika a monitorování bateriových systémů a UPS. *Elektro: Odborný časopis pro elektrotechniku* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=26471

-
- [12] FT232R Datasheet. *FTDI Chip* [online]. 2010 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.ftdichip.com/Support/Documents/DataSheets/ICs/DS_FT232R.pdf
- [13] GE Appliances & Lighting Data Center — Battery Room. *GE Money Bank* [online]. 2010 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://pressroom.geconsumerproducts.com/pr/ge/srp-view.aspx?id=149123>
- [14] Komunikace po sériové sběrnici I2C. TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Root.cz* [online]. 2009 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.root.cz/clanky/komunikace-po-seriove-sbornici-isup2supc/>
- [15] Lead/acid batteries. *DoITPoMS* [online]. 2004 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/batteries/batteries_lead_acid.php
- [16] LM35 Datasheet. *Texas Instruments* [online]. 2000 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [17] Olověné automobilové akumulátory. VLASÁK, Zdeněk. *Zvlasak.net* [online]. 2002 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: www.zvlasak.net/baterie_s.pdf
- [18] P82B96 Datasheet. *Texas Instruments* [online]. 2007 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/p82b96.pdf>
- [19] USART. *Technical issues and other things* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: http://www.techsite.ic.cz/?page_id=86
- [20] USB - Universal Serial Bus. REDAKCE HW SERVERU. *Hw.cz* [online]. 2002 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.hw.cz/docs/usb/usb.html>
- [21] VRLA (AGM) BATERIE. *ELNIKA plus s.r.o* [online]. 2012 [cit. 2012-04-01]. Dostupné z: <http://www.elnika.cz/elnika.php?p=cze/akumulatory-specifikace>

8. Seznam příloh

Příloha I	Schématy zapojení a DPS komunikační desky
Příloha II	Schématy zapojení a DPS měřicí desky
Příloha III	Seznam součástí
Příloha IV	Popis uživatelského rozhraní
Příloha V	Fotky
Příloha VI	Program pro komunikační desku
Příloha VII	Program pro měřicí desku
Příloha VIII	CD s elektronickou verzí diplomové práce, zdrojovými kódy, programem v LabVIEW, fotkami a schémata a návrhy DPS v Eaglu