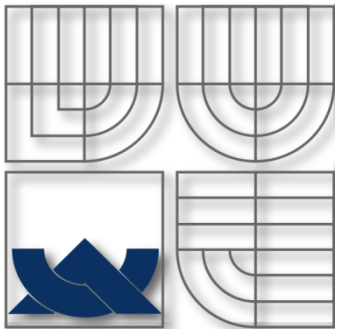
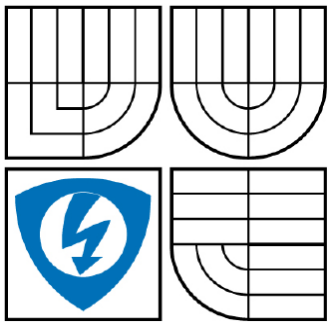


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

MĚŘENÍ KAPACITY AKUMULÁTORŮ

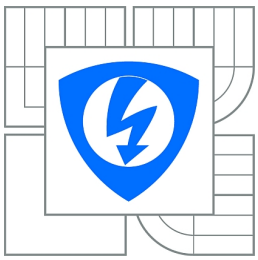
ACCUMULATOR CAPACITY MEASUREMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — RADEK LUST
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — prof. Dr. Ing. ZDENĚK KOLKA
SUPERVISOR

BRNO 2010



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav radioelektroniky

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Elektronika a sdělovací technika

Student:	Radek Lust	***ID:***	106603
Ročník:	3	***Akademický rok:***	2009/2010

NÁZEV TÉMATU:

Měření kapacity akumulátorů

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s metodami pro měření kapacity akumulátorů a jejich stavu. Navrhněte koncepci měřiče s umělou zátěží pro napětí do 12V. Pro zvolené uspořádání navrhněte schéma zapojení a proveďte výpočet prvků.

Zařízení realizujte a proveďte základní měření.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] CENEK, M. a kol. Akumulátory od principu k praxi. Praha: FCC Public, 2003, 248 s. ISBN 80-86534-03-0

Termín zadání:	8.2.2010	***Termín odevzdání:***	28.5.2010

Vedoucí práce: prof. Dr. Ing. Zdeněk Kolka

prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida
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.

LICENČNÍ SMLOUVA
POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Radek Lust
Bytem: K. Chocholy 25, České Budějovice 370 05
Narozen/a (datum a místo): 9. 10. 1987 v Českých Budějovicích
(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií
se sídlem Údolní 53, Brno, 602 00
jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:
prof. Dr. Ing. Zbyněk Raida, předseda rady oboru Elektronika a sdělovací technika
(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1
Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

   ☐ disertační práce
   ☐ diplomová práce
   ☒ bakalářská práce
   ☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako .....
   (dále jen VŠKP nebo dílo)

   Název VŠKP: Měření kapacity akumulátorů
   Vedoucí/ školitel VŠKP: prof. Dr. Ing. Zdeněk Kolka.
   Ústav: Ústav radioelektroniky
   Datum obhajoby VŠKP: _____

   VŠKP odevzdal autor nabyvateli*:

   ☒ v tištěné formě –počet exemplářů: 2
   ☒ v elektronické formě –počet exemplářů: 2

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.

3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.

4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

* hodící se zaškrtněte

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizovaní výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
   - ☒ ihned po uzavření této smlouvy
   - ☐ 1 rok po uzavření této smlouvy
   - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
   - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
   - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy

     (z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísni a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne: 28. května 2010

…….. ……

Nabyvatel Autor

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřena především na návrh zařízení určeného k měření kapacity akumulátoru. V úvodní části jsou rozvedeny obecné vlastnosti akumulátoru, v druhé části různé metody určování stavu akumulátoru, část třetí je pak zaměřena na problematiku hardwarové části řešení návrhu. Poslední část se zabývá konstrukcí vhodného řídicího systému a prezentací jeho možností.

KLÍČOVÁ SLOVA

Akumulátor, Kapacita akumulátoru, Řízená zátěž, Měření napětí, Měření proudu.

ABSTRACT

This work is mainly focused on the design of equipment for measuring battery capacity. In the introductory section is described the general characteristics of the battery, in the second part various methods of determining the battery state, finaly the third part is focused on hardware design used for the solution. The last part deals with the construction of a suitable control system and the presentation of its possibilities.

KEYWORDS

Cell battery, Battery capacity, Controlled load, Strain measuring, Current measurement.

LUST, Radek. *Měření kapacity akumulátorů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav radioelektroniky, 2010. 44 s. Bakalářská práce. Vedoucí práce: Prof. Dr. Ing. Zdeněk Kolka.

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma Měření kapacity akumulátoru jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrálního projektu 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 bakalářské 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 28. května 2010 .....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce Prof. Dr. Ing. Zdeňku Kolkovi, za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 28. května 2010 .....

podpis autora

Obsah:

Seznam použitých obrázků: viii

Úvod 1

1 Akumulátory 2

1.1 Rozdělení akumulátorů 2
1.2 Základní druhy akumulátorů a jejich vlastnosti 3
1.2.1 Nikl-metal hydridový akumulátor (Ni-MH) 3
1.2.2 Nikl-kadmiový akumulátor (NiCd) 4
1.2.3 Olověný akumulátor (Pb) 4
1.2.4 Lithium-iontový akumulátor (Li-Ion) 5
1.2.5 Lithium-polymerový akumulátor (Li-Pol) 6

2 Metody určování stavu akumulátorů 7

2.1 Měření napětí 7
2.2 Měření vnitřního odporu 7
2.3 Měření impedance 8
2.4 Měření kapacity 9

3 Návrh zařízení pro měření kapacity 10

3.1 Základní návrh a zněj plynoucí parametry 10
3.1.1 Stanovení dílčích bloků 10
3.1.2 Stanovení požadavků 11
3.2 Dílčí bloky 11
3.2.1 Návrh řízené zátěže 11
3.2.2 Návrh měřícího obvodu proudu 14
3.2.3 Návrh měřícího obvodu napětí 18
3.3 Návrh napájení zařízení 19
3.4 Výběr řídicí jednotky 19
3.5 Návrh desky plošného spoje 20
3.6 Návrh uživatelského rozhraní 21

4 Návrh řídicího systému 22

4.1 Základní myšlenka systému 22
4.2 Realizace operačního sytému 22
4.2.1 Základ procesu 22
4.2.2 Popis jednotlivých procesů 23
4.3 Popis rozšířených funkcí 24

5 Závěr 26

6 Literatura 27

7 Seznam příloh 28

Seznam použitých obrázků:

1.1 rozložení elektrod NI-MH článku (převzato[3]) 3
1.2 Olověný startovací akumulátor (převzato z [6]) 5
1.3 Olověný trakční akumulátor (převzato z [7]) 5
1.4 přiklad konstrukce Li-Ion akumulátoru (převzato z [9]) 6
1.5 uspořádání Li-Pol akumulátoru (převzato z [9]) 6
2.1 vybíjecí křivky Ni-MH a Ni-Cd (převzato z [11]) 7
2.2 vybíjecí křivka Li-Ion (převzato z [12]) 7
2.3 vybíjecí křivka Li-Pol (převzato z [13]) 7
2.4 měření vnitřního odporu 8
2.5 měření impedance 8
3.1 Hrubé blokové schéma 10
3.2 Schéma zapojení řízené zátěže 12
3.3 použitý chladič 13
3.4 termostat s hysterezí 13
3.5 Zapojení bloku měření proudu 17
3.6 spínání relé 17
3.7 měření napětí 19
3.8 oddělení analogových signálů od digitálních 20
3.9 připojení silových zemí na DPS 21
3.10 Návrh předního panelu 21
4.1 základní struktura procesu 22
4.2 Základní diagram systému 23
4.3 princip pulzního vybíjení 25

Úvod

S ohledem na to, že pojem akumulátor je velice široký a může obsahovat prakticky libovolné technické zařízení sloužící k uchování a následnému čerpání energie v různých formách (příkladně akumulátory mechanické, tepelné, elektromagnetické), je nutné specifikovat, že tato práce je zaměřená na akumulátory elektrické energie a to především na různé druhy elektrochemických článků.

Obsah této práce je primárně zaměřen na návrh a konstrukci zařízení schopného měření kapacity akumulátoru. Měření je pak realizování pomocí vybíjení akumulátoru nastaveným proudem až do nastaveného koncového napětí. Navrhované zařízení umožňuje krom lineárního vybíjecího proudu použití impulzního vybíjení, díky kterému je možné přiblížit se některým typům reálné zátěže.

Celé práce je členěna do čtyř kapitol, z nichž první část rozebírá obecné vlastnosti akumulátorů a slouží tak jako teoretický základ pro následné navržení pracovních parametrů zařízení. V kapitole druhé jsou uvedeny různé metody, pomocí kterých je možné určit další vlastnosti akumulátoru. V třetí části je podrobně rozebrán kompletní návrh obvodového řešení, které by mělo co nejlépe zvládat požadované funkce, čtvrtá část je pak orientována na popis struktury řídícího programu a popsání jeho základních vlastností. Závěrečné zhodnocení dosažených výsledků je uvedeno v poslední páté části.

1 Akumulátory

Většina dnes běžně užívaných elektrických akumulátorů je založena na elektrochemickém principu, to znamená, že elektrochemické akumulátory používají přeměnu elektrické energie na chemickou, u které je možné v případě potřeby provést transformaci zpět na energii elektrickou.

1.1 Rozdělení akumulátorů

Elektrochemické akumulátory se rozdělují do několika skupin podle různých aspektů [1]

a) podle druhu elektrolytu:
   - kyselý elektrolyt
   - zásaditý elektrolyt
   - bezvodný elektrolyt

b) podle provedení:
   - otevřené
   - uzavřené

c) podle principu:
   - **Olověný (Pb)**
   - **Nikl-kadmiový (NiCd)**
   - **Nikl-metal hydridový (NiMH)**
   - Nikl-železný (Ni-Fe)
   - Nikl-zinkový (Ni-Zn)
   - Stříbro-zinkový
   - **Lithium-iontový (Li-ion)**
   - **Lithium-polymerový (Li-Pol)**
   - Lithium-FeSO4 (Li-FeSO4)
   - ostatní

d) Podle použití:
   - průmyslové akumulátory
   - standardní aplikace
   - vojenské aplikace
   - pro vysoké odběrové proudy
   - rychlo nabíjecí
   - pro trvalé dobíjení
   - pro vysoké teploty
   - s MBU (Memory Back-up)

e) Podle tvaru:
   - válcové
     - AA AA (½AA AA)
     - A AA (⅓A AA, ½A AA, ⅔A AA, A AA, 5/4A AA, 5/3A AA)
     - AA (⅓AA, ½AA, ⅔AA, AA, 5/4AA)
     - A (⅔A, 4/5A, A, 4/3A)
     - ostatní válcové (Af, Cs, C, D, F, SF, N, …)
   - prizmatické
     - malé prizmatické
   - diskové (knoflíkové)
     - podle průměru (např. Ø 6,8 mm, Ø 11,5 mm, Ø 15,5 mm, Ø 25 mm, …)
     - oválné
   - hranolovité (+ jejich sestavy)

f) Podle technologie výroby:
   - Stáčené desky (sintrované, plastem pojené, kombinované)
   - ploché desky (lisované, sintrované, plastem pojené, kombinované)

1.2 Základní druhy akumulátorů a jejich vlastnosti

1.2.1 Nikl-metal hydridový akumulátor (Ni-MH)

Jedním z nejužívanějších nabíjecích akumulátorů je akumulátor Nikl-metal hydridový. Důvodem jeho rozšířenosti je jeho značně velká kapacita a schopnost dodávat poměrně velký proud, přičemž náklady na jeho výrobu jsou poměrně nízké.

Základními prvky tohoto akumulátor jsou, kladná elektroda tvořena oxidem-hydroxidu niklitého [NiO(OH)], záporná elektroda tvořena speciální kovovou slitinou, která s vodíkem vytváří směs hydridů neurčitého složení a elektrolyt umístěný mezi nimi, který je tvořen vodným roztokem hydroxidu draselného. Rozložení výše zmíněných součástí je patrné z obrázku 1.1. Mezi elektrodami při vybíjení dochází k následujícím chemickým reakcím:

Celková vybíjecí reakce:

$$MH + NiO(OH) \longrightarrow M + Ni(OH)_2$$

Na kladné elektrodě:

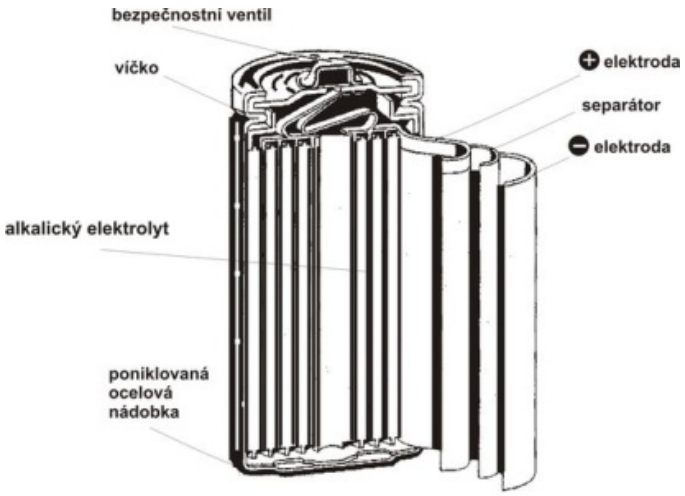
$$NiO(OH) + H_2O + e^- \longrightarrow Ni(OH)_2 + OH^-$$

Na záporné elektrodě:

$$MH + OH^- + M + H_2O + e^-$$

V těchto rovnicích, M představuje výše zmíněnou slitinu a MH onu slitinu s navázaným vodíkem.

Tyto chemické reakce poskytují Ni-MH článkům jmenovité napětí 1,2V. Pokud je článek plně nabitý může výstupní napětí dosáhnout až na napětí 1,4V. Hlavní nevýhodou těchto článků je takzvaný samovybíjecí efekt, který při pokojové teplotě (20°C) způsobuje vybití zhruba 15-30% kapacity během 30 dní. Další nevýhodou je efekt „líné baterie“, ten nastává nesprávným nabíjením nezcela vybitých akumulátorů, důsledkem je pak vysoký vnitřní odpor a následná neschopnost dodání vyšších proudů [2].



1.1 rozložení elektrod NI-MH článku (převzato[3])

1.2.2 Nikl-kadmiový akumulátor (NiCd)

Tento typ akumulátoru není tak rozšířen jako předchozí Ni-MH akumulátor, důvodem je jeho menší měrná kapacita a obsah jedovatého kadmia. Konstrukčně je řešen stejně jako akumulátory Ni-MH, liší se pouze materiály, ze kterých sou jednotlivé části vyrobeny. Kladná elektroda je tvořena oxidem hydroxidu niklitého, záporná elektroda je tvořena kadmiem a jako elektrolyt je obvykle použit vodný roztok hydroxidu draselného. Na těchto elektrodách pak nastávají následující chemické reakce:

Celková vybíjecí reakce:

$$Cd + 2NiO(OH) + 2H_2O \longrightarrow Cd(OH)_2 + 2Ni(OH)_2$$

Na kladné elektrodě:

$$2NiO(OH) + 2H_2O + 2e^- \longrightarrow 2Ni(OH)_2 + 2OH^-$$

Na záporné elektrodě:

$$Cd + 2OH^- + Cd(OH)_2 + 2e^-$$

Tyto chemické reakce jsou poměrně blízké chemickým reakcím v Ni-MH akumulátorech, proto je jejich výstupní napětí téměř shodné, tedy jmenovité napětí je 1,2V, plně nabitý akumulátor vykazuje 1,35V a vybitý článek má 0,8 - 1V. I u Ni-Cd akumulátorů se projevuje obdoba efektu „líné baterie“ zde se jedná o takzvaný paměťový efekt, který je způsoben, obdobně jako u akumulátorů Ni-MH, opakovaným nabíjením ne zcela vybitých akumulátorů a způsobuje tvorbu krystalků na elektrodách, což má za následek růst vnitřního odporu a celkový pokles kapacity. Ačkoli mají Ni-Cd akumulátory zhruba o 40% nižší kapacitu než Ni-MH, Ni-Cd akumulátory jsou schopny pracovat za podstatně horších provozních podmínek (př.: do teplot -40°C), dále mají tyto akumulátory podstatně menší vnitřní odpor a proto jsou schopny vyššího výkonového zatížení než Ni-MH. Poslední výhodou těchto akumulátoru je možnost dlouhodobého skladování ve vybitém stavu bez snížení jejich kapacity, což u většiny dnes používaných akumulátorů není možné [4].

1.2.3 Olověný akumulátor (Pb)

Jedná se o nejpoužívanější sekundární elektrochemický zdroj, který je vyráběn v široké škále kapacit. Za jeho velké rozšíření je zodpovědná dobře zvládnutá technologie výroby a především výborný poměr cena/výkon.

Olověné akumulátory jsou v podstatě galvanické články s elektrodami na bázi olova a elektrolytem tvořeným zhruba 35% roztokem kyseliny sírové. Záporné elektrody jsou vyrobeny z houbovitého olova, kladné elektrody pak z oxidu olovičitého. Na těchto elektrodách probíhá následující chemická reakce:

Celková vybíjecí reakce:

$$Pb + 2H_2SO_4 + PbO_2 \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O + PbSO_4$$

Na kladné elektrodě:

$$PbO_2 + 4H^+ + SO_4^{2-} + 2e^- \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$$
$$PbO_2 + 3H^+ + HSO_4^- + 2e^- \longrightarrow PbSO_4 + 2H_2O$$

Na záporné elektrodě:

$$Pb + SO_4^{2-} \longrightarrow PbSO_4 + 2e^-$$
$$PbO_2 + HSO_4^- \longrightarrow PbSO_4 + H^+ + 2e^-$$

Olověné akumulátory se rozdělují podle dvou základních kritérií:

Podle použití:

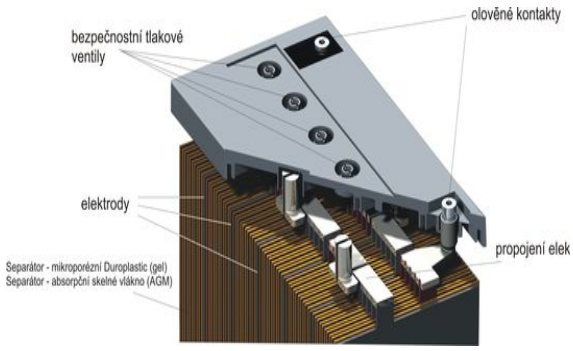
- Startovací akumulátory
- Trakční akumulátory

Podle technologie:

- Se zaplavenými elektrodami

- VRLA – ventilem řízené olověné akumulátory (zapouzdřené akumulátory se zamezením ztrát elektrolytu)
- AGM – elektrolyt je nasáknut ve skelné vatě
- Gelové – elektrolyt je obsažen ve formě gelu

Základní rozdíly mezi akumulátory startovacími a akumulátory trakčními spočívají v rozložení elektrod. Startovací akumulátory jsou vybaveny velkým počtem tenkých elektrod, viz obrázek 1.2, aby bylo dosaženo co největší aktivní plochy a aby tyto akumulátory dokázaly, nárazově poskytnout vysokou úroveň vybíjecích proudů, které jsou po tomto typu akumulátoru vyžadovány. Nevýhodou tohoto uspořádání je nesnášenlivost hlubokého vybití, které může zapříčinit trvalé poškození článků a výrazné snížení jejich kapacity. Naproti tomu trakční akumulátory jsou konstruovány pomocí velkých tlustých elektrod, viz obrázek 1.3, které sice nevyvinou tak velké proudy, nicméně jsou výrazně odolnější vůči hlubokému vybití akumulátoru. Tyto akumulátory se používají v aplikacích, kde dochází k častému vybíjení akumulátoru, jako jsou například elektrické vozíky, solární elektrárny a mnohé další.



1.2 Olověný startovací akumulátor (převzato z [6])



1.3 Olověný trakční akumulátor (převzato z [7])

Rozdíly v jednotlivých typech akumulátorů rozlišených podle výrobní technologie jsou patrné již z jejich názvů a v postatě lze říct, že se jedná o různé technologie určené k zamezení volného úniku elektrolytu.

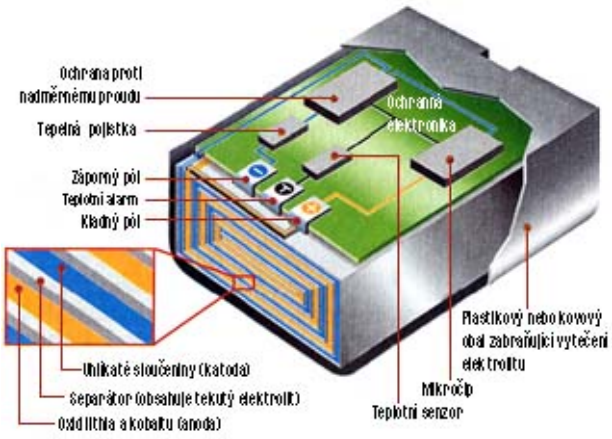
Všechny výše zmíněné technologie poskytují každému článku jmenovité napětí 2V, v zátěži pak 1,75V. Samovybíjení probíhá rychlostí 3 - 30% kapacity za 30 dní, nejvyšší hodnota se však týká nejstarších typů akumulátoru. Dnešní moderní konstrukce zajišťují hodnoty mnohem nižší. Jak tedy vyplývá z předchozích informací, olověné akumulátory jsou levné a výkonné, jejich hlavní nevýhodou je však velká hmotnost a nesnášenlivost hlubokého vybití [5].

1.2.4 Lithium-iontový akumulátor (Li-Ion)

Jedná se o relativně nový typ akumulátoru, který v dnešní době postupně nahrazuje akumulátory Ni-MH. Velkou výhodou je vysoká hustota energie, což umožňuje výrobu malých lehkých akumulátorů, které se výborně hodí pro množství mobilních přístrojů.

Záporná elektroda Li-Ion akumulátoru je vyrobena z uhlíku katoda je tvořena směsí oxidů lithia s dalším kovem a elektrolytem je lithiová sůl, rozložení elektrod je patrné z obrázku 1.4**,** mezi těmito elektrodami probíhá následující chemická reakce [8]:

$$Li_{\frac{1}{2}}CoO_2 + Li_{\frac{1}{2}}C_6 \rightleftarrows C_6 + Li\,CoO_2$$



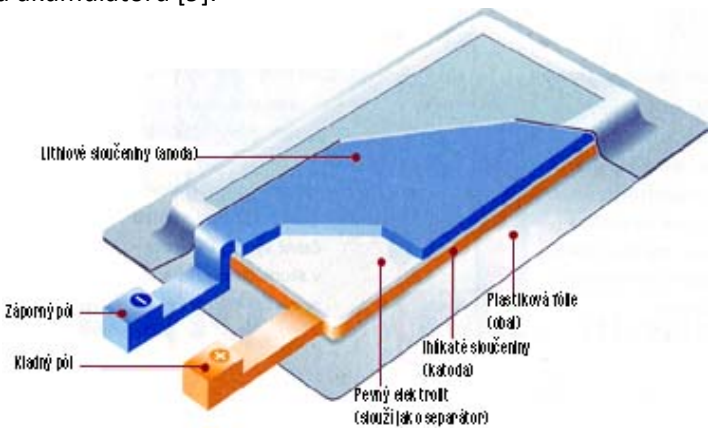
1.4 příklad konstrukce Li-Ion akumulátoru (převzato z [9])

Výhodou tohoto chemického složení je, že výše zmíněná chemická reakce poskytuje napětí 3,6V tj. trojnásobek jmenovitého napětí Ni-MH/Ni-Cd akumulátorů, což je příčinou výše zmíněné vysoké hustoty energie, další výhodou je velice malé samovybíjení a žádný paměťový efekt. Na obrázku 1.4 je patrná elektronická část akumulátoru, která je nutnou součástí zajišťující bezpečný provoz. Li-Ion akumulátory jsou totiž velice citlivé na přebíjení a hluboké vybíjení, oba tyto stavy výrazně poškozují akumulátor a trvale snižují jeho kapacitu. Rovněž je nutno hlídat teplotu akumulátoru, Li-Ion akumulátory mají tendenci se při vyšší zátěži výrazně zahřívat a pokud by nebyly vybaveny dostatečnou elektronickou ochranou, mohlo by dojít i k explozi akumulátoru. Dalšími nevýhodami, je možnost úniku elektrolytu a omezená životnost akumulátoru zhruba na 3 roky, po kterých dojde k rozkladu elektrod a skokovému zhoršení vlastností akumulátoru.

1.2.5 Lithium-polymerový akumulátor (Li-Pol)

Li-Pol akumulátory mají obdobné vlastnosti jako akumulátory Li-Ion, Li-Pol však užívají místo tekutého elektrolytu elektrolyt pevný, čímž se anuluje možnost vytečení akumulátoru a odpadá nutnost pevného pláště, což umožňuje výrobu lehkých a „ohebných“ akumulátorů viz obrázek 1.5.

Katoda je vyrobena z oxidu lithia a kobaltu nebo lithia, niklu a kobaltu, do jehož krystalické mřížky byly vpraveny ionty lithia. Anodu tvoří sloučeniny grafitu. Díky tuhému elektrolytu je sice snížena celková hmotnost akumulátoru. Cenou za to, je však nižší hustota energie, proto je pro dosažení stejné kapacity jako u Li-Ion zapotřebí pouze 90% hmotnosti, ale o 15% více objemu akumulátoru [9].



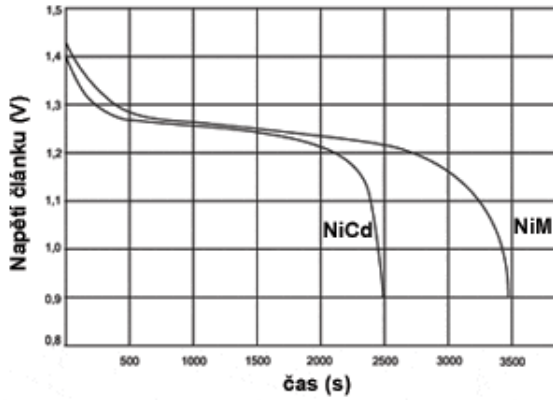
1.5 uspořádání Li-Pol akumulátoru (převzato z [9])

2 Metody určování stavu akumulátorů

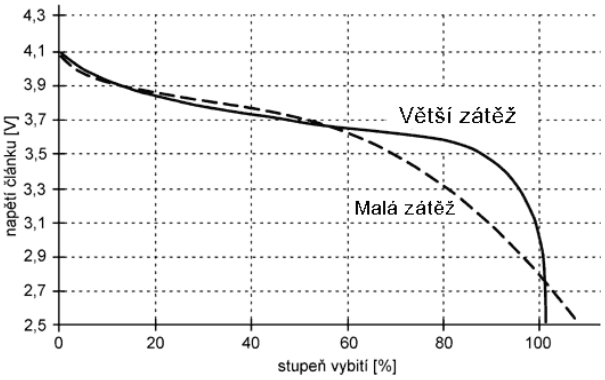
Z předchozí kapitoly je patrné, že každý typ akumulátoru je jiný a příčiny, proč se jejich vlastnosti mění, se také různí. Tato kapitola je zaměřena na různé metody měření nejzákladnějších parametrů akumulátorů.

2.1 Měření napětí

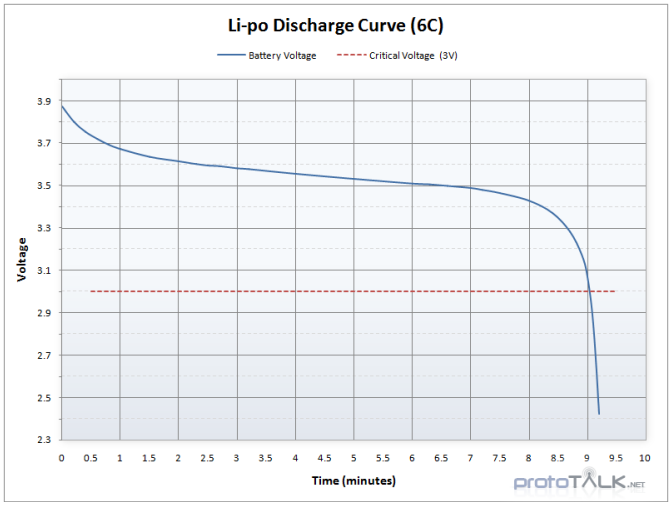
Měření napětí na svorkách nezatíženého akumulátoru je prakticky nejjednodušší metodou, pomocí které lze odhadnout, bez ohledu na typ akumulátoru, z jaké části je daný akumulátor nabitý. Aby toto měření mělo smysl, je nezbytně nutné znát jmenovité napětí měřeného akumulátoru a vůči němu změřenou hodnotu porovnávat. Znalost jmenovitého napětí nám ale umožní odhadnout stav jen velice hrubě. Problém totiž představují vybíjecí křivky akumulátoru, které se u různých typů liší, viz obr. 2.1, 2.2, 2.3 a zvláště pak v pracovní oblasti, kdy jsou křivky téměř vodorovné, může být přesný odhad velmi problematický.



2.1 vybíjecí křivky Ni-MH a Ni-Cd (převzato z [11])



2.2 vybíjecí křivka Li-Ion (převzato z [12])

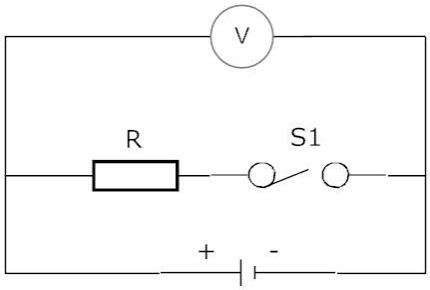


2.3 vybíjecí křivka Li-Pol (převzato z [13])

2.2 Měření vnitřního odporu

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

prodělal, tím se jeho vnitřní odpor zvětšuje. Při měření vnitřního odporu zapojíme akumulátor podle schématu, viz obrázek 2.4.



2.4 měření vnitřního odporu

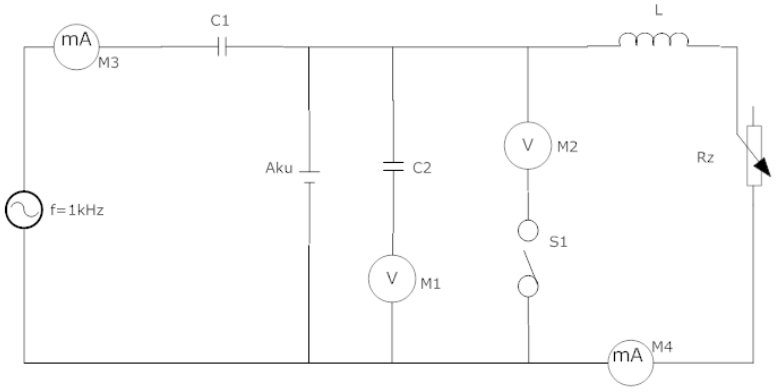
Měření vnitřního odporu akumulátoru (R_V) se provádí následujícím způsobem. Nejprve se provede měření napětí akumulátoru bez zátěže (U_0), poté se sepne spínač S1 a odečte se hodnota napětí (U) při zatíženém akumulátoru, podle vztahu (2.1) je pak možné snadno stanovit vnitřní odpor (R_V)[10]

$$R_V = \frac{R \cdot (U_0 - U)}{U} \; [\Omega; \Omega, V, V, V]. \qquad (2.1)$$

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

2.3 Měření impedance

Další důležitou vlastností akumulátoru je jeho impedance. Ta je důležitá především pokud má být akumulátor použit při napájení různých frekvenčních zařízení, jako jsou například zesilovače. Akumulátor měříme v zapojení podle obrázku 2.5.



2.5 měření impedance

Měření probíhá při zatížení akumulátoru běžným zatěžovacím proudem, stejnosměrný proud odebíráme přes tlumivku L, která zabrání uplatnění vlastní impedance Rz. Střídavý voltmetr M1 musí mít co největší vnitřní odpor a oddělovací kondenzátor C2 musí mít pro měřící kmitočet malou impedanci, zpravidla vyhovuje kondenzátor o kapacitě kolem 10μF. Odpor stejnosměrného voltmetru musí být co největší a při vlastním měření je vhodné ho odpojit snímačem S1. Střídavé napětí na svorkách článku nesmí překročit 5% stejnosměrného napětí akumulátoru. Impedanci akumulátoru pak stanovíme podle vztahu (2.2)[10]

$$Z = \frac{U_1}{I} \; [\Omega; V, A]. \qquad (2.2)$$

Kde U_1 je napětí změřené střídavým voltmetrem M_1 a I je proud měřený ampérmetrem M_3.

2.4 Měření kapacity

Jedním z nejdůležitějších parametrů akumulátoru je jeho kapacita. Skutečná kapacita se však od kapacity uváděné výrobcem většinou liší a se stoupajícím stářím kapacita akumulátoru stále klesá. Standardním způsobem měření kapacity je připojit na akumulátor normovaný rezistor a měřit čas, za který napětí na akumulátoru klesne na úroveň kdy je akumulátor považován za vybitý. Zároveň měříme napětí akumulátoru několikrát za dobu měření, z těchto hodnot vypočteme průměrné napětí akumulátoru- U_P a podle vztahu (2.3) pak vypočteme kapacitu akumulátoru[10]

$$Q = \frac{U_p \cdot t}{R} \ [A.h; V, h, \Omega], \tag{2.3}$$

kde Q je kapacita akumulátoru, t čas po který vybíjení probíhalo a R je zátěžový rezistor.

3 Návrh zařízení pro měření kapacity

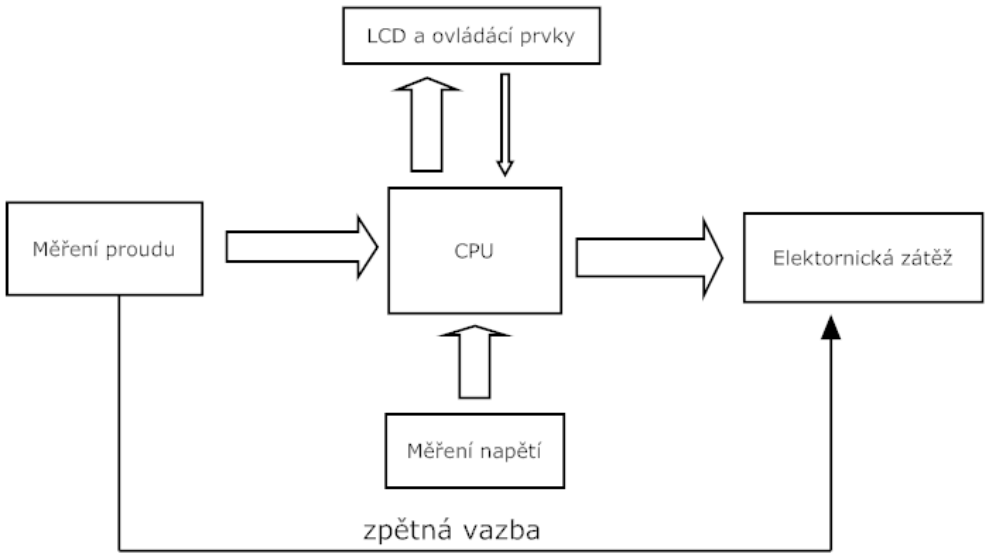
Ve většině případů je kapacita akumulátoru jeho nejdůležitější vlastností, bohužel měření této veličiny je poměrně časově náročné a při nedostatečném množství vzorků ani není příliš přesné. Zařízení pro měření kapacity akumulátoru by tedy mělo výrazně snížit nároky na čas měření provádějící osoby a pokud možno co největší část měření automatizovat.

3.1 Základní návrh a zněj plynoucí parametry

Návrh je třeba rozdělit do několika kroků. Prvním krokem je stanovit jaké dílčí bloky jsou nutné k realizaci cílového zařízení, v druhém kroku je nutno určit požadavky na operační rozsah zařízení a jeho přesnost. Ve třetí části návrhu se provede návrh jednotlivých bloků, tak aby splnili dříve stanovené požadavky.

3.1.1 Stanovení dílčích bloků

Aby toto zařízení dokázalo samostatně změřit kapacitu akumulátoru, musí být schopno akumulátor vybít, protože měřené akumulátory budou pravděpodobně mít různou velikost, je třeba, aby zařízení dokázalo vybíjecí proud vhodně nastavit, z toho je patrné, že prvním požadovaným dílčím blokem bude řízená zátěž. S ohledem na to, že zátěž je potřeba řídit a proud tekoucí akumulátorem je nutno měřit, další logický krok vede k vytvoření dílčího bloku měření proudu. Dále je třeba hlídat svorkové napětí akumulátoru, aby nedošlo k příliš hlubokému vybití, což by některé akumulátory mohlo nevratně zničit, proto bude úkolem dalšího bloku měření napětí. Zařízení je teď vybaveno bloky, které jsou nezbytné pro realizaci měření, ještě je však nutné umožnit uživateli kontrolovat průběh měření, nastavovat jeho parametry a především zjistit výsledek měření, k tomu účelu bude sloužit další dílčí blok, a to blok uživatelského rozhraní. Poslední část zařízení pak bude řídící jednotka, jejímž úkolem bude zajistit řízení všech předchozích bloků. Výše stanovené části tak lze propojit do hrubého blokového diagramu viz obrázek 3.1.



3.1 Hrubé blokové schéma

3.1.2 Stanovení požadavků

Vezmeme-li v potaz časovou náročnost vývoje a výslednou konstrukční cenu zařízení, je zapotřebí optimalizovat návrh zařízení tak, aby jeho užití bylo co nejuniverzálnější, ale aby ho to zároveň příliš neprodražilo a nezkomplikovalo.

Uděláme-li průřez nejběžněji užívaných akumulátorů v domácím prostředí, zjistíme, že nejmenší užívané akumulátory jsou malé knoflíkové články s napětím 1.2V a kapacitou řádově desítky mAh, zatímco největším běžně se vyskytujícím akumulátorem je startovací akumulátor automobilu s obvyklým jmenovitým napětím 12V a kapacitou desítky Ah. Z těchto poznatků lze stanovit základní požadavky na pracovní rozsahy zařízení.

Z napěťového hlediska je určení rozsahu poměrně jednoduchou záležitostí, 12V akumulátor může, mít v plně nabitém stavu napětí až 14V, proto je třeba stanovit napěťový měřící rozsah alespoň na 14V, s tím že při připojení vyššího napětí nedojde k poškození zařízení. Co se týče přesnosti měření napětí, je možné přihlédnout k faktu, že toto napětí přímo neovlivňuje přesnost měření, a proto by mělo postačovat měření na dvě desetinná místa v celém rozsahu pomocí standardního A/D převodníku a jednoduchého odporového děliče, přičemž by měla postačovat přesnost převodníku, u kterého bude ignorován nejnižší bit.

Dále je třeba stanovit maximální proud, kterým bude akumulátor možno zatížit. Maximální proud je možné stanovit přibližně jako desetinu maximální uvažované kapacity, což je startovací akumulátor běžného automobilu s obvyklou kapacitou 44 Ah, z toho plyne vybíjecí proud, který by měl být alespoň 4A. Minimální nastavitelný proud by měl být s ohledem na možnost měření velmi malých akumulátorů nastavitelný na 1mA. S ohledem na fakt, že měření proudu je primárním rozhodujícím faktorem přesnosti celého zařízení, proto by chyba neměla činit víc jak 5% odchylku od reálné hodnoty.

3.2 Dílčí bloky

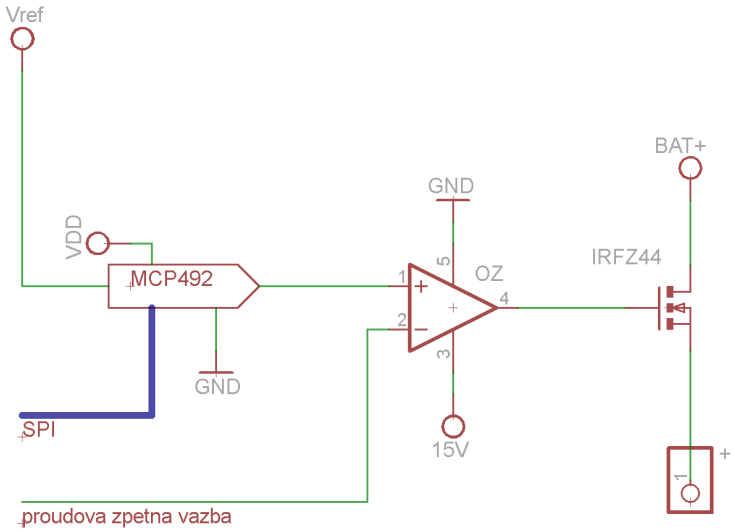
3.2.1 Návrh řízené zátěže

Obvod řízené zátěže bude ovládán procesorem a to na základě informací poskytnutých blokem měření proudu. Z toho je patrné, že řízená zátěž pro tento obvod by měla být definována jako číslicově řízený rezistor s takovým rozsahem, aby dokázal v plném napěťovém rozsahu (0.5V-14V) docílit nastavený proud pro celý proudový rozsah přístroje (1 mA – 4 A). Zároveň je nutné, aby krok rezistoru, pro všechny výše zmíněné provozní rozsahy, dokázal měnit svou hodnotu tak, aby bylo možné nastavit požadovaný proud s co nejnižší odchylkou. Dalším požadavkem je schopnost vyzářit při plném zatížení veškeré přebytečné teplo, vznikající vybíjením akumulátoru.

Tyto požadavky na napěťové a proudové rozsahy dokáže splnit pouze tranzistor řízený polem a k tomuto tranzistoru pak přidružený D/A převodník s dostatečně jemným krokem, aby dokázal zvládnout jemné řízení i ve strmých částech charakteristik tranzistoru. Díky zpětné vazbě měřeného proudu a zároveň díky korekcím, které provádí procesor, není třeba řešit tepelnou stabilizaci a ani nelinearitu tranzistoru.

Z měření, které bylo provedeno na tranzistoru IRFZ44, vyplynula nutnost regulovat napětí na hradle tranzistoru v rozsahu 3 – 15V, a to s rozlišením výrazně vyšším než 1mV, protože v nejstrmějších částech charakteristiky odpovídá citlivost tranzistoru při napětí U_{DS} 13V a změně napětí U_{GS} o 1mV změně proudu I_{DS} o 70mA. Podrobnější měření nebylo možné realizovat, neboť tranzistor vykazuje výraznou tepelnou závislost a bez tepelné kompenzace ho není možné podrobně proměřit. Problém s relativně vysokou citlivostí je řešitelný pomocí operačního zesilovače a přímé analogové zpětné vazby. Standardně se tato zpětná vazba realizuje pomocí odporu, který je zapojen do proudové smyčky. Vložení dalšího odporu do

proudové smyčky však omezuje nejnižší napětí, při kterém je možné udržet maximální proud. Proto je využita zpětná vazba ze systému měření proudu, díky tomu je sice odstraněna nutnost vložení dalšího odporu, avšak vzniká problém skokové změny proudu při přepínání měřících rozsahů, tento problém je však odstranitelný vhodnou konstrukcí řídícího SW. V kombinaci s 12b D/A převodníkem je pak možné zajistit přesnou regulaci, jejíž přesnost je závislá pouze na přesnosti měření proudu. Jakožto ideálním kandidát na D/A převodník se jeví obvod MCP4922-E/P, kterýžto obsahuje 12b převodník ovládaný pomocí SPI rozhraní. Výsledné zapojení je pak patrné ze schématu uvedeném na obrázku 3.2.

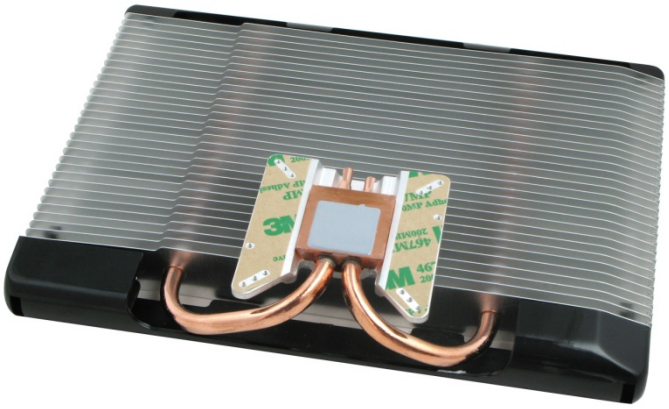


3.2 Schéma zapojení řízené zátěže

Nezbytnou součástí bloku řízené zátěže, je i návrh chlazení. Při maximálním zatížení (I_{MAX}=4A, U_{MAX}= 14V), je podle vztahu (3.1) ztrátový výkon na tranzistoru 56W, podle informací získaných od výrobce tranzistoru [16] je tranzistor schopný z přechodu odvést výkon až 110W přičemž jeho tepelný odpor ($R_{th\text{-}jmb}$) odpovídá 1,4 °K/W.

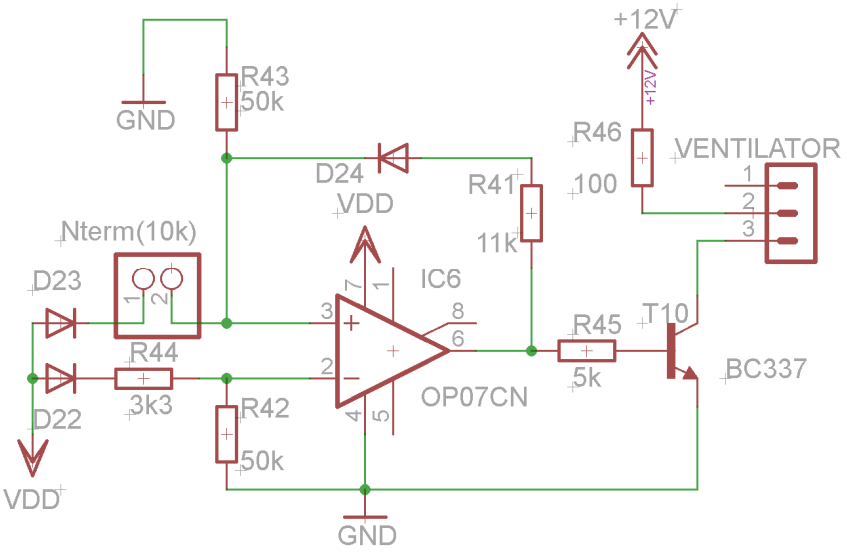
$$P_T = I_{MAX} \cdot U_{MAX} \quad [W; A, V] \tag{3.1}$$
$$P_T = 4 \cdot 14 = 56W$$

Pro výpočet adekvátního chladiče byl použit program EasyElectro. Pro teplotu okolí 35 °C, hliníkový chladič o tloušťce 2mm se svislou orientací, při současném užití teplovodivé pasty a bez použití ventilátoru, pak odpovídala vypočtená plocha chladiče přibližně 1100 cm^2, přičemž by teplota chladiče dosahovala 63°C . Podle příslušné vyhlášky [17], je však maximální bezpečná dotyková teplota pro povrchy s dobrou tepelnou vodivostí 55°C. S ohledem na tuto skutečnost byl vybrán chladič Arctic-Cooling Accelero S2 (viz. Obrázek 3.3), jehož aktivní plocha je blízká ploše požadované, a který je původně určený k pasivnímu chlazení grafických karet. S ohledem na fakt, že tento chladič je vybaven technologií heatpipe, je efektivnost tohoto chladiče vyšší než kdyby se jednalo o čistě hliníkový blok. Tento chladič, je pak ještě doplněn o 120mm ventilátor, který zajistí dodržení bezpečných teplot i za provozu při vyšších teplotách okolí.



3.3 použitý chladič

S ohledem na vysokou účinnost zvoleného chladiče není nutné, aby ventilátor pracoval neustále, ale je výhodné ho ovládat pomocí termostatu. Jako nejvýhodnějším řešením se tedy jeví konstrukce termostatu s hysterezí. Základem termostatu, je převodník teploty na napětí, k tomu poslouží jednoduchý odporový dělič tvořený termistorem a vhodným doplňujícím rezistorem. Dále je pak zapotřebí operačního zesilovače zapojeného jako komparátor s hysterezí, výsledné schéma je pak patrné z obrázku 3.4.



3.4 termostat s hysterezí

Jako vhodný termistor byl zvolen negativní termistor K164NK010. Výňatek z tabulky jeho pracovní charakteristiky je zobrazen v tabulce 3.1 [15], žlutě je pak v tabulce zvýrazněná teplota zvolená pro sepnutí ventilátoru a zeleně teplota pro vypnutí ventilátoru.

3.1 závislost odporu na teplotě pro termistor K164NK010

t [°C]	R [kΩ]
40	5,074
45	4,1026
50	3,3363
55	2,7243

Návrh termostatu je, jak již bylo výše zmíněno, realizován pomocí odporového děliče tvořeného termistorem a rezistorem s hodnotou 50 kΩ. Díky velikostí těchto rezistorů bude při napájení děliče proud obvodem minimální a není tedy nutné počítat s oteplením termistoru v důsledku protékajícího proudu. Tento dělič je připojen do neinvertujícího vstupu operačního zesilovače. Do invertujícího vstupu je pak připojen odporový dělič, jehož první rezistor odpovídá hodnotě termistoru, při které má dojít k sepnutí ventilátoru a druhý rezistor pak musí mít stejnou hodnotu jako druhý rezistor v děliči s termistorem. Hystereze je pak zavedena pomocí zpětné vazby. S ohledem na fakt že v zapojení děličů se vyskytují nelineární prvky (diody), je výhodnější pro daný případ stanovit zpětnovazební odpor pomocí simulace. Simulace byla provedena pomocí obvodového simulátoru, který je dostupný na adrese: http://www.falstad.com/circuit/index.html. Výsledkem simulace je volba 11 kΩ rezistoru, který zajistí hysterezi 10°C.

3.2.2 Návrh měřícího obvodu proudu

Zařízení pro měření proudu je jednou z nejkomplikovanějších částí v celém návrhu. Důvod proč je tato část tak obtížná, je především přesnost, na které závisí přesnost celého měřícího zařízení. Z technického hlediska by bylo velice obtížné navrhnout zařízení, které by bylo schopné s dostatečnou přesností měřit bez změny rozlišení v celém požadovaném rozsahu (1mA – > 4A). Z toho důvodu je nutno stanovit měřící rozsahy a stanovit je tak, aby v žádném nastaveném rozsahu odchylka nepřekračovala 5%.

Nyní když jsou stanoveny požadavky, je možné přikročit k návrhu elektrické části zařízení. S ohledem na šířku pracovního rozsahu zařízení, by bylo velice komplikované vytvořit zařízení, které by dokázalo měřit s požadovanou přesností v celém rozsahu, proto je nezbytné rozdělit proudovou pracovní oblast na dílčí rozsahy, jejichž počet a vymezení vyplyne z následujícího postupu návrhu jednotlivých rozsahů.

Prvním problémem při návrhu měřícího systému proudu je, že pomocí A/D převodníku je možné měřit pouze napětí, nikoliv proud. Proto je nutné měřený proud převést na napětí, nejjednodušším převodníkem napětí na proud je klasický rezistor.

Využití odporů jako převodníků proudů na napětí si však žádá stanovení jejich velikostí, což představuje určitý problém. Zvolíme-li odpor příliš velký, bude úbytek napětí způsobený protékajícím proudem sice dobře měřitelný, ale na druhou stranu velký úbytek způsobuje zahřívání rezistoru a to může mít za následek změnu jeho hodnoty, což bude mít negativní dopad na přesnost měření. Dalším nebezpečím příliš velkého odporu je zvýšení odporu celého zatěžovacího okruhu a tudíž při nízkém měřícím napětí nemusí být možné dosáhnout plný vybíjecí proud. Pokud bude odpor příliš malý, nebude sice omezovat proud obvodem a ani přílišným zahříváním zkreslovat měření, ale může být obtížné odlišit reálný úbytek na odporu od šumu okolního prostředí. Návrh měřícího rezistoru (příkladně R1 pro první rozsah) bude probíhat podle následujících kroků.

První krok bude vycházet z minimálního bezpečně rozlišitelného napěťového kroku U_{MIN} , jehož nejnižší hranice je uvažována 1 mV, a minimálního požadovaného proudového rozlišení I_{ROZ}, které lze stanovit z požadavku na maximální 5% chybovost. Pro první rozsah, který začíná hodnotou 1mA (I_{ROZ} je tedy 1mA · 5% => 50 µA), je tedy možné podle vztahu (3.2) stanovit potřebnou velikost měřícího rezistoru R_M,

$$\frac{U_{MIN}}{I_{ROZ}} = R_M \quad [V, A; \Omega]. \tag{3.2}$$

$$\frac{1 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-6}} = 20\ \Omega$$

Dále je třeba stanovit podle podmínky dané vztahem (3.3), horní hranici prvního rozsahu I_{RMAX}, pro nízké napětí vybíjeného akumulátoru. Za nízké napětí je možné považovat takové napětí, při kterém lze měřený akumulátor prohlásit za vybitý. Z principů různých typů

akumulátorů, které jsou uvedeny v první kapitole, je patrné, že pokud bude spodní mezní napětí U_{DM} stanoveno na 0,5V mělo by se pro většinu běžně užívaných elektrochemických článků jednat o postačující napětí.

$$\frac{U_{DM}}{R_M} > I_{RMAX} \quad [V,\ \Omega; A] \tag{3.3}$$
$$\frac{0{,}5}{20} > I_{RMAX} \quad [V,\ \Omega; A]$$

Pro splnění podmínky (3.3) je tedy nutné, aby horní hranice rozsahu byla nižší než 25 mA, započítáme-li, do návrhu bezpečnostní rezervu a přesah nutný pro přepínání rozsahů, vyjde jako optimální horní mez prvního rozsahu na 20 mA.

V následujícím kroku je nutné vypočítat maximální výkonové zatížení P_{MAX} podle vztahu (3.4) a porovnat ho s maximálním tepelným zatížením daného rezistoru a zároveň ověřit podle jeho výrobních charakteristik zda nebude tímto výkonem příliš změněna jeho hodnota.

$$P_{MAX} = I_{RMAX}^2 \cdot R_M \quad [\mathrm{W};\ \mathrm{A, V}] \tag{3.4}$$
$$P_{MAX} = (20 \cdot 10^{-3})^2 \cdot\ 20 = 8\,mW$$

Stanovená ztrátový výkon 8mW je natolik nízký, že změna jeho hodnoty způsobená teplotou bude zanedbatelná.

Po provedení předchozích výpočtů by měl být dokončen návrh velikosti samotného měřícího rezistoru. S ohledem na to, že napětí na měřícím rezistoru je velice nízké a jeho přímé vzorkování by nebylo účinné, je vhodné připojit mezi měřící rezistor a A/D převodník ještě zesilovač. Použitím zesilovače se nejen upraví napětí tak aby ho bylo možné efektivně vzorkovat, ale zároveň se tím zvýší odolnost systému vůči rušení, neboť se zvýší napětí jednoho kroku, které bude převodník snímat a tudíž se tak sníží „váha“ rušivých signálů. Další výhodou vyplývající z volby vhodného zesílení je snížení nároků na výpočetní výkon řídícího procesoru.

Pokud má zesilovač zefektivňovat měřící proceduru, je nutné podle vztahu (3.5) stanovit počet hladin, který má daný rozsah rozlišovat.

$$h = \frac{I_{MAX}}{I_{ROZ}}\ [-; A, A] \tag{3.5}$$
$$h = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-6}} = 400$$

Kde h je počet hladin, I_{MAX} je maximální proud daného rozsahu a I_{ROZ} je nejmenší rozlišený proud pro daný rozsah. Z výpočtu (3.5) je tedy patrné, že je nutné rozlišit minimálně 400 hladin. Nejbližší mocnině 2 pak odpovídá hodnota (h_p) 512. S ohledem na zvolené referenční napětí U_{REF} pro A/D převodník, které bylo zvoleno 5V, je nyní možné vypočítat podle vztahu (3.6) rozlišovací napětí převodníku U_{KROKP} pro rozlišení 9 bitů (512 hladin).

$$U_{KROKP} = \frac{U_{REF}}{h_p}, \quad [V; A, \Omega] \tag{3.6}$$
$$U_{KROKP} = \frac{5}{512} = 9{,}766\,mV$$

Dalším krokem je stanovení zesílení OZ tak aby minimální napětí na měřícím rezistoru (U_{MIN}) bylo zesíleno na hodnotu nejnižší hladiny A/D převodníku (U_{KROKP}). Toto zesílení se stanoví na základě jednoduchého vztahu (3.7).

$$p = \frac{U_{KROKP}}{U_{MIN}}, \quad [-; mV, m\,V] \tag{3.7}$$
$$p = \frac{9{,}766}{1} = 9{,}766$$

Hodnoty rezistorů jsou pak voleny podle vztahu (3.8). Jejich velikost musí být dostatečně vysoká, aby zbytečně nezatěžovali výstup OZ, a zároveň nesmí být příliš vysoká, aby nedocházelo ke zkreslení vlivem konečného vstupního odporu OZ. Jako vhodná velikost R1 byla stanovena hodnota 75kΩ.

$$p_z = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad [-;\ \Omega, \Omega] \tag{3.8}$$
$$9{,}766 = 1 + \frac{75 \cdot 10^3}{R_2} => R_2 = 657{,}42\ k\Omega$$

Kde p_z je zesílení zesilovače a R_2 hodnota rezistoru ve zpětné vazbě. S ohledem na komplikovanost sestavení přesné jmenovité hodnoty rezistoru R2 bude tento odpor tvořen rezistorem s hodnotou 620kΩ v sériovém spojení s více otáčkovým trimerem s hodnotou 100kΩ, díky němuž je možné kompenzovat případné nepřesnosti měřících systému. Tyto nepřesnosti by bylo možné kompenzovat i pomocí SW řídícího procesoru. To by ovšem zvyšovalo jednak výpočetní náročnost a zároveň by bylo nutné pro provedení korekce nahrát nový firmware, na což je zapotřebí PC a programátor a tudíž by nebylo možné provádět kalibrace zařízení za provozních podmínek.

Výše uvedený postup návrhu se pro ostatní rozsahy stále opakuje, dokud není dosaženo konce požadovaného operačního rozsahu. Jediným rozdílem při návrhu, je zvýšení minimálního rozpoznatelného napětí U_{MIN} s ohledem na jeho vyšší významnost (pro rozsahy 2 a 3 na 2mV a pro rozsah 4 na 4mV), přehled vypočtený rozsahů a jejich konstrukčních parametrů je patrný v tabulce 3.2.

3.2 Rozsahy a jejich konstrukční parametry

č.	**rozsah**	**R_M [Ω]**	**I_{ROZ} [mA]**	**U_{MIN} [mV]**	**P_{MAX} [W]**	**počet hladin**	**b- A/D**
1	1 - 20 mA	20	0,05	1	0,008	400	9
2	20-200mA	2	1	2	0,08	200	8
3	0,2 - 2 A	0,2	10	2	0,8	200	8
4	2 - 4 A	0,04	100	4	0,64	40	6

Pro rozsahy 3 a 4 jsou hodnoty měřících rezistorů již tak nízké, že k jejich realizaci je nutné paralelní kombinace více rezistorů. Měřící rezistor pro rozsah 3 je pak tvořen kombinací 2 paralelně spojených rezistorů o velikosti 0,22 Ω a 2,2 Ω, pro rozsah číslo 4 je pak měřící rezistor tvořen kombinací čtyř rezistorů 0,1Ω, 0,1Ω, 0,22Ω, 2,2Ω. Z tabulky je patrné, že pro měření postačuje 10b A/D převodník, u kterého nebude využito všech 10b a bude tak výrazně snížen podíl vnitřního šumu převodníku na naměřené hodnoty. Výhodou užití pouze 10b převodníku je možnost využití převodníku integrovaného v procesoru, který dokáže měřit napětí s výrazně vyšší rychlostí, než externí převodníky připojené přes SPI rozhraní.

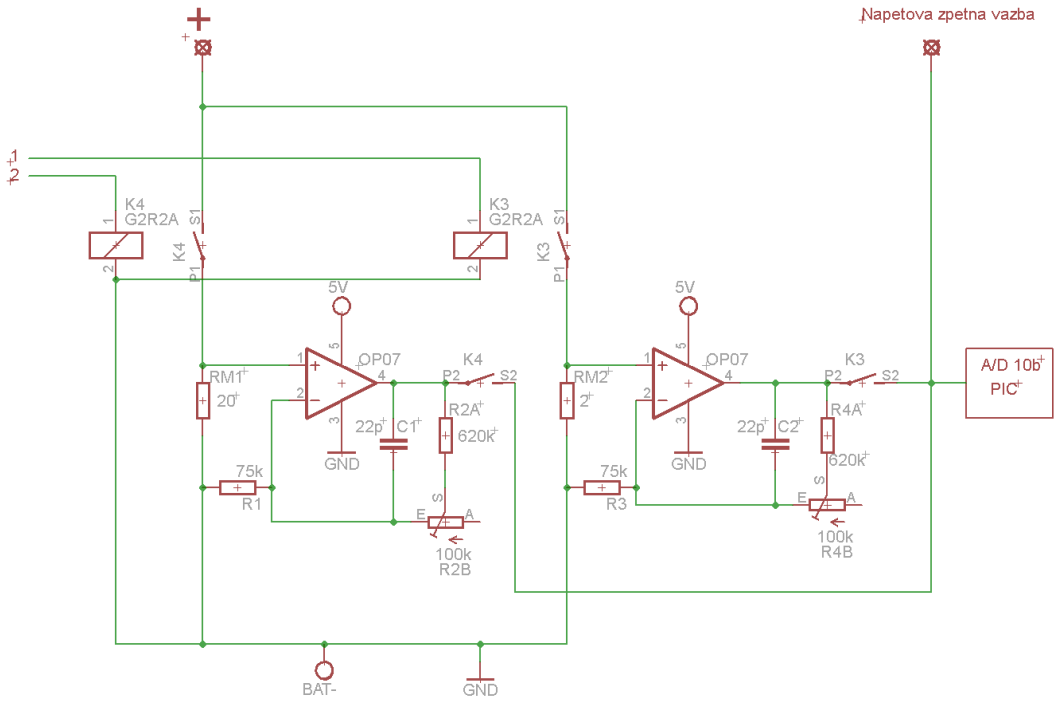
I přes užití čtyř rozsahů, nebude možné zajistit udržení maximálního vybíjecího proudu pro v návrhu uvažovaných 0,5V, ve všech rozsazích. Maximální dosažitelné proudy při minimálním napětí akumulátoru jsou uvedeny v tabulce 3.3. V této tabulce jsou rovněž uvedeny napětí, při kterých je možné dosáhnout maximálního proudu pro daný rozsah.

3.3 omezení proudů pro minimální napětí + minimální napětí pro plný proudový rozsah

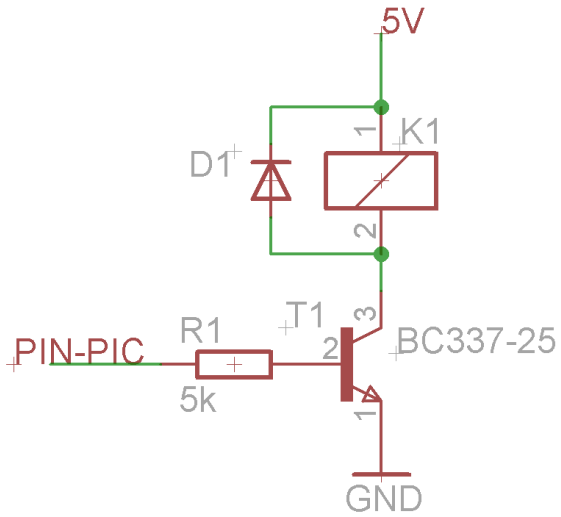
č.	rozsah	I_{MAX} při U_A =0,5V	U_A při I_{MAX}
1	1 - 20 mA	20 mA	0,5 V
2	20-200mA	200 mA	0,5 V
3	0,2 - 2 A	1,25 A	0,8 V
4	2 - 4 A	2,08 A	0,96 V
U_A -> napětí akumulátoru			
I_{MAX} -> maximální proud rozsahu			

Z obrázku 3.5 je pak patrné výsledné schéma zapojení dvou prvních měřících rozsahů. Jako operační zesilovače byly vybrány obvody OP-07, které vynikají velice malou nesymetrii a nízkým šumem. Do zpětné vazby byly zapojeny kapacity, které zajišťují filtraci vyšších kmitočtů

a zajišťují tak vyšší odolnost měřícího systému proti rušení. V tomto schématu je pro zvýšení přehlednosti vynechán návrh spínání cívek relé, který je patrný z obrázku 3.6.



3.5 Zapojení bloku měření proudu



3.6 spínání relé

Cívky relé jsou spínány výstupními piny procesoru prostřednictvím tranzistoru BC337/25 tento tranzistor má podle informace výrobce činitel h21e v rozmezí 200 – 400 [14] pro spínání relé s odporem cívky 47 Ω a zdrojem 5 V jak pro cívku relé, tak pro bázi tranzistoru odpovídá rezistor, umístěný do báze tranzistoru, s hodnotou 9 kΩ. S ohledem na velmi nízké požadavky na rychlost spínání tohoto tranzistoru, je pak lépe instalovat rezistor s hodnotou 5 kΩ, což sice zapříčiní hlubší saturaci ale menší ztrátový výkon na tranzistoru. S ohledem na induktivní charakter spínané zátěže, je pak nutné přemostit cívku relé diodou v závěrném směru, která slouží k odfiltrování napěťových špiček, které vznikají při odpojení indukčnosti od zdroje a chrání tak tranzistor proti průrazu.

3.2.3 Návrh měřícího obvodu napětí

Návrh měřícího obvodu napětí je poměrně prostou záležitostí. Jeho návrh spočívá ve stanovení nezbytného rozlišení A/D převodníku a nastavení vhodného dělícího poměru měřeného napětí, neboť standardní A/D převodníky nepodporují vyšší referenční napětí než 5V.

Výpočet nezbytné přesnosti se provede pomocí jednoduché ho výpočtu (3.9), z něho vyplývá potřeba rozlišit minimálně 2800 hodnot

$$n = \frac{U_{MAX}}{U_{MK}} = \frac{14}{0{,}01} = 1400\ vzorků\ [-; V, V]. \quad (3.9)$$

Kde U_{MAX} je maximální měřené napětí a U_{MK} nejmenší počítaná měřená hodnota. Nejblíže tomuto rozlišení je běžný 12b A/D převodník, který poskytuje 4096 hladin, po oříznutí spodního bitu pak 2048hladin, což je více než postačující hodnota.

Při návrhu odporového děliče je výhodné stanovit poměr děliče tak aby jeden bit 11 bitového převodníku odpovídal napětí 0,01V. Tento dělící poměr je pak stanoven podle vztahu (3.10) na 3:1.

$$poměr = \frac{U_{IN} - U_{OUT}}{U_{OUT}}\ \ [-; V, V, V], \quad (3.10)$$

$$poměr = \frac{20-5}{5} = \frac{3}{1}$$

Kde U_{IN} je maximální vstupní které je možné daným převodníkem vzorkovat při současném splnění výchozích podmínek (1b na 0,01V) dané vztahem (3.10),ve kterém n_1 představuje počet použitých hladin převodníku, a U_{OUT} je maximální povolené napětí na vstupu A/D převodníku.

$$U_{IN} = U_{MK} \cdot n_1\ \ [V; V, -] \quad (3.11)$$

$$U_{IN} = 0{,}01 \cdot 2048 = 20{,}48 \cong 20V$$

Při návrhu konkrétních hodnot rezistorů je třeba zvolit vhodnou velikost rezistorům, tak aby dělič svým proudem nezkresloval měření kapacity akumulátoru, a zároveň aby dělič nebyl „příliš měkký“. Jakožto vhodným kompromisem se jeví zvolit velikost rezistoru R_1 na 51 kΩ a velikost rezistoru R_2 pak vyhází na 17 kΩ. Samotná realizace tohoto zapojení je pak patrná ze schématu 3.7. Na tomto schématu je rovněž patrná Zenerova dioda, která zajišťuje ochranu převodníku před příliš vysokým napětím na vstupu. Z reálné charakteristiky Zenerovi je patrné, že koleno charakteristiky zenerovi diody je poměrně široké, v katalogu udávaná hodnota pro použitou diodu BZX83V005.1 je 4,8-5,4 V [15]. Je nutno počítat, že toto omezení způsobí i značné zkreslení měřeného napětí v dané oblasti rozšíříme-li danou oblast až na napětí U_{MEZ} 4,5 V můžeme, podle vztahu (3.12), vypočítat do jakého napětí (U_{REAL}) bude měření probíhat bez zkreslení.

$$U_{REAL} = \frac{U_{MEZ}}{R_2} \cdot (R_1 + R_2)\quad [V; V, \Omega, \Omega, \Omega,] \quad (3.12)$$

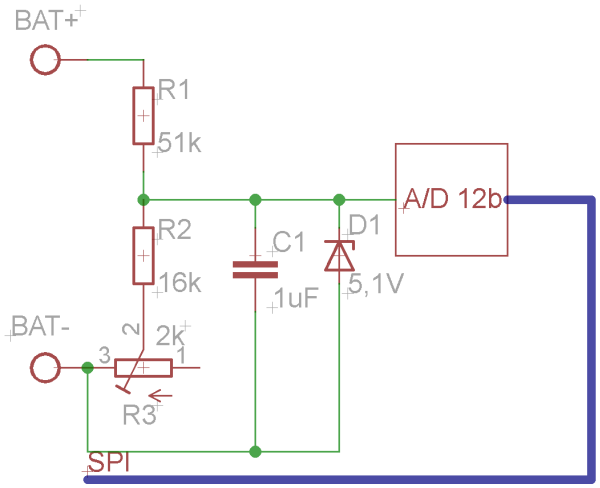
$$U_{REAL} = \frac{4{,}5}{17 \cdot 10^3} \cdot (17 \cdot 10^3 + 51 \cdot 10^3) = 18V$$

Vypočtené napětí 18V vyhovuje požadavku měření alespoň 14V s dostatečnou rezervou a realizaci je tak možné považovat za bezproblémovou.

Dalším prvkem patrným ze schématu 3.7, je kapacita připojená na vstup A/D převodníku. S ohledem na požadavky měření napětí v této aplikaci, není nutné vzorkovat napětí častěji než jednou za sekundu. A tudíž je možné zvolit kapacitu, která ve spojení s děličem vytvoří RC článek, jehož τ stanovené vztahem (3.13) bude odpovídat zhruba 50ms. Počítáme-li dobu nutnou pro dostatečné nabití kondenzátoru rovnou pěti τ (250ms) je patrné, že v systému je ještě dostatečná rezerva.

$$C_1 = \frac{\tau}{R_1}\quad [F; s, \Omega] \quad (3.13)$$

$$C_1 = \frac{50 \cdot 10^3}{51 \cdot 10^3} = 980nF \cong 1\mu F$$



3.7 měření napětí

3.3 Návrh napájení zařízení

Celé zařízení je vybaveno třemi stabilizátory napětí a dvěma zdroji referenčního napětí. S ohledem na požadavek poměrně vysokého napájecího napětí a to 19V stejnosměrných, je zařízení vybaveno vícestupňovou stabilizací. První stabilizovaný stupeň snižuje napětí pomocí stabilizátoru 7812 z 19V na 12V, na druhém stupni je pak připojeno větší množství stabilizátorů. Dva 5V stabilizátory z nichž jeden napájí integrované obvody a druhý je vyhrazen pro napájení cívek relé. Dále jsou na 12V okruh připojeny dva přesné zdroje referenčního napětí. Jeden poskytuje referenční napětí pro A/D převodník procesoru, druhý je pak společný pro A/D převodník určený k měření napětí akumulátoru a D/A převodník určený k řízení zátěže. Oba zdroje referenčního napětí (LT1029CZ) jsou doplněny na výstupu tantalovým kondenzátorem s doporučovanou kapacitou 1µF[20]. Z 12V okruhu je také napájen ventilátor, avšak je spotřeba je snížena pomocí rezistoru, neboť není zapotřebí jeho maximální výkon.

Celkem se předpokládá maximální spotřeba 150mA. Díky použití vícestupňové stabilizaci však bud ztrátový výkon na stabilizátorech rozdělen na víc pouzder a nebude tak nutné, komplikované řešení chlazení stabilizátorů.

3.4 Výběr řídicí jednotky

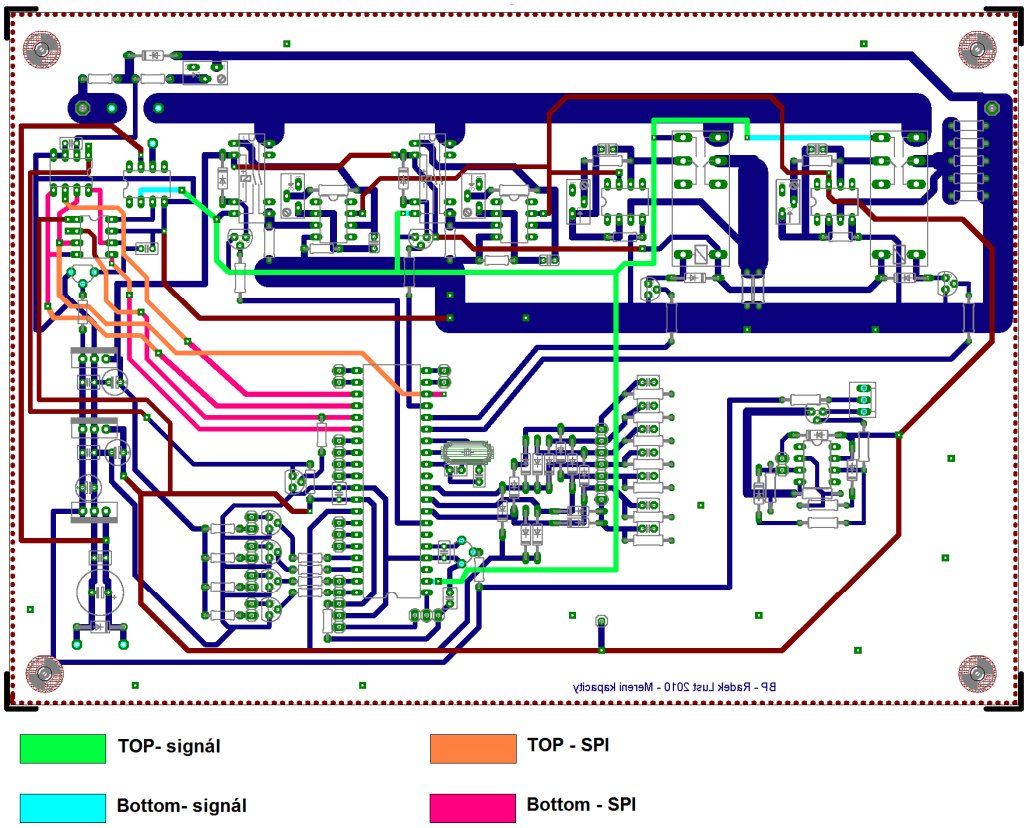
Řídící jednotka je centrem celého zařízení, jejím úkolem je koordinovat činnost jednotlivých dílčích bloků, zpracovávat naměřené hodnoty a adekvátně reagovat na změny okolností či požadavky uživatele.

Pokud má tato jednotka zvládnout všechny výše zmíněné činnosti, je zapotřebí, aby disponovala dostatečným množstvím I/O bran, dostatečnou paměťovou kapacitou a v neposlední řadě také dostatečným výpočetním výkonem. Dalším požadavkem na tuto jednotku je umožnění změny programu bez nutnosti její demontáže ze zařízení. Tato vlastnost by pak měla zajistit možnost aktualizace firmwaru, což dovoluje budoucí rozšíření schopností celého zařízení.

Jakožto výhodným řešením se jeví užití jednočipového počítače, který disponuje celou řadou funkcí (například integrovaná podpora SPI komunikace) a dokáže tak efektivně zjednodušit nároky na programování a řešit veškeré vzniklé problémy. Pro zařízení byl zvolen starší ale pro tuto aplikaci zcela postačující procesor PIC16F877A [18].

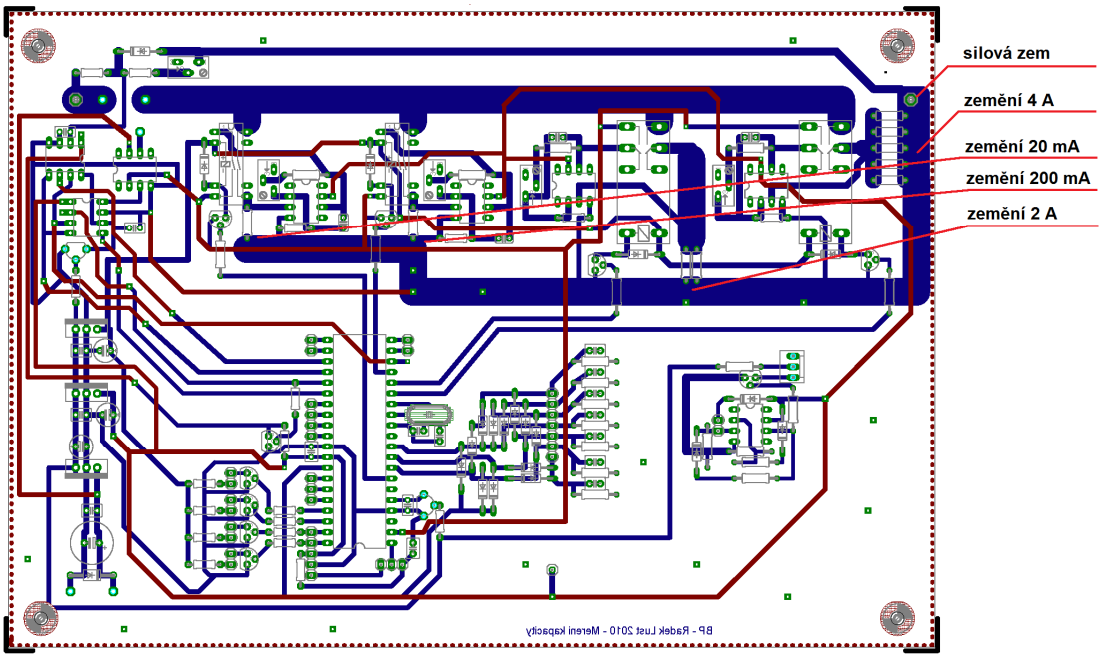
3.5 Návrh desky plošného spoje

Návrh plošného spoje, pro číslicově analogové zařízení je velmi obtížnou záležitostí. Aby bylo zamezeno rušení, byly nízkonapěťové signály, v rámci možností, vedeny co nejdále od číslicových signálů, především pak od linky SPI a komunikační linky mezi procesorem a displejem viz obrázek 3.8.



3.8 oddělení analogových signálů od digitálních

Problém s rušením vzniklým od komunikačních linek však nepředstavuje nejvážnější problém. Nejvážnějším problémem je metoda zemnění celého zařízení. Při kombinaci silové a číslicové části se obvykle doporučuje vytvářet zvlášť zem signálovou a zvlášť zem silovou a tyto země pak spojit v jediném bodě. Bohužel toto řešení se nedá použít v případě, že jsou v obvodu použity A/D převodníky, které provádějí měření na silové části. V případě jednobodového uzdění pak vznikne diference mezi zemí silovou a zemí vůči které je měřeno a výsledkem je stejnosměrný offset naměřených hodnot. Taková to chyba měření je pak velice těžko postižitelná pomocí filtrů ať už číslicových nebo analogových. Jediným vhodným východiskem pro dané obvodové zapojení, bylo užití rozlité mědi a vhodné rozmístění silových součástek tak, aby namáhání země velkými proudy bylo omezeno na co nejmenší oblast, viz obrázek 3.9.

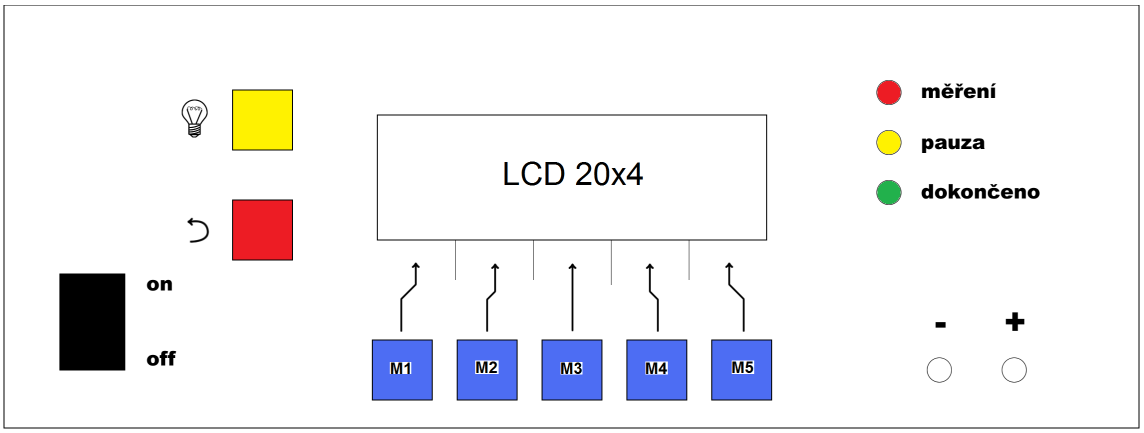


3.9 připojení silových zemí na DPS

Výsledné rozměry desky pak odpovídají 221 x 151 mm. Tyto poněkud větší rozměry jdou dány rozmístěním proudových relé určených k přepínání rozsahů a měřících OZ v jedné řadě podél delší strany DPS. V případě, že by se tato řada rozdělila, došlo by k nutnému prodloužení silových vodičů a zbytečnému nárůstu odporu měřící smyčky. Výhodou je, že větší rozměry umožnili použití širších vodivých cest a zvětšení jejich rozestupů, což má kladný dopad na míru interního rušení.

3.6 Návrh uživatelského rozhraní

Hlavním úkolem uživatelského rozhraní je zajistit jednoduchou obsluhu celého zařízení a poskytnout uživateli informace o průběhu a výsledcích měření. Po úvaze o potřebných vstupech a výstupech zařízení, byla stanovena nutnost užití znakového displeje o minimálním rozlišení 20x4 znaky a požadavek na 5 multifunkčních tlačítek (M1 –M5), jejichž funkce se mění v závislosti na aktuálním zobrazení. Dále jsou implementovány dvě tlačítka s pevnou funkcí a to tlačítko zpět a tlačítko ovládání poosvětlení. Jakožto signalizace provozních stavů slouží 3 diody. Uspořádání těchto prvků je patrné obrázku 3.10. Kompletní mapa uživatelských obrazovek je pak ke zhlédnutí v příloze C.



3.10 Návrh předního panelu

4 Návrh řídicího systému

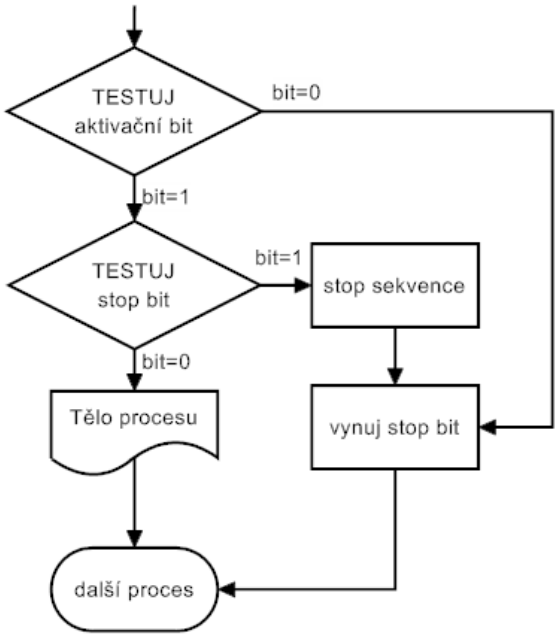
4.1 Základní myšlenka systému

Nejschůdnějším řešením je naprogramovat tento jednočip pomocí vyššího jazyka (například C), což sice výrazně zjednoduší návrh programu, ale ve výsledku tato metoda neposkytuje optimalizovaný kód a není schopna efektivně využít výkon procesoru. Další možností je naprogramovat celý systém v assembleru, náročnost tvorby takovéhoto programu pak mnohonásobně vzroste, ale optimalizace výsledného kódu je pak zcela závislá na schopnostech programátora, což může mít za následek velice výraznou úsporu výpočetního času a umožnit tak další rozšíření schopností zařízení nebo snížení spotřeby procesoru. Po teoretické analýze předpokládaného programu bylo zjištěno, že při komunikaci jednočipu s řadičem znakového LCD, naprogramovaném ve vyšším jazyce dochází k výraznému plýtvání procesorovým časem. Z toho důvodu bylo rozhodnuto k programování zařízení využít assembler. V assembleru byl vytvořen jednoduchý operační systém, který zajišťuje multitasking základních procesů a umožňuje tak lepší využití procesorového času.

4.2 Realizace operačního sytému

4.2.1 Základ procesu

Každý proces s výjimkou řídícího procesu (arbitr), je tvořen základní kostrou, která je u všech procesů stejná a liší se pouze názvy proměnných. Jak je patrné z digramu základní struktury procesu, obrázek 4.1, každý proces má dva vstupní bity. Prvním bitem je bit aktivační, pokud je tento bit v jedničce proces je vykonáván. Aktivační byt může uvést do stavu jedna, pouze arbitr, avšak ho vynulovat ho může i sám proces, pokud je jeho úkol již dokončen. Druhým vstupním bitem je tzv. STOP bit, pokud je tento bit nastaven do jedničky, proces zahájí ukončovací sekvenci, která obsahuje vynulování pracovních proměnných a případně i uložení výstupních dat. Po provedení ukončovací sekvence je aktivační i stop bit vynulován a proces je připraven k další aktivaci.

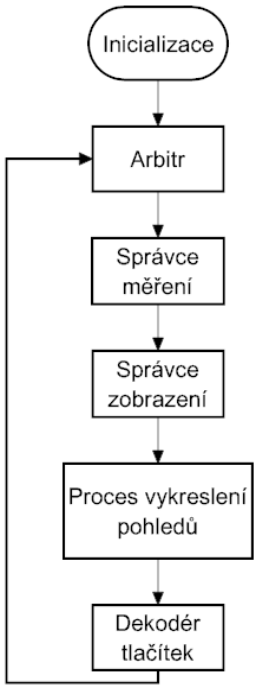


4.1 základní struktura procesu

Tato struktura však sama osobě neumožňuje významné zvýšení efektivity kódu. Naopak její implementací narůstá redundance, avšak díky této struktuře je možné zefektivnit veškeré časy, ve kterých procesor čeká na odezvu od periférií. Místo aby čekání probíhalo ve smyčce, kdy procesor čeká na odezvu, nebo odpočítává časovou mezeru, může procesor vykonávat další procesy, které nezávisejí na dané odezvě /čekání. Pokud se jedná o čekání bez zpětné vazby, je tato problematika řešená aktivací příslušného SW čítače, který je inkrementován v přerušení a to od jednoho ze tří používaných interních čítačů. V samotné části kódu kde je nutné ono čekání, je pak pouze testován stav SW čítače.

4.2.2 Popis jednotlivých procesů

Celý řídicí systém zařízení, je tvořen pěti základními procesy. Jejich uspořádání je patrné z obrázku 4.2.



4.2 Základní diagram systému

Základním procesem a také jediným procesem, který smí spouštět a zastavovat procesy je arbitr. Jedná se v podstatě o logický rozhodovací systém, který nemá výše uvedenou strukturu procesu a jehož rozhodování je postaveno na výstupech ostatních procesů. V této formě implementace zajišťuje pouze, aby nebyly spuštěny dva procesy, které by mohli způsobit kolizi na periférii, nebo procesy které nemají v daném zobrazení žádnou funkci. Pokud by však byl po systému vyžadován plný časový multitasking, stačilo by pouze doplnit arbitr o několik časový čítačů a jednotlivě procesy rozdělit na více fází, přičemž by v každém průběhu byla vykonávána pouze jedna fáze.

Dalším procesem je správce měření, tento proces má v sobě obsaženou řadu podprocesů, které zajišťují měření, výpočty, korekce, a zároveň je vybaven vlastní rozhodovacím systémem, který mu umožňuje rozhodnou kdy které podprocesy spouštět případně zastavit.

Správce zobrazení je taktéž vybaven množstvím podprocesů, každý proces má svoji specifickou funkci. Jako celek pak tyto procesy zajišťují v měřících pohledech automatickou aktualizaci displeje. Dále zajišťují, kompletní obsluho LCD v pohledech uživatelského nastavení,

do čehož spadá posuv kurzoru, obsluha nastavování parametrů a jejich následná konverze do binárních čísel.

Dalším úkolem je proces vykreslování pohledů, vstupem do tohoto procesu je číslo požadovaného pohledu výstupem je pak kompletně přepsaný displej. Pokud je tento proces aktivní nepracuje systém dekodéru tlačítek a zároveň je odstaven proces správce zobrazení. Proces správce zobrazení je zastaven, protože nemůže spravovat překreslovaný displej a proces kodéru tlačítek nemůže pracovat, neboť jeho činnost je závislá na aktuálně zobrazovaném pohledu.

Posledním procesem je dekodér tlačítek, úkolem tohoto procesu je obsluha příznaku stisku tlačítka (tento příznak je nastavován v přerušení). S ohledem na fakt, že zařízení je vybaveno 5 multifunkčními tlačítky, jejichž funkce se mění v závislosti na daném pohledu, je tento proces závislý na hodnotě aktuálně nastaveného pohledu a tudíž by neměl pracovat v době změny pohledu. Kompletní přehled procesů, které mohou souběžně pracovat je uveden v tabulce 4.1, v tabulce 4.2 je pak uveden přehled procesů které jsou spuštěny v jednotlivých pohledech.

4.1 Přehled souběžně běžících procesů

	S. Měření	S. Obrazu	Dek. TL.	S. Pohledů
S. Měření				
S. Obrazu				
Dek. TL.				
S. Pohledů				
	procesy v průsečíku mohou být spuštěny společně			
	procesy v průsečíku nemohou být spuštěny společně			

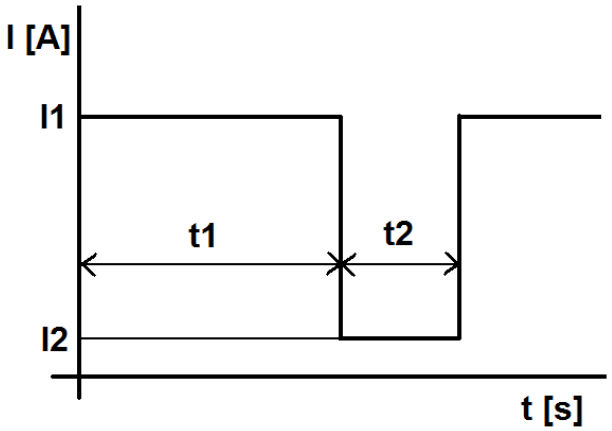
4.2 Aktivní procesy v pohledech

	S. Měření	S. Obrazu	Dek. TL.	S. Pohledů
O PROGRAMU				je spuštěn vždy při změně pohledu
NASTAVENÍ				
NASTAVENÍ IMPUL1				
NASTAVENÍ IMPUL2				
NASTAVENÍ LIN				
MĚŘENÍ KAPACITY				
MĚŘENÍ PROUDU				
MĚŘENÍ NAPĚTÍ				
	proces v daném pohledu je spuštěn			
	proces je spuštěn, pokud se uživatel do tohoto pohledu vrátí tlačítkem zpět			

4.3 Popis rozšířených funkcí

Systém je krom základního měření akumulátoru pomocí konstantního proudu, vybaven také několika dalšími funkcemi, mezi ně patří voltmetr, ampérmetr a především režim impulsního vybíjení. Tento režim poskytuje uživateli možnost definovat dva vybíjecí proudy a časy trvání každého z těchto proudů. Systém pak periodicky mezi těmito proudy přepíná, viz obrázek 4.3.

Díky tomuto režimu je tedy možné napodobit reálnou zátěž, která má proměnlivou spotřebu (příklad: Fotoaparát má v klidovém zapnutém stavu poměrně malý odběr, který se v okamžiku nabíjení blesku výrazně zvýší. V důsledku špičkového odběru pak dojde k poklesu napětí na akumulátoru a fotoaparát se vypne.) Měření pomocí impulsního vybíjení je tedy, při správném nastavení, schopno změřit efektivně využitelnou kapacitu akumulátoru i pro přístroje které akumulátor zatěžují proudovými špičkami. Velká nevýhoda tohoto režimu se projeví v případě, že jsou nastaveny dva proudy v různých rozsazích a zároveň je jsou tyto proudy přepínány s vyšší frekvencí, řádově jednotky sekund. Důsledkem toho je výrazné zkrácení životnosti zařízení, neboť při změně rozsahů jsou přepínána relé, jejichž životnost je omezena řádově na několik desítek tisíc přepnutí.



4.3 princip pulzního vybíjení

5 Závěr

V první části bakalářské práce byly rozvedeny parametry akumulátorů, jejich základní dělení, vlastnosti a princip nejobvyklejších typů. Druhá část se zabývá možnostmi a způsoby určování parametrů akumulátorů. V třetí části pak byl proveden samotný návrh zařízení, které by mělo být schopno měřit kapacitu libovolného akumulátoru se jmenovitým napětím do 12V. Čtvrtá část pak pojednává o řídícím softwaru a způsobu jeho realizace.

V rámci návrhu byly stanoveny základní dílčí bloky zařízení, včetně předpokládaných požadavků. Dále bylo navrženo takové řešení těchto bloků, aby kladené požadavky bylo možno splnit v co nejlepším rozsahu. Z těchto návrhů lze vyvodit předpokládané provozní parametry celého zařízení. Navržené zařízení disponuje všemi 4 proudovými rozsahy, díky tomu by zařízení mělo dokázat udržet maximální vybíjecí proud (4A) při napětí zdroje vyšším než 1V a zároveň udržet přesnost která neklesne pod 5%. Při původně plánovaném nejnižším napětí 0,5V je zařízení schopné dosáhnou pouze 1,25A. Důvodem je především odpor tranzistoru v sepnutém stavu, který brání při nízkém napětí dosáhnout plného proudu.

Výše uvedené předpoklady jsou pouze teoretické, neboť v době dokončení bakalářské práce nebylo zařízení uvedeno do provozuschopného stavu, a tudíž nebylo možné provést základní měření. Důvodem ke zdržení byla volba, užití operačního systému psaného v assembleru. Již v počátku se předpokládalo, že konstrukce řídicího systému takového rozsahu bude velice časově náročná, a však v době kdy se o tomto rozhodovalo, se tato volba jevila jako optimální metoda, na které bude možné názorně demonstrovat vysokou efektivitu takovéhoto systému. Díky časové náročnosti tato volba sice zabránila včasnému dokončení projektu, avšak díky ní vznikl opakovatelně použitelný řídicí systém, který je možné snadno rozšířit o plnohodnotný časový multitasking, přičemž zůstává minimální systémová režie.

6 Literatura

[1] *Wikipedia : Akumulátor* [online]. 2009 [cit. 2009-12-18]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Akumul%C3%A1tor#Elektrochemick.C3.BD_akumul.C3.A1tor>.

[2] *Wikipedia : Nikl-metal hydridový akumulátor* [online]. 2009 [cit. 2009-12-18]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-metal_hydridov%C3%BD_akumul%C3%A1tor>.

[3] *Bateria Slaný CZ s.r.o* [online]. 2005 [cit. 2009-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/niklmetalhydridovy-akumulator-nimh.htm>.

[4] *Wikipedia : Nikl-kadmiový akumulátor* [online]. 2009 [cit. 2009-12-18]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Nikl-kadmiov%C3%BD_akumul%C3%A1tor>.

[5] *Wikipedia : Olověný akumulátor* [online]. 2009 [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Olov%C4%9Bn%C3%BD_akumul%C3%A1tor>.

[6] *Bateria Slaný CZ s.r.o* [online]. 2005 [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.bateria.cz/stranky3/zabava--pouceni/jak-to-funguje-/oloveny-akumulator-pb.htm>.

[7] *Direct Industry* [online]. 2006 [cit. 2009-12-18]. Dostupný z WWW: <http://www.directindustry.com/prod/bae/battery-for-railway-applications-14387-39084.html>.

[8] *Wikipedia : Lithium-iontový akumulátor* [online]. 2009 [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Lithium-iontov%C3%BD_akumul%C3%A1tor>.

[9] *Cettra* [online]. 2004 [cit. 2009-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.cettra.cz/vysilacky-radiostanice/MOTOROLA/Baterie-NiCd,-NiMH-.../Co-s-Li-Ion-clanky/22>.

[10] ARENDÁŠ, Miroslav, RUČKA, Milan. *Nabíječky a nabíjení*. 3. upr. vyd. Praha : Ben, 1999. 112 s.

[11] *Jak se starat o naše akumulátory?* [online]. 2003 [cit. 2009-12-14]. Dostupný z WWW: <http://www.airsoftguns.cz/article.php?&id=74>.

[12] SIMÍČEK, Petr. *Li-Ion* [online]. 2006 [cit. 2009-12-15]. Dostupný z WWW: <http://www.fi.muni.cz/usr/jkucera/pv109/2005/xsimicek.htm>.

[13] *Proto Talk* [online]. 2008 [cit. 2009-12-28]. Dostupný z WWW: < http://prototalk.net/forums/showthread.php?t=22>.

[14] *BC 3337*. Mnichov: SIEMENS, 2004. 7 s

[15] *Katalog GM*. Praha : -, 2009. 520 s.

[16] *IRFZ44*. California: International Rectifier Corp, 1999. 7 s

[17] Česká republika. SBÍRKA ZÁKONŮ. In *Příloha č. 1 k nařízení vlády č. 361/2007 Sb.*. 2007, částka 111, s. 80. Dostupný také z WWW: <http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/2007/sb111-07.pdf>.

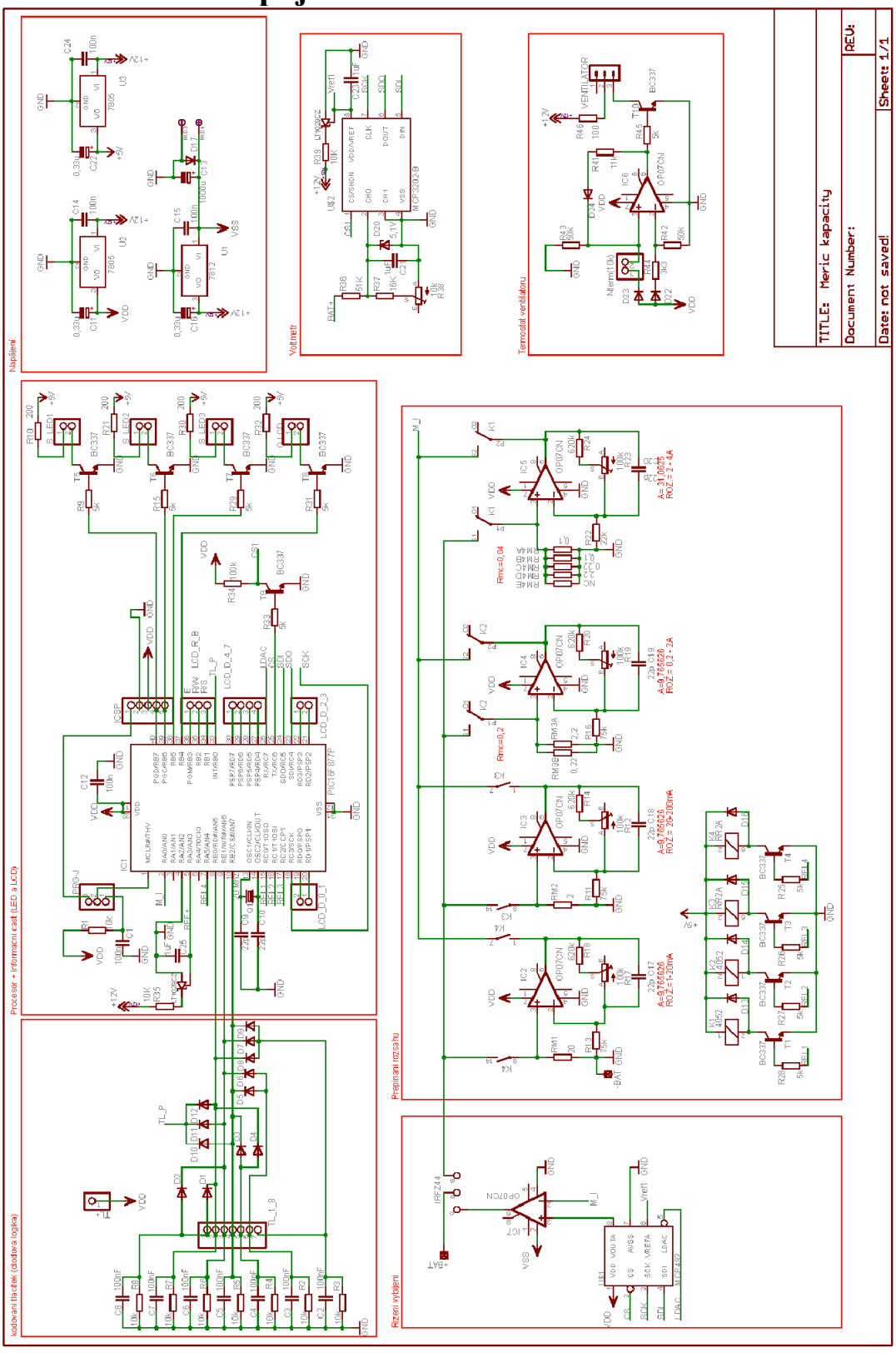
[18] PEROUTKA, Oldřich. *Mikrokontroléry PIC16F87X*. Praha : BEN, 2005. 253 s. ISBN 80-7300-139-X

7 Seznam příloh

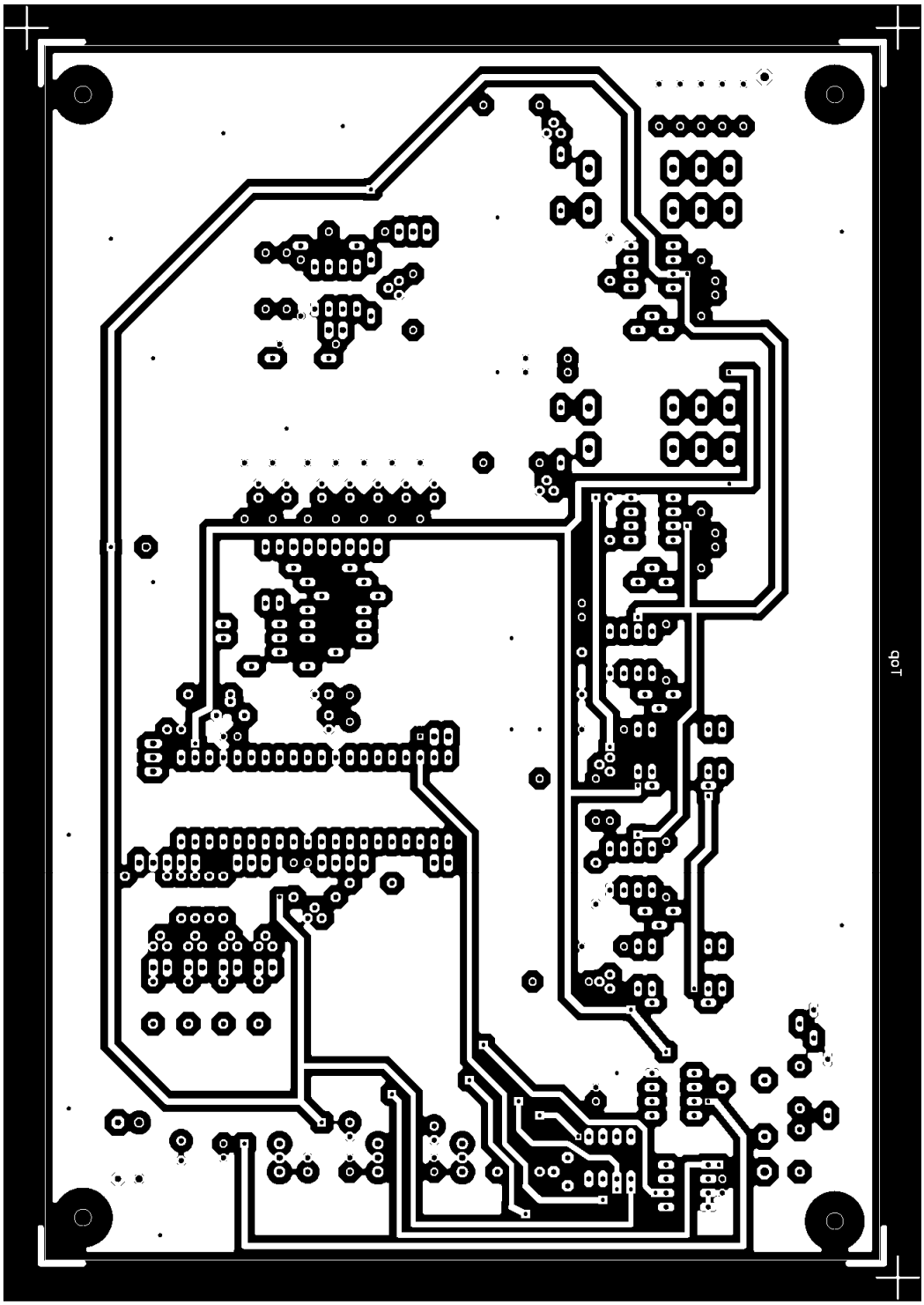
A Návrh zařízení 29
A.1 Schéma zapojení 29
A.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek) 30
A.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů) 31
A.4 Plán osazení 32
B Seznam součástek 33
C Mapa uživatelského rozhraní 36

A NÁVRH ZAŘÍZENÍ

A.1 Schéma zapojení

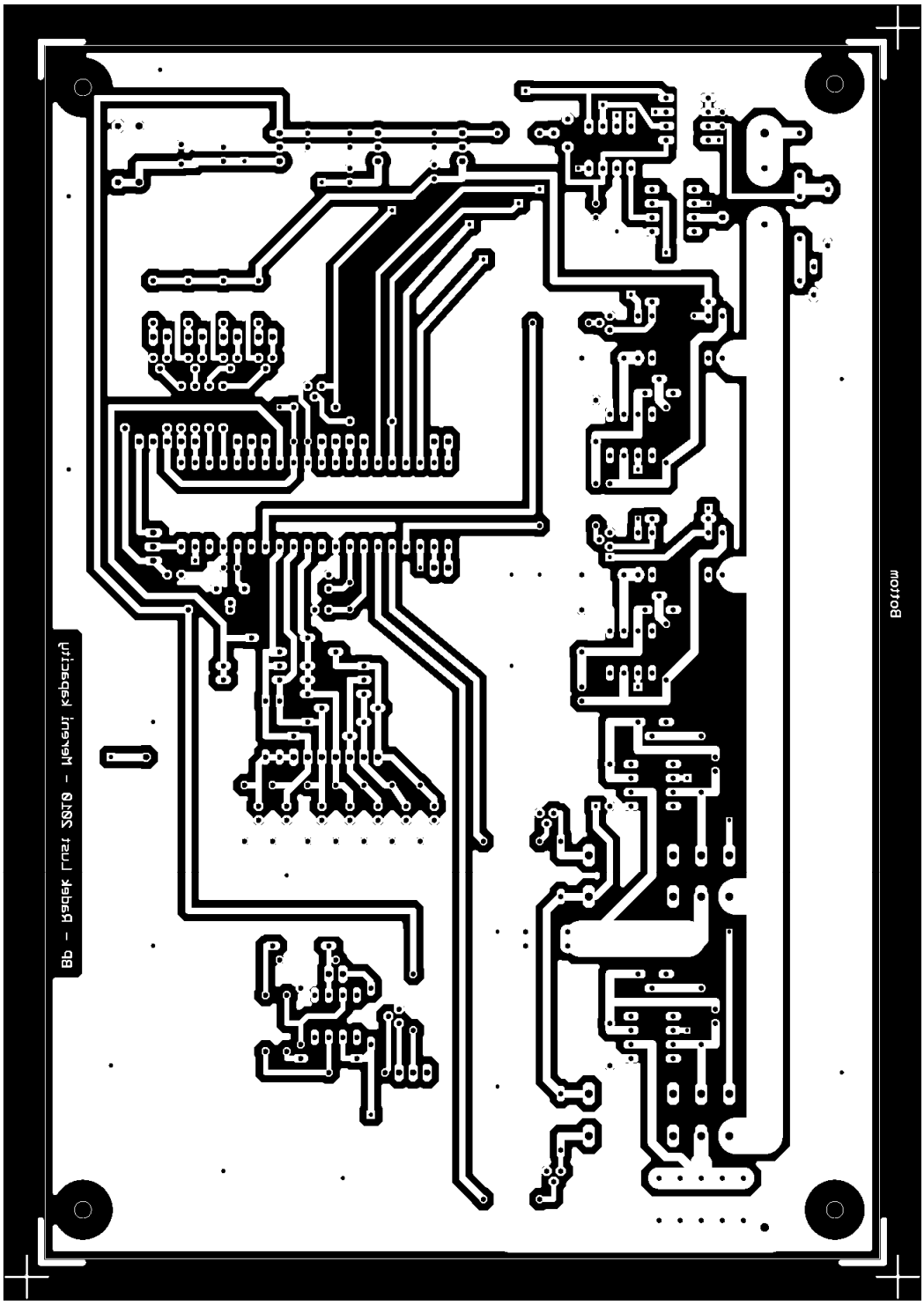


A.2 Deska plošného spoje – top (strana součástek)



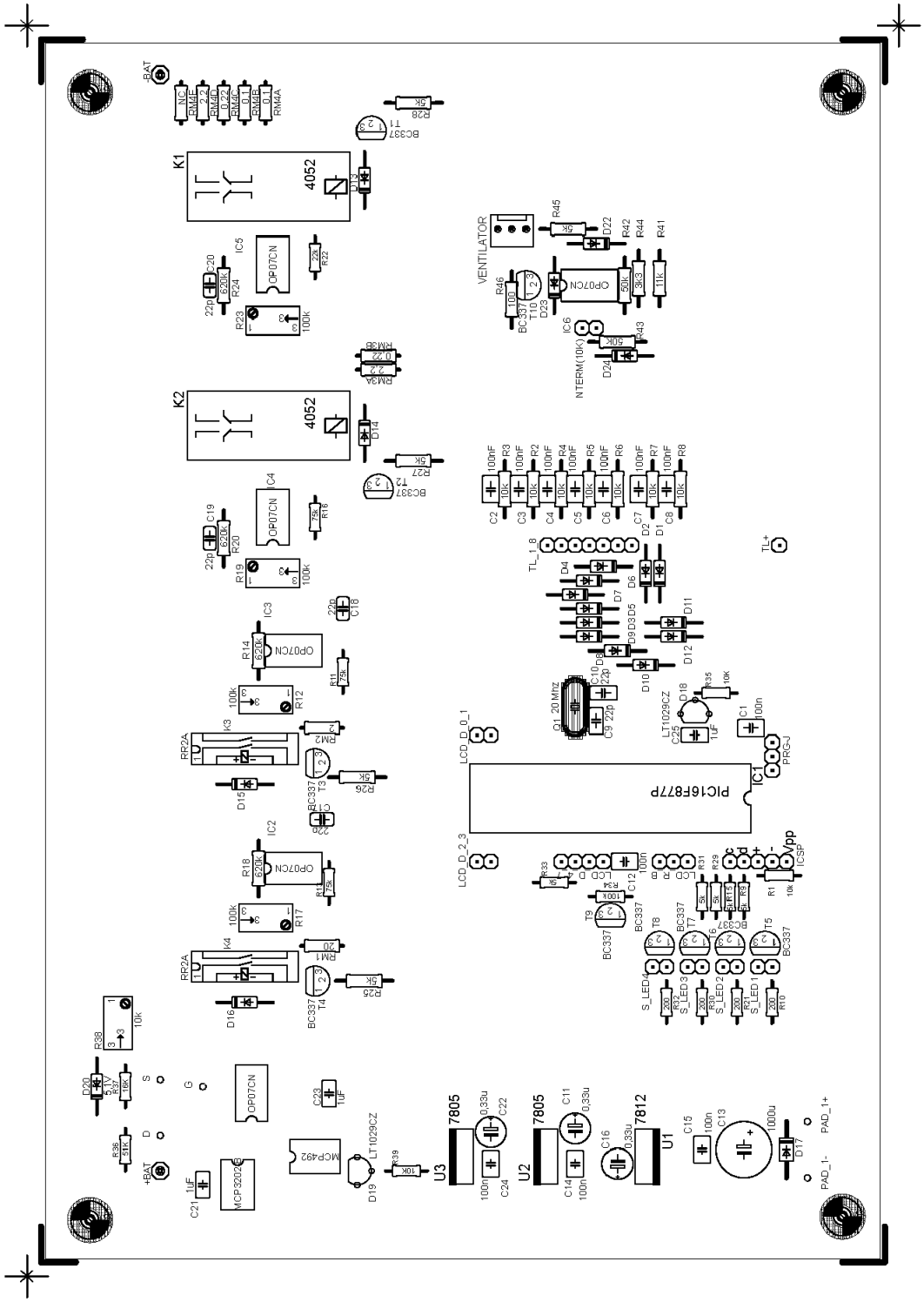
Rozměr desky 221 x 151 [mm]

A.3 Deska plošného spoje – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 221 x 151 [mm]

A.4 Plán osazení



B SEZNAM SOUČÁSTEK

označení	hodnota	pouzdro	popis
C1	100n	C2,5-3	keramický kondenzátor
C2	100n	C2,5-3	keramický kondenzátor
C3	100n	C2,5-3	keramický kondenzátor
C4	100n	C2,5-3	keramický kondenzátor
C5	100n	C2,5-3	keramický kondenzátor
C6	100n	C2,5-3	keramický kondenzátor
C7	100n	C2,5-3	keramický kondenzátor
C8	100n	C2,5-3	keramický kondenzátor
C9	22p	C2.5/2	keramický kondenzátor
C10	22p	C2.5/2	keramický kondenzátor
C11	0,33u	CPOL-EUE2,5-6E	elektrolytický kondenzátor
C12	100n	C-EU025-030X050	keramický kondenzátor
C13	1000u	CPOL-EUE3.5-10	elektrolytický kondenzátor
C14	100n	C-EU025-030X050	keramický kondenzátor
C15	100n	C-EU025-030X050	keramický kondenzátor
C16	0,33u	CPOL-EUE2,5-6E	elektrolytický kondenzátor
C17	22p	C-EU025-024X044	keramický kondenzátor
C18	22p	C-EU025-024X044	keramický kondenzátor
C19	22p	C-EU025-024X044	keramický kondenzátor
C20	22p	C-EU025-024X044	keramický kondenzátor
C21	1u	C-EU025-025X050	tantalový kondenzátor
C22	0,33u	CPOL-EUE2,5-6E	elektrolytický kondenzátor
C23	1u	C-EU025-025X050	elektrolytický kondenzátor
C24	100n	C-EU025-030X050	keramický kondenzátor
C25	1u	C-EU025-025X050	tantalový kondenzátor
D1	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D2	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D3	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D4	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D5	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D6	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D7	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D8	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D9	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D10	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D11	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D12	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D13	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D14	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D15	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D16	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D17	1N4004	DO41-10	usměrňovací dioda
D18	LT1029CZ	TO-92	napěťová reference
D19	LT1029CZ	TO-92	napěťová reference
D20	5,1V	DO35Z10	zenerova dioda

označení	hodnota	pouzdro	popis
D22	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D23	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
D24	1N4148	DO35-10	Univerzální dioda
IC1	PIC16F877P	DIL40	mikrokontrolér
IC2	OP07CN	DIL08	operační zesilovač
IC3	OP07CN	DIL08	operační zesilovač
IC4	OP07CN	DIL08	operační zesilovač
IC5	OP07CN	DIL08	operační zesilovač
IC6	OP07CN	DIL08	operační zesilovač
IC7	OP07CN	DIL08	operační zesilovač
K1	4052	F4052	relé
K2	4052	F4052	relé
K3	RR2A	RR2A	relé
K4	RR2A	RR2A	relé
Q1	20 Mhz		krystal
R1	10k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R2	10k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R3	10k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R4	10k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R5	10k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R6	10k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R7	10k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R8	10k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R9	5k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R10	200	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R11	75k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R12	100k	TRIM_EU-S64Y	více otáčkový trimr
R13	75k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R14	620k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R15	5k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R16	75k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R17	100k	TRIM_EU-S64Y	více otáčkový trimr
R18	620k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R19	100k	TRIM_EU-S64Y	více otáčkový trimr
R20	620k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R21	200	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R22	22k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R23	100k	TRIM_EU-S64Y	více otáčkový trimr
R24	620k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R25	5k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R26	5k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R27	5k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R28	5k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R29	5k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R30	200	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor

označení	hodnota	pouzdro	popis
R31	5k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R32	200	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R33	5k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R34	100k	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R35	10K	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R36	51K	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R37	16K	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R38	10k	TRIM_EU-S64Y	více otáčkový trimr
R39	10K	R-EU_0204/7	Metalizovaný rezistor
R41	11k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R42	50k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R43	50k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R44	3k3	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R45	5k	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
R46	100	R-EU_0207/10	Metalizovaný rezistor
RM1	20	R-EU_0207/7	Metalizovaný rezistor
RM2	2	R-EU_0207/7	Metalizovaný rezistor
RM3A	2,2	R-EU_0207/7	Metalizovaný rezistor
RM3B	0,22	R-EU_0207/7	Metalizovaný rezistor
RM4A	0,1	R-EU_0207/7	Metalizovaný rezistor
RM4B	0,1	R-EU_0207/7	Metalizovaný rezistor
RM4C	0,22	R-EU_0207/7	Metalizovaný rezistor
RM4D	2,2	R-EU_0207/7	Metalizovaný rezistor
T1	BC337	TO92	tranzistor
T2	BC337	TO92	tranzistor
T3	BC337	TO92	tranzistor
T4	BC337	TO92	tranzistor
T5	BC337	TO92	tranzistor
T6	BC337	TO92	tranzistor
T7	BC337	TO92	tranzistor
T8	BC337	TO92	tranzistor
T9	BC337	TO92	tranzistor
T10	BC337	TO92	tranzistor
U$1	MCP492	DIL-08	D/A převodník
U$2	MCP3202-B	DIL-08	A/D převodník
U1	7812	TO-220	stabilizátor
U2	7805	TO-220	stabilizátor
U3	7805	TO-220	stabilizátor

C MAPA UŽIVATELSKÉHO ROZHRANÍ

