

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

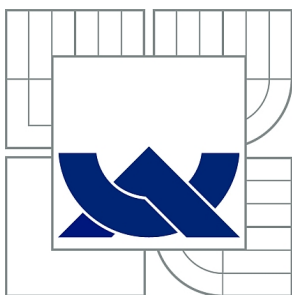
ELEKTRONICKÝ MĚŘIČ KAPACITY A VNITŘNÍHO ODPORU  
AKUMULÁTORŮ A BATERIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

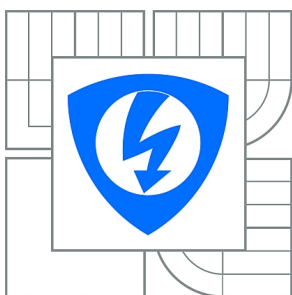
PAVEL MACHALA

BRNO 2010



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV TELEKOMUNIKACÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATIONS

## **ELEKTRONICKÝ MĚŘIČ KAPACITY A VNITŘNÍHO ODPORU AKUMULÁTORŮ A BATERIÍ**

ELECTRONIC TESTER OF CAPACITY AND INTERNAL RESISTANCE OF BATTERIES  
AND ACCUMULATORS

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**PAVEL MACHALA**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**doc. Ing. IVO LATTENBERG, Ph.D.**

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií

Ústav telekomunikací

# Bakalářská práce

bakalářský studijní obor  
**Teleinformatika**

**Student:** Pavel Machala

**ID:** 106609

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2009/2010

## NÁZEV TÉMATU:

**Elektronický měřič kapacity a vnitřního odporu akumulátorů a baterií**

## POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte elektronický měřič, který bude měřit kapacitu akumulátorů a baterií. U baterií to bude za cenu úplného vybití vzorku. Přístroj bude dále umožňovat měření vnitřního odporu. Bude možno při měření vybrat profil (akumulátory/baterie), u každého profilu se budou nastavovat parametry vybití potřebné pro měření kapacity jako je např. vybíjecí proud či napětí při kterém se považuje článek za vybitý. Rezervujte v paměti místo alespoň pro 5 profilů a umožněte jednotlivé profily pojmenovávat (vyhraďte 10 znaků pro název profilu - např. "NiCd 700", "NiMH 2500" apod.). Údaje zobrazujte na displeji a pomocí tlačítek umožněte nastavování parametrů. Pro realizaci uvažujte jednočipový mikro počítač řady ATMEL AVR MEGA. Ověřte činnost realizovaného zařízení změřením vlastností vybraných akumulátorů a baterií. Výsledky uveďte v práci.

## DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. Nabíječky a nabíjení. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 2002, 112 stran, ISBN 80-86056-61-9.

[2] MATOUŠEK, D. Práce s mikrokontroléry Atmel AVR. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 2006, 376 stran, ISBN 80-7300-209-4.

**Termín zadání:** 29.1.2010

**Termín odevzdání:** 2.6.2010

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

**prof. Ing. Kamil Vrba, CSc.**

*Předseda oborové rady*

## UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Tato práce se zabývá návrhem a realizací elektronického měřiče pro měření kapacity a vnitřního odporu galvanických článků. V úvodu se nachází seznámení se základními pojmy a vlastnostmi těchto článků. Dále se pak práce zabývá vhodnými metodami pro měření kapacity a vnitřního odporu napájecích článků. Takové jsou poté aplikovány do návrhu elektronického měřiče, který je v další části podrobně probrán. Navrhované zařízení je řízeno jednočipovým mikroprocesorem ATmega16, jehož software je důkladně popsán v druhé části práce. V závěru práce lze nalézt výsledky a zhodnocení zkušebních testů.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

galvanický článek, kapacita baterie, vnitřní odpor, vybíjení, vybíjecí proud, mikroprocesor, umělá zátěž, měření.

## **ABSTRACT**

This work deals with the design and realization of electronic tester of capacity and internal resistance of galvanic cells. In the beginning is situated the familiarization with basic concepts and features of galvanic cells. There are also described appropriate methods for measuring capacity and internal resistance. These principles are applied into the design of electronic tester which is described in detail in the next chapter. The designed device is controlled by a microprocessor chip ATmega16, whose software is thoroughly described in the second part. In the end you can find the results of testing and assessment of these tests.

## **KEYWORDS**

galvanic cell, capacity battery, internal resistance, discharging, discharging current, microcontroller, artificial load, measurement.

MACHALA, P. Elektronický měřič kapacity a vnitřního odporu akumulátorů a baterií. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2010. XY s. Vedoucí semestrální práce doc. Ing. Ivo Lattenberg, Ph.D.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Elektronický měřič kapacity a vnitřního odporu akumulátorů a baterií“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

V Brně dne .....

.....

(podpis autora)

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji vedoucímu bakalářské práce, doc.Ing. Ivu Lattenbergovi, Ph.D za cenné rady v průběhu celého vývoje zařízení, za pomoc při řešení problémů spojených s vlastní realizací a za zapůjčení programátoru ASIX PRESTO. Dále bych chtěl poděkovat svému otci Stanislavu Machalovi za výrobu kovové konstrukční krabičky.

# OBSAH

<b>Seznam obrázků</b>	<b>vii</b>
<b>Úvod</b>	<b>8</b>
<b>1 Galvanické články</b>	<b>9</b>
1.1 Úvod do problematiky galvanických článků .....	9
1.1.1 Primární články .....	9
1.1.2 Akumulátory .....	9
1.2 Základní pojmy .....	10
1.2.1 Kapacita .....	10
1.2.2 Vnitřní odpor .....	10
1.2.3 Jmenovité napětí .....	10
1.2.4 Vybíjecí proud .....	10
1.3 Vybíjecí charakteristika článků .....	10
<b>2 Kapacita a vnitřní odpor článků</b>	<b>12</b>
2.1 Kapacita .....	12
2.1.1 Vliv vybíjecího proudu a teploty .....	12
2.2 Vnitřní odpor .....	13
2.3 Metody měření kapacity a vnitřního odporu .....	15
2.3.1 Princip měření kapacity galvanického článku .....	15
2.3.2 Princip měření vnitřního odporu galvanického článku .....	15
<b>3 Návrh elektronického měřiče</b>	<b>17</b>
3.1 Blokové schéma .....	17
3.1.1 Princip měření kapacity .....	18
3.1.2 Měření vnitřního odporu .....	18
3.2 Popis jednotlivých částí elektronického měřiče .....	19
3.2.1 Jednočipový mikroprocesor .....	19
3.2.2 D/A převodník .....	19
3.2.3 Umělá zátěž .....	20
a) Operační zesilovač .....	20
b) Výkonový tranzistor .....	21
c) Snímací odpor .....	21

3.2.4	Ovládací panel .....	22
3.2.5	LCD Displej .....	22
3.2.6	Přídavná signalizace .....	23
3.2.7	Napájení zařízení .....	23
3.3	Návrh plošného spoje.....	24
3.3.1	DPS – řídicí část .....	24
3.3.2	DPS – ovládací panel.....	24
3.3.3	DPS – umělá zátěž .....	24
3.4	Problémy při realizaci elektronického měřiče .....	25
3.4.1	Rušení v měřicích smyčkách .....	25
3.4.2	Komparátor .....	25
3.4.3	LCD displej.....	25
3.4.4	A/D převodník .....	25
3.5	Návrhy na případné vylepšení měřiče .....	26
3.6	Parametry realizovaného zařízení .....	26
<b>4</b>	<b>Program pro ATMEGA16</b> .....	<b>27</b>
4.1	Vývojový diagram .....	27
4.2	Rozbor programu .....	30
4.2.1	Volba měření kapacity .....	30
4.2.2	Volba měření vnitřního odporu.....	31
<b>5</b>	<b>Měření vlastností galvanických článků elektronickým měřičem kapacity a vnitřního odporu</b> .....	<b>32</b>
5.1	Měření kapacity galvanických článků .....	32
5.1.1	Vybíjecí charakteristiky akumulátoru.....	32
5.1.2	Měření kapacity primárních článků .....	34
5.2	Měření vnitřního odporu galvanických článků.....	35
<b>6</b>	<b>Závěr</b> .....	<b>36</b>
	<b>Literatura</b> .....	<b>37</b>
	<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b> .....	<b>38</b>
	<b>Seznam příloh</b> .....	<b>39</b>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1:	Ukázkové vybíjecí křivky.....	11
Obr. 2.1:	Vybíjecí charakteristiky pro různé teploty.....	12
Obr. 2.2:	Znázornění vlivu vnitřního odporu.....	14
Obr. 2.3:	Srovnání závislostí napětí a vnitřního odporu akumulátorového a primárního článku na stavu vybití.....	14
Obr. 2.4:	Schéma pro měření vnitřního odporu.....	16
Obr. 3.1:	Blokové schéma elektronického měřiče.....	17
Obr. 3.2:	Schéma umělé zátěže.....	21
Obr. 3.3:	Zapojení LCD displeje.....	22
Obr. 4.1:	Vývojový diagram: inicializace a větvení programu.....	27
Obr. 4.2:	Vývojový diagram: Měření kapacity.....	28
Obr. 4.3:	Vývojový diagram: Měření vnitřního odporu měřeného článku.....	29
Obr. 5.1:	Naměřené vybíjecí charakteristiky Ni-MH akumulátoru.....	33

# ÚVOD

Obsahem této práce je navrhnout a realizovat elektronický měřič, který je schopný měřit kapacitu i vnitřního odpor primárních i sekundárních článků. Tyto dva parametry hrají velmi důležitou roli při výběru vhodného galvanického článku pro napájení konkrétního přenositelného zařízení.

Na trhu se pohybuje spousta výrobců primárních a sekundárních článků, jejichž informace o kapacitě se mnohdy liší i o několik set mAh a údaj s hodnotou vnitřního odporu chybí úplně. Pro většinu lidí však tyto údaje nehrají žádnou roli a volba článku záleží pouze na ekonomickém hledisku. Což se nemusí vždy vyplatit, a vinou vysokého vnitřního odporu článku se při nevhodném použití, může kapacita (výdrž) článku značně snížit. K prevenci před takovou nevhodnou volbou slouží právě navrhovaný elektronický měřič, který dokáže proměřit tyto dva parametry galvanických článků. Při porovnání s ostatními měřenými články, pak můžeme zcela jasně vybrat vhodný článek s ohledem na proudové zatížení článku spotřebičem, jeho výdrž a v neposlední řadě na ekonomické hledisko.

Úvodní část práce je věnována teoretickému základu o galvanických článcích. Jsou zde probrány jednotlivé pojmy a parametry jednotlivých článků, včetně ukázky typické vybíjecí charakteristiky. Důraz je kladen především na hlavní parametry kapacita a vnitřní odpor, jejichž princip měření je zde také naznačen pomocí známých metod.

Další část je pak zaměřena na samotný návrh elektronického měřiče. Řídící a zároveň i měřicí jednotku tvoří 8 bitový mikro počítač od firmy ATMEL. Konkrétně je použit v zařízení mikroprocesor ATMEGA16, jehož volba značně zjednodušuje složitost celého zařízení. Navržené zařízení, pro měření obou parametrů, využívá tzv. vybíjení článku pomocí konstantního proudu. Princip bude popsán na blokovém schématu a poté budou podrobně probrány jednotlivé části zařízení a aplikace metod pro měření daných parametrů článků.

V třetí části je nastíněno řešení vlastního programu, který je nahrán v paměti mikroprocesoru. Pomocí vývojových diagramů, je zde přehledně naznačena jeho struktura.

Na závěr jsou uvedeny průběhy jednotlivých měření a výsledky, při různých vstupních podmínkách.

# 1 GALVANICKÉ ČLÁNKY

## 1.1 Úvod do problematiky galvanických článků

Galvanické články se nacházejí především v přenosných elektrických spotřebičích - baterkách, hodinkách, mobilních telefonech, přenosných počítačích, fotoaparátech a kamerách, tzn. všude tam, kde se nelze připojit k elektrické síti. Výhodou galvanických článků bývá snadná přenosnost, malé rozměry, relativně nízká hmotnost. Nevýhodou může být nízké elektromotorické napětí, nízký výkon a krátká životnost.

Po zapojení článku do elektrického obvodu probíhají uvnitř článku reakce, kterými se postupně snižuje elektrická energie uložená v článku, článek se vybíjí. Galvanické články dělíme do 2 základních kategorií. Jsou to primární články a sekundární články (akumulátory). Elektrochemické články elektrickou energii vyrábějí (primární), nebo uskladňují [2].

### 1.1.1 Primární články

Jsou určeny "na jedno použití". Velikost svorkového napětí závisí na použitém elektrolytu a na elektrodách, a pohybuje se od 1 do 3,5 Voltů. Patří mezi ně suchý článek, alkalický, zinko-stříbrný a lithiový článek

### 1.1.2 Akumulátory

Jsou sekundárním (lze je opětovně nabíjet) zdrojem energie a jsou založeny na reverzibilním elektrochemickém procesu, při němž se vybitím spotřebované aktivní chemické látky obnovují opětovným nabitím z jiného, výkonnějšího zdroje stejnosměrného proudu. Jako charakteristické veličiny baterií se vedle napětí (jednotka volt, V) udávají kapacita, tj. energetický obsah (jednotka watthodina, Wh) a hustota energie (Wh/l). Další důležitý údaj je životnost, ta je dána maximálním počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů a určuje tedy jak často a kolikrát lze akumulátor vybíjet resp. nabíjet.

Nejznámější typy jsou: niklkadmiové (Ni-Cd), niklmetalhydridové (Ni-MH), lithiumiontové (Li-Ion) a v poslední době také nové Lithium-Polymerové články (Li-Pol). Pro první dva typy platí nevýhody jako nízká kapacita, paměťový efekt a vysoké samovybíjení. Těmito nedostatky netrpí Lithiové baterie. Li-Ion a Li-Pol mají vysokou energetickou hustotu a z ní vyplývající malé rozměry, nízkou hmotnost, nejsou citlivé na delší přebíjení, neznají paměťový efekt a jejich samovybíjení je v porovnání s ostatními bateriemi minimální (za půl roku asi jen o třicet procent) [3].

## 1.2 Základní pojmy

### 1.2.1 Kapacita

Kapacita se nejčastěji udává v miliampérhodinách (mAh). Například údaj 1000 mAh znamená, že článek může dodávat proud 1000 mA po dobu jedné hodiny nebo třeba 200 mA po dobu pěti hodin ap. Potom je akumulátor vybit a při zatížení neudrží napětí. Tužkové články NiMH dnes dosahují kapacity kolem 2200 mAh, bloky lithiových baterií v noteboocích to mohou dotáhnout i na více než 6000 mAh [4].

### 1.2.2 Vnitřní odpor

Udává schopnost článku dávat větší nebo menší vybíjecí proud. Velikost odporu článku při průchodu elektrického proudu, články s malým vnitřním odporem se označují jako tvrdé zdroje, články s velkým vnitřním odporem se označují jako měkké zdroje [4].

### 1.2.3 Jmenovité napětí

Pojem *jmenovité napětí* definují české státní normy ČSN EN 60285+A1 a ČSN EN 61436. Z definice vyplývá, že jmenovité napětí např. NiCd nebo NiMH akumulátorového článku je 1,2 V (bývá napsáno na obalu článku).

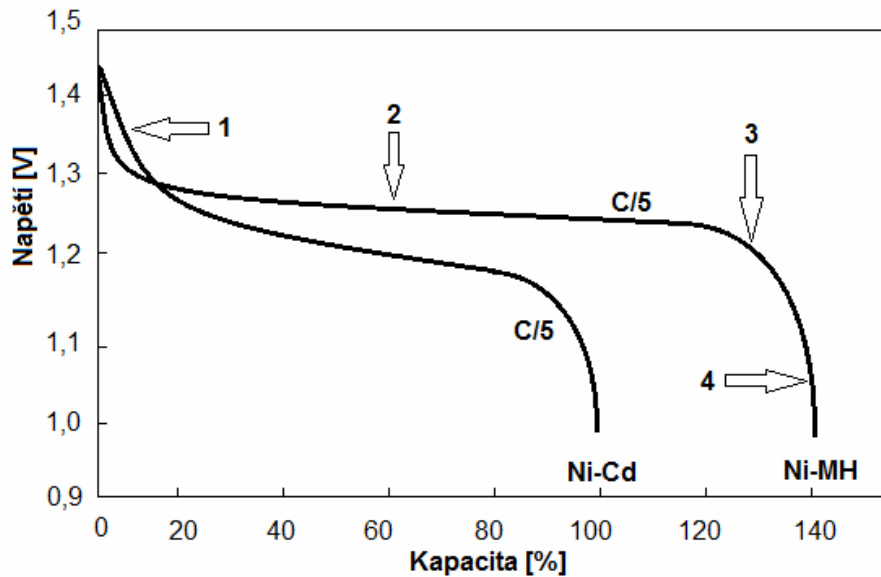
### 1.2.4 Vybíjecí proud

Tento pojem zavádíme proto, aby bylo možné vyjádřit velikost vybíjecího proudu (což jsou jisté charakteristické údaje pro jednotlivé typy článků) nezávisle na konkrétní kapacitě článku. Udává se (v mA či A) jako násobek čísla C, které zastupuje jmenovitou (číselnou) hodnotu kapacity (udané v mAh či Ah). Je-li například článek o kapacitě 1000 mAh vybíjen poměrným proudem 3 C, znamená to, že v absolutním vyjádření jde o proud 3 x 1000 mA, tedy 3A [4].

## 1.3 Vybíjecí charakteristika článků

Znát vybíjecí charakteristiku svých akumulátorů je velmi užitečná věc, předpokládá ale, že z ní umíme vyčíst potřebné údaje. Jen tak totiž může prozradit blížící se kolaps zařízení dřív, než k němu opravdu dojde. [7]

Jako příklad jsou na obr. 1.1 znázorněny vybíjecí charakteristiky NiCd a NiMH článků. Bezproude napětí nabitých článků se u obou typů pohybuje v rozsahu 1,25 až 1,35V/článek. Při vybíjení je typické napětí 1,2V na článek a konečné napětí je 1V/článek.



Obr. 1.1: Ukázkové vybíjecí křivky.

Oblast vyššího napětí (1) na počátku vybíjecí charakteristiky je důsledkem čerstvého nabití před měřením. Čím je větší odstup od nabití, tím je menší. Po delším stání akumulátoru téměř mizí. Končí obvykle při napětí kolem 1,25 V na článek resp. nejpozději po vyčerpání 20 % energie.

Oblast (2) je pro provoz modelu nejdůležitější. Nachází se zpravidla mezi 20 a 80% využitelné kapacity, napětí článku při přiměřeném vybíjecím proudu se pohybuje kolem jmenovitého tj. 1,20 V, s vyšším vybíjecím proudem samozřejmě trochu níž. V této oblasti nejlépe poznáme tvrdost akumulátoru, v ideálním případě je zde charakteristika téměř vodorovná. Čím větší sklon, tím měkčí články. Každopádně tento úsek je viditelně rovnější, než sousední úseky (1) a (3).

V oblasti (3), kolenu charakteristiky, začíná napětí čím dál rychleji klesat. Ostré a krátké koleno je znakem kvalitních, tvrdých akumulátorů.

Poslední úsek (4) je již prakticky rovný, velmi strmý pád napětí v posledních procentech kapacity akumulátoru. Pokud jde o slabší článek v sadě, může být procházejícím proudem i přepólován až na napětí kolem -0,5V, současně podstatně zvyšuje vnitřní odpor celé sady [6].

## 2 KAPACITA A VNITŘNÍ ODPOR ČLÁNKŮ

V této kapitole jsou důkladně probrány základní parametry galvanických článků.

### 2.1 Kapacita

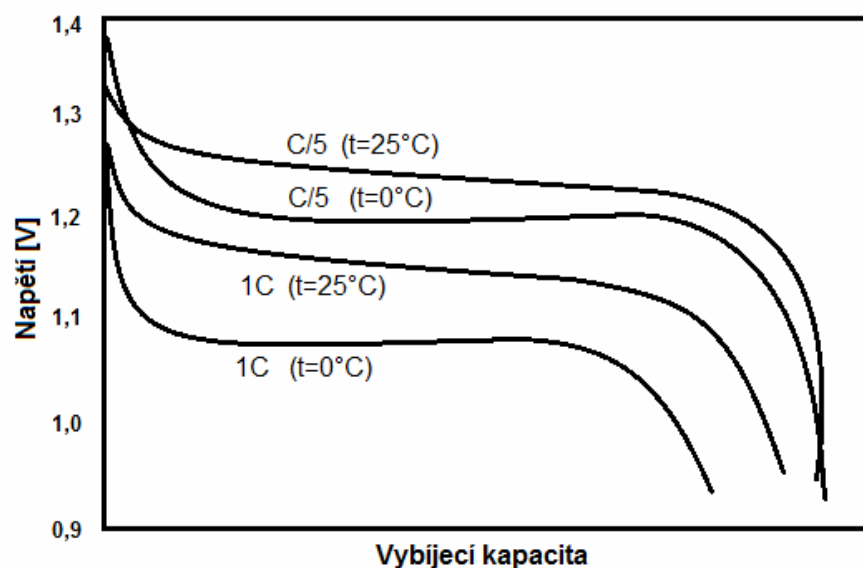
Nejvíce sledovanou vlastností akumulátoru při napájení spotřebiče je většinou jeho kapacita, tj. schopnost dodat do zátěže určitý náboj. Je potřebné si uvědomit, že velikost tohoto náboje je závislá na odebíraném proudu. Kapacita akumulátoru udávaná výrobcem platí většinou pro malé proudy. Při vybíjení proudem 0,1 C a teplotě okolí kolem 25 °C jsou vybíjecí charakteristiky akumulátorů velmi podobné. Ale při větších proudech se již projevuje velikost vnitřního odporu, která je odlišná.

Kapacitou akumulátoru rozumíme schopnost dodat určité množství elektrické energie ve stanovené době až do poklesu napětí vybíjeného článku na nejnižší povolenou hranici. Tato schopnost se mění především konstrukčním uspořádáním akumulátorového článku a i některými dalšími vlivy.

Jednotkou je mAh (miliampérhodina), takže baterie s kapacitou např. 1600mAh dokáže dodávat proud o velikosti např. 100mA po dobu 16 hodin.

#### 2.1.1 Vliv vybíjecího proudu a teploty

Na obr. 2.2 je znázorněna závislost vybíjecí charakteristiky na vybíjecím proudu a na teplotě okolí.



Obr. 2.1: Vybíjecí charakteristiky pro různé teploty a proudy.

Při větším proudu a za nižších teplot bude pracovní napětí nižší. Je to způsobeno zvětšením napěťového úbytku ( $I_{VYB} \times R_i$ ) při vyšším proudu a zvýšením vnitřního odporu článku za nízkých teplot. Kapacita může být zvýšena vybíjením na nižší vybíjecí napětí. Baterie by však neměla být vybíjena pod určité napětí (např. 0,9 nebo 1V/článek), jinak hrozí poškození baterie.

Optimální výkonnosti baterií je dosaženo při teplotách 0°C až 45°C. kapacita baterie se velmi znatelně snižuje při velkých vybíjecích proudech a nízkých teplotách. Při menších vybíjecích proudech (asi C/5) je ale vliv nízké teploty na kapacitu baterie minimální [7].

## 2.2 Vnitřní odpor

Vnitřní odpor je měřítkem účinnosti při zatěžování různě velkými proudy. Hodnota vnitřního odporu článků na výrobku nebývá běžně uvedena. Články s větším vnitřním odporem nejsou vhodné pro spotřebiče, které odebírají velký proud.

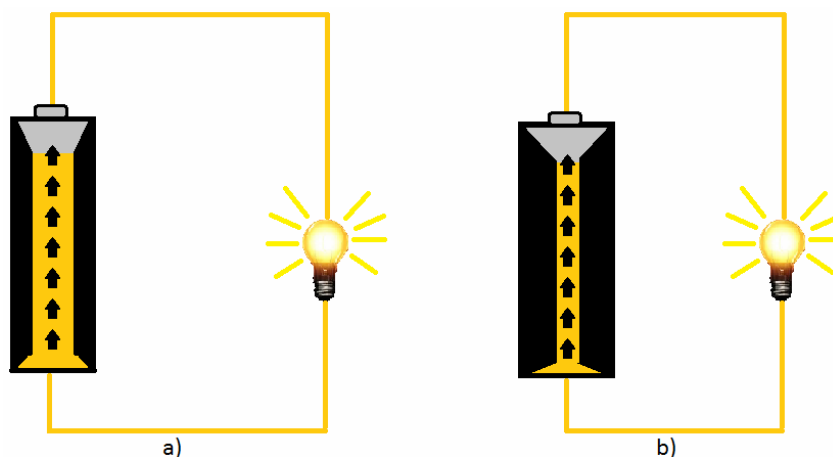
U renomovaných výrobců, kteří ve stejné velikosti dodávají několik typů článku, bývá zvykem, že na balení článků (blistru) je kryptogramem označen vhodný, popř. nevhodný druh spotřebiče. Co se týče článků, kde jakákoliv informace chybí, je možné vycházet jen z několika doporučení [8]:

- pro spotřebiče s velkým proudovým odběrem a krátkou dobou používání (hračky, dětská autíčka apod.) jsou vhodné zinkochloridové články,
- pro spotřebiče s většími proudovými odběry ve značně nepravidelných intervalech (fotoaparáty, svítlny) jsou vhodnější alkalické články s malým vnitřním odporem,
- pro spotřebiče s malým odběrem a dlouhou dobou činnosti (hodiny apod.) jsou vhodné alkalické články s větším vnitřním odporem – u nich bývá garantována delší doba životnosti,
- pro spotřebiče s velkým odběrem a častým používáním jsou vhodnější nabíjitelné (sekundární) články – akumulátory.

Čím menší je vnitřní odpor, tím později "povolí" napětí při velkých proudech a akumulátor se méně zahřívá. Článek dodává plný výkon, jen je-li jeho vnitřní odpor co nejnižší. Pouze tehdy udrží napětí i v případě, že spotřebič odebírá hodně proudu. Taková situace například nastane, když se mobilní telefon přihlašuje do sítě v nepříznivých rádiových podmínkách nebo když notebook velmi často pracuje s diskem, atd.

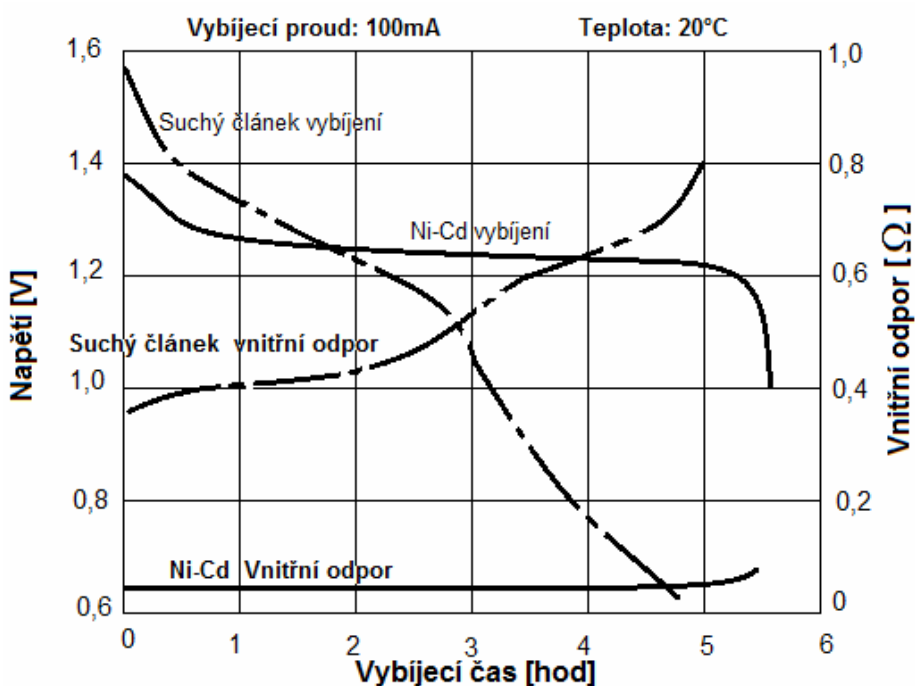
Na obr. 2.2 lze porovnat situaci "zdravého" a) akumulátoru s nízkým a "nemocného" b) s vysokým vnitřním odporem. Velký vnitřní odpor škrtí průtok proudu článkem: potřebuje-li přístroj krátkodobě hodně proudu, napětí akumulátoru v důsledku velkého odporu poklesne i když je "naládován" až po okraj. Na to však zareaguje obvod přístroje hlídající vybití akumulátoru a způsobí jeho předčasné odpojení, ačkoliv je v něm stále ještě nevyužitá energie.

Články s malým vnitřním odporem se označují jako tvrdé zdroje, články s velkým vnitřním odporem se označují jako měkké zdroje [4].



Obr. 2.2: Znárodnění vlivu vnitřního odporu

Vnitřní odpor akumulátoru se v průběhu vybíjení narozdíl od vnitřního odporu primárního suchého článku téměř nemění. Tento fakt je dobře patrný z Obr. 2.3. Z něho je zřejmé, že zatímco při vybíjení proudem 100 mA vnitřní odpor primárního suchého článku postupně rostl v rozmezí asi 0,4  $\Omega$  až 0,8  $\Omega$ , vnitřní odpor akumulátoru zůstal po celou dobu vybíjení téměř konstantní a menší než 0,05  $\Omega$  [5].



Obr. 2.3: Srovnání závislostí napětí a vnitřního odporu akumulátorového a primárního článku na stavu vybití

Pokud se vnitřní odpor akumulátoru (u lithiových typů v důsledku stárnutí, u niklových kvůli nesprávnému nabíjení) zvýší, jím napájený přístroj se vypne třeba už po několika minutách provozu.

## 2.3 Metody měření kapacity a vnitřního odporu

### 2.3.1 Princip měření kapacity galvanického článku

Kapacita (značí se nejčastěji  $C$ ,  $K$  nebo  $Q$ ) článků a akumulátorů se určuje v ampérhodinách. Při jejím měření se článek (nebo akumulátor) vybíjí proudem tekoucím přesně určeným zatěžovacím odporem. Současně se měří svorkové napětí. Zmenší-li se napětí na napětí charakteristické pro vybitý stav, změříme dobu vybíjení  $t$ . Z hodnot svorkového napětí během vybíjení lze určit průměrné svorkové napětí po celou dobu vybíjení. Výsledná kapacita je určena vztahem

$$Q = \frac{U_P \cdot t}{R}, \quad [\text{A.h; V, h, } \Omega] \quad (2.1)$$

kde:  $U_P$  je průměrné svorkové napětí,  
 $t$  je doba vybíjení,  
 $R$  zatěžovací odpor.

Kapacita je vlastně nejdůležitějším parametrem všech článků a akumulátorů. Pokud nedojde k jejich mechanickému nebo chemickému vnějšímu poškození, je jejich doba života určena počtem nabíjecích a vybíjecích cyklů, po které se jmenovitá kapacita nezmenší pod určitou mez. Parametry elektrochemických článků se značně odlišují nejrůznějšími vnějšími vlivy. Proto i údaj o kapacitě by měl obsahovat další podrobnosti.

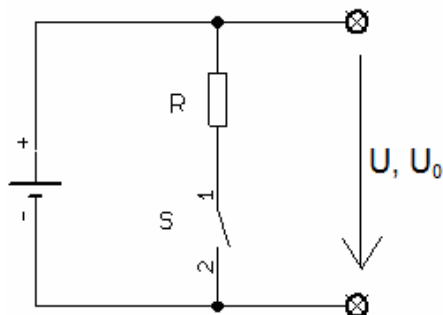
Kapacita akumulátorů udávaná výrobcem je vždy minimální zaručená kapacita. Obecně závisí na teplotě, hustotě elektrolytu, na způsobu nabíjení a vybíjení, atd. [1]

### 2.3.2 Princip měření vnitřního odporu galvanického článku

Vnitřní odpor  $R_V$  se měří viz obr. 2.4. Voltmetrem s velkým vnitřním odporem změříme, nejdříve napětí naprázdno  $U_0$ , poté se sepne spínač  $S$  a změříme svorkové napětí na zatíženém článku. Vnitřní odpor vypočítáme pomocí vztahu

$$R_V = \frac{R(U_0 - U)}{U}, \quad [\Omega; \Omega, \text{V}] \quad (2.2)$$

kde:  $R$  je zatěžovací odpor,  
 $U$  je svorkové napětí zatíženého článku,  
 $U_0$  je napětí naprázdno.



Obr. 2.4: Schéma pro měření vnitřního odporu

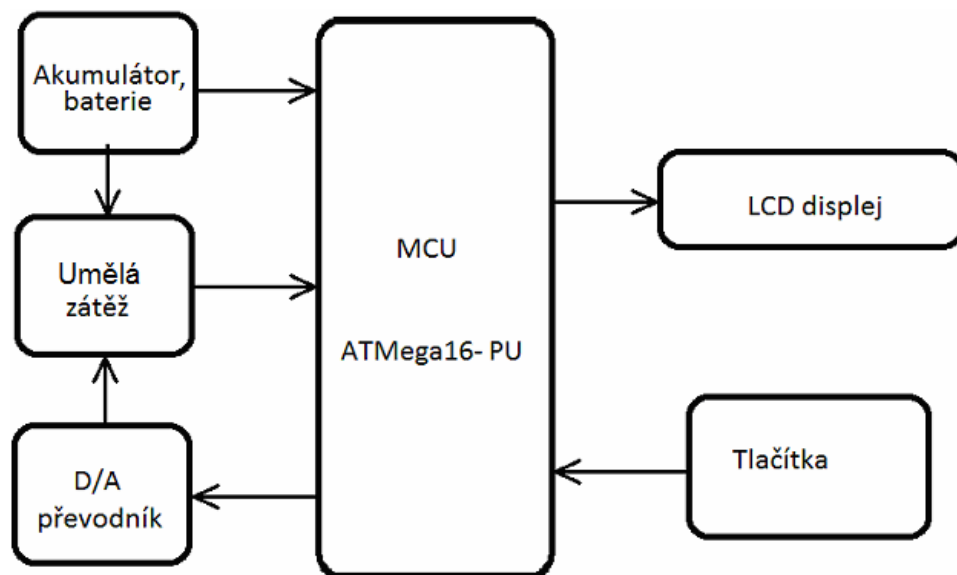
Vnitřní odpor článků a akumulátorů není konstantní veličinou. Většinou nás zajímá jeho změna během vybíjení článků nebo akumulátorů. Během vybíjení se totiž obvykle vnitřní odpor zvětšuje, což má za následek zmenšení pracovního napětí (výjimku tvoří stříbro-zinkový akumulátor). S touto okolností je třeba počítat při návrhu elektronických přístrojů napájených z elektrochemických zdrojů. [1]

### 3 NÁVRH ELEKTRONICKÉHO MĚŘIČE

Tato kapitola je věnována vlastnímu návrhu zařízení. Na začátek bude na blokovém schématu vysvětlena činnost zařízení a poté budou rozebrány jednotlivé části zařízení. Na závěr budou probrány jednotlivé návrhy DPS.

#### 3.1 Blokové schéma

Na blokovém schématu (Obr. 3.1) je znázorněno složení měřiče a také směr komunikace mezi jednotlivými bloky. Navržené zařízení slouží jak pro měření kapacity, tak pro měření vnitřního odporu napájecích galvanických článku.



Obr. 3.1: Blokové schéma elektronického měřiče

Elektronický měřič obsahuje 6 bloků nezbytných pro svou funkci. Jádrem zařízení je logická řídicí jednotka, která je tvořena mikropočítačem, jenž slouží k řízení, měření a zpracování výsledků. Pro nastavení vstupních podmínek měření jsou použita mechanická tlačítka, k výstupu informací je použit dvou řádkový LCD displej.

Dalším důležitým blokem je D/A převodník, který převádí digitálně zakódovanou hodnotu napětí na napětí analogové o požadované velikosti, které je určujícím pro blok umělá zátěž. Ta tvoří druhou nejdůležitější část celého zařízení, která slouží pro nastavení požadovaného vybíjecího proudu. Z umělé zátěže je přenášena informace o aktuálním vybíjecím proudu do řídicí jednotky, která je využita při výpočtu kapacity a zobrazována na displeji během měření. Posledním blokem je přípravek s měřeným článkem, který je připojen k vybíjecímu obvodu a pomocí čtyřbodové metody je přenášena aktuální hodnota svorkového napětí měřeného článku do mikroprocesoru.

Všechny bloky jsou podrobně probrány v následujících kapitolách.

### 3.1.1 Princip měření kapacity

Pro měření kapacity se využívá způsobu uvedeného v kapitole 2.

Pomocí tlačítek a LCD displeje se nejdříve nastaví parametry pro měření:

- Prahové napětí pro ukončení měření
- Vybíjecí proud

Před samotným měřením dojde nejdříve k přepočtu hodnoty vybíjecího proudu na napětí, jehož hodnota se posléze nastaví na snímacím odporu v umělé zátěži. Toto napětí se v bitové podobě odešle po sériovém kanálu SPI do DA převodníku, jehož výstupem je již analogová hodnota napětí. Tímto napětím je pak řízena umělá zátěž, která je přímo připojena na svorky napájecího článku. Umělá zátěž tedy nastaví požadovaný vybíjecí proud a měření tak začíná. Článek je vybíjen konstantním proudem. Nyní je důležitou částí A/D převodník, jež je integrován v jednom z portů mikroprocesoru (lze taky použít externí A/D převodník, při použití mikroprocesoru bez této možnosti). Na jeden vstup takového portu je pak přivedeno aktuální napětí ze svorek článku. Po dobu měření je počítán čas, který je přímo úměrný kapacitě. K ukončení měření dojde při poklesu svorkového napětí vybíjeného článku na přednastavenou prahovou hodnotu. Následně dojde k odpojení umělé zátěže uzavřením kanálu výkonového tranzistoru, k výpočtu kapacity a zobrazení kapacity měřeného článku na LCD displeji. Pro výpočet kapacity je použita rovnice (2.1) z části 2.3.1.

### 3.1.2 Měření vnitřního odporu

Pro měření vnitřního odporu je platné stejné blokové schéma jako v případě měření kapacity, ale průběh měření se logicky liší. Využívá se principu z kapitoly 2. Před vlastním měřením je nutné nastavit při jaké zátěži bude vnitřní odpor měřen, což umožňuje větší věrohodnost získaných výsledků. Měření je rozděleno do dvou fází. Nejdříve je změřeno svorkové napětí článku zapojeného naprázdno. Poté dojde automaticky k zatížení článku nastaveným proudem. Po několika sekundách se opět změní hodnota napětí na svorkách akumulátoru, a ihned dojde k odpojení zátěže. Z naměřených hodnot jednotlivých napětí se pak dle vztahu (2.2) z části 2.3.2, vypočítá vnitřní odpor článku a jeho hodnota je zobrazena na LCD displeji.

## 3.2 Popis jednotlivých částí elektronického měřiče

V této podkapitole jsou podrobně rozebrány všechny části navrhovaného zařízení.

### 3.2.1 Jednočipový mikroprocesor

Srdcem zařízení je jednočipový mikroprocesor. Jeho úkolem je měřit napětí, ovládat D/A převodník, provádět potřebné výpočty, obsluhovat tlačítka a zajistit komunikaci se zobrazovacím prvkem. Při volbě mikroprocesoru je třeba dobře promyslet k čemu se bude používat. Volba vychází také z požadavku na zjednodušení složitosti celého zařízení a také úsporu finančních prostředků. Proto byl zvolen mikroprocesor, který má integrovaný A/D převodník, potřebný pro měření napětí, dále pak obsahuje paměť EEPROM, do které se budou ukládat znaky pro LCD displej, SPI sériový kanál, 3 časovače a dostatečný počet vstupně/výstupních bran.

Z velkého množství mikroprocesorů byl nakonec vybrán MCU od firmy AVR, z rodiny ATMEL AVR MEGA, konkrétně je to typ ATmega16-16 v pouzdře PDIP. Tento typ obsahuje 4 vstupně/výstupní porty (32 vstupů/výstupů), dále obsahuje všechny výše zmíněné obvody, a další lze nalézt v datasheetu [9]. Důvodem pro volbu tohoto procesoru je také spousta literatury a materiálů dostupných online.

Pro A/D převodník integrovaný v portu A je nutné mít stabilní referenční napětí. Programově je zajištěno vnitřní referenční napětí o velikosti 2,57V, což taky určuje maximální svorkové napětí měřeného článku. V obvyklých případech, kdy budou měřeny články se jmenovitým napětím cca 1,2V bude však využita jen polovina rozsahu. Avšak při rozlišení 10 bitů, získaný výsledek odpovídá skutečné hodnotě napětí v měřeném bodě. Pro správnou funkci při interní referenci je nutné vstup AREF připojit přes kondenzátor o velikosti 100n na zem, který tvoří filtr proti zášumům a také musí být na vstup AVCC (napájení AD převodníku) připojen LC filtr, což je doporučené zapojení výrobce mikroprocesoru.

Mikroprocesor sám o sobě má také zabudovaný kalibrovaný RC oscilátor s frekvencí 1 MHz. Jelikož navržené zařízení vyžaduje přesné časování je nutné připojit externí krystal. K mikroprocesoru je tedy připojen externí krystal s frekvencí 16MHz, což také znamená že je dosažen maximální výpočetní výkon tohoto procesoru.

### 3.2.2 D/A převodník

Použití této součástky již bylo vysvětleno v podkapitole 3.1. Jako D/A převodník jsem zvolil 12 bitový MCP4921 od firmy Microchip. Jehož 12 bitové rozlišení umožňuje velmi přesné nastavení vybíjecího proudu. Daný typ je ovládaný přes SPI sériový kanál a tím je také spojen s mikropočítačem. Jak již bylo řečeno, jeho výstupní hodnota napětí je řídicím pro umělou zátěž, která se dle jeho velikosti nastaví do požadovaného stavu. Převodník potřebuje ke své správné funkci referenční napětí jehož velikost pak udává jeho maximální výstupní napětí. Takovýto zdroj nesmí kolísat, proto byla použita napěťová referenční dioda, jejíž výstupem je 1,235V s přesností +- 1%. Pomocí odporového děliče je pak na vstup D/A převodníku přivedeno stabilní napětí 1V.

Klíčové vlastnosti převodníku MCP4921:

- rozlišení 12 bitů
- maximální kmitočet SPI sběrnice až 20 MHz
- napájecí napětí v rozsahu 2,7 až 5,5V
- volitelné zesílení výstupu 1x nebo 2x
- doba ustálení 4,5  $\mu$ s

Výstupní napětí je dáno vztahem

$$U_{OUT} = U_{REF} \cdot \frac{N \cdot G}{2^{12}}, \quad (3.1)$$

kde:  $U_{REF}$  – referenční napětí,  
 $N$  – nastavené číslo,  
 $G$  – zesílení převodníku (1x nebo 2x).

### 3.2.3 Umělá zátěž

Tato část je složena z operačního zesilovače, unipolárního výkonového tranzistoru typu N-MOSFET, který zde pracuje jako proměnný odpor řízený napětím a také je zde snímací odpor o velikosti 100m $\Omega$ , na kterém dochází k nastavení úbytku napětí, tak aby jím protékal daný vybíjecí proud. Schéma popsané zátěže viz. obrázek 3.2.

Zátěž funguje tak, že se na neinvertující vstup OZ přivede výstupní napětí z D/A převodníku, OZ na to reaguje pootevřením unipolárního tranzistoru pomocí  $U_{GS}$  a vyrovnáním napětí na invertujícím vstupu respektive na snímacím odporu. Pokud se tedy oba vstupy OZ shodují, lze aplikovat vzorec 3.2 pro výpočet skutečného zatěžovacího proudu, který článkem protéká. Umělá zátěž se musí vždy přestavit tak, aby jí protékal nastavený vybíjecí proud.

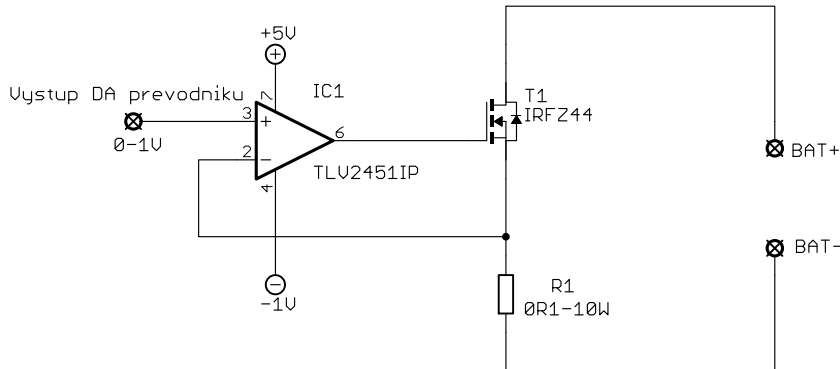
$$I_V = \frac{U_{IN}}{R_5} \quad (3.2)$$

#### a) Operační zesilovač

Při volbě tohoto prvku bylo nutné zvážit jeho napájecí napětí tak, aby celé zařízení mohlo být napájeno jedním napětím o velikosti 5V. Proto musí být vybrán nízkonapěťový operační zesilovač, který dokáže s takovou úrovní napětí pracovat. Ve většině zapojení umělých zátěží lze nalézt běžný OZ, ale ty nezvládají vyrovnávat napětí velmi blízké napájecímu a většinou také potřebují mnohem vyšší napájecí napětí než 5V. Proto je vhodnější použít některý rychlý OZ s Rail to Rail vstupem i výstupem.

Pro zařízení byl nakonec zvolen nízkonapěťový operační zesilovač TLV2451IP od firmy Texas Instruments s rail to rail vstupem i výstupem a napájecím napětím

2,7 - 6 V, jež dané aplikaci plně vyhovuje. Jelikož se na vstup přivádí napětí v rozsahu od 10mV po několik set mV je na OZ připojeno symetrické napájení +5V a -1V, čímž je zajištěn odstup napájecího napětí od úrovně na vstupu OZ.



Obr. 3.2: Schéma umělé zátěže

## b) Výkonový tranzistor

Vzhledem k tomu že je použito napájecí napětí 5 V musí být vybrán tranzistor s řídicím napětím  $U_{GS} < 5V$  a typ s co možná nejnižším odporem  $R_{DSon}$ . Proto byl zvolen unipolární tranzistor typu N-MOSFET IRFZ44 s indukovaným kanálem, který bude pracovat jako proměnný odpor. Typ tranzistoru s indukovaným kanálem je zvolen proto aby do zátěže netekl žádný proud, v případě, že to není žádoucí.

Parametry tohoto tranzistoru plně vyhovují pro danou aplikaci. Při  $U_{GS} < 5V$  lze dosáhnout vybíjecích proudů až 10A a hodnota  $R_{DSon} = 0.028 \Omega$ . Pro zmenšení výkonové ztráty by bylo vhodné použití dvou takových tranzistorů zapojených paralelně k sobě, čímž lze dosáhnout ještě vyšších proudů: Pro daný návrh však stačí, aby tranzistor zvládl alespoň 6 A, proto si vystačí pouze s jedním tranzistorem IRFZ44.

Jelikož se na tranzistoru při vybíjení přeměňuje elektrická energie na tepelnou, je vhodné zajistit odvod tepla z povrchu tranzistoru pomocí přídavného chlazení. Bylo zvoleno pasivní chlazení pomocí černěného hliníkového chladiče o rozměrech 35x50x12 mm s použitím silikonové podložky mezi chladičem a tranzistorem. Tepelný odpor chladicí soustavy je 8 K/W.

## c) Snímací odpor

Jako snímací odpor byl vybrán metaloxidový odpor o velikosti 100m $\Omega$ . Tato volba je nanejvýš vhodná, protože se zvětšující se velikostí snímacího odporu se naopak snižuje maximální dosažitelný vybíjecí proud, což se také odvíjí od velikosti jmenovitého napětí měřeného článku. Při použití odporu 500m $\Omega$  a článku se jmenovitým napětím 1,2V lze dosáhnout vybíjecího proudu cca 2A a v konečné fázi vybíjení, kdy se napětí článku přiblíží k hranici 1,0V, by už článek nezvládl ani zmíněné 2A. Nejvhodnější variantou je tedy zmíněný metaloxidový odpor 100m $\Omega$  s příkonem 10W se kterým lze dosáhnout vybíjecího proudu až 10A při úbytku napětí 1V.

### 3.2.4 Ovládací panel

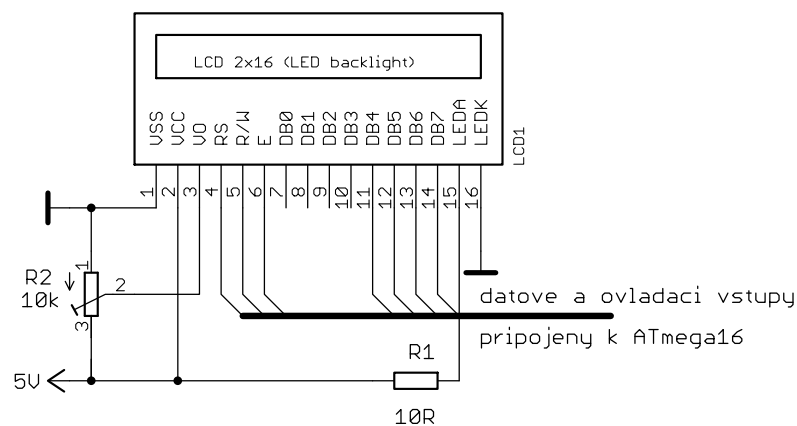
Ovládací panel se spokojí se čtyřmi tlačítky OK, ZPĚT, 2 tlačítka pro rolování v menu respektive nastavování parametrů. V zařízení jsou použity obyčejné mechanické tlačítka, které jsou pak programově ošetřeny, aby nedocházelo k zákmitům. Jsou připojeny k mikroprocesoru na PORTU D bez připojených přídavných pull-up rezistorů. Aby nedošlo ke zkratu při stisku tlačítka, je po zapnutí přístroje programově zajištěno zapnutí interních pull-up rezistorů na PORTU D, na pinech, kde jsou tlačítka připojeny. U tlačítek není potřeba využívat smyček přerušení, protože celá obsluha zařízení probíhá před vlastním měřením a není tak třeba vyvolávat přerušení programu při samotném měření.

### 3.2.5 LCD Displej

Volba LCD displeje vychází z požadavku na zařízení. Na LCD je zobrazováno jen základní jednoduché menu, a poté výsledky měření. Volil jsem proto displej MC1602E-SYL/H (viz [11]). Jedná se o jeden z nejlevnějších dvouřádkových displejů s 16 znaky na jednom řádku v ceně cca 120,-Kč.

Tento displej obsahuje 16 vývodů. Je zde 8 vstupů (DB0 až DB7) pro přenos dat, 3 vývody (E, R/W, RS) slouží pro řízení, přes vývod  $V_0$  se nastavuje pomocí trimru kontrast displeje, zbytek je použit k napájení logiky a k podsvětlení displeje. Původní návrh byl založen na využití všech 8 datových bitů, bylo však zjištěno že první datový vstup DB0 je nefunkční a neustále se nachází v úrovni „1“. Proto bylo nutné využít pro přenos dat z mikroprocesoru do LCD displeje jen horní čtyři datové vstupy. Což vede také k úspoře vstupně/výstupních pinů mikroprocesoru. LCD je tedy připojeno pouze na PORT C mikroprocesoru, avšak za cenu pomalejšího zobrazení a složitějšího algoritmu programu.

Při návrhu je nutné spočítat odpor  $R_1$ , kterým se nastaví správný protékající proud do anody, jež slouží k podsvícení displeje. Schéma zapojení LCD displeje viz. Obr. 3.3. Zapojení dále obsahuje trimr o velikosti 10k, jež slouží pro nastavení kontrastu displeje.



Obr. 3.3: Zapojení LCD displeje

Protože je nutné přivést na anodu 80 mA (viz [12]), musí mít odpor hodnotu 10 Ω. Pro výpočet je použit vztah

$$R_{11} = \frac{U_{cc} - 4,2}{I_{LED}}. \quad (3.3)$$

### 3.2.6 Přídavná signalizace

Kromě LCD je přidána signalizace pomocí jedné červené diody, jejímž úkolem je signalizovat odpojení umělé zátěže od měřeného článku a tedy ukončení měření. Programově je zajištěno blikání diody s periodou 250ms, což obsluhu jednoznačně informuje o ukončení měření.

### 3.2.7 Napájení zařízení

Volba napájení byla řešena od začátku návrhu. Při návrhu bylo myšleno na co největší jednoduchost zařízení, proto bylo zvoleno jedno napájecí napětí pro celou soustavu. Všechny bloky budou tedy napájeny 5V. Celé schéma je tomu také přizpůsobené volbou vhodných součástek. Předmětem zadání není návrh vlastního zdroje. Zařízení by muselo obsahovat transformátor, a také stínící panely, aby nedocházelo k rušení měřicího obvodu. Proto je použit externí síťový stabilizovaný napájecí adaptér spínaný s výstupním napětím DC 5 V/ 1000 mA, jehož cena nepřevyšuje 100,-Kč. Celé zařízení lze považovat za nízkopříkonové, vysoké výkony jsou totiž dodány z měřeného napájecího článku.

### **3.3 Návrh plošného spoje**

Pro návrh desek plošných spojů byl využit software pro návrh plošných spojů EAGLE v4.15. Byli vytvořeny celkem tři DPS, řídicí část, umělá zátěž a ovládací panel. V návrhu jsou uvažovány konkrétní součástky, dohledané z internetových katalogů firmy GM Electronics a firmy Texas Instruments. Všechny desky plošných spojů jsou navrženy podle 4. konstrukční třídy přesnosti (norma IPC-A600D).

Jednotlivé plány plošných spojů jsou uvedeny v příloze B.

#### **3.3.1 DPS – řídicí část**

Tato část obsahuje veškeré logické obvody navrhovaného měřiče a také přípojku na externí zdroj 5 V. Uprostřed desky je osazena patice pro mikroprocesor ATmega16. Ostatní prvky jsou rozmístěny v okolí mikroprocesoru s co možná nejkratšími cestami. Jsou zde také navrženy konektory pro připojení periférii ( LCD displej, ovládací panel umělá zátěž a dvě signalizační diody). V této části jsem se rozhodl použít metodu rozlévání mědi, jejímž úkolem je snížení rušení v signálových spojích (přeslechy apod.). Rozměry desky jsou 100x70 mm. Plošný spoj je navržen a osazen pouze součástkami s drátovými vývody.

#### **3.3.2 DPS – ovládací panel**

Pro ovládací panel byla vytvořena další DPS, která tvoří mechanickou oporu pro tlačítka a je pevně připevněna k čelnímu panelu v blízkosti zobrazovače, kvůli lepší přehlednosti při ovládání zařízení. Rozměry navržené DPS jsou 56x39 mm. Obsahuje pouze 4 mechanická tlačítka s vhodným a logickým rozmístěním pro ovládání zařízení. Panel je připojen pomocí 5 žilového kabelu na PORT D mikroprocesoru ATMEGA16. Kvůli konektoru bylo nutné vytvořit prokovenou DPS, to však kvůli závadě výrobního zařízení nebylo možné, proto jsou průchody vytvořeny manuálně pomocí měděných propojek.

#### **3.3.3 DPS – umělá zátěž**

DPS pro umělou zátěž byla nejproblematictější částí, jelikož byla spojena s množstvím komplikací způsobené nevhodným návrhem, proto se ukázalo jako vhodné vyrobit ji zvláště na samostatnou desku. Nicméně bych si už v další verzi plošných spojů dovolil vyrobit pouze jednu DPS obsahující digitální i analogovou část. Jelikož by to však znamenalo další finanční prostředky nutné na vývoj tohoto měřiče. Je výroba sjednocené desky bezpředmětná a rozdělení DPS na tři části zůstává.

Tato DPS tedy obsahuje umělou zátěž ke které patří i zdroj pro malé záporné napětí s obvodem 555 sloužící pro napájení operačního zesilovače a také obsahuje větev pro měření aktuálního napětí měřeného článku a větev pro měření úbytku napětí na snímacím odporu, který udává aktuální vybíjecí proud. Jelikož se článek měří čtyřbodovou metodou jsou z DPS vyvedeny 4 vodiče které se připojí na měřený článek. Při vybíjecích proudech nad 1A dochází k rozptylu tepla na povrchu tranzistoru, proto je součástí navržené desky i chladič navržený tak, aby nepřekážel a nepředával teplo

ostatním součástkám. Velikost DPS umělé zátěže je 60 x 51 mm. Navržená DPS obsahuje SMD součástky i klasické součástky s drátovými vývody, důvodem k tomuto řešení bylo zmenšení rozměru dané DPS.

### **3.4 Problémy při realizaci elektronického měřiče**

Při realizaci elektronického měření se objevila řada problémů která komplikovala jeho dokončení. Největší problémy byli v analogové části na DPS-umělá zátěž, které se mi podařilo odstranit až při její třetí verzi.

#### **3.4.1 Rušení v měřicích smyčkách**

Při testování umělé zátěže připojené k řídicí části jsem se setkal se situací kdy se na vstup AD převodníku dostával digitální šum. Při měření napětí na snímacím odporu v rozmezí 40 až 150mV docházelo ke značnému kolísání a naměřený výsledek byl absolutně nepoužitelný. Toto rušení sem odstranil pomocí RC článku a posunem filtračního kondenzátoru až do bezprostřední blízkosti konektoru, odkud jsou měřená napětí vedena do A/D převodníku mikroprocesoru.

#### **3.4.2 Komparátor**

V původním návrhu byl použit pro vyrovnání napětí na snímacím odporu napěťový komparátor TLV3701 jehož volba způsobila nefunkčnost celého zařízení. Komparátor totiž nedokázal na invertujícím vstupu vyrovnávat napětí na požadovanou úroveň respektive dostavit softwarově nastavený vybíjecí proud. Nejjednodušším řešením bylo komparátor vyměnit za vhodnější variantu. Komparátor byl nahrazen nízko napěťovým operačním zesilovačem TLV2451IP od firmy Texas Instruments, který už pracuje naprosto spolehlivě. Lze samozřejmě také použít i další typy operačních zesilovačů, které jsou běžně k dostání (např. NE5532, MC33178PG, MC33078N,...).

Nevhodný návrh této součástky také způsoboval rozkmitání výkonového tranzistoru, které umocňovalo špatné uchycení hliníkového chladiče a docházelo tak k velmi nepříjemnému „pískání“. Po použití TLV2451IP a připájení chladiče k DPS, bylo „pískání“ zcela odstraněno.

#### **3.4.3 LCD displej**

V původním návrhu se počítalo s komunikací mezi displejem a mikroprocesorem s pomocí 8 datových vstupů/výstupů. Po zprovoznění komunikace však displej zobrazoval každý druhý znak. Z toho jsem ihned určil že první datový vstup displeje je nefunkční a neustále si udržuje úroveň 1. Tato situace byla vyřešena 4 bitovým režimem, kdy se používají k přenosu dat jen čtyři horní datové vstupy.

#### **3.4.4 A/D převodník**

V prvním návrhu nebyl uvažován stav, kdy k zařízení není připojen žádný článek. Toto způsobilo nekontrolované přeskoky napěťových úrovní, na nepřipojeném vstupu AD převodníku. Proto byl mezi plusovou a minusovou svorku připájen rezistor o velikosti

510k $\Omega$ , který udrží vstup A/D převodníku v nulové úrovni, pokud není měřený článek připojen.

### 3.5 Návrhy na případné vylepšení měřiče

Pro vylepšení zařízení bych jako první vyměnil mikroprocesor za nějaký typ s větší pamětí, protože navržené zařízení již využívá víc jak 88% programové paměti a dává tak již omezené možnosti pro nějaký větší softwarový upgrade.

Navržený elektronický měřič kapacity a vnitřního odporu galvanických článků umožňuje měření vždy pouze jednoho článku, proto bych pro zvýšení efektivnosti doporučil zdvojení či ztrojení umělé zátěže a upravení programu, tak aby se současně mohlo měřit více článků, přičemž každý by byl vybíjen stejným proudem, a aktuální parametry by se zobrazovali na displeji a přepínali pomocí tlačítek. Toto řešení by znamenalo zkrácení doby měření, při porovnávání 2 a více článku a taky větší přehled o průběhu vybíjecích charakteristik právě měřených článků.

V další verzi plošných spojů by bylo velmi vhodné vytvořit konektory pro ISP programování po sériovém kanálu, které na DPS – řídicí část bohužel chybí. Bylo by nutné přivést do konektoru vývody MISO, MOSI, SCK a RESET.

### 3.6 Parametry realizovaného zařízení

Parametry zařízení jsou dány zadáním a také vyplývají z volby jednotlivých součástek.

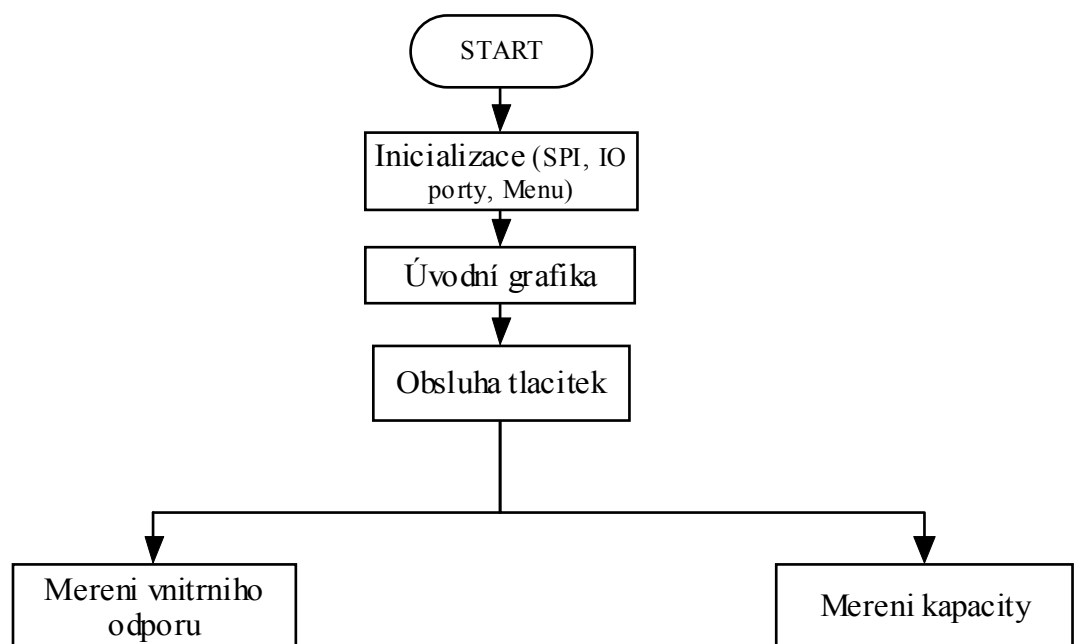
- měření primárních článků i akumulátorů
- zobrazení pomocí LCD
- využití jednočipového mikroprocesoru
- měření vnitřního odporu i kapacity napájecích článků
- testování galvanických článků s napětím na svorkách až 2,57V
- minimální vybíjecí proud 100mA
- maximální vybíjecí proud až 9A
- napájecí napětí zařízení 5V
- přesnost a věrohodnost získaných výsledků
- Náklady na výrobu cca 600,- Kč

## 4 PROGRAM PRO ATMEGA16

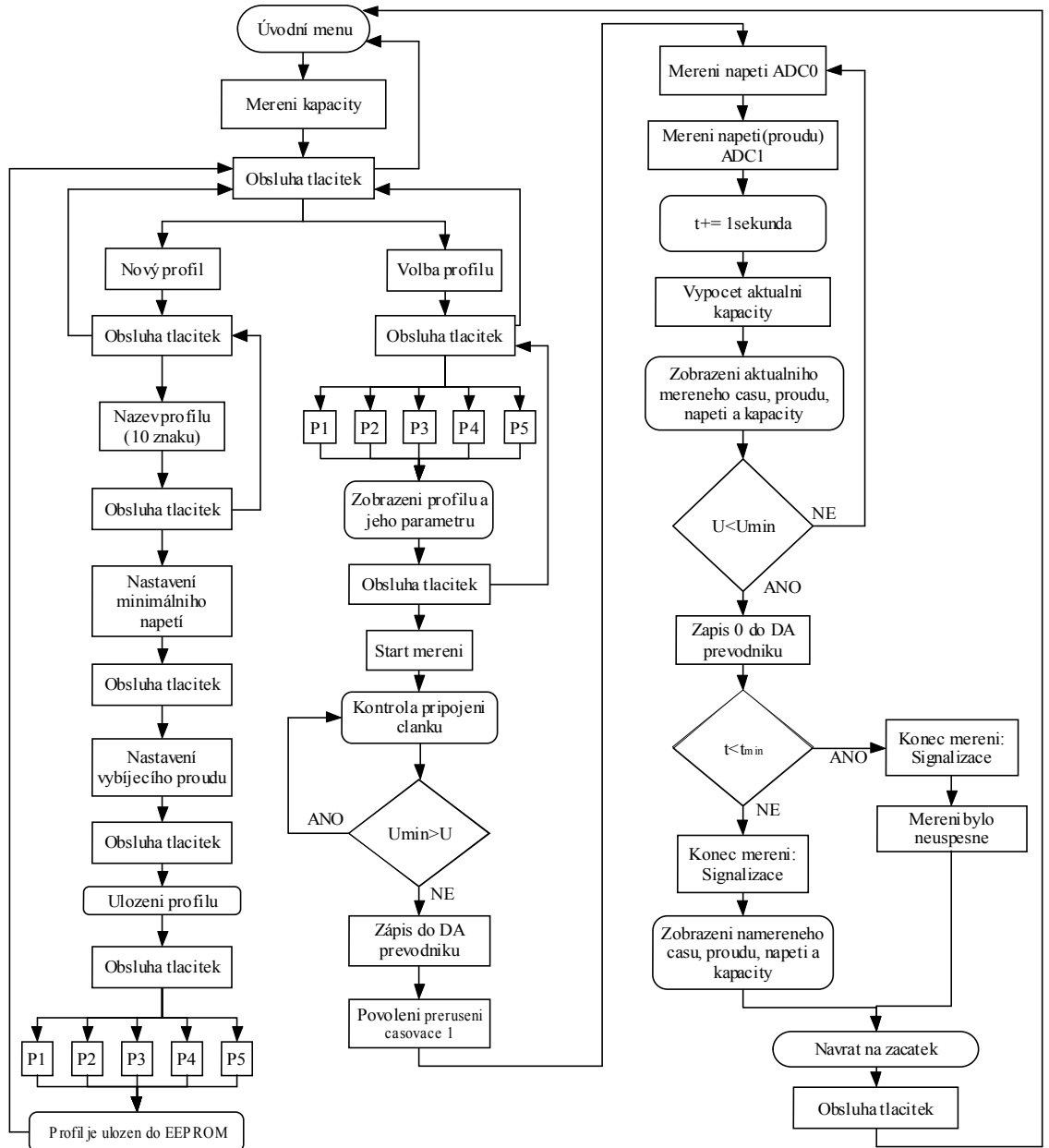
Tato část je věnována vývoji programu pro mikroprocesor ATmega16. Programování mikroprocesoru považuji za nejnáročnější část celé realizace elektronického měřiče. vývoj tohoto programu také trval několik měsíců. Mikroprocesor byl programován přes sériový kanál pomocí programátoru ASIX PRESTO. Samotný program byl pak vytvářen v programu AVR Studio 4 v programovacím jazyku „AVRGCC“, což je obdoba jazyku „C“, další možností je pak assembler (jazyk symbolických adres), jehož použití jsem se vyvaroval, z důvodu větší délky kódu, větší složitosti a menší přehlednosti. Od počátku bylo využito při programování nepájivé zkušební pole, kde se postupně přidávali další a další periferie. Pro programování mikroprocesoru jsem využil zdrojů [12], [13].

Vytvořený kód je v podstatě rozdělen na 3 části nacházející se v hlavní smyčce, kde první část tvoří obsluha menu, nastavení potřebných parametrů pomocí tlačítek. Další dvě části už tvoří samostatné bloky, kde probíhají jednotlivé měření a pracují automaticky již bez nutnosti zásahu uživatele. Po ukončení měření program skočí zpět do obslužné části.

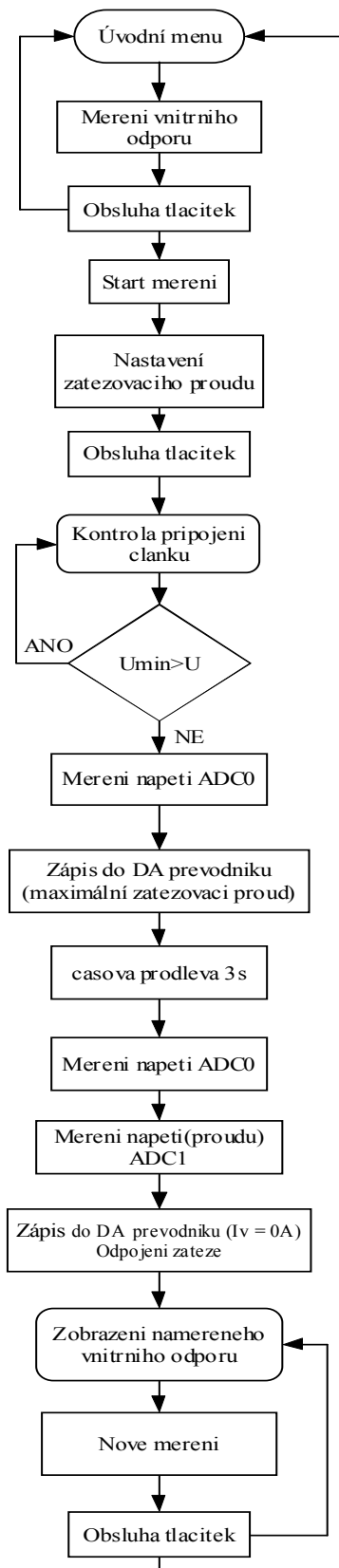
### 4.1 Vývojový diagram



Obr. 4.1: Vývojový diagram: inicializace a větvení programu



Obr. 4.2: Vývojový diagram: Měření kapacity



Obr. 4.3: Vývojový diagram: Měření vnitřního odporu měřeného članku

## 4.2 Rozbor programu

Po zapnutí přístroje se zobrazí úvodní grafika a pak dojde k celkové inicializaci mikrokontroléru, kdy jsou inicializovány jednotlivé porty, AD převodník, sériový kanál a proměnné programu. Nyní si uživatel zvolí měření kapacity nebo měření vnitřního odporu.

### 4.2.1 Volba měření kapacity

Při volbě kapacity se dostává obsluhující osoba buď k volbě uloženého profilu nebo k volbě nového profilu. Při editaci nového profilu uživatel musí nejdříve zadat název profilu, který může být maximálně 10 znaků, pak musí být nastaveno prahové napětí pro vybíjení (napětí lze volit od 0V do 1,9V), dále je nezbytné nastavení vybíjecího proudu v rozsahu 0-9990, prakticky však bylo ověřeno že rozsah vybíjecích proudů může být od 100mA do 9A. Jako poslední krok je nutné uložit nastavená data do některého z pěti profilů, jednotlivé profily jsou pak ukládány do paměti EEPROM, kde se údaje uchovávají i při vypojení zařízení z elektrické sítě. Poté se program vrací do hlavního menu pro měření kapacity. Při zvolení možnosti „volba profilu“ je uživateli umožněno vybrat jeden z pěti nabízených profilů (jakákoliv editace se provádí přes volbu „nový profil“). Po výběru profilu jsou zobrazeny všechny údaje, které obsahuje a obsluha dotázána, zda se má odstartovat měření. Pokud je zvolena možnost „ano“ je obsluha vyzvána k připojení měřeného akumulátoru. V tomto kroku se porovnává nastavená hodnota minimálního napětí článku a aktuální hodnota na měřicích svorkách. Po ověření připojení článku jsou odeslána data přes SPI do D/A převodníku, který nastaví umělou zátěž na požadovaný zatěžovací proud. V zápětí startuje časovač 1, který je nastaven dle vzorce 4.1 tak, aby každé přerušení způsobené jeho přetečením nastalo po jedné sekundě, což je základem celého měření kapacity.

$$TOP = \frac{f_{KR}}{2 \cdot N} = \frac{16000000}{2 \cdot 256} = 31250 \quad (4.1)$$

kde:  $f_{KR}$  – frekvence krystalu,  
 $N$  – použitá předdělička.

V každém přerušení dochází k přičtení 1s a k měření svorkového napětí měřeného článku a úbytku napětí na snímacím odporu. Měřený čas, napětí článku, aktuální vybíjecí proud a kapacita je zobrazována po celý čas měření na LCD displeji, aby měla obsluhující osoba přehled o postupu měření. Během měření se také neustále porovnává zda je napětí článku vyšší, než nastavené prahové napětí. Pokud dojde k vícenásobnému zjištění poklesu napětí článku pod úroveň prahového napětí, dojde k odpojení zátěže zapsáním nulového napětí do D/A převodníku tím dojde k uzavření tranzistoru, přes který už neteče vůbec žádný proud. Dále je zastaven časovač 1 a naopak je spuštěn časovač 0, který umožňuje signalizaci konce měření s pomocí blikající červené LED diody s periodou 250ms. Na displeji jsou zobrazeny všechny naměřené údaje. Pokud je nastaven příliš vysoký proud a konec měření nastane dříve než za patnáct minut, je výsledek klasifikován jako neúspěšný, který je také signalizován červenou LED diodou. Po stisku tlačítka OK, se pak program vrátí do hlavní nabídky s tím že jsou všechny proměnné nastaveny do výchozích hodnot.

### **4.2.2 Volba měření vnitřního odporu**

Po volbě měření je obsluha vyzvána k zadání maximálního zatěžovacího proudu, což umožňuje lepší kontrolu nad výsledky měření. Volba je opět ve stejném rozsahu jako u měření kapacity. Poté se kontroluje zda je měřený článek připojen. Měření začíná změřením aktuálního napětí na měřicích svorkách a dále následuje odeslání dat do D/A převodníku respektive dojde k nastavení zatěžovacího proudu. Kvůli ustálení napěťových úrovní je nastavená časová prodleva 3s a poté dojde ke změření napětí na měřeném článku a ke změření skutečného zatěžovacího proudu. Po A/D převodech dojde k odpojení zátěže a k výpočtu vnitřního odporu. Vnitřní odpor článku je zobrazen v  $m\Omega$  (očekávaná hodnota odporu je od desítek po stovky  $m\Omega$ ). Stiskem příslušných tlačítek pak program přechází opět do výchozího stavu.

## 5 MĚŘENÍ VLASTNOSTÍ GALVANICKÝCH ČLÁNKŮ ELEKTRONICKÝM MĚŘIČEM KAPACITY A VNITŘNÍHO ODPORU

Tato kapitola je věnována testům realizovaného měřiče. Pro ověření funkčnosti bylo vybráno několik primárních a sekundárních článků velikosti AA (tzv. tužková baterie) k proměření jejich kapacity a vnitřního odporu. Jednotlivé články byly proměřeny a následně srovnány. V následujících podkapitolách jsou uvedeny dosažené výsledky.

### 5.1 Měření kapacity galvanických článků

Měření kapacity jsem dále rozdělil do dvou částí. Nejdříve je proměřena vybíjecí charakteristika sekundárního článku a poté jsou změřeny a porovnány kapacity tří zvolených primárních článků.

#### 5.1.1 Vybíjecí charakteristiky akumulátoru

Měření byl podroben akumulátor TRONIC ENERGY 2500 s uvedenou kapacitou 2500mAh. Pro tento akumulátor jsou změřeny dvě vybíjecí charakteristiky s různými vybíjecí proudy.

Testovaný akumulátor: TRONIC ENERGY 2500mAh  
Typ: Ni-MH  
Jmenovité napětí: 1,2 V

Měření byl podroben pouze jeden konkrétní článek výše zmíněný, který byl před každým měřením plně nabit.

V prvním pokusu byl nastaven vybíjecí proud 1A. Prahové napětí článku bylo nastaveno na 1,0V. Měření trvalo 1hod 42minut při tom byla naměřena výsledná kapacita rovna 1719mAh.

Tab. 5.1: Záznam hodnot při měření kapacity akumulátoru při vybíjecím proudy 1A.

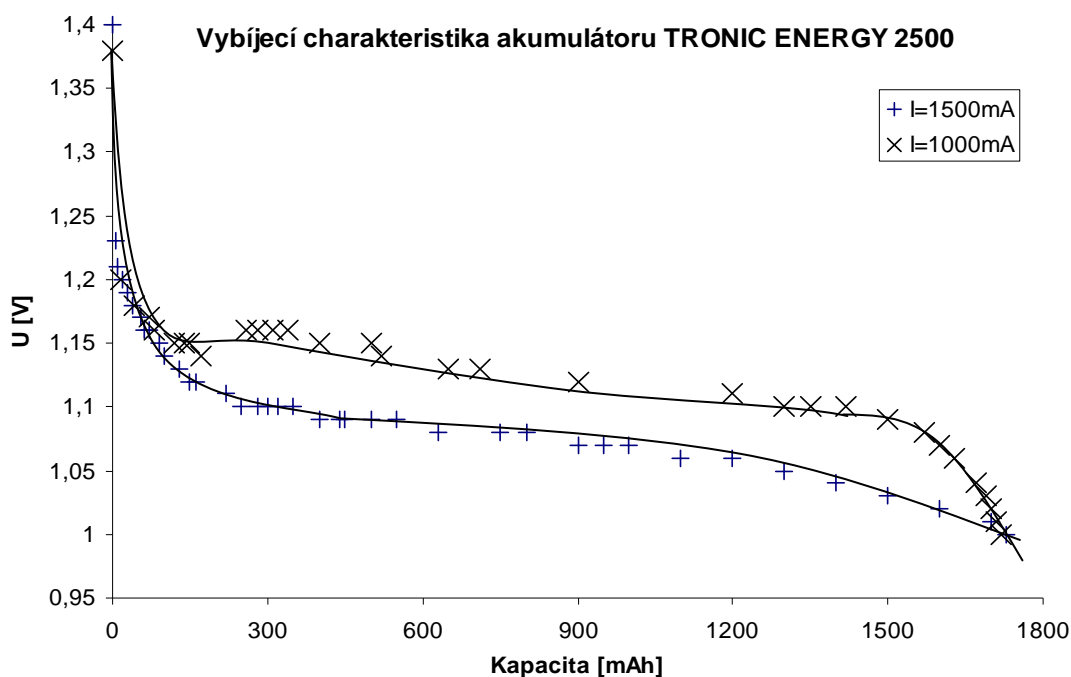
U [V]	1,38	1,2	1,18	1,17	1,16	1,16	1,16	1,15	1,15	1,15	1,14
C [mAh]	0	16	43	70	80	90	100	120	140	150	170
U [V]	1,16	1,16	1,16	1,16	1,16	1,15	1,15	1,14	1,13	1,13	1,12
C [mAh]	200	260	280	310	340	400	500	520	650	710	900
U [V]	1,11	1,1	1,1	1,1	1,09	1,08	1,07	1,06	1,04	1,03	1,02
C [mAh]	1200	1300	1350	1420	1500	1570	1600	1630	1670	1690	1700
U [V]	1,01	1	I= 1000mA, Up=1,0V , t= 1:42:01								
C [mAh]	1710	1719									

V druhém pokusu byl nastaven vybíjecí proud 1,5A. Prahové napětí článku bylo opět nastaveno na 1,0V. Výsledná kapacita byla změřena 1730mAh za dobu 1hod 10min.

Tab. 5.2: Záznam hodnot při měření kapacity akumulátoru při vybíjecím proudu 1,5A.

U [V]	1,4	1,23	1,21	1,2	1,19	1,18	1,17	1,16	1,16	1,15	1,14
C [mAh]	0	5	10	20	30	40	55	60	70	90	100
U [V]	1,13	1,12	1,12	1,11	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,09	1,09
C [mAh]	130	150	160	220	250	280	300	320	350	400	440
U [V]	1,09	1,09	1,09	1,08	1,08	1,08	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06
C [mAh]	450	500	550	630	750	800	900	950	1000	1100	1200
U [V]	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1	I=1500mA, Up=1,0V, t= 1:10:32				
C [mAh]	1300	1400	1500	1600	1700	1730					

Jednotlivé průběhy jsou zpracovány jako grafické závislosti  $C=f(U)$ .



Obr. 5.1: Naměřené vybíjecí charakteristiky Ni-MH akumulátoru.

Z grafických závislostí je vidět že výsledná kapacita je téměř stejná, což může být způsobeno různým stavem nabití, před samotným měřením. Dalším poznatkem je, že při proudu 1,5A dojde k většímu a prudšímu poklesu napětí, avšak v části kdy je kapacita mezi 20-80% je průběh pozvolně klesající při obou pokusech. Z takové závislosti lze také vypočítat že měřený článek má relativně nízký vnitřní odpor a lze ho použít i v náročnějších aplikacích.

### 5.1.2 Měření kapacity primárních článků

Dalšímu testu byly podrobeny tři zinkochloridové primární články, jejichž maximální uváděná kapacita se pohybuje kolem 1000mAh. Všechny tři níže uvedené články byly vybity vybíjecím proudem o velikosti 250mA na prahové napětí 0,9V.

1)

Typ: VARTA SUPERLIFE

Velikost: AA

Jmenovité napětí: 1,5V

Cena: 8,50 Kč

**Změřená kapacita: 272mAh**

Doba měření: 1hod 6min

2)

Typ: BATERIA ULTRAprima

Velikost: AA

Jmenovité napětí: 1,5V

Cena: 6,- Kč

**Změřená kapacita: 387mAh**

Doba měření: 1hod 33min

3)

Typ: WONDER SILVER

Velikost: AA

Jmenovité napětí: 1,5V

Cena: 10,- Kč

**Změřená kapacita: 363mAh**

Doba měření: 1hod 27min

U všech třech měřených článků byla změřena kapacita. V testu dopadla nejhůře baterie Varta Superlife, ale i ostatní články nijak nevyčnívali a dosáhli pouze jedné třetiny průměrné kapacity těchto článků. Vyšší kapacity by bylo docíleno při volbě ještě nižšího vybíjecího proudu, protože dané primární články mají příliš vysoký vnitřní odpor a napětí tak klesne příliš brzy. Větší kapacity by bylo také dosaženo snížením prahového napětí pro pozdější odpojení zatěžovacího proudu. Nicméně, z mého testu vyplývá, že nejvyšší kapacitu má baterie BATERIA ULTRAprima od výrobce Bateria Slaný a to 387mAh při proudu 250mA.

## 5.2 Měření vnitřního odporu galvanických článků

Navržený elektronický měřič je navržen tak, aby dokázal změřit i druhý základní parametr napájecích článků a tím je jejich vnitřní odpor. Pro test byly vybrány 3 články jejichž vnitřní odpor je měřen v nabitém i vybitém stavu. Testu jsou podrobeny články z předchozích měření: akumulátor TRONIC ENERGY 2500 a primární články VARTA SUPERLIFE, BATERIA ULTRAprima, Wonder Silver.

Tab. 5.3: Přehled naměřených hodnot

značka	typ	Vnitřní odpor [ $m\Omega$ ]	
		nabitý článek	vybitý článek
<b>TRONIC ENERGY 2500</b>	Ni-MH	133	157
<b>VARTA Superlife</b>	zinko-chlorid	375	772
<b>BATERIA ULTRAprima</b>	zinko-chlorid	332	639
<b>Wonder Silver</b>	zinko-chlorid	520	781

V uvedené tabulce jsou zapsány naměřené hodnoty. Už z měření kapacity bylo zřejmé, které články můžeme zařadit do kategorie tvrdé zdroje (články s malým vnitřním odporem) nebo měkké zdroje (články s vysokým vnitřním odporem). V tabulce je vidět že vnitřní odpor Ni-MH akumulátoru se zvýší jen o několik procent a pro jeho nízkou hodnotu ho lze zařadit mezi tvrdé zdroje. Naopak všechny tři měřené primární články lze považovat za zdroje měkké, které nezvládnou zatížení vyššími proudy. Další vlastností primárních článků je, že se jejich vnitřní odpor při vybití rapidně zvyšuje. Měřením jsem zjistil, že dojde k navýšení až o víc jak 100%. Zajímavostí celého měření je, že mnou odepisovaná baterie, která byla nejlevnější ze všech měřených vzorků, pořízená z trhového prodeje, v obou testech v dané skupině obstála nejlépe, jedná se o článek BATERIA ULTRAprima.

## 6 ZÁVĚR

Tato práce přináší hmotný výsledek v podobě realizovaného elektronického měřiče kapacity a vnitřního odporu baterií a akumulátorů. Navržené zařízení bylo tedy vyrobeno a otestováno. Přehledné výsledky jednotlivých měření lze nalézt v předchozí kapitole, která je věnována pouze testům zařízení. Náklady na realizaci měřiče vychází kolem 600,- Kč.

Měřič byl navržen pro měření galvanických článků, jejichž maximální napětí může být 2,5V. Články mohou být vybíjeny proudy od 100mA až do 9A, což záleží na použitém napájecím článku. Z provedených testů vyplývá, že pro primární články je vhodné nejdříve provést měření vnitřního odporu a dle výsledku poté zvolit vhodný vybíjecí proud pro měření kapacity.

Při měření kapacity je však nutné si uvědomit že kapacita baterií a akumulátorů závisí kromě velikosti vybíjecího proudu i na teplotě článku a stavu nabití článku. Proto nelze pokaždé dosáhnout stejných výsledků, ale pouze podobných. Pomocí realizovaného měřiče byla testována kapacita i vnitřní odpor vybraných článků, jejichž naměřené parametry odpovídají reálným hodnotám. Navržený měřič by tedy mohl najít uplatnění při testování napájecích článků různých výrobců a stanovit tak jejich kvalitu a dokonce i použití článku v konkrétní aplikaci.

Celková bakalářská práce má přínos pro můj osobní vědomostní rozvoj. Také jsem nabral množství zkušeností při samotné konstrukci zařízení a ožívání jednotlivých částí měřiče. Hlavně jsem se však naučil programovat mikroprocesor v Cěčku, což bylo pro mě hlavním smyslem volby této práce. Při návrhu jsem se setkal s několika problémy, týkající se softwaru i hardwaru, všechny se mi však podařilo vyřešit a elektronický měřič je tak plně funkční.

# LITERATURA

- [1] ARENDÁŠ, M., RUČKA, M. *Nabíječky a nabíjení*. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 2002, 112 stran, ISBN 80-86056-61-9.
- [2] PREUSS, P. *Akumulátory*. [online]. [cit. 26. 2. 2006]. Dostupné z URL: <<http://www.web.fel.zcu.cz/fel/kte/SPE/Akumul%Ed1tory.doc>>.
- [3] *Baterie*. [online]. [cit. 25. 10. 2009]. Dostupné z URL: <<http://www.elisacomputer.cz/texts/baterie.html>>.
- [4] *Jak na baterie NiCd a NiMH*. . Článek z časopisu Chip [online]. [cit. Červenec 2004]. Dostupné z URL: <<http://www.cettra.cz/vysilacky-radiostanice/MOTOROLA/Informace-o-radiostanicich-vysilackach-a-sluzbach/20>>.
- [5] HAVLÍK, J. *Využití niklkadmiových a niklmetalhydridových akumulátorů*. [online]. Sdělovací technika, ročník 50, čísla 6, 7 a 8, Praha, 2002. [cit. 24. 10. 2001]. Dostupné z URL: <<http://amber.feld.cvut.cz/user/xhavlikj/>>.
- [6] VOMLEL. *Vybíjecí charakteristiky sad NiCd*. [online]. [cit. 9. 5. 2007]. Dostupné z: <[http://www.skautpolna.cz/images/3/39/Vybijeci\\_charakteristiky\\_sad\\_NiCd.doc](http://www.skautpolna.cz/images/3/39/Vybijeci_charakteristiky_sad_NiCd.doc)>.
- [7] HAMMERBAUER, J. *Akumulátory NiFe a NiCd*. [online]. [cit. 7. 3. 2007]. Dostupné z URL: <[http://web.fel.zcu.cz/fel/kae/NSA/Texty/Akum\\_NiFe\\_NiCd.pdf](http://web.fel.zcu.cz/fel/kae/NSA/Texty/Akum_NiFe_NiCd.pdf)>.
- [8] CETL, T. *Primární galvanické články a jejich porovnání*. Časopis Elektro [online]. Roč. 2006, č. 05 [cit. 2006-05-01]. Dostupný z URL: <<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?CenterContentExec=CenterCisloObsah&param1=10050&param2=10150>>.
- [9] Datasheet *ATmega16*. [online]. [cit. 25. 5. 2009]. Dostupný z: <[http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2466.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf)>.
- [10] Datasheet *DA převodník MCP4921*. [online]. [cit. 5. 2. 2007]. Dostupný z: <<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21897B.pdf>>.
- [11] Datasheet *LCD displej MC1602E-SYL/H*. [online]. [cit. 15. 2. 2008]. Dostupný z: <[http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/513/513-109/dsh.513-109.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/513/513-109/dsh.513-109.1.pdf)>.
- [12] MATOUŠEK, D. *Práce s mikrokontroléry ATMEL ATmega16 – 4. díl*. Nakladatelství BEN - technická literatura, Praha 2006. 317 stran. ISBN 80-7300-174-8.
- [13] BURKHARD, M. *C pro mikrokontroléry*. Nakladatelství BEN - technická literatura, 1. české vydání, Praha 2003. 280 stran. ISBN 3-7723-4154-3.

## SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

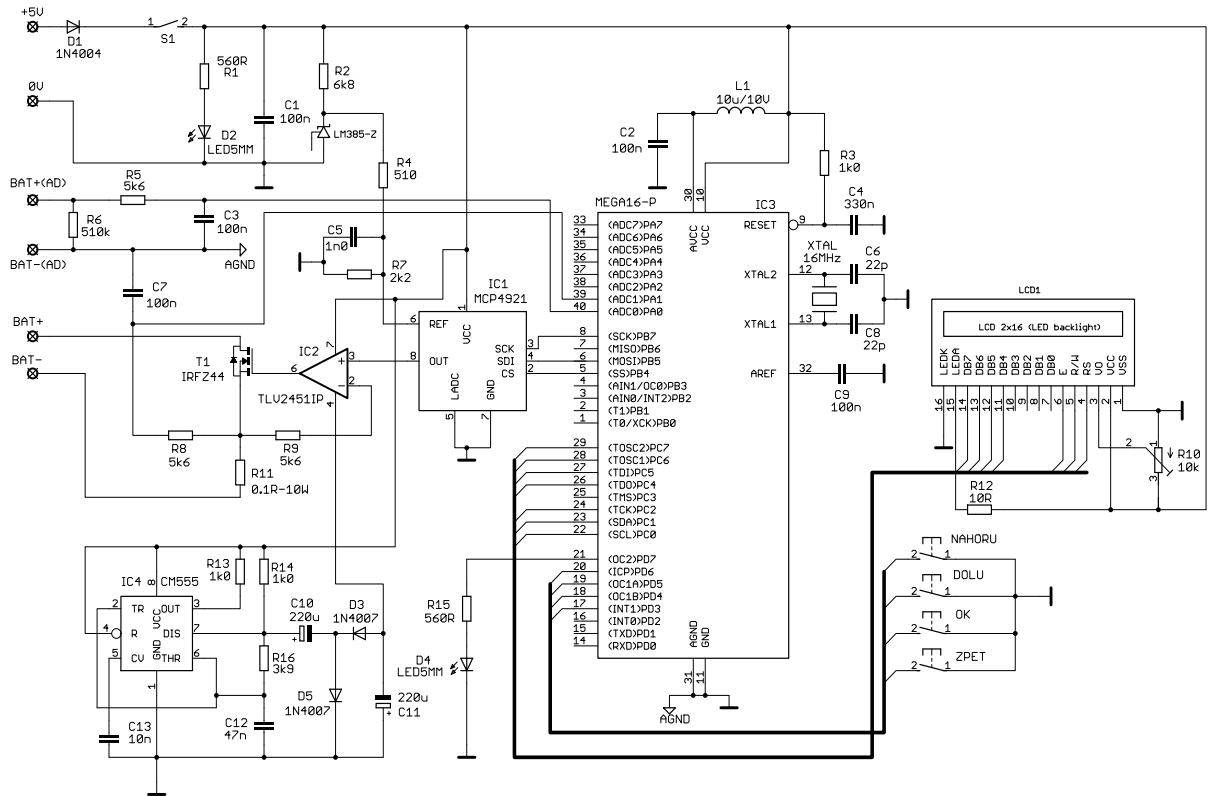
<i>A/D</i>	Převodník z analogového na digitální signál
<i>D/A</i>	Převodník z digitálního signálu na analogový
<i>NiCd</i>	Niklkadmiový akumulátor
<i>NiMH</i>	Niklmetalhydridový akumulátor
<i>Li-Ion</i>	Lithiumiontový akumulátor
<i>Li-Pol</i>	Lithium-polymerový akumulátory
<i>C</i>	Kapacita galvanického článku
<i>SPI</i>	Sériové periferní rozhraní
<i>ISP</i>	In system programing (přímé programování v aplikaci)
<i>EEPROM</i>	Elektronicky mazatelná programovatelná paměť
<i>OZ</i>	Operační zesilovač
<i>N-MOSFET</i>	Unipolární tranzistor s indukovaným kanálem
<i>MCU</i>	Mikrokontrolér
<i>DPS</i>	Deska plošných spojů

# SEZNAM PŘÍLOH

<b>A</b>	<b>Schéma zařízení</b>	<b>40</b>
A.1	Obvodové zapojení .....	40
<b>B</b>	<b>Desky plošných spojů pro elektronický měřič</b>	<b>41</b>
B.1	DPS – řídicí část (osazovací plán) .....	41
B.2	DPS – řídicí část (spodní strana, stran spojů) .....	41
B.3	DPS – ovládací panel (osazovací plán).....	42
B.4	DPS – ovládací panel (spodní strana, stran spojů).....	42
B.5	DPS – umělá zátěž (osazovací plán horní strana).....	42
B.6	DPS – umělá zátěž (osazovací plán spodní strana).....	43
B.7	DPS – umělá zátěž (spodní strana, strana spojů) .....	43
<b>C</b>	<b>Seznam součástek</b>	<b>44</b>
<b>D</b>	<b>Obsah přiloženého CD-ROMu</b>	<b>45</b>

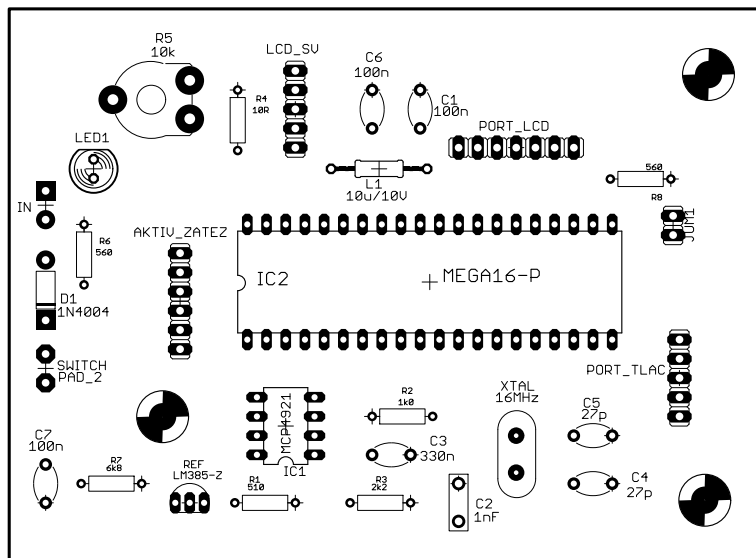
# A SCHÉMA ZAŘÍZENÍ

## A.1 Obvodové zapojení



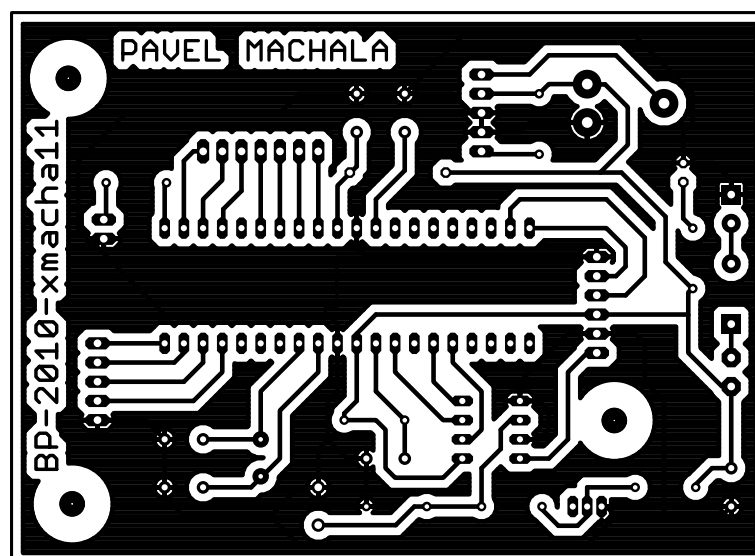
## B DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ PRO ELEKTRONICKÝ MĚŘIČ

### B.1 DPS – řídicí část (osazovací plán)

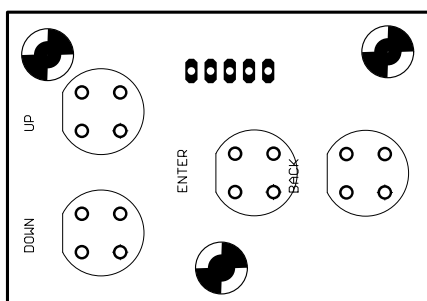


Rozměr desky 100 x 73 [mm]

### B.2 DPS – řídicí část (spodní strana, stran spojů)

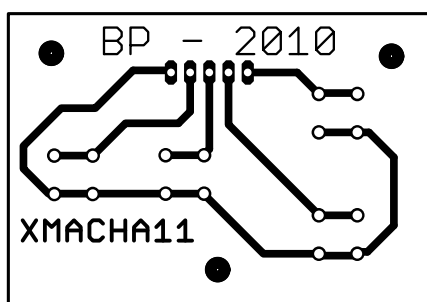


### B.3 DPS – ovládací panel (osazovací plán)

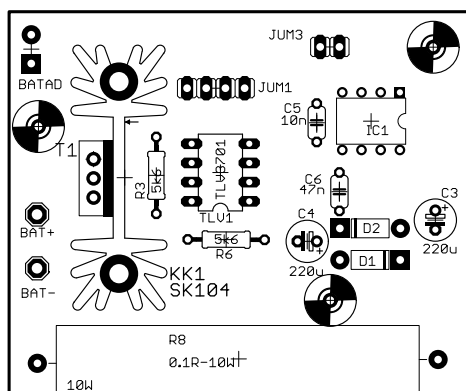


Rozměr desky 56 x 39 [mm]

### B.4 DPS – ovládací panel (spodní strana, stran spojů)

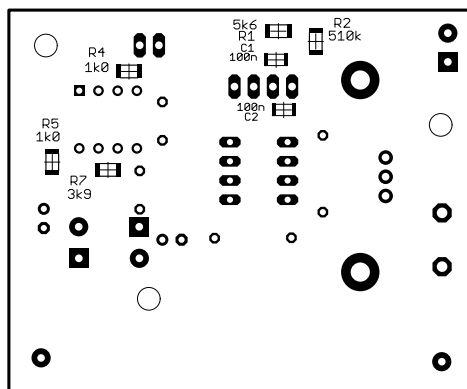


### B.5 DPS – umělá zátěž (osazovací plán horní strana)

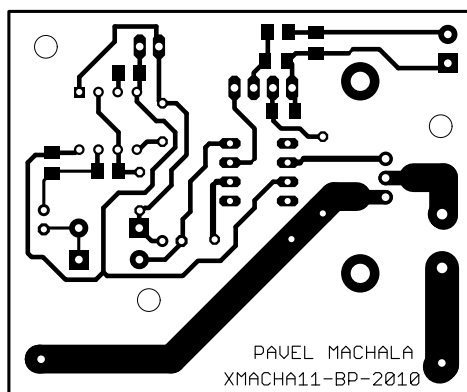


Rozměr desky 60 x 51 [mm]

## B.6 DPS – umělá zátěž (osazovací plán spodní strana)



## B.7 DPS – umělá zátěž (spodní strana, strana spojů)



## C SEZNAM SOUČÁSTEK

název	hodnota	typ	pouzdro	Popis
C1	100n	keramika	C1206K	Kondenzátor
C2	100n	keramika	C1206K	Kondenzátor
C3	100n	SMD	SMD1206	Kondenzátor
C4	330n	keramika	C1206K	Kondenzátor
C5	1n0	keramika	C1206K	Kondenzátor
C6	22p	keramika	C1206K	Kondenzátor
C7	100n	SMD	SMD1206	Kondenzátor
C8	22p	keramika	C1206K	Kondenzátor
C9	100n	keramika	C1206K	Kondenzátor
C10	220u	elektrolytický	E2,5-6	Elektrolytický kondenzátor
C11	220u	elektrolytický	E2,5-6	Elektrolytický kondenzátor
C12	47n	keramika	C1206K	Kondenzátor
C13	10n	keramika	C1206K	Kondenzátor
R1	560R	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R2	6k8	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R3	1k0	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R4	510	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R5	5k6	SMD	SMD1206	Rezistor
R6	510k	SMD	SMD1206	Rezistor
R7	2k2	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R8	5k6	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R9	5k6	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R10	10k	R-TRIMM4G/J	RTRIM4G/J	Trimr
R11	0.1R-10W	Metaloxidový	MO10W	Rezistor 0R1 10W
R12	10R	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R13	1k0	SMD	SMD1206	Rezistor
R14	1k0	SMD	SMD1206	Rezistor
R15	560R	metalizovaný	0,6W-0207	Rezistor
R16	3k9	SMD	SMD1206	Rezistor
D1	1N4007	1N4004	DO41-10	Dioda
D2	LED5MM	Zelená	T-1 3/4	LED dioda
D3	1N4007	1N4004	DO41-10	Dioda
D4	LED5MM	Červená	T-1 3/4	LED dioda
D5	1N4007	1N4004	DO41-10	Dioda
L1	10u/10V		0204/5	Tlumivka
T1	IRFZ44		TO220	N-MOSFET
IC1	MCP4921		DIL08	12-bit DA převodník
IC2	TLV2451IP		DIL08	Operační zesilovač CMOS
IC3	MEGA16-P		DIL40	Mikroprocesor

IC4	CM555		DIL-08	Časovač 555 CMOS
XTAL	16MHz		HC-49	Krystal 16 MHz
LCD1	LCD_2X16_SIL		HY-1602F	LCD displej
LM385Z	1,235V		TO-92	Napěťová reference
TL1	P-DTE6SW			Mechanické tlačítko
TL2	P-DTE6SW			Mechanické tlačítko
TL3	P-DTE6SW			Mechanické tlačítko
TL4	P-DTE6SW			Mechanické tlačítko
V1	V7477Y			Hliníkový chladič

## D OBSAH PŘILOŽENÉHO CD-ROMU

- Elektronická verze bakalářské práce
- Výkresy všech DPS ve formátu pro návrhový program Eagle
- Složka obsahující zdrojové kódy navrženého softwaru