

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Elektronická zátěž pro testování napájecích zdrojů

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jan ZICH**
Osobní číslo: **E11B0269P**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a telekomunikace**
Název tématu: **Elektronická zátěž pro testování napájecích zdrojů**
Zadávající katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Navrhnout obvodové řešení a realizovat funkční vzorek stejnosměrné programovatelné elektronické zátěže pro testování napájecích zdrojů.

1. Prostudovat možné konstrukce, principy a zapojení výkonových obvodů pro elektronické DC zátěže včetně jejich vlastností a uveďte sledované parametry napájecích zdrojů.
2. Navrhnout obvodové řešení zdroje a realizovat funkční vzorek zařízení. Uživatelské rozhraní realizovat pomocí jednočipového mikropočítače přes klávesnici a displej s možností připojení k PC a záznamem dat.
3. Na realizovaném vzorku provést měření a zhodnocení dosažených výsledků.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah pracovní zprávy: **20 - 30 stran**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. **Faktor, Z.: Transformátory a cívky; BEN-technická literatura, Praha 2002**
2. **Krejčířík A.: Napájecí zdroje I., II. a III.; BEN-technická literatura, Praha 1997**
3. **Aktuální informace vyhledat v dostupných pramenech dle doporučení vedoucího práce.**

Vedoucí bakalářské práce:

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.

Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání bakalářské práce: **14. října 2013**

Termín odevzdání bakalářské práce: **9. června 2014**

Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013.

Abstrakt

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku elektronických zátěží pro testování napájecích zdrojů. Po přehledu dostupných výrobků na trhu a ozřejmění základních principů následuje vlastní obvodové a konstrukční řešení zátěže. Podstatou práce je vytvořit funkční vzorek zařízení schopný testovat některé ze základních parametrů napájecích zdrojů s ohledem na komfortní uživatelské rozhraní, realizované displejem a klávesnicí, a s požadavkem na možnost sběru dat pomocí počítače. Samotné obvodové řešení je sestaveno na základě analýzy a následné úpravy návrhů z dostupných literárních pramenů. Výsledkem snažení je funkční elektronická zátěž, která je schopna testovat základní parametry stejnosměrných napájecích zdrojů a předávat data do PC. Parametry dosahované realizovaným zařízením jsou zhodnoceny na základě provedeného měření.

Klíčová slova

Elektronická zátěž, režim konstantního proudu, jednočipový mikro počítač, LCD displej, maticová klávesnice, testování napájecích zdrojů, komunikační rozhraní.

Abstract

This thesis is focused on the issue of electronic loads for power supply testing. After overview of the available products on the market and explaining the basic principles, follows the circuit and constructional solution. The essence of the work is to create a working sample of the device which is able to test some of the basic parameters of power supplies with regard to comfortable user interface, which is implemented by using the display and keyboard, and with the requirement for computerized data collection. The actual circuit solution is based on the analysis and design modifications of the available literary sources. The result is a functional electronic load which is able to test the basic parameters of DC power supplies and transmit data to a computer. The parameters achieved by the realized device are evaluated on the bases of measurements.

Key words

Electronic load, constant current mode, microcontroller unit, LCD display, matrix keyboard, power supply testing, communication interface.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této bakalářské práce, je legální.

V Plzni dne 6.6.2014

.....

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Jiřímu Hammerbauerovi, Ph.D. za praktické připomínky, cenné rady a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
ÚVOD	12
1 PŘEHLED ZAŘÍZENÍ NA TRHU	14
1.1 DRUHY ELEKTRONICKÝCH ZÁTĚŽÍ	14
1.2 PRACOVNÍ REŽIMY	14
1.3 BEZPEČNOSTNÍ FUNKCE	15
1.4 UŽIVATELSKÉ ROZHRANÍ A PŘENOS DAT	15
1.5 PŘÍKLAD PARAMETRŮ PROFESIONÁLNÍ DC ZÁTĚŽE	16
2 PRINCIPY ELEKTRONICKÝCH ZÁTĚŽÍ	17
2.1 TOPOLOGIE VÝKONOVÝCH OBVODŮ ELEKTRONICKÝCH ZÁTĚŽÍ	17
2.1.1 Režim konstantního proudu	17
2.1.2 Režim konstantního napětí	18
2.1.3 Režim konstantního odporu	19
2.2 ZPŮSOBY ŘÍZENÍ	19
2.2.1 Analogově řízená elektronická zátěž	19
2.2.2 Číslicově řízená elektronická zátěž	21
2.3 SLEDOVANÉ PARAMETRY NAPÁJECÍCH ZDROJŮ	22
2.4 OBLASTI POUŽITÍ	23
3 OBVODOVÉ ŘEŠENÍ ELEKTRONICKÉ ZÁTĚŽE	24
3.1 POŽADOVANÉ PARAMETRY, PRACOVNÍ REŽIMY A FUNKCE	24
3.2 BLOKOVÉ SCHÉMA	24
3.3 POPIS JEDNOTLIVÝCH ČÁSTÍ ZAPOJENÍ	25
3.3.1 Jednočipový mikropočítač	25
3.3.2 Napájecí zdroj, řízení ventilátorů	27
3.3.3 Hlavní regulační větev	28
3.3.4 D/A převodník a multiplexor	29
3.3.5 Měřicí obvody	29
3.3.6 Zobrazovací jednotka	31
3.3.7 Ovládání zařízení	31
3.3.8 Komunikace s PC	32
4 REALIZACE OBVODOVÉHO ŘEŠENÍ A KONSTRUKCE ZAŘÍZENÍ	33
4.1 DESKY PLOŠNÝCH SPOJŮ	33
4.1.1 DPS napájecího zdroje	33
4.1.2 DPS výkonové a řídicí části	34
4.2 KONSTRUKCE	35
4.3 FIRMWARE, VÝVOJOVÝ DIAGRAM, POPIS OVLÁDÁNÍ	37
4.3.1 Vývojový diagram	37
4.3.2 Popis ovládání zátěže	38
5 MĚŘENÍ	40
5.1 SCHÉMA ZAPOJENÍ, CÍLE MĚŘENÍ	40
5.2 VÝSLEDKY MĚŘENÍ	41
5.3 SBĚR A ZPRACOVÁNÍ DAT	42
ZÁVĚR	44

POUŽITÁ LITERATURA	45
PŘÍLOHY	1
PŘÍLOHA A - CELKOVÉ SCHÉMA	1
PŘÍLOHA B - DPS VÝKONOVÉ A ŘÍDÍCÍ ČÁST (PŘEDLOHA A OSAZOVACÍ VÝKRES)	2
PŘÍLOHA C - DPS NAPÁJECÍHO ZDROJE (PŘEDLOHA A OSAZOVACÍ VÝKRES)	3
PŘÍLOHA D - SEZNAM SOUČÁSTEK	4
PŘÍLOHA E - VÝKRES PŘEDNÍHO PANELU POUZDRA.....	6
PŘÍLOHA F - VÝKRES ZADNÍHO PANELU POUZDRA	7
PŘÍLOHA G - VÝKRES VRCHNÍ ČÁSTI KRYTU	8
PŘÍLOHA H - VÝKRES SPODNÍ ČÁSTI KRYTU	9
PŘÍLOHA I - VÝKRES OSAZENÍ CHLADIČE	10
PŘÍLOHA J - PŘEDLOHA PRO POPIS PANELŮ A VENTILÁTORŮ	11
PŘÍLOHA K - VÝSLEDNÁ PODOBA KONSTRUKCE – VNĚJŠÍ POHLED	12
PŘÍLOHA L - VÝSLEDNÁ PODOBA KONSTRUKCE – VNITŘNÍ USPOŘÁDÁNÍ	13
PŘÍLOHA M - CD - FIRMWARE.....	14

Seznam symbolů a zkratk

Symboly

A_{10A} [V/A]	Převodní koeficient, měření proudu s rozsahem 1A
A_{1A} [V/A]	Převodní koeficient, měření proudu s rozsahem 10A
C_{GS} [F]	Gate-Source kapacita tranzistoru MOSFET
I [A]	Elektrický proud
I_D [A]	Proud přes Drain tranzistoru MOSFET
I_{max} [A]	Maximální hodnota proudu
$I_{naměřený}$ [A]	Naměřená hodnota proudu el. zátěží
$I_{požadovaný}$ [A]	Požadovaná hodnota proudu el. zátěží
K_U [-]	Napěťový přenos
P [W]	Elektrický výkon
P_D [W]	Výkon na tranzistoru MOSFET
P_{max} [W]	Maximální hodnota výkonu
R [Ω]	Elektrický odpor
$R_{DS(on)}$ [Ω]	Odpor plně sepnutého tranzistoru MOSFET
R_{IN} [Ω]	Vstupní odpor elektronické zátěže
R_{rozsah} [Ω]	Rozsah nastavení odporu zátěže
U [V]	Elektrické napětí
U_{DS} [V]	Napětí mezi Drain a Source tranzistoru MOSFET
U_{IN} [V]	Napětí na svorkách elektronické zátěže
U_{max} [V]	Maximální hodnota napětí
$U_{min,10A}$ [V]	Minimální hodnota napětí pro zatížení 10 A
ϑ_{max} [$^{\circ}C$]	Maximální hodnota teploty

Zkratky

A/D	Analog/Digital
AC	Alternating Current
CAN	Controller Area Network
CC	Constant Current
CMRR	Common-Mode Reject Ratio
CP	Constant Power
CR	Constant Resistance
CV	Constant Voltage
D/A	Digital/Analog
DB	Data bit
DC	Direct Current

DIP	Dual In-line Package
DPS	Deska plošných spojů
E	Enable
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory
FeCl ₃	Chlorid železitý
FLASH	Nevolatilní elektronicky programovatelná paměť
GPIO	General Purpose Interface Bus
LAN	Local Area Network
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light-Emitting Diode
MCU	Microcontroller
MOSFET	Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor
NaOH	Hydroxid sodný
NTC	Negative Thermal Coefficient
OZ	Operační zesilovač
PC	Personal Computer
PCB	Printed Circuit Board
PE	Protective Earth
PWM	Pulse-Width Modulation
RISC	Reduced Instruction Set Computing
RS	Register Select
RS-232	Standard komunikačního rozhraní, sériová linka
RTC	Real Time Counter
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
SSOP28	Typ pouzdra pro povrchovou montáž
THT	Through-Hole Technology
TO-247	Typ pouzdra pro THT montáž
USART	Universal Synchron. /Asynchron. Receiver and Transmitter
USB	Universal Serial Bus
UV	Ultraviolet
ZD	Zener Diode

Úvod

Elektronická zátěž je zařízení nejčastěji využívané při testování a vývoji napájecích zdrojů či akumulátorů. Její základní vlastností je možnost měnit svůj vnitřní odpor podle zvolených kritérií a nastaveného pracovního režimu a tím tedy otestovat parametry měřeného zdroje.

Tato práce se primárně zabývá návrhem a konstrukcí číslicově řízené elektronické zátěže pro testování stejnosměrných napájecích zdrojů. Cílem bylo vytvoření funkčního zařízení, které je ovladatelné pomocí uživatelsky přívětivého prostředí (LCD displej a klávesnice) a je možno ho připojit k počítači a provádět elementární sběr dat o provozu a probíhajícím měření. Nedílnou součástí práce je i rozbor možných topologií výkonových stupňů elektronických zátěží, výčet a popis sledovaných parametrů napájecích zdrojů a stručný přehled zátěží dostupných na trhu.

Důvodem vzniku zadání byla autorova častá potřeba testování napájecích zdrojů (především AC/DC adaptérů) v režimu konstantního proudu a rovněž požadavek na získání zkušeností s aplikací jednočipových mikropočítačů.

Samotný návrh a realizaci elektronické zátěže je možno rozdělit na dvě části: obvodové řešení a konstrukční řešení. Obvodové řešení je sestaveno na základě částečné analýzy a úpravy ozkoušených zapojení v dostupných literárních pramenech (hlavní regulační větev, měřicí obvody), katalogových zapojení a zapojení užívaných v běžné amatérské praxi a nakonec i na základě syntézy (napájecí zdroj, ovládání ventilátorů, atd.) [1, 2]. Možnosti konstrukčního řešení byly vymezeny především dostupností součástek a konstrukčních prvků na trhu (s výrazným přihlédnutím k finální ceně výrobku). Bylo nutno stanovit požadavky na minimální rozměry pouzdra pro umístění elektroniky a rovněž definovat nároky na chlazení zařízení.

V literárních pramenech jsou snadno k nalezení různá (a mnohdy poměrně sofistikovaná) zapojení analogově řízených elektronických zátěží [3-6]. Ty sice neumožňují sběr dat ani pokročilé ovládání, ovšem byly přínosem z hlediska popisu konstrukčního řešení elektronické zátěže (chlazení, výběr pouzdra, volba měřících OZ a výkonových tranzistorů, atd.).

V oblasti číslicově řízených elektronických zátěží je důležitý především literární zdroj [7], z něhož bylo částečně čerpáno při návrhu obvodového řešení zařízení. Uvedená literatura se rovněž zabývá návrhem a konstrukcí elektronické zátěže (hlavní parametry: $U_{\max} = 0,8 - 32 \text{ V}$, $I_{\max} = 0 - 10 \text{ A}$, $P_{\max} = 250 \text{ W}$, možný provoz v režimech konstantního odporu, proudu či externí modulace), ovšem výsledné řešení má relativně malou výkonovou robustnost a nepříliš pohodlné ovládání (dvouřádkový displej). Rovněž obsahuje některé nadbytečné části obvodu, které nejsou v běžné praxi zapotřebí. Koncepčně pak z tohoto zapojení vychází další dvě řešení číslicových elektronických zátěží [8, 9], které mají podstatně robustnější výkonové provedení a příjemnější uživatelský interface.

1 Přehled zařízení na trhu

1.1 Druhy elektronických zátěží

Základním rozdělením elektronických zátěží je členění na stejnosměrné a střídavé. Střídavé zátěže mají na trhu podstatně menší zastoupení, jelikož nemají tak široké spektrum použití jako zátěže stejnosměrné. Jsou značně náročné na konstrukci, neboť je nutno vyřešit alternaci vstupního napětí i proudu a rovněž mají poměrně úzký rozsah parametrů měřeného signálu (kvůli zkreslení vlivem usměrňovačů je možné zakoupit zátěže pracující od desítek voltů a navíc mají střídavé zátěže omezení frekvenčního spektra obvykle na několik desítek Hz). Drtivou většinu zařízení na trhu tvoří stejnosměrné zátěže, které jsou konstruovány se širokou škálou parametrů (max. výkon, napětí, proud, rozsah nastavení vnitřního odporu, atd.) a provozních režimů.

1.2 Pracovní režimy

Základní provozní režimy:

- Režim konstantního proudu
- Režim konstantního napětí
- Režim konstantního odporu
- Režim konstantního výkonu

V těchto režimech je zařízení schopno testovat napájecí zdroj na konkrétní hodnotu daného parametru - I [A], U [V], R [Ω], P [W] (samozřejmě s respektováním limitních parametrů zátěže, tzn. I_{\max} , U_{\max} , R_{rozsah} , P_{\max} , ϑ_{\max}).

Další provozní režimy:

- Měření kapacity akumulátoru
- Vybíjení akumulátoru
- Měření zatěžovací charakteristiky zdroje
- Kooperativní režim (paralelní spojení několika zátěží)
- Dynamický režim
- Testování s externí modulací (obdélníkový, trojúhelníkový či jiný signál)

1.3 Bezpečnostní funkce

Z důvodu ochrany elektronické zátěže (a případně řídicího zařízení - PC) bývají implementovány následující ochrany:

- Nadproudová ochrana
- Přepět'ová ochrana
- Tepelná ochrana
- Galvanické oddělení datových sběrnic
- Omezení výkonu

Přítomnost těchto ochran je svázána s cenou zařízení, přičemž základní ochranou, která se vyskytuje vždy, je ochrana nadproudová.

1.4 Uživatelské rozhraní a přenos dat



Obr. 1 DC elektronická zátěž Elektro-Automatik EA-EL 3160-60 [10]

Značná část profesionálních zátěží využívá jako zobrazovací jednotku dvouřádkový monochromatický LCD displej (reflexní či transflexní), méně často pak segmentový LED displej. Ovládání zařízení je obvykle realizováno otočnými vícepolohovými přepínači, potenciometry (víceotáčkovými), rotačními enkodéry, tlačítky a v některých případech i klávesnicí.

Elektronické zátěže využívají ke komunikaci, sběru dat a řízení následující sběrnice:

- USB
- RS-232
- CAN
- GPIB

1.5 Příklad parametrů profesionální DC zátěže



Obr. 2 Profesionální elektronická zátěž EA-EL 9400-150 [10]

Uvedená elektronická zátěž je schopna pracovat v režimu konstantního proudu, napětí, odporu či výkonu. Dále je v zařízení implementována velice praktická funkce pro testování zdrojů - automatická alternace mezi dvěma nastaveními testovaného parametru (například tedy lze v režimu konstantního proudu periodicky přepínat mezi zatěžováním připojeného napěťového zdroje proudem 5 A či 10 A a tím tedy testovat dynamickou odezvu napájecího zdroje). Zátěž rovněž umí provádět kontrolované vybití baterií, změřit kapacitu akumulátoru a samozřejmě odpojit akumulátor při dosažení definované napěťové úrovně. Pomocí doplňkových zásuvných karet lze zařízení opatřit komunikačními rozhraními USB, RS-232, CAN nebo GPIB. Aktuální cena zařízení činí přibližně 150 000 Kč (ke dni 1.6.2014).

Trvalý výkon	4500 W
Vstupní napětí	0 - 400 V
Rozlišovací schopnost	100 mV
Přesnost	<= 0,1 %
Min. napětí při max. proudu	přibližně 0,5 V
Vstupní proud	0 - 150 A
Rozlišovací schopnost	100 mA
Přesnost	<= 0,2 %
Vstupní výkon	0 - 7200W
Rozlišovací schopnost	1W
Přesnost	<= 2 %
Odpor	
Rozsah ladění 1	0 - 5 Ω
Rozlišovací schopnost	10 m Ω
Rozsah ladění 2	0 - 100 Ω
Rozlišovací schopnost	100 m Ω
Přesnost	<= 2 %
Dynamický režim	Dvoúrovňový
Úroveň střídání A/B	50 μ s - 100 s
Náběžná a doběžná hrana	30 μ s - 200 ms
Rozměry	19" 6HE/U 460 mm
Váha	36 kg

Tab. 1 Parametry el. zátěže EA-EL 9400-150 [10]

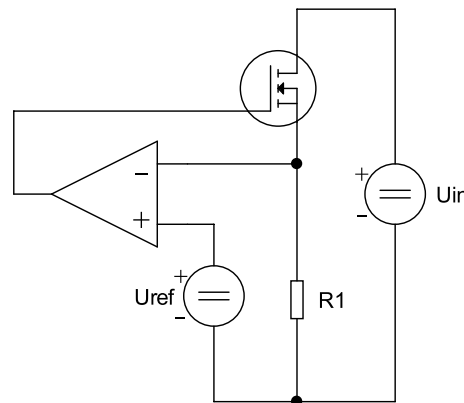
2 Principy elektronických zátěží

Elektronická zátěž principiálně funguje na základě změny svého vnitřního odporu vůči výstupním svorkám, ke kterým je připojen testovaný zdroj. Elektrická energie předaná z testovaného zařízení do zátěže se na výkonovém stupni (obvykle tvořeném tranzistorem) přemění na energii tepelnou. Z hlediska alternace průběhu napětí či proudu připojeného zdroje lze elektronické zátěže rozdělit na stejnosměrné a střídavé. Dalším kritériem pro komparaci zátěží je způsob řízení - číslicový nebo analogový. Tato zařízení rovněž mívají různé pracovní režimy, např.: režim konstantního proudu, napětí, odporu či výkonu; dynamický režim, testování nadproudových a přepětových ochran, atd.

2.1 Topologie výkonových obvodů elektronických zátěží

Základní topologie výkonových obvodů je definována požadovaným provozním režimem zátěže, jedná se tedy o režim konstantního proudu (CC - Constant Current), konstantního napětí (CV - Constant Voltage) a konstantního odporu (CR - Constant Resistance). Princip zapojení obvodů v těchto třech zmíněných topologiích je zobrazen a vysvětlen v literatuře [11].

2.1.1 Režim konstantního proudu



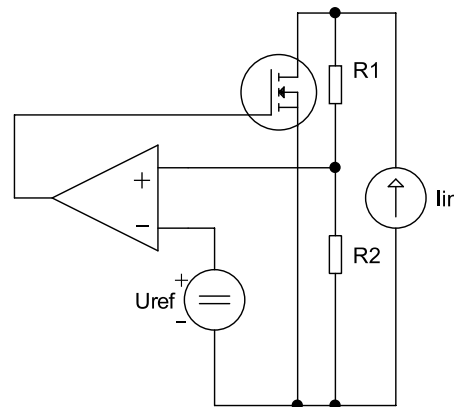
Obr. 3 Zapojení v režimu konstantního proudu (CC - Constant Current)

V režimu konstantního proudu je k zátěži připojen externí napěťový zdroj U_{IN} . Zesilovač odchylky porovnává proud zátěží, snímaný rezistorem R_1 , s referenčním napěťovým zdrojem U_{REF} . V závislosti na rozdílu mezi uvedenými napětími upraví OZ stav regulačního tranzistoru (pootevře či přivře), čímž reguluje hodnotu protékajícího proudu. Režim konstantního proudu je u DC elektronických zátěží realizován nejčastěji z důvodu potřeby otestovat, zda je daný napěťový zdroj schopen dlouhodobě dodávat požadovaný proud, popřípadě zjistit, jak poklesne hodnota svorkového napětí testovaného zdroje

při definovaném zatěžovacím proudu. CC zapojení je poměrně konstrukčně jednoduché a výsledky regulace přesné (desetiny %). Velikost proudu protékajícího zátěží je v ustáleném stavu dána následujícím vztahem:

$$I_{IN} = \frac{U_{REF}}{R_1} \quad (1)$$

2.1.2 Režim konstantního napětí

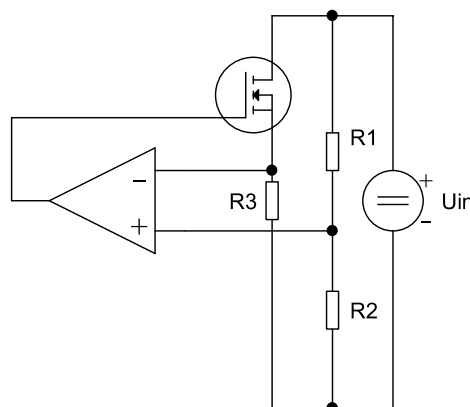


Obr. 4 Zapojení v režimu konstantního napětí (CV - Constant Voltage)

Princip funkce zapojení v režimu konstantního napětí je analogický k režimu CC. Vnější proudový zdroj I_{IN} je připojen k regulačnímu tranzistoru. Odporový dělič, tvořený rezistory R_1 , R_2 , snímá hodnotu svorkového napětí. Operační zesilovač, v závislosti na relaci mezi touto hodnotou a napětím z referenčního zdroje U_{REF} , upraví nastavení tranzistoru, čímž reguluje hodnotu napětí na zátěži. CV režim nebývá implementován v DC zátěžích tak často, jako proudový režim, jelikož drtivá většina testovaných zdrojů je napěťového charakteru. CV zapojení je rovněž poměrně konstrukčně jednoduché a výsledky regulace přesné (desetiny %). Velikost napětí na zátěži je v ustáleném stavu dána následujícím vztahem:

$$U_{IN} = \frac{U_{REF}}{R_2} (R_1 + R_2) \quad (2)$$

2.1.3 Režim konstantního odporu



Obr. 5 Zapojení v režimu konstantního odporu (CR - Constant Resistance)

Poměrná část napětí z připojeného externího zdroje U_{IN} je přes odporový dělič R_1 , R_2 přivedena na kladnou svorku OZ. Proud tekoucí regulačním tranzistorem je snímán rezistorem R_3 . Po vybuzení tranzistoru operačním zesilovačem do stavu, kdy napětí na kladné i záporné vstupní svorce OZ nabývá stejných hodnot, dosahuje odpor elektronické zátěže velikosti dané vztahem:

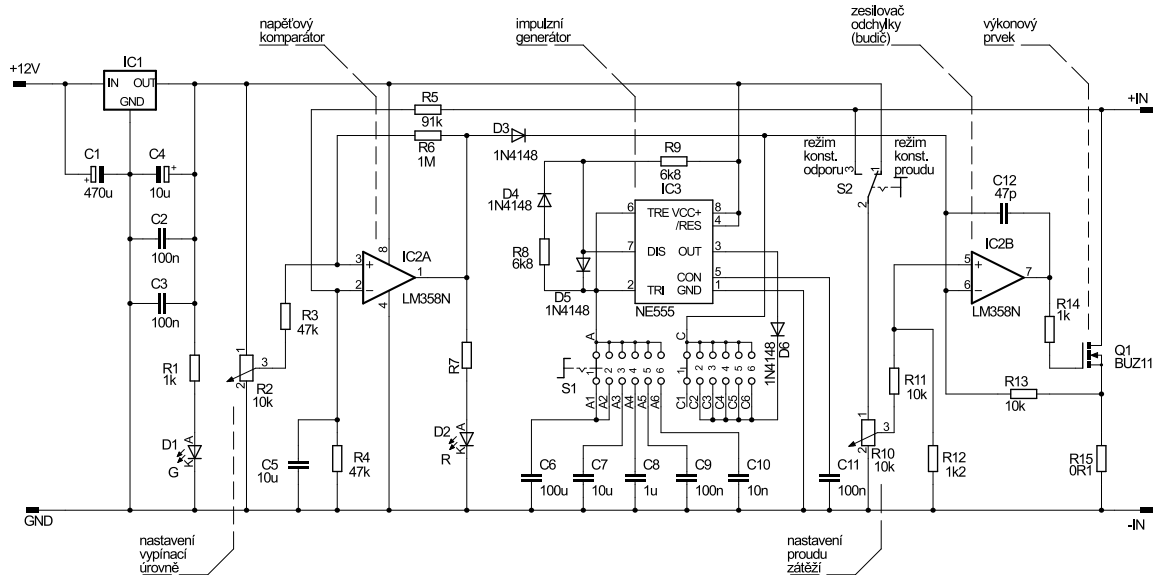
$$R_{IN} = \frac{R_3}{R_2}(R_1 + R_2) \quad (3)$$

CR režim je u elektronických DC zátěží implementován poměrně často, nicméně s jeho realizací (v případě využití číslicového řízení) jsou mnohdy v amatérské praxi spojeny značné problémy (kmitání). I v případě profesionálních zařízení není regulace na konstantní odpor příliš přesná (jednotky %).

2.2 Způsoby řízení

2.2.1 Analogově řízená elektronická zátěž

Analogově řízené elektronické zátěže se často vyskytují v amatérské praxi díky relativně jednoduché konstrukci a absenci programování. Obvykle se jedná o zařízení určená pro provoz v jednom či dvou základních režimech (typicky režim konstantního proudu, méně často pak režim konstantního odporu). Mezi pozitiva analogově řízených zátěží tedy jednoznačně patří jednoduchost konstrukce a nízká pořizovací cena. Mezi negativní vlastnosti se řadí neschopnost sběru dat, nepříliš přívětivé uživatelské rozhraní, značný nárůst složitosti při požadavku na více pracovních režimů a nutnost využití několika panelových měřidel či externích měřicích přístrojů při samotném provozu.



Obr. 6 Příklad zapojení analogově řízené elektronické zátěže [3]

Na **Obr. 6** je uvedeno schéma zapojení jedné z propracovanějších analogových zátěží, které je vhodné k popisu funkce jednotlivých bloků i zařízení jako celku. Dle [3] je uvedené zapojení vhodné pro provoz v režimech konstantního proudu, konstantního odporu a rovněž pro dynamické testování napájecích zdrojů. Dále pak implementuje funkci vybíjení akumulátorů, kdy se akumulátor, při vybití na nastavenou napěťovou úroveň, odpojí. Rozsah zatěžovacího proudu je 0 - 10 A a napětí od 1,2 do 50 V. Pro dynamický režim je možno použít vestavěného generátoru pravoúhlého signálu, který může měnit svůj výstupní kmitočet mezi hodnotami 10 kHz, 1 kHz, 100 Hz, 10 Hz a 1 Hz při střídě 1:1.

Mezi základní bloky uvedeného zapojení patří přístrojový napájecí zdroj, napěťový komparátor, impulzní generátor, zesilovač odchylky (sloužící zároveň jako budič výkonového stupně), výkonový prvek (pro přeměnu energie z testovaného zdroj na teplo) a nakonec samozřejmě obvody pro měření a nastavování velikosti proudu zátěží a hodnoty odporu zátěže.

Volba pracovního režimu (mezi konstantním odporem či proudem) se provádí spínačem S_2 . V režimu konstantního odporu se hodnota proudu zátěží určuje nastavením potenciometru R_{10} , jehož sběrač je přes napěťový dělič připojen k neinvertujícímu vstupu zesilovač odchylky. Na invertující vstup OZ je přivedeno napětí odpovídající proudu protékajícímu zátěží. V případě, že se skutečná hodnota proudu liší od hodnoty nastavené, zasáhne OZ a odchylku vyrovná přivřením či pootvřením tranzistoru. Tento režim je tedy nezávislý na napětí zatěžovaného zdroje. Režim konstantního odporu je založen na analogickém principu s tím rozdílem, že je závislý na napětí zatěžovaného zdroje, neboť

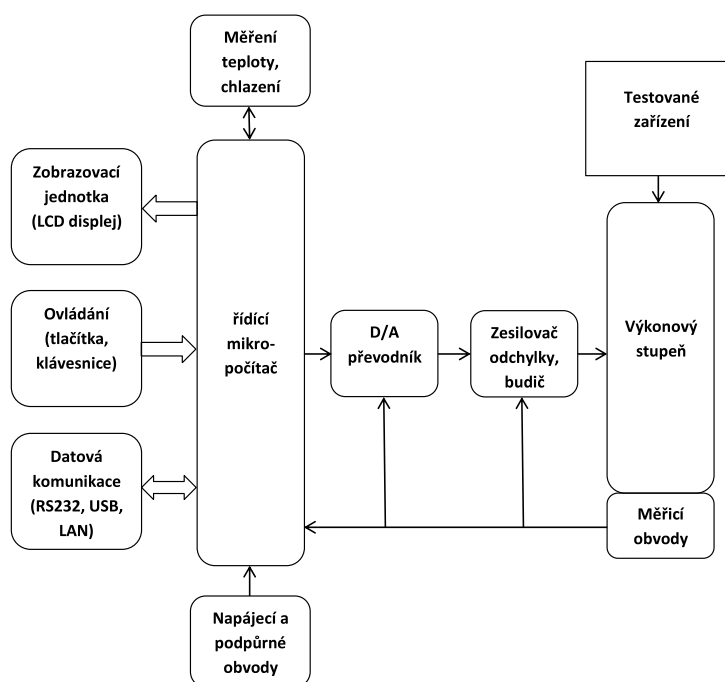
potenciometr R_{10} není v tomto případě připojen mezi přístrojový napájecí zdroj a zem, ale mezi vstupní svorky elektronické zátěže.

Nastavením potenciometru R_2 lze určit napěťovou úroveň na vstupních svorkách zařízení, při které dojde k překlopení výstupní úrovně komparátoru do stavu kladné saturace, což zapříčiní polarizaci diody D_3 v propustném směru, následný nárůst napětí na invertujícím vstupu rozdílového OZ a uzavření tranzistoru Q_1 . Tímto způsobem je tedy zajištěno odpojení vybitého akumulátoru při poklesu napětí na požadovanou úroveň.

Poslední funkcionalitou tohoto zapojení je možnost dynamického testování zdrojů. Pravoúhlý signál vycházející z časovače NE555 střídavě přerušuje proud tekoucí tranzistorem Q_1 , přičemž frekvenci tohoto přerušování lze nastavit (v již uvedeném rozsahu) kondenzátorovou sítí připojenou ke spínači S_2 . Tento testovací režim je vhodný k ověření funkce proudových ochran zatěžovaného zařízení.

2.2.2 Číslicově řízená elektronická zátěž

Elektronické zátěže s číslicovým řízením mají velkou řadu výhod, mezi nimiž figuruje především velké množství provozních režimů a možnost sběru dat. Pro implementaci řady funkcí a testovacích módů stačí pouze vhodně naprogramovat blok řízení, což umožňuje značně zvýšit oblast využití bez nárůstu složitosti hardwaru. Velmi vhodná je i už zmíněná možnost sběru dat, která je obvykle realizována přes běžně dostupná komunikační rozhraní, jako je USB, RS-232 či GPIB.



Obr. 7 Příklad zapojení číslicově řízené elektronické zátěže [7]

Obr. 7 zobrazuje příklad blokového uspořádání číslicově řízené zátěže. O samotné řízení provozu zátěže se typicky stará jednočipový mikropočítač (8-bitový MCU v méně náročných aplikacích, případně 16-bitový MCU pro náročnější aplikace), který zabezpečuje komunikaci s okolím (jak datovou, tak uživatelskou) a samozřejmě zpracovává data dodaná z měřicích obvodů a následně řídí regulaci požadovaných veličin (odpor, proud či napětí na výkonovém stupni). Rovněž obhospodařuje chladičí subsystém.

Pro ovládání zařízení bývá použit LCD displej spolu s klávesnicí, tlačítky či potenciometry. U jednodušších (levnějších) konstrukcí nemusí být blok datové komunikace implementován, avšak obvykle mají komerčně dostupná zařízení alespoň jedno komunikační rozhraní (USB, GPIB, RS-232, RS-485).

Po připojení testovaného zařízení k el. zátěži je zvolen provozní režim a následně i nastaveny parametry testu. Řídící mikropočítač analyzuje a zpracuje data z měřicích obvodů a v odpovídající podobě je předá D/A převodníku. Ten vstupní data převede na analogovou hodnotu, která je předána zesilovači odchylky. Tento blok, na základě aktuálních hodnot z měřicích obvodů a hodnoty z D/A převodníku, přes budič upraví nastavení výkonového stupně a tím tedy provede regulaci dané veličiny.

2.3 Sledované parametry napájecích zdrojů

Vlastnosti napájecích zdrojů jsou definovány celou řadou parametrů (které lze rozdělit na vstupní, výstupní a obecné), nicméně v návaznosti na problematiku elektronických zátěží jsou důležité především tyto (uvažován napět'ový zdroj) [12, 13]:

- **Regulace zátěže (Load Regulation)** - Změna hodnoty výstupního napětí, při zatížení v otevřené smyčce a zatížení jmenovitým proudem, udávaná v mV nebo v procentech.
- **Dynamická odezva (Dynamic Response)** - Tento parametr je určován odezvou na skokovou změnu zatížení (například z nulového proudu na úroveň proudu jmenovitého). Sledován je zde průběh výstupního napětí v čase (jeho pokles či nárůst, případně velikost překmitu, doba ustálení, atd.).
- **Jmenovitý proud (Rated Current)** - Proud, který je schopen zdroj trvale dodávat bez přetížení a degradace provozních parametrů.
- **Špičkový proud (Peak Current)** - Maximální hodnota proudu, kterou je schopen zdroj krátkodobě dodávat.
- **Špičkový výkon (Peak Power)** - Absolutní maximální výstupní výkon, který může zdroj krátkodobě dodávat bez poškození.

- **Drift** - Závislost výstupního napětí zdroje na čase a teplotě.

S použitím elektronické zátěže lze testovat i nejrůznější bezpečnostní mechanismy napájecích zdrojů, například:

- **Nadproudová ochrana (Overcurrent Protection)** - Při vyšším než jmenovitém zatížení může vestavěná ochrana limitovat výstupní proud, či odpojit napájecí zdroj od výstupních svorek.
- **Tepelná ochrana (Overtemperature Protection)** - Jako ochranu před tepelným přetížením implementuje řada napájecích zdrojů možnost odpojení od zatěžovacího obvodu.
- **Přepět'ová ochrana (Overvoltage Protection)** - Pro případ překročení definované hodnoty výstupního napětí může být napájecí zdroj vybaven mechanismem pro odepnutí zatěžovacího obvodu nebo například jednoduchou přepět'ovou ochranou realizovanou Zenerovo diodou, která po svém otevření způsobí proudové přetížení zdroje a tím tedy i aktivaci proudové ochrany.

2.4 Oblasti použití

Elektronické zátěže jsou hojně využívány především v oblasti vývoje a testování síťových napájecích zdrojů a adaptérů. Rovněž se uplatňují při testování akumulátorů a v různých výkonových aplikacích. V závislosti na možných provozních režimech zátěže, limitních parametrech (max. napětí, proud, výkon, atd.) a charakteru testovaného zařízení (AC/DC) je možno zátěž používat v nejrůznějších aplikacích, mezi nimiž figurují tyto:

- vývoj a testování spojitých napájecích zdrojů
- vývoj a testování spínaných napájecích zdrojů
- testování napět'ových, proudových a tepelných ochran u nap. zdrojů
- testování elektromotorů
- měření vlastností baterií a akumulátorů
- vybíjení akumulátorů
- testování napájecích adaptérů

3 Obvodové řešení elektronické zátěže

3.1 Požadované parametry, pracovní režimy a funkce

Parametry:

- $I_{\max} = 10 \text{ A}$
- $U_{\max} = 40 \text{ V}$
- $P_{\max} = 400 \text{ W}$
- $\vartheta_{\max\text{-provozní}} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$

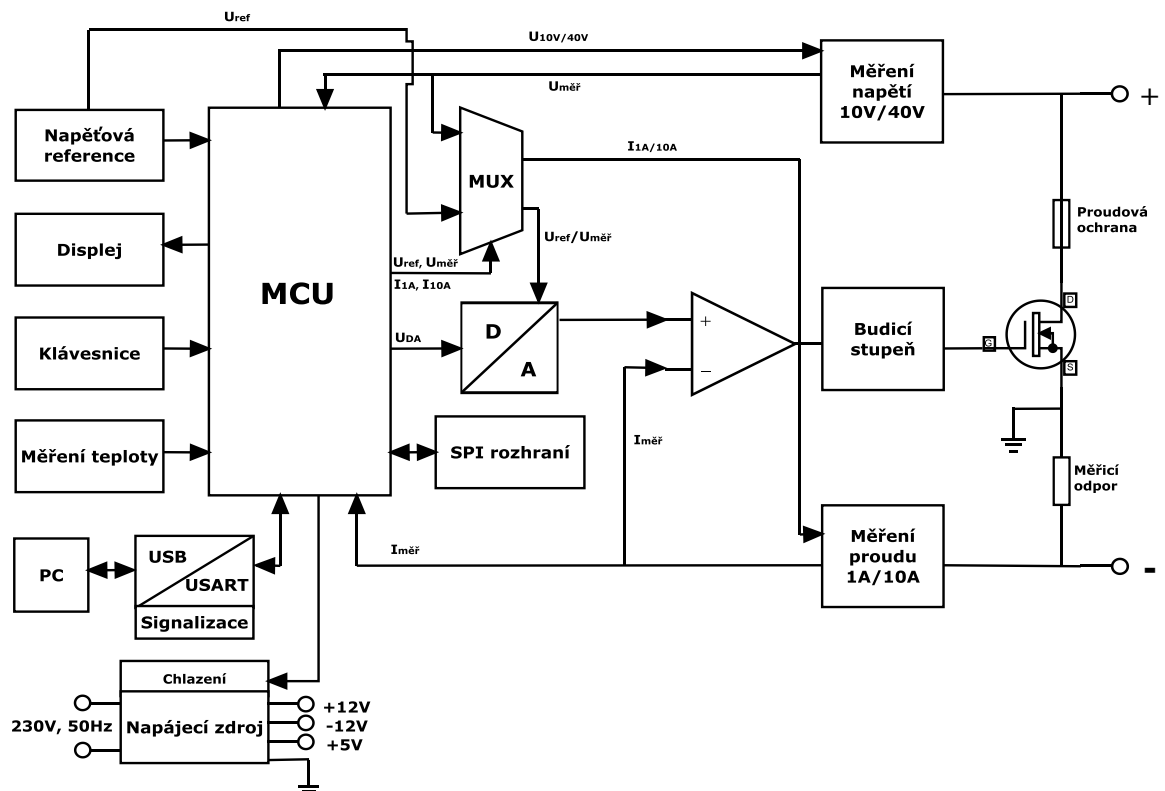
Pracovní režimy:

- režim konstantního proudu

Funkce:

- připojení k PC a sběr dat (realizováno pomocí USB)
- proudová ochrana
- tepelná ochrana

3.2 Blokové schéma



Obr. 8 Celkové blokové schéma zátěže

K mikropočítači, sloužícímu k řízení celého zařízení, je připojena klávesnice a displej pro ovládání zátěže. Blok měření teploty poskytuje informaci o aktuální teplotě výkonového stupně (regulačních tranzistorů) a na jejím základě mikropočítač vypne nebo zapne chlazení, popřípadě odpojí testovaný zdroj od zátěže. S PC je zařízení propojeno přes převodník mezi rozhraními USB a USART, přičemž probíhající komunikace je signalizována indikační diodou. MCU přes multiplexor (který je zde ve funkci elektronického přepínače) určuje proudový rozsah bloku měření proudu a provádí výběr napěťové reference pro D/A převodník. Dále pak MCU řídí přepínání rozsahů měřicího obvodu napětí. Zařízení je chráněno proudovou ochranou (rychlou tavnou pojistkou) proti proudovému přetížení regulačních tranzistorů, konektorů a přírodních vodičů. Tepelná ochrana pak omezuje velikost výkonového zatížení tranzistorů a chrání je před zničením. Úpravu firmware zařízení je možno provádět přes SPI rozhraní. Elektronická zátěž je napájena vícekanálovým napěťovým síťovým zdrojem.

Při provozu zátěže je uživatelem zadána požadovaná hodnota proudu. MCU zvolí pro D/A převodník pevnou napěťovou referenci z referenčního zdroje. Následně je zadaná hodnota převedena D/A převodníkem na odpovídající napěťovou úroveň, která je přivedena na kladný vstup zesilovače odchylky. V tento moment dochází k aktivaci budicího stupně a k otevírání regulačních tranzistorů. Proud z testovaného zdroje, procházející tranzistory, vyvolá napěťový úbytek na měřicím odporu. Tento úbytek je snímán a převáděn blokem pro měření proudu. Výsledek převodu je přiváděn na záporný vstup zesilovače odchylky. V závislosti na aktuálních napěťových úrovních na kladném a záporném vstupu OZ je upravována činnost regulačních tranzistorů (v případě, že napětí nejsou shodná, dochází buď k otevírání, nebo k zavírání tranzistorů). V průběhu měření je možno provádět sběr a odesílání dat do PC.

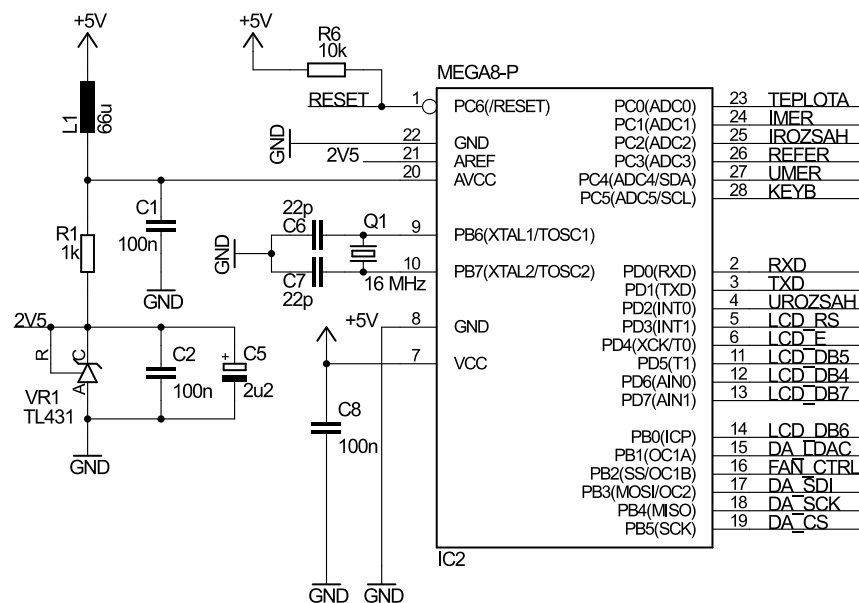
3.3 Popis jednotlivých částí zapojení

3.3.1 Jednočipový mikropočítač

Pro řízení zátěže byl zvolen mikrokontrolér od firmy Atmel, konkrétně model ATmega8-16PU z rodiny AVR MEGA s pokročilou RISC architekturou. Mezi hlavní důvody volby tohoto MCU patří především nízká pořizovací cena, dostatečná programová paměť, schopnost pracovat na taktu až 16 MHz, provedení v pouzdře DIP28 (THT montáž), dostatečný počet vývodů a v neposlední řadě i značné množství literatury zabývající se popisem mikročipů AVR MEGA a jejich aplikacemi.

Z konkrétních parametrů uváděných v datasheetu [14] stojí za zmínku především tyto:

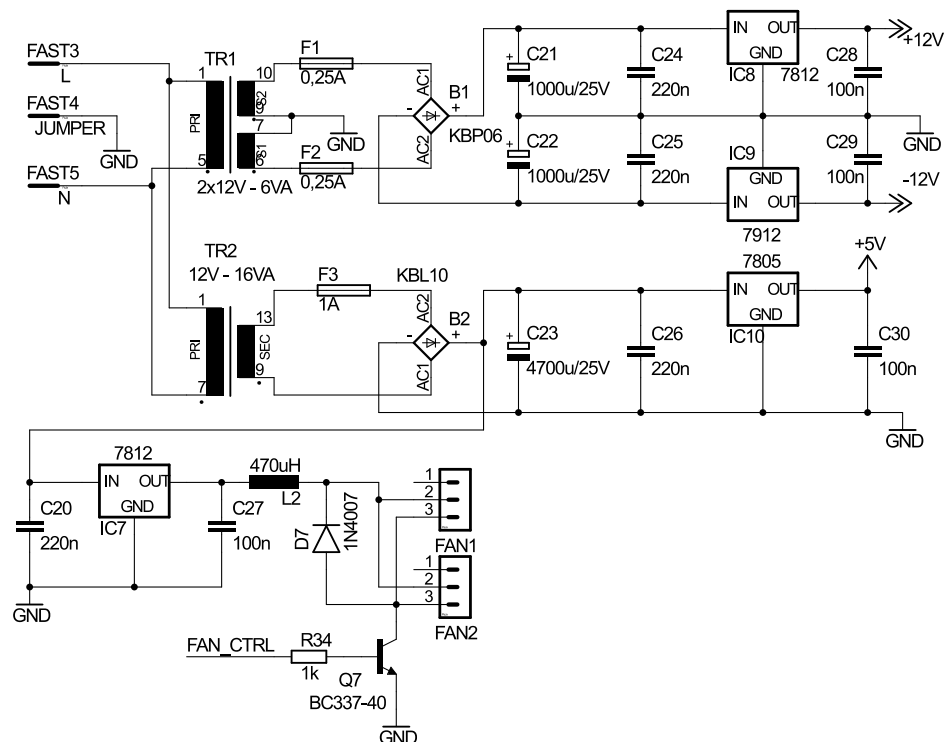
- Pracovní frekvence až 16 MHz (s externím krystalem)
- 8 kB programové FLASH paměti
- 512 B EEPROM paměti
- 1 kB interní SRAM paměti
- In-System Programming (tzn. programování bez nutnosti extrakce MCU)
- 2x 8-bitový čítač/časovač a 1x 16-bitový čítač/časovač
- RTC (Real Time Counter)
- 3x PWM kanál
- 6x 10-bitový A/D převodník
- USART - asynchronní/synchronní sériové rozhraní
- SPI rozhraní
- Interní kalibrovaný RC oscilátor
- Operační napětí 4,5 V - 5,5 V



Obr. 9 Zapojení mikropočítače

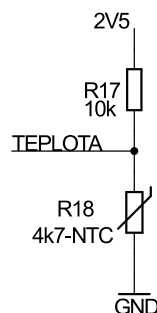
Analogové napájení MCU je od číslicového odděleno filtračním LC článkem. K dosažení pracovního taktu 16 MHz slouží externí krystal Q_1 ve standardním zapojení s 22 pF kondenzátory C_6 a C_7 . Na vstup analogové reference je připojeno napětí 2,5 V vytvářené použitím přesného referenčního zdroje VR_1 . Toto přesné napětí je dále použito i pro D/A převodník, napájení odporového děliče sloužícího k měření teploty a rovněž k napájení klávesnice.

3.3.2 Napájecí zdroj, řízení ventilátorů



Obr. 10 Napájecí zdroj a řízení ventilátorů

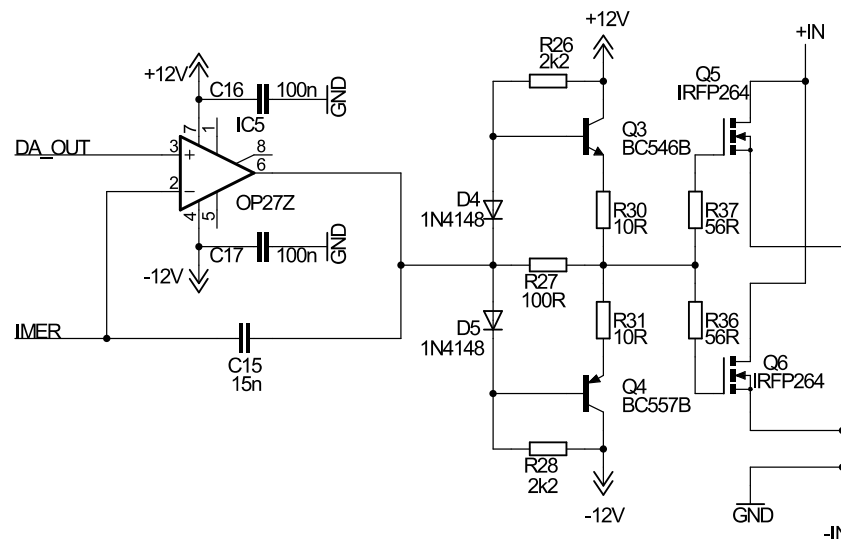
Napájení elektronické zátěže obstarává spojitý napájecí zdroj se symetrickým výstupním napětím ± 12 V pro měřicí obvody a buzení výkonových tranzistorů, +5 V větví pro logické obvody a periferie a samostatnou +12 V větví pro napájení ventilátorů. Oddělené napájení ventilátorů bylo zvoleno kvůli značnému rušení, které ventilátory způsobují (obzvláště s narůstajícím počtem provozních hodin). K potlačení rušení značně přispívá i tlumivka L_2 , záporné napěťové špičky jsou zkratovány diodou D_7 . Činnost ventilátorů je řízena přes tranzistor Q_7 signálem z mikropočítače.



Obr. 11 Měření teploty pomocí termistoru

Aktuální teplota je zjišťována na základě měření napětí na odporovém děliči tvořeném rezistorem R_{17} a NTC termistorem R_{18} , který je připevněn k hlavnímu chladicímu bloku.

3.3.3 Hlavní regulační větev



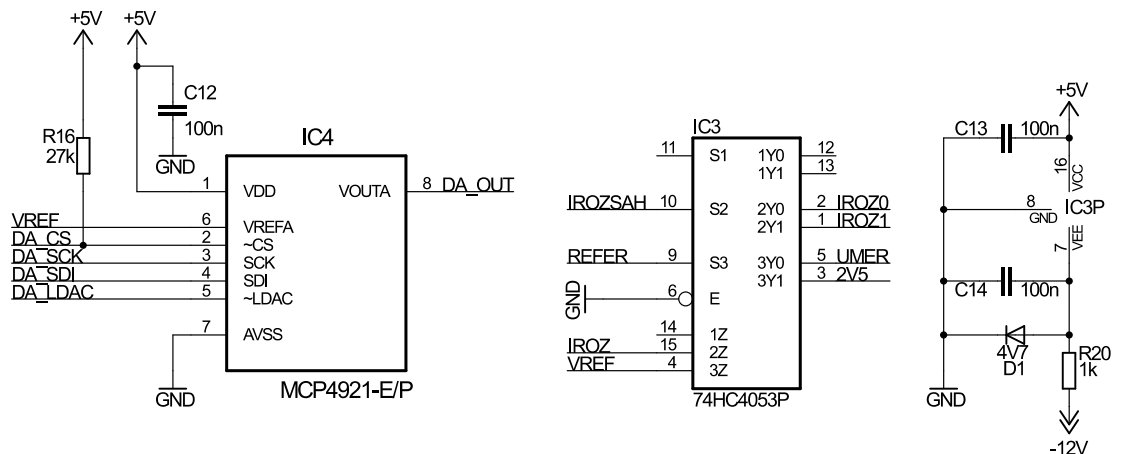
Obr. 12 Zapojení hlavní regulační větve

Hlavní regulační větev se skládá ze zesilovače odchylky, budiče, a výkonových tranzistorů. Použitý OZ je precizní zesilovač OP27 s vysokou rychlostí přeběhu ($2,8 \text{ V}/\mu\text{s}$), velkým CMRR (126 dB), nízkým šumem a symetrickým napájením ($\pm 22 \text{ V}$). Výstup rozdílového zesilovače je posílen budičem, který dokáže dodat dostatečně velký impulzní proud pro rychlé přebíjení hradlových kapacit regulačních tranzistorů. Budič je tvořen dvojicí komplementárně zapojených tranzistorů Q_3 a Q_4 doplněnou o rezistory R_{26} , R_{27} , R_{28} , R_{30} a R_{31} a diody D_4 a D_5 , které společně slouží k nastavení pracovních bodů tranzistorů. Pro disipaci jsou zde použity unipolární N-kanálové MOSFET tranzistory IRFP264 s následujícími parametry:

- $I_D = 38 \text{ A}$
- $U_{DS} = 250 \text{ V}$
- $R_{DS(on)} = 75 \text{ m}\Omega$
- $P_D = 280 \text{ W}$
- Pouzdro TO-247

Dva tyto tranzistory lze tedy v paralelní aplikaci teoreticky zatížit ztrátovým výkonem až 560 W , což je vzhledem k maximálním dovoleným parametrům provozované zátěže vyhovující. Nevýhodou paralelního spojování výkonových tranzistorů je nárůst kapacity C_{GS} , což nepříznivě ovlivňuje dobu ustálení zátěže.

3.3.4 D/A převodník a multiplexor

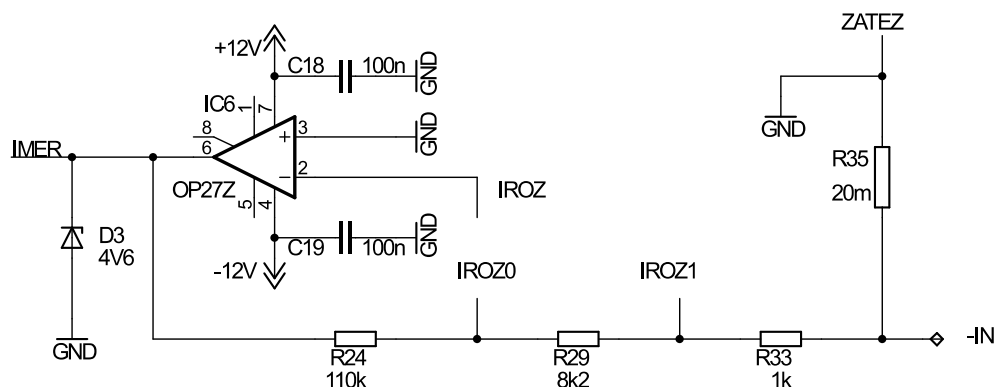


Obr. 13 D/A převodník a multiplexor s napájením

Pro převod číslicové hodnoty z mikropočítače na hodnotu analogovou (napětí o úrovni max. 2,5 V) je použit 12-bitový sériový D/A převodník MCP4921. Výstupní napětí z převodníku je připojeno ke kladnému vstupu zesilovače odchylky. Referenční napětí pro převodník je voleno nastavením pinu REFER multiplexoru 74HC4053 - v závislosti na logické úrovni signálu je zvolena buď reference 2,5 V (z přesného referenčního zdroje) nebo reference proporcionální k aktuální hodnotě napětí na vstupních svorkách (to může sloužit při úpravě firmware elektronické zátěže tak, aby byla schopna pracovat i v režimu konstantního odporu). Multiplexor zde slouží i jako přepínač odporů v rezistorové síti operačního zesilovače v obvodu měřicím proud a tím tedy i ke změně měřicího rozsahu.

3.3.5 Měřicí obvody

3.3.5.1 Měření proudu



Obr. 14 Obvod pro měření proudu

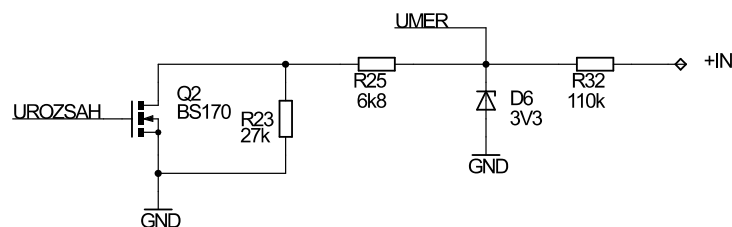
Proud protékající výkonovými tranzistory zátěže rovněž protéká i přesným měřicím rezistorem R_{35} (dovybaveným o masivní chladič z důvodu zvýšení teplotní nezávislosti). Pro účely měření je potenciál mezi zátěží a rezistorem R_{35} spojen se zemí, což vede k použití

operačního zesilovače v invertujícím zapojení. Měřicí rozsah operačního zesilovače je volen multiplexorem, kterým je prováděna změna zapojení rezistorové sítě. Výstup z OZ je (stejně jako v případě měření napětí) chráněn proti napětí vyššímu než 3,6 V použitím ZD. Pro měřicí rozsahy 1 A a 10 A nabývají převodní koeficienty těchto hodnot:

$$A_{1A} = R_{35} \frac{R_{24} + R_{29}}{R_{33}} = 2,364 \text{ VA}^{-1} \quad (4)$$

$$A_{10A} = R_{35} \frac{R_{24}}{R_{29} + R_{33}} = 0,239 \text{ VA}^{-1} \quad (5)$$

3.3.5.2 Měření napětí



Obr. 15 Obvod pro měření napětí

Pro měření napětí na zátěži je určen přepínatelný napěťový dělič. Pro rozsah 40 V je rezistor R_{23} zkratován sepnutím tranzistoru Q_2 ($R_{DS_ON} \approx 5 \Omega$) a napěťový přenos děliče je možno vyjádřit takto:

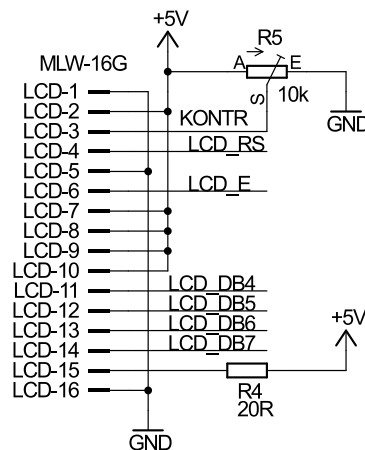
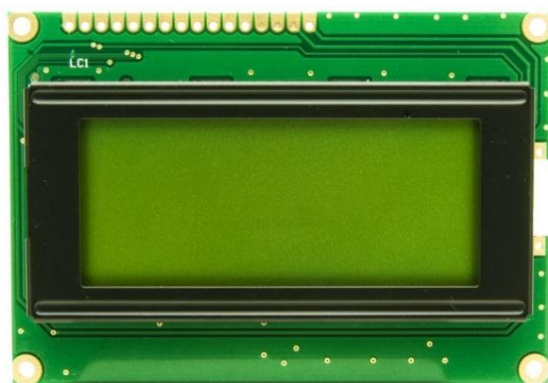
$$K_U = \frac{R_{25}}{R_{32} + R_{25}} \quad (6)$$

Pro rozsah 40 V je tedy maximální napětí vstupující do A/D převodníku 2,33 V. Při testování zdroje s nižším vstupním napětím (do 10 V) je tranzistor Q_2 rozepnut a napěťový přenos děliče je:

$$K_U = \frac{R_{25} + R_{23}}{R_{32} + R_{25} + R_{23}} \quad (7)$$

Pro uvedený rozsah je tedy maximální napětí na vstupu převodníku 2,35 V. Zenerova dioda D_6 chrání vstup mikro počítače před zničením v případě nevhodného přepnutí napěťového rozsahu děliče či přepětí na vstupu zátěže.

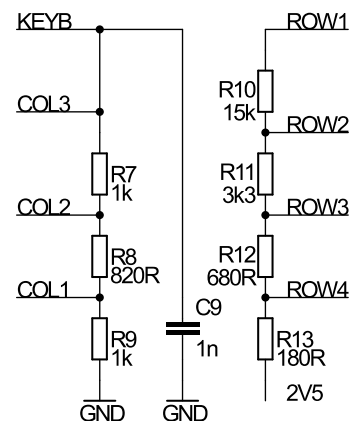
3.3.6 Zobrazovací jednotka



Obr. 16 LCD displej a jeho zapojení [15]

Pro zobrazování informací je použit alfanumerický monochromatický transflexní LCD displej WINSTAR WH1604A s maticovým uspořádáním. Displej má 4 řádky o délce 16 znaků a je řízen řadičem ST7066 (klon rozšířeného HD44780). Displej je připojen k MCU pomocí 6 vodičů pro předávání dat a řízení (4x DB - data, E - enable, RS - register select), jas je částečně utlumen předřadným rezistorem R_4 v napájecí větvi a kontrast je možné změnit nastavením trimru R_5 . Proudový odběr je při zapojení s předřadným odporem cca. 50 mA.

3.3.7 Ovládání zařízení



Obr. 17 Foliová klávesnice a její zapojení

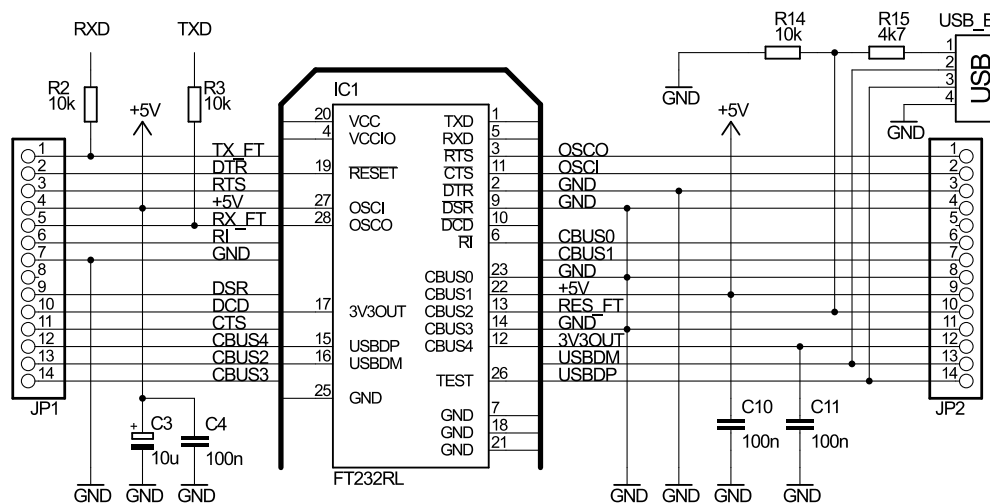
Zařízení je ovládáno foliovou klávesnicí TS 523 6157 s maticovým uspořádáním (4 ř., 3 s.). Klávesnice je samolepicí, což umožňuje snadnou instalaci. Pro ovládání zátěže jsou rovněž užitečné i alternativní popisky tlačítek (šipky jsou používány pro pohyb v menu). Výrobce uvádí životnost tlačítek vyšší než 100 milionů cyklů, spínaný stejnosměrný proud až 25 mA, provozní teplotu od $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a fyzické rozměry $55,5 \times 68\text{ mm}$. Klávesnice

je z důvodu úspor pinů mikropočítače zapojena do rezistorové sítě a informace určující aktivní tlačítko je vyjádřena napětovou hladinou na vodiči vedoucím ke vstupu A/D převodníku mikropočítače. Tím se tedy počet vodičů nutných k připojení klávesnice zredukoval na jeden, což je podstatně méně než u standardního maticového snímání vyžadujícího 7 vodičů. Na **Obr. 17** jsou řádky značeny jako *ROW1 - ROW4* a sloupce jako *COL1 - COL3 (COLUMN)*. Výstup *KEYB* je přiveden na vstup A/D převodníku. Naměřené napětí na jednotlivých tlačítkách je včetně tolerancí uvedeno v **Tab. 2**.

Tlačítko	Dolní mez [mV]	Naměřené napětí [mV]	Horní mez [mV]
7	99	139	179
8	192	232	272
9	294	334	374
4	460	500	540
5	735	775	815
6	984	1024	1064
1	1310	1350	1390
2	1664	1704	1744
3	1881	1921	1961
0	2054	2094	2134
SHIFT	2220	2260	2300
Enter	2305	2345	2385

Tab. 2 Napětové úrovně pro jednotlivá tlačítka

3.3.8 Komunikace s PC



Obr. 18 Zapojení převodníku USB – USART

Pro komunikaci byl zvolen převodník FT232RL od firmy FTDI, který je schopen zprostředkovat přenos dat mezi mikropočítačem a PC a navíc je velmi nenáročný na aplikaci (na rozdíl od předchozích modelů převodníků neopotřebuje externí krystal pro přesné taktování). Výstupním komunikačním rozhraním je často užívaný USB konektor typu B zásuvka). Aktivitu USB indikuje zelená LED dioda umístěná na předním panelu přístroje.

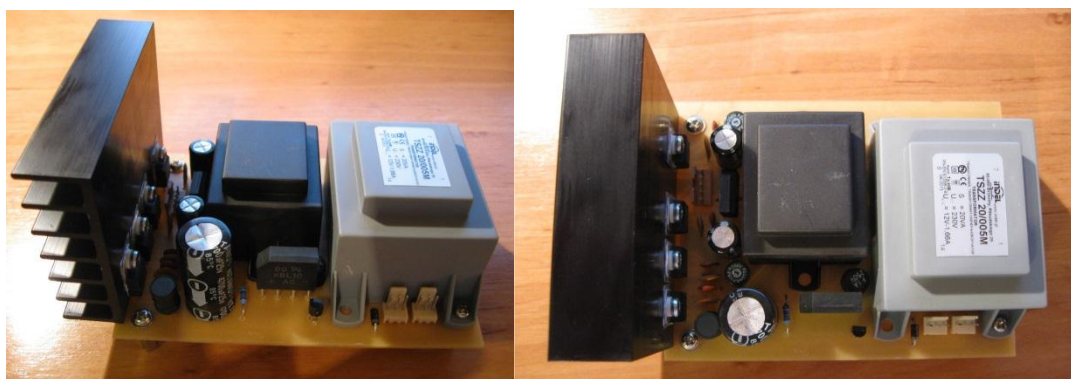
4 Realizace obvodového řešení a konstrukce zařízení

4.1 Desky plošných spojů

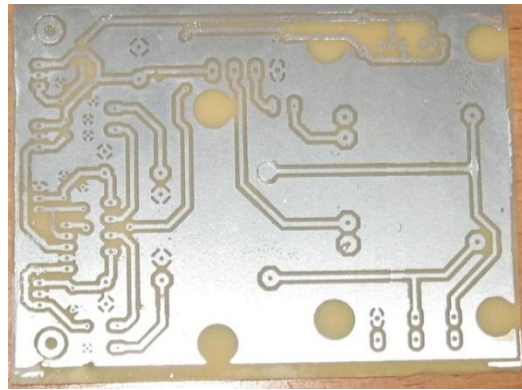
Motivy desek plošných spojů a osazovací výkresy jsou obsaženy v přílohách B a C. Návrh desek probíhal s ohledem na použití THT montážní technologie a vodivých motivů pouze v jedné vrstvě. Takto navržené desky jsou v amatérské praxi snadno realizovatelné, ačkoli nepatrně zvýší výslednou cenu, geometrické rozměry i hmotnost. Desky jsou zhotoveny z cuprextitu (tloušťka mědi 35 μm , materiál substrátu FR4, tloušťka substrátu 1,5 mm) opatřeného pozitivním fotorezistem. Po osvitě fotocuprextitu UV zářením (395 nm) přes motiv vytištěný na průsvitné folii následovalo vyvolání rezistu v roztoku NaOH, leptání v FeCl_3 a chemické cínování.

4.1.1 DPS napájecího zdroje

Na desce napájecího zdroje se nachází schematický blok *Napájecí zdroj a řízení ventilátorů* a konektor typu samice ze schematického bloku *Propojení DPS*. Oba tyto bloky jsou zakresleny v příloze A. Napěťové stabilizátory jsou opatřeny masivním chladičem (max. výkon předaný na chladič je cca. 5 W). Napájecí zdroj je s výkonovou a řídicí deskou propojen pěti-pinovým zámkovým konektorem. Ventilátory jsou k napájecímu zdroji rovněž připojeny zámkovými konektory (tří-pinovými). Paralelně spojená primární vinutí transformátorů jsou přes kolébkový spínač na předním panelu přístroje a přes pojistkové pouzdro (5 \times 20 mm, F-pojistka, 1 A) na zadním panelu připojena k EURO konektoru opatřenému síťovým filtrem pro potlačení rušení. PE vodič ze síťového konektoru je k zemi napájecího zdroje přiveden přes zkratovací propojku na zadním panelu přístroje. To umožňuje vytvoření plovoucí země oddělené od ochranného vodiče.



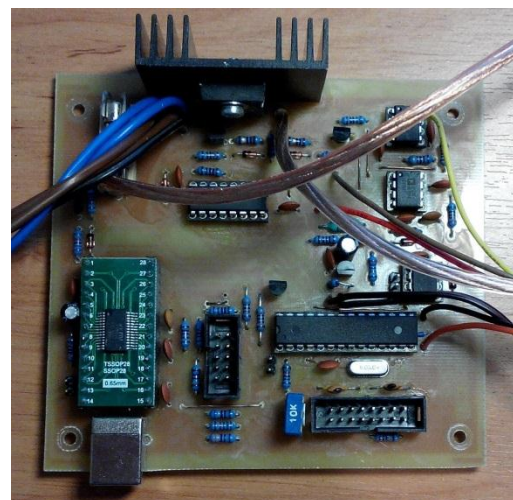
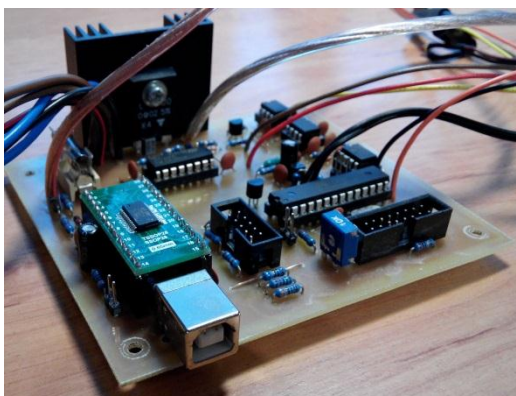
Obr. 19 Napájecí zdroj: a) Pohled z boku, b) Pohled shora



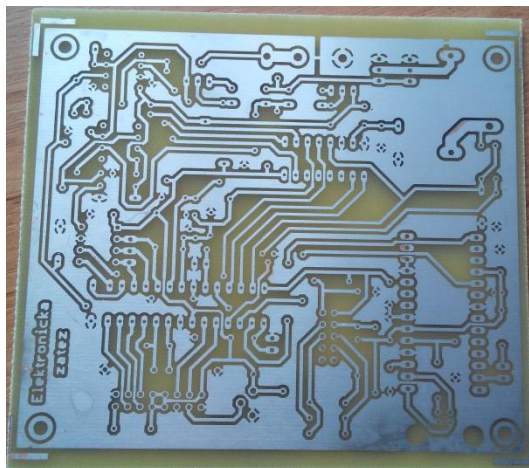
Obr. 20 DPS napájecího zdroje

4.1.2 DPS výkonové a řídicí části

Na desce výkonové a řídicí části je zpracováno celkové schéma vyjma schematického bloku *Napájecí zdroj a řízení ventilátorů* a konektoru typu samice z bloku *Propojení DPS*. Na osazené desce jsou motivy spojené s regulačními tranzistory masivně pocínovány pro odolání max. provoznímu proudu 10 A. Přesný měřicí rezistor je opatřen dostatečně dimenzovaným chladičem (max. výkon předaný na chladič je 2 W). Převodník USB-RS232, obvod FT232RL, je k výkonové a řídicí desce připojen přes redukci (vytvořit dostatečně kvalitní motiv pro osazení pouzdra SSOP28 je v amatérské praxi velmi obtížné). LCD displej a maticová klávesnice se k desce připojují přes MLW/PFL konektory. Na čele desky je umístěn USB konektor určený k vyvedení na předním panelu zařízení. Indikační LED dioda (signalizující aktivitu USB) je připojena pomocí signálové lišty. Signálové lišty jsou použity rovněž i pro SPI rozhraní. Výkonové regulační tranzistory a měřicí termistor jsou vyvedeny z DPS na kabelech a připevněny na chladič na zadním panelu přístroje.



Obr. 21 Výkonová a řídicí deska: a) Pohled zředu, b) Pohled shora



Obr. 22 DPS výkonové a řídicí části

4.2 Konstrukce



Obr. 23 Výsledná podoba konstrukce - pohled z přední strany

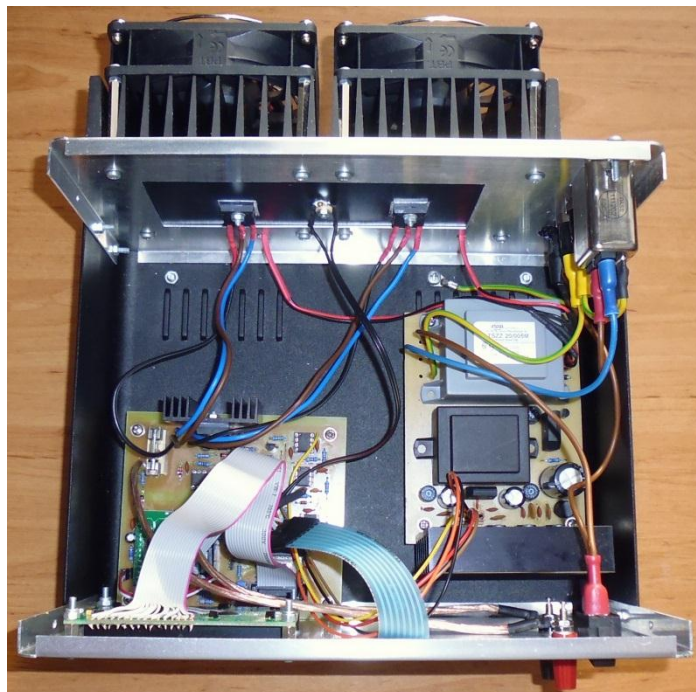
Elektronická zátěž je osazena do robustního pouzdra 1248 GSS10 s rozměry $250 \times 150 \times 200$ mm (š \times v \times h) z oceli a hliníku (T1,5). Kompletní výrobní dokumentace k pouzdru (včetně konstrukčních otvorů pro osazení držáku, přístrojových nožiček, DPS, konektorů, klávesnice, displeje,...) a k hlavnímu chladiči je uvedena v **přílohách E, F, G, H, I**. Přední a zadní panel jsou opatřeny informačními polepy (název přístroje, popis předního panelu, hodnota přístrojové pojistky, doporučené napájecí napětí a funkce zkratovací propojky), jejichž motiv je dostupný v **příloze J**. Na předním panelu je umístěn displej, ovládací rozhraní a konektor pro připojení k PC. Rovněž se zde nachází vypínač celého zařízení. Pro připojení testovaného zdroje k elektronické zátěži slouží kvalitní přístrojové zdířky (max. proudová zatížitelnost až 20 A). Pro snadnou manipulaci je pouzdro vybaveno

držákem. Chlazení osazené elektroniky je realizováno větracími otvory v horní i spodní části pouzdra (který je upevněno na přístrojových nožičkách).



Obr. 24 Výsledná podoba konstrukce - pohled ze zadní strany

Zadnímu panelu přístroje dominuje masivní hliníkový chladič (s teplotním odporem 0,55 K/W), který spolu s dvěma ventilátory (92 × 92 mm, průtok vzduchu 83 m³/h) zajišťuje efektivní odvod tepla z regulačních tranzistorů. Dále se zde nachází zkratovací propojka, napájecí konektor se síťovým filtrem a pojistkové pouzdro.



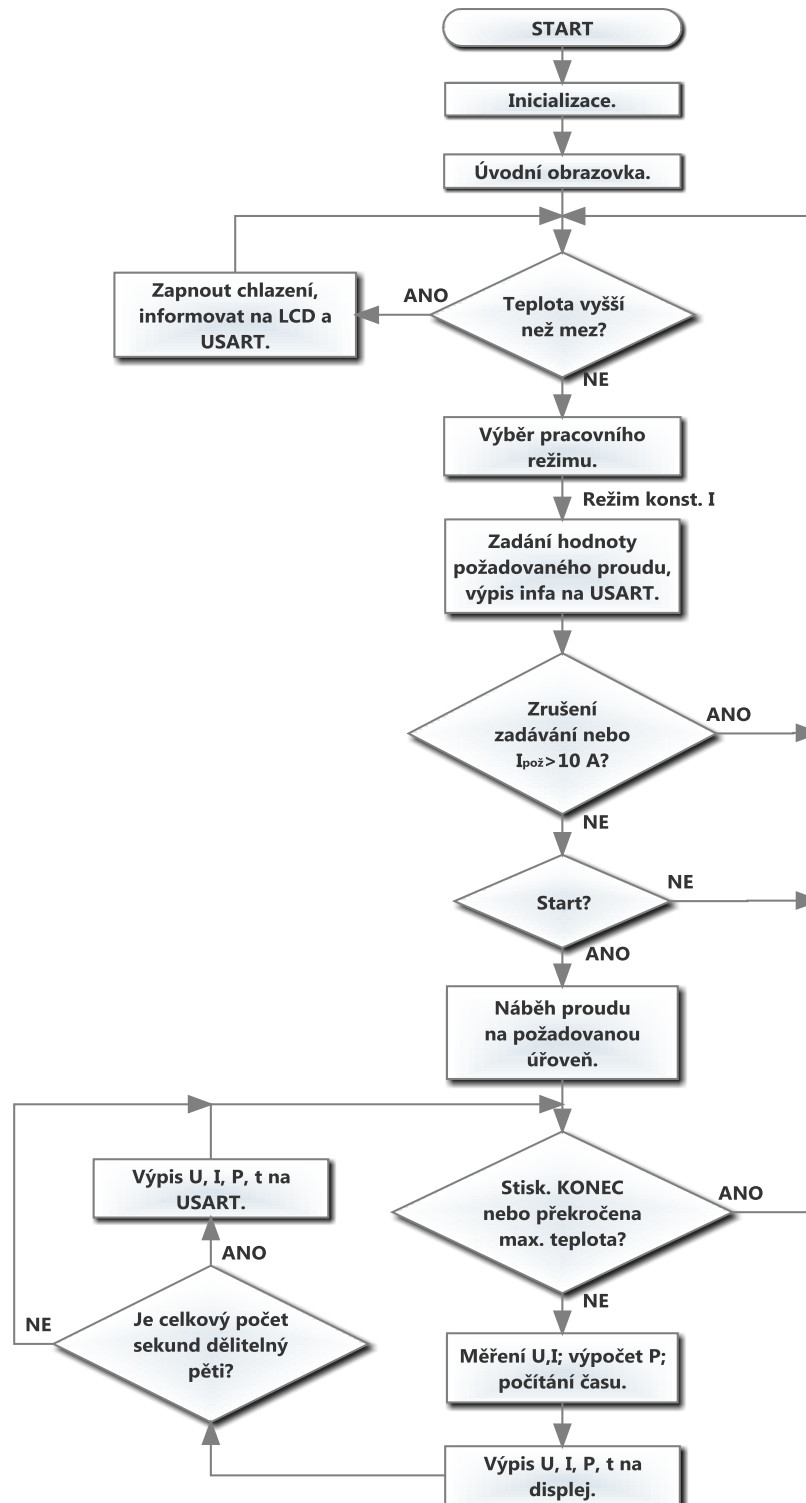
Obr. 25 Pohled do osazeného pouzdra

Další fotografie zachycující výslednou podobu konstrukce (včetně vnitřního uspořádání) jsou uvedeny v přílohách K, L.

4.3 Firmware, vývojový diagram, popis ovládání

Program pro ovládání zátěže byl napsán v nízkourovňovém programovacím jazyce C ve vývojovém prostředí Atmel Studio 6.0. Výsledný soubor v Intel-HEX formátu, určený pro zápis do FLASH paměti MCU, je umístěn v příloze M.

4.3.1 Vývojový diagram

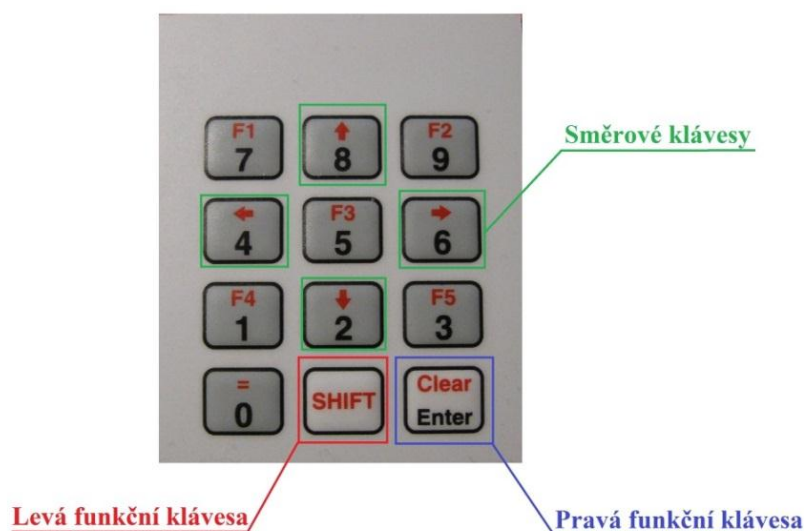


Obr. 26 Celkový vývojový diagram

Po startu, inicializaci potřebných částí zapojení (aktivace a nastavení směru pinů, inicializace LCD, A/D a D/A převodníků, USART, atd.) následuje výpis úvodní obrazovky. Algoritmus kontrolující stav teploty může pozdržet výpis menu s volbou pracovního režimu, do doby, kdy aktivní chlazení sníží teplotu výkonového stupně na definovanou úroveň. Po výpisu menu a výběru pracovního režimu následuje zadávání požadované hodnoty proudu. Je-li zadaná hodnota vyšší než 10 A nebo je stisknuta levá funkční klávesa pro ukončení zadávání proudu, dojde ke skoku na pozici kontroly teploty a opětovnému výpisu nabídky pracovních režimů. Po ukončení zadávání proudu je uživatel vyzván k potvrzení zahájení provozu zátěže. V případě kladné volby dojde k postupnému náběhu proudu zátěží na cílovou hodnotu. Zařízení provádí měření veličin a jejich výpis na displej (eventuálně na USART), dokud není měření ukončeno uživatelem nebo nadměrnou teplotou. Po opuštění měřicí/provozní smyčky dojde k návratu do menu (opět přes teplotní kontrolu).

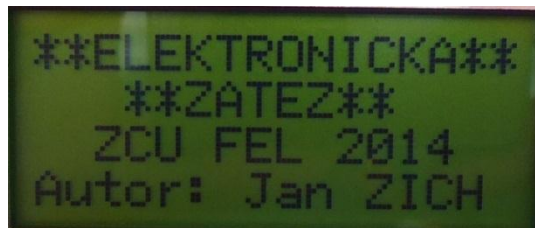
4.3.2 Popis ovládání zátěže

Použitá klávesnice má krom standardních funkcí kláves předtištěné i alternativní funkce. Pro pohyb v menu jsou využívány klávesy se symboly směru. Na obrazovkách, kde je uvedena možnost volby (v pravém a levém spodním rohu displeje) rozhodují o následující akci levá a pravá funkční klávesa. V případě, že není předepsána možnost volby, čeká se na stisknutí pravé funkční klávesy (která slouží jako potvrzení).



Obr. 27 Popis funkcí tlačítek klávesnice

Po zapnutí napájení elektronické zátěže se zobrazí úvodní obrazovka s informací o účelu zařízení, jménu autora a názvu univerzity.



Obr. 28 Úvodní obrazovka

Následuje výběr pracovního režimu.



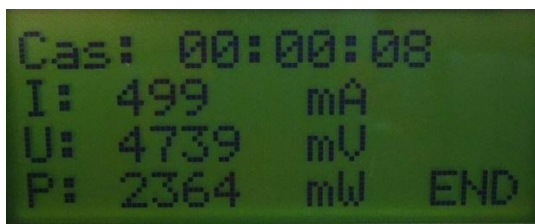
Obr. 29 Volba pracovního režimu

Po potvrzení volby pracovního režimu následuje obrazovka vyzývající uživatele k zadání hodnoty požadovaného proudu. Maximální hodnota, kterou lze zadat, je určena dimenzováním elektronické zátěže, tedy 10 A.



Obr. 30 Zadávání požadované hodnoty proudu

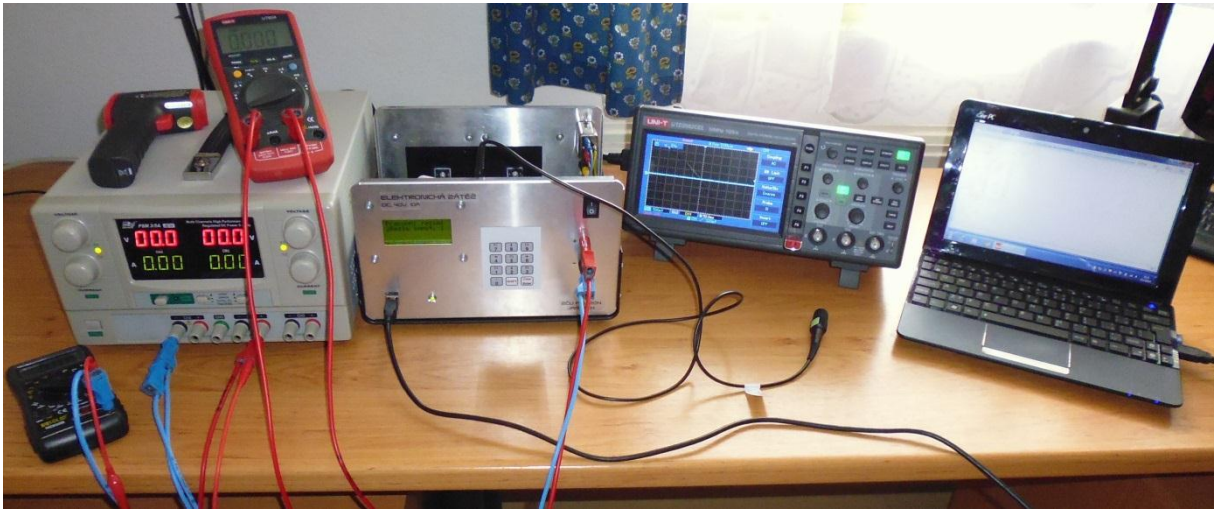
Po zadání proudu se uživatel dostane přes potvrzovací obrazovku k samotnému měření. Zde jsou zobrazovány údaje o proudu zátěží, napětí, odebíraném výkonu a době trvání měření.



Obr. 31 Průběh měření

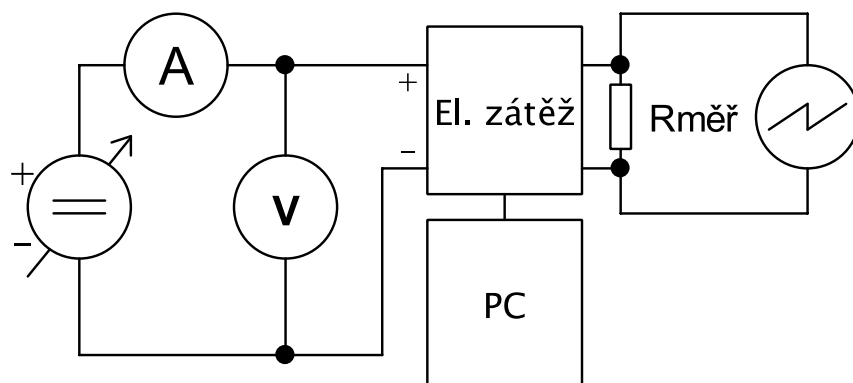
5 Měření

5.1 Schéma zapojení, cíle měření



Obr. 32 Měřicí pracoviště

Podstatou měření bylo stanovit hodnotu výkonu pro dlouhodobé zatížení, ověřit, zda zátěž pracuje v plném napěťovém i proudovém rozsahu, analyzovat průběh proudu zátěží (odhalit případné zákmity), otestovat tepelnou ochranu a samozřejmě i zhodnotit přesnost regulace (tedy i otestovat měřicí obvody zátěže). Důležitým parametrem zátěže bylo rovněž i stanovení napětí, při kterém je zařízení schopno pracovat v plném proudovém rozsahu (tento parametr je definován spínacím odporem tranzistorů, velikostí měřicího odporu a samozřejmě i provedením DPS a přívodních vodičů). Při měření byl zároveň proveden i sběr dat počítačem a následné zpracování výsledků do grafů.

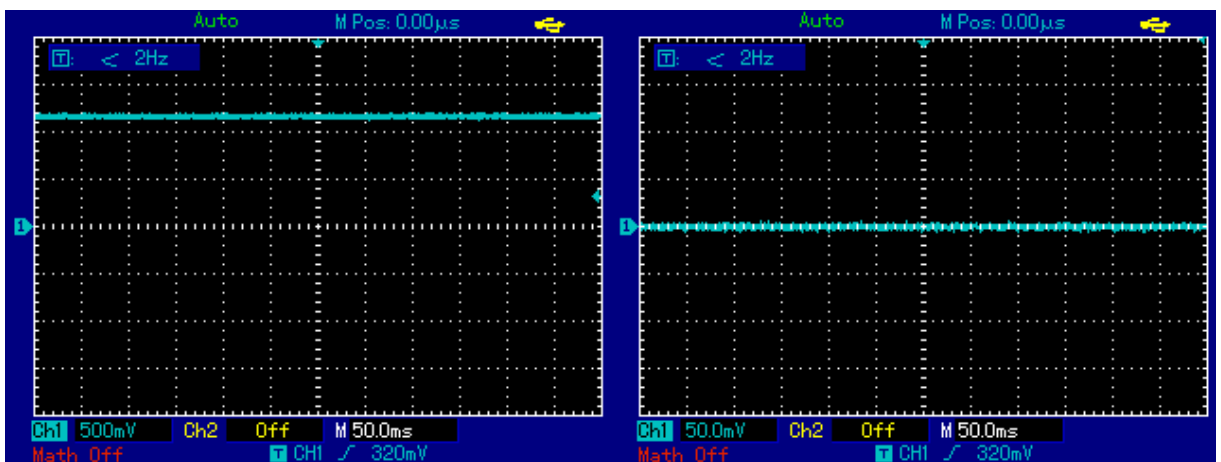


Obr. 33 Zapojení měřicího pracoviště

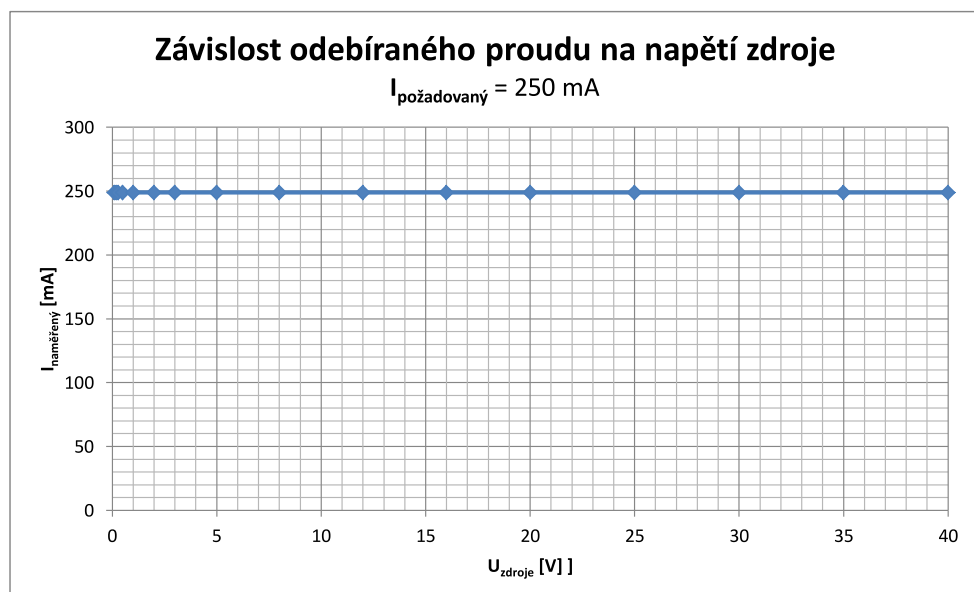
5.2 Výsledky měření

Parametry ověřené a získané měřením nabývají těchto hodnot:

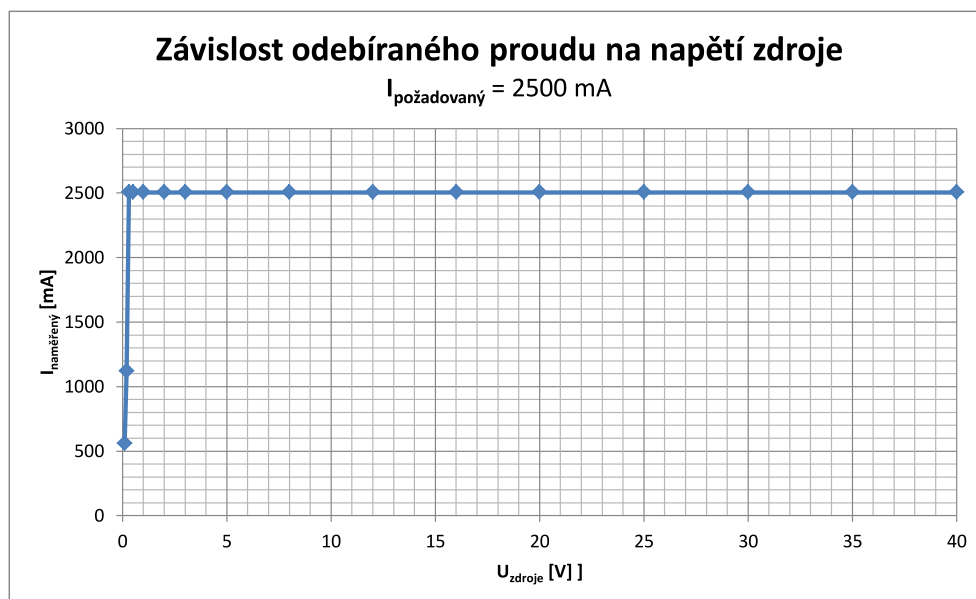
- $I_{\max} = 10 \text{ A}$
- $U_{\max} = 40 \text{ V}$
- $P_{\max} = 400 \text{ W}$
- $\vartheta_{\max} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Max. odchylka měření napětí: $\pm 1,2 \%$ z rozsahu
- Max. odchylka měření proudu: $\pm 1,2 \%$ z rozsahu
- Max. odchylka regulace proudu: $\pm 1,5 \%$ z rozsahu
- $U_{\min, 10\text{A}} = 1 \text{ V}$



Obr. 34 Napětí na měřicím odporu proudu, DC coupling, $I = 500 \text{ mA}$ (vlevo), AC coupling, $I = 5 \text{ A}$ (vpravo)



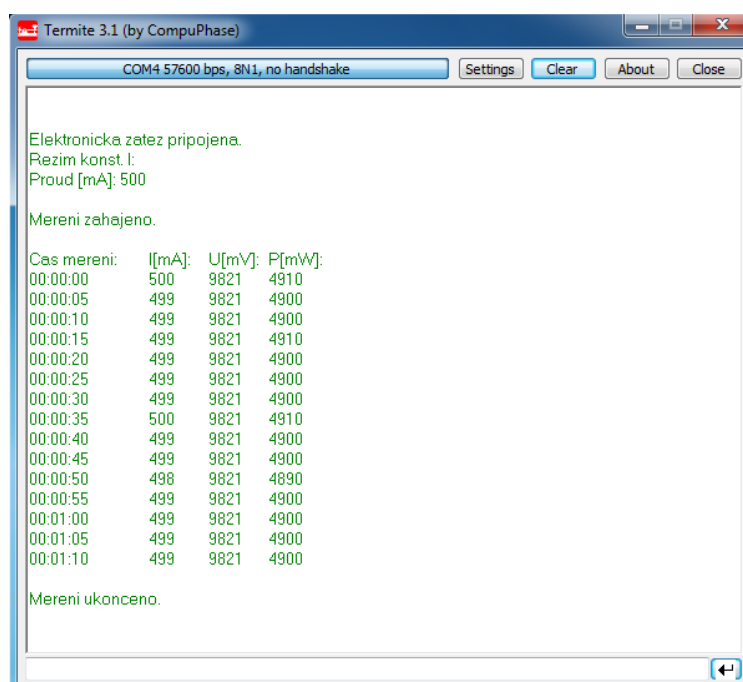
Obr. 35 Odebíraný proud v závislosti na napětí zdroje, $I_{\text{požadovaný}} = 250 \text{ mA}$



Obr. 36 Odebíraný proud v závislosti na napětí zdroje, $I_{\text{požadovaný}} = 2500 \text{ mA}$

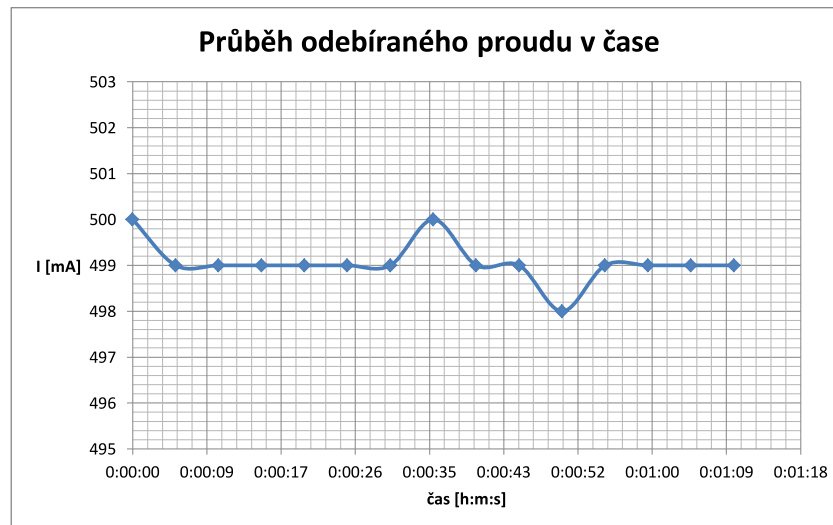
5.3 Sběr a zpracování dat

Data o stavu elektronické zátěže i změřené parametry jsou přes USB rozhraní vysílána do PC. Pro příjem dat byl zvolen terminálový program Termite (ve verzi 3.1) [16], nicméně lze volit z velké řady terminálových programů (mezi oblíbené patří například Putty) [17]. Z programu Termite lze obdržená data snadno zpracovat v MS Excel nebo jiném tabulkovém editoru. Elektronická zátěž vysílá informace o aktuálním napětí, proudu i výkonu každých pět vteřin. Pro přenos je použita rychlost 57,6 kBd/s.

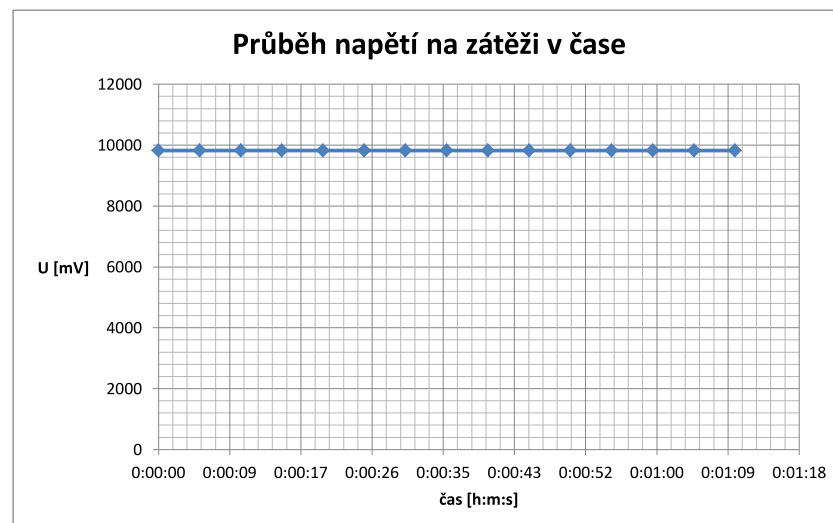


Obr. 37 Program Termite se záznamem o průběhu měření

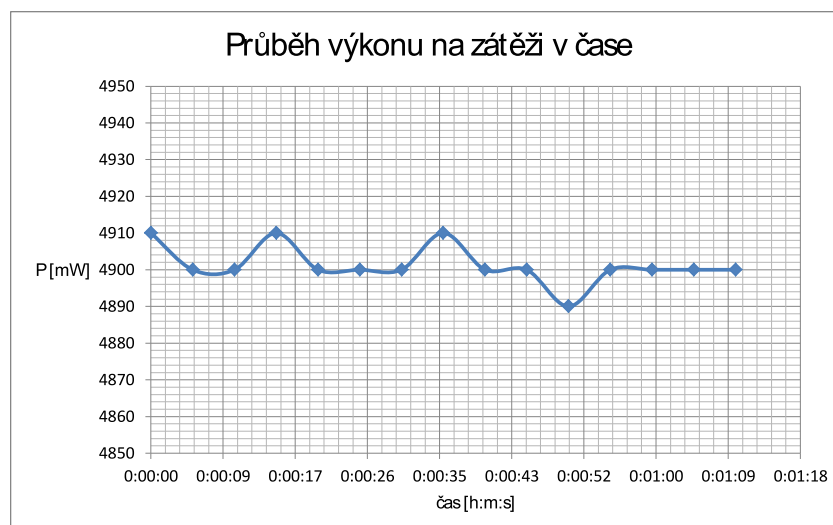
Hodnoty měřených (a vypočítaných) veličin jsou v závislosti na času vyjádřeny následujícími grafy:



Obr. 38 Průběh odebíraného proudu v čase (sběr dat, měřené hodnoty), $I_{požadovaný} = 500 \text{ mA}$



Obr. 39 Průběh napětí na zátěži v čase (sběr dat, měřené hodnoty)



Obr. 40 Průběh napětí na zátěži v čase (sběr dat, vypočtené hodnoty)

Závěr

Cílem práce bylo prostudovat problematiku elektronických zátěží a následně zhotovit funkční vzorek zařízení a provést měření a zhodnocení dosahovaných parametrů. Výsledkem snažení je teoretický popis dostatečně vystihující principy funkce jednotlivých topologií, způsoby řízení, provozní režimy a samozřejmě nechybí ani výčet a popis sledovaných parametrů napájecích zdrojů. Pro zasazení práce do aktuálního kontextu byl zhotoven i základní přehled zařízení dostupných na trhu a podrobnější popis jednoho z výrobků.

Zkonstruovaná elektronická zátěž je schopna spolehlivě pracovat v režimu konstantního proudu s velmi solidními maximálními provozními parametry ($I_{\max} = 10 \text{ A}$, $U_{\max} = 40 \text{ V}$, $P_{\max} = 400 \text{ W}$). Zařízení je tedy dostatečně výkonově robustní. Podařilo se rovněž realizovat i požadovanou možnost sběru dat a to ve formě propojení elektronické zátěže a PC přes rozhraní USB. Pohodlné ovládání zátěže, umožněné klávesnicí a čtyřřádkovým LCD displejem, koresponduje se zdařilým designem a robustností výsledné konstrukce. Provedeným měřením bylo ověřeno dosažení požadovaných výkonových parametrů a rovněž byla zhodnocena přesnost regulace a měřících obvodů. Zjištěné přesnosti jsou uváděny s dostatečnou tolerancí, tak aby reálné hodnoty veličin nevybočovaly nad jejich rámec, a pro jejich přesnější definici by bylo nutné zařízení přeměřit kvalitnějšími laboratorními přístroji.

Spektrum možností využití elektronické zátěže lze značně vylepšit pouhým upgradem firmware. Zařízení je z hlediska elektroniky připraveno na možnost pracovat v režimu konstantního odporu. Dále lze samozřejmě implementovat nejrůznější druhy měřících testů (například měření zatěžovací charakteristiky napěťového zdroje, měření kapacity akumulátoru či dynamické zatěžování zdroje).

Důležitým fyzickým vylepšením je doplnění USB komunikačního rozhraní o galvanické oddělení (ať už zpracováním optoelektronických oddělovačů na řídicí DPS či použitím externího modulu - cca. 25 \$), které bylo v návrhu opomenuto, což sice neomezuje zamýšlený provoz zátěže (měření s notebookem), ale v určitých případech může způsobit problémy při měření se zátěží připojenou k počítači napájenému ze sítě.

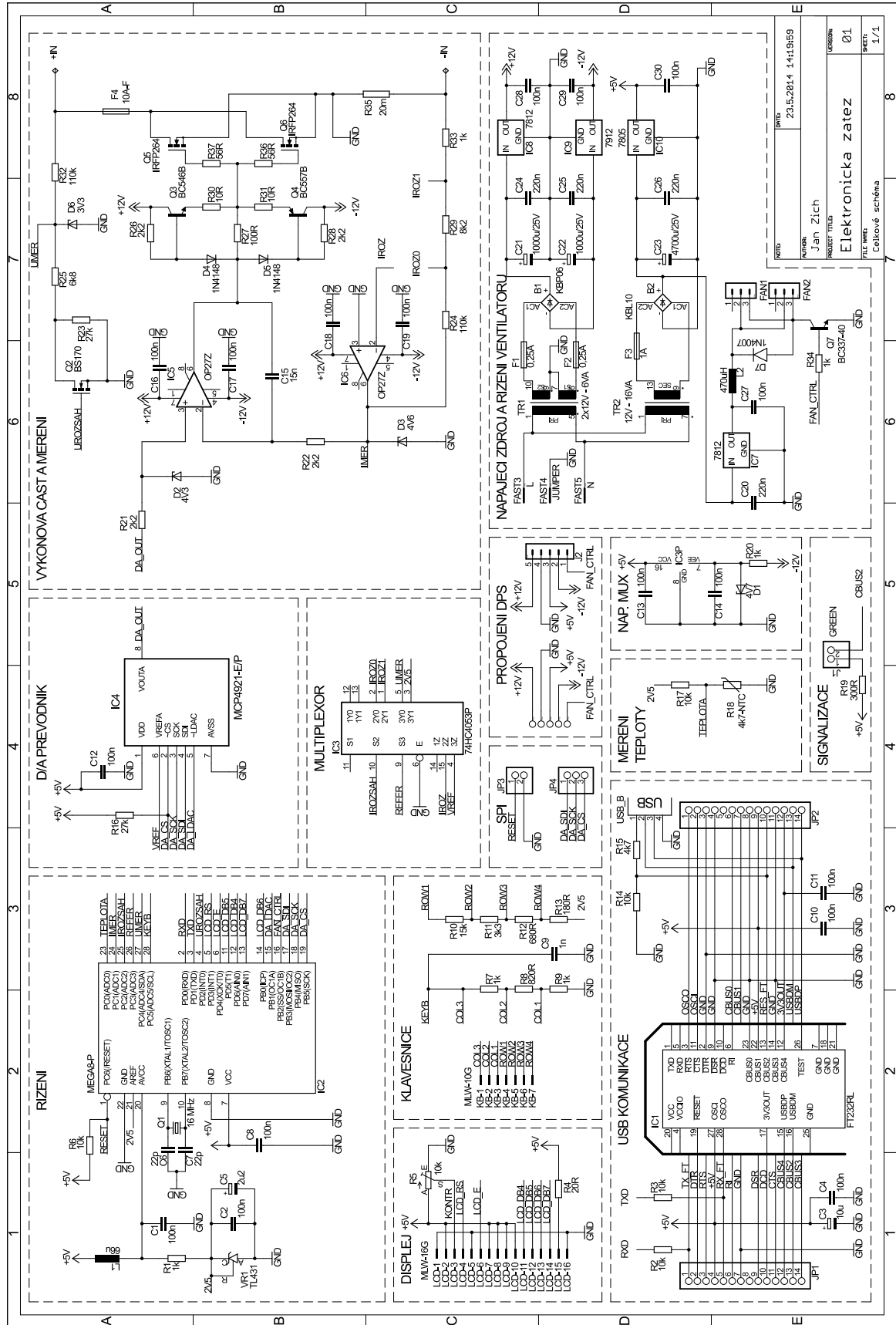
Obvodové řešení zátěže lze tedy považovat za funkční, ověřené a (po implementaci galvanického oddělení) vhodné pro amatérskou praxi. Z tohoto hlediska by bylo zajímavé zpracovat na verzi s levnějšími periferiemi (displejem, klávesnicí) a mechanickou konstrukcí tak, aby se zátěž dala realizovat i s poměrně nízkým rozpočtem.

Použitá literatura

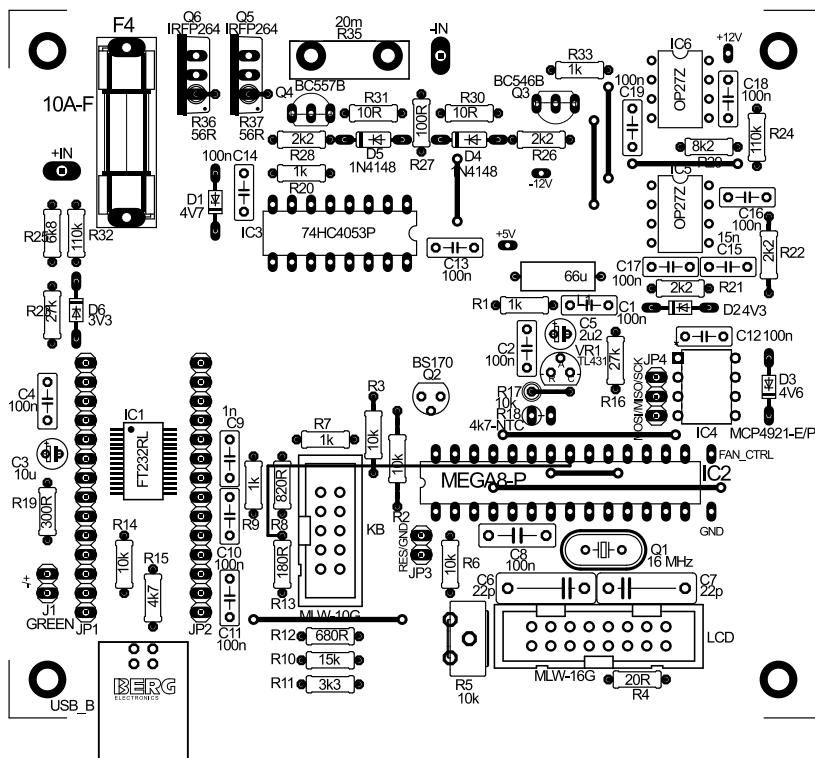
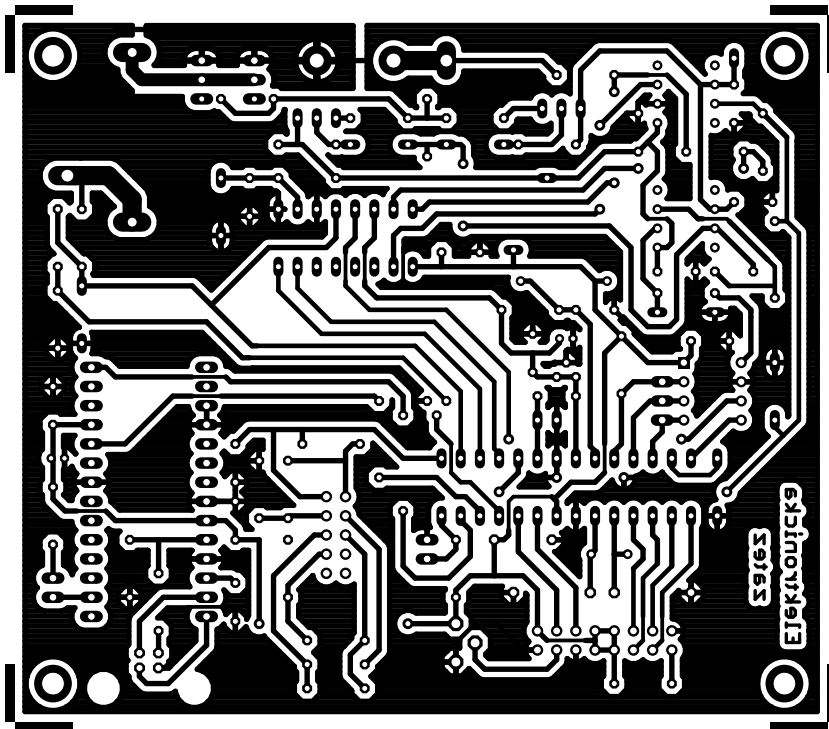
- [1] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I*. 2. vyd. Praha: BEN, 1996. 351 s. ISBN 80-86056-02-3.
- [2] KREJČIŘÍK, Alexandr. *Zdroje proudu*. 1. vyd. Praha: BEN, 1999. 111 s. ISBN 80-86056-84-8.
- [3] Elektronická zátěž. *Elektronika CZ*. [cit. 26.3.2014]. Dostupné z: <http://www.elektronikacz.borec.cz/Data/Elektronicka%20zatez%202.htm>
- [4] Milan Špaček. Elektronická zátěž. *Tosi*. [cit. 26.3.2014]. Dostupné z: http://www.tosi.cz/elektro/el_zatez.html
- [5] BEČKA, Rudolf. Elektronická zátěž. *Praktická elektronika*. 1996, číslo 5, 9-11
- [6] BELZA, Jaroslav. Elektronická zátěž. *Belza*. Poslední změna 18.2.2001. [cit. 26.3.2014]. Dostupné z: <http://www.belza.cz/simple/aload.htm>
- [7] STRAŠIL, Ivan. Přesná elektronická zátěž. *Praktická elektronika*. 2008, ročník XIII, č. 5, 14-19.
- [8] NEPOR, František. 2011. *Laboratorní elektronická zátěž s USB rozhraním*. Brno. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií.
- [9] RADA, Jan. 2013. *Digitálně řízená stejnosměrná elektronická zátěž s rozhraním USB*. Plzeň. Západočeská univerzita v Plzni. Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací.
- [10] Electronic DC Loads. *Elektro-Automatik*. [cit. 1.5.2014]. Dostupné z: <http://www.elektroautomatik.de/en/products/electronicloads/el3000-el9000.html>
- [11] How Does an Electronic Load Regulate It's Input Voltage, Current, and Resistance?. *Watt's Up? Agilent technologies' Power Blog*. [cit. 1.6.2014]. Dostupné z: <http://powersupplyblog.tm.agilent.com/2012/08/how-does-electronic-load-regulate-its.html>
- [12] Power Management Basics: Power Supply Characteristics. *Power electronics*. [cit. 1.6.2014]. Dostupné z: <http://powerelectronics.com/news/power-management-basics-power-supply-characteristics>
- [13] Definiton of parametres. *Contech*. [cit. 1.6.2014]. Dostupné z: <http://www.contech-us.com/pdf/definition.pdf>
- [14] Atmel Co. *ATmega8*. [cit. 2.5.2014]. Dostupné z: http://www.atmel.com/images/atmel-2486-8-bit-avr-microcontroller-atmega8_1_datasheet.pdf
- [15] 16x4 LCD Display. *Rapid*. [cit. 1.5.2014]. Dostupné z: <http://www.rapidonline.com/Electronic-Components/16x4-LCD-Display-Yellow-green-LED-Backlight-57-2240>
- [16] Termite: a simple RS232 terminal. *Compu Phase*. [cit. 31.5.2014]. Dostupné z: http://www.compuphase.com/software_termite.htm
- [17] PuTTY Download Page. *Chiark*. [cit. 1.6.2014]. Dostupné z: <http://www.chiark.greenend.org.uk/~sgtatham/putty/download.html>

Přílohy

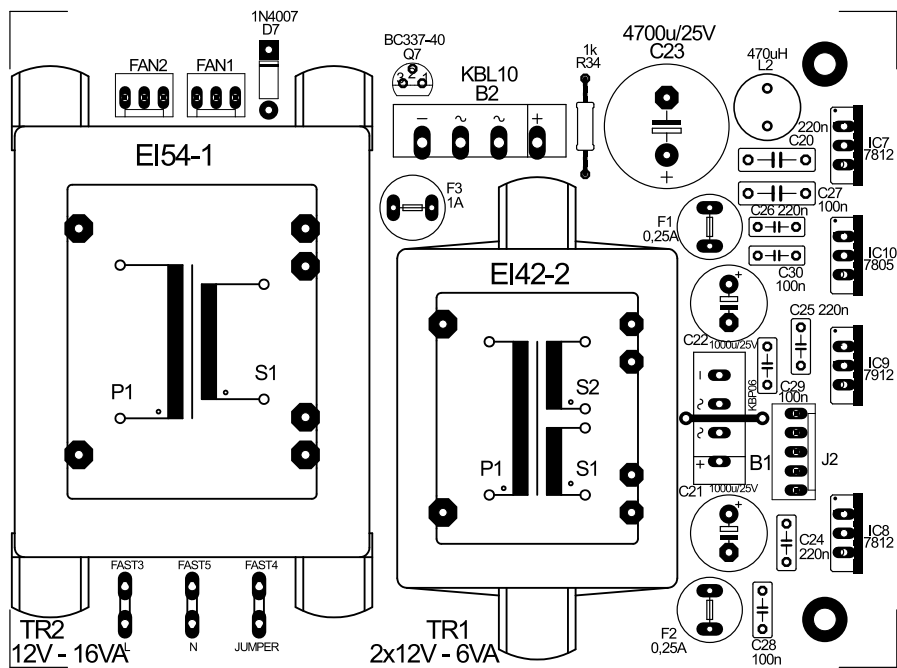
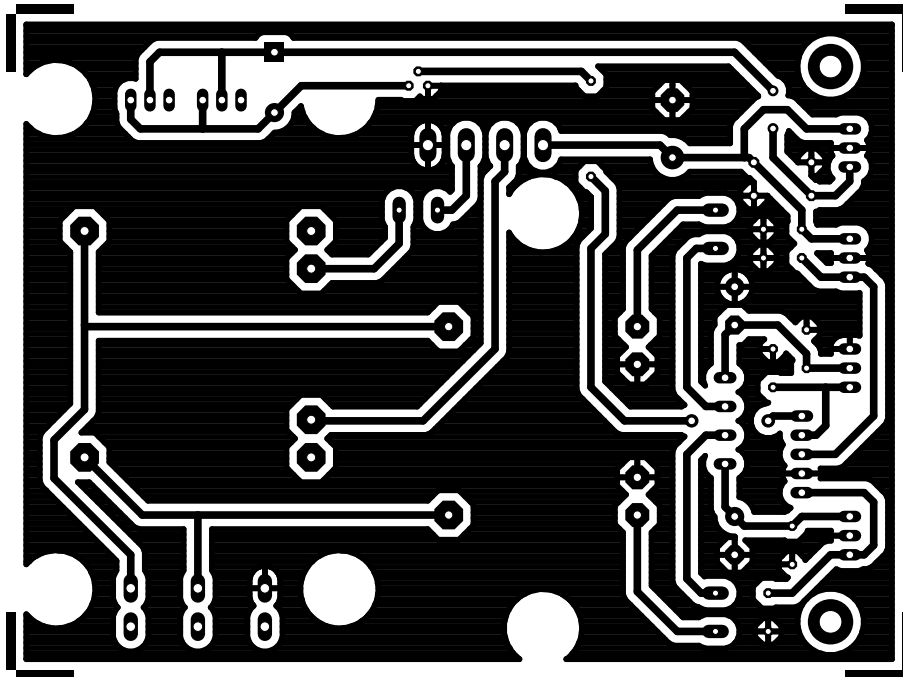
Příloha A - Celkové schéma



Příloha B - DPS výkonové a řídicí část (předloha a osazovací výkres)



Příloha C - DPS napájecího zdroje (předloha a osazovací výkres)



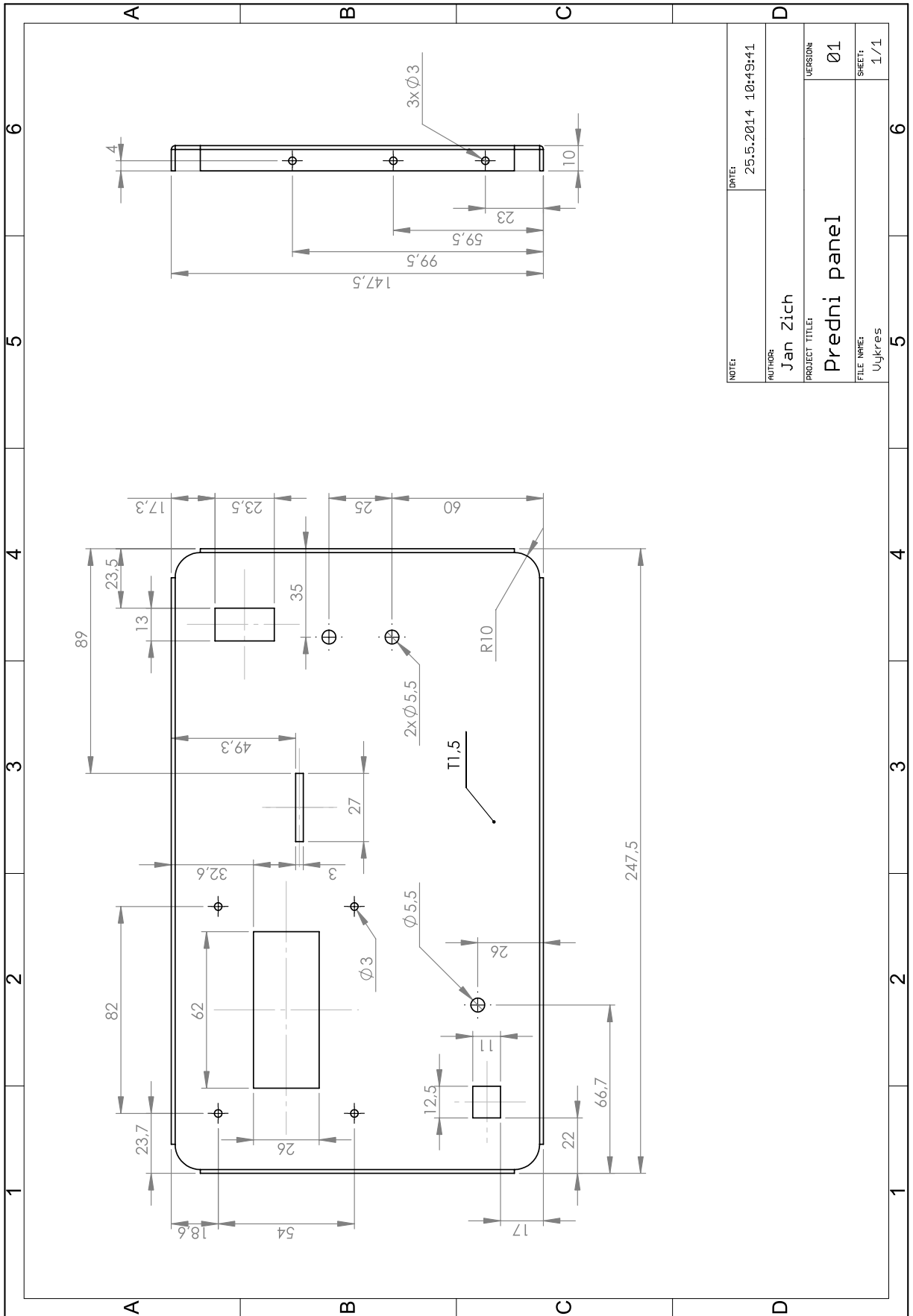
Příloha D - Seznam součástek

Součástky na deskách plošných spojů:		
Součástka:	Hodnota:	Popis:
B1	KBP06	Můstek, 2A
B2	KBL10	Můstek, 4A
C1, C2, C4, C10, C11, C12, C13, C14	100n	Keramický kondenzátor, 50V, diskový, 5mm
C15	15n	Keramický kondenzátor, 50V, diskový, 5mm
C16, C17, C18, C19, C28, C29, C30	100n	Keramický kondenzátor, 50V, diskový, 5mm
C20	220n	Keramický kondenzátor, 50V, diskový, 5mm
C21, C22	1000u/25V	Elektrolytický kondenzátor, hliníkový, 10x21mm
C23	4700u/25V	Elektrolytický kondenzátor, hliníkový, 16x32mm
C24, C25, C26	220n	Keramický kondenzátor, 50V, diskový, 5mm
C3	10u/25V	Elektrolytický kondenzátor, hliníkový, 5x11mm
C5	2u2/25	Elektrolytický kondenzátor, hliníkový, 5x11mm
C6, C7	22p	Keramický kondenzátor, 50V, diskový, 5mm
C8, C27	100n	Keramický kondenzátor, 50V, diskový, 5mm
C9	1n	Keramický kondenzátor, 50V, diskový, 5mm
D1	4V7	Zenerova dioda, DO-35
D2	4V3	Zenerova dioda, DO-35
D3	4V6	Zenerova dioda, DO-35
D4, D5	1N4148	Usm. Dioda, DO-35
D6	3V3	Zenerova dioda, DO-35
D7	1N4007	Usměrňovací Dioda, DO-35
DPS ₁ , DPS ₂	CU-TA056-P	1-str., fotocapexitit, 100x150mm
F1, F2	0,25A	F-pojistka do DPS, 8,4x7,6mm
F3	1A	F-pojistka do DPS, 8,4x7,6mm
F4	PTF 16, F-10A	Poj. Držák 5x20mm, F-pojistka 10A
FAN1, FAN2	PSH02-03P	3-pinový konektor, male, female
IC1	FT232RL	USB-RS232, SSOP28
IC10	7805	Třívorkový stabilizátor, 5V, 1A, TO-220
IC2	ATMEGA8-16PU	MCU, PDIP-28
IC3	74HC4053P	CMOS, MPLEXOR, DIP-16
IC4	MCP4921-E/P	DAC, DIP-8
IC5, IC6	OP27Z	OZ, DIP-8
IC7, IC8	7812	Třívorkový stabilizátor, +12V, 1A, TO-220
IC9	7912	Třívorkový stabilizátor, -12V, 1A, TO-220
J1	PLS-02S	PIN-HEADER, 1X2, 2,54 mm
J2	PS 25/5G	PS 25/5G
JP1, JP2	PLS-14S	PIN-HEADER, 1X14, 2,54 mm
JP3	PLS-02S	PIN-HEADER, 1X2, 2,54 mm
JP4	PLS-03S	PIN-HEADER, 1X3, 2,54 mm
KB	MLW-10G	signálový konektor, 10-pin, 2,54 mm, fem.
L1	66u	axiální tlumivka, 4x10mm
L2	470uH	rad. Tlumivka, 10,5x12,5mm
LCD	MLW-16G	signálový konektor, 16-pin, 2,54 mm, fem.
P _{atice_ATM}	GS 28P-S	Patice pro IO
P _{atice_OZ1} , P _{atice_OZ1} , P _{atice_DAC}	GS 8P	Patice pro IO
Q1	16 MHz	krystal, HC49/U3H
Q2	BS170	N-FET, TO-92
Q3	BC546B	NPN, TO-92
Q4	BC557B	PNP, TO-92
Q5, Q6	IRFP264	N-FET, TO-247
Q7	BC337-40	NPN, TO-92
R1, R7, R9, R20, R33	1k	Metal. Rez., RM0207
R10	15k	Metal. Rez., RM0208
R11	3k3	Metal. Rez., RM0209
R12	680R	Metal. Rez., RM0210
R13	180R	Metal. Rez., RM0211
R15	4k7	Metal. Rez., RM0212
R16, R23	27k	Metal. Rez., RM0213
R17	10k	Metal. Rez., RM0214
R18	4k7-NTC	Metal. Rez., RM0215
R19	300R	Metal. Rez., RM0216
R2	10k	Metal. Rez., RM0217
R21, R26, R28	2k2	Metal. Rez., RM0218
R22	2k2	Metal. Rez., RM0219
R24, R32	110k	Metal. Rez., RM0220

R25	6k8	Metal. Rez., RM0221
R27	100R	Metal. Rez., RM0222
R29	8k2	Metal. Rez., RM0223
R3	10k	Metal. Rez., RM0224
R30, R31	10R	Metal. Rez., RM0225
R34	1k	Metal. Rez., RM0226
R35	20m	Měřicí rezistor
R36, R37	56R	Metal. Rez., RM0228
R4	20R	Metal. Rez., RM0229
R5	10k	Metal. Rez., RM0230
R6, R14	10k	Metal. Rez., RM0231
R8	820R	Metal. Rez., RM0232
Redukce	SSOP28-2,54 mm	redukce na SSOP28
TR1	2x12V - 6VA	transformátor, EI42-2B
TR2	12V - 16VA	transformátor, EI54-1B
USB_B	PN61729	USB-B, PCB
VR1	TL431 - 2,5V	Nap. Reference, TO-92

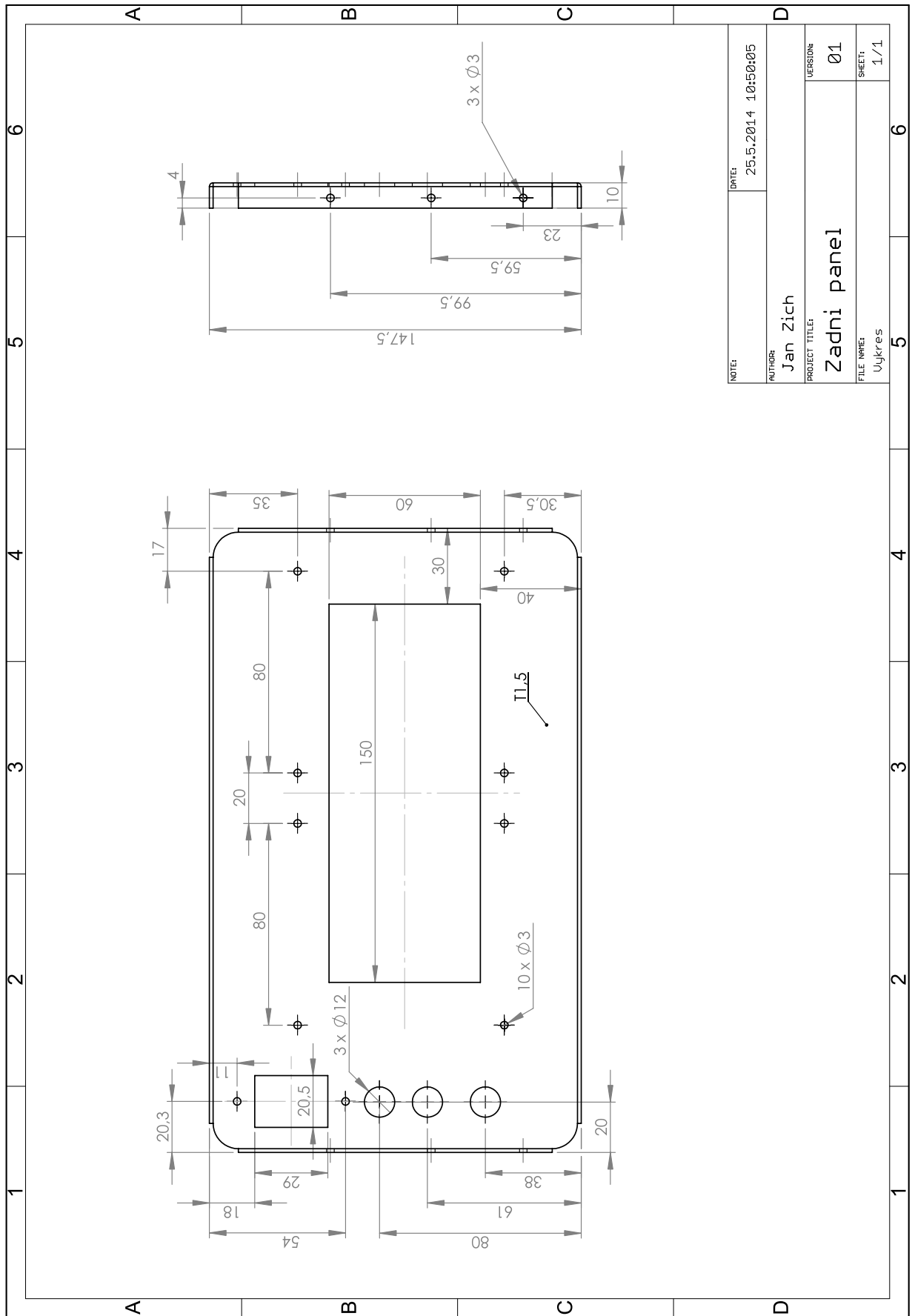
Součástky mimo DPS, konstrukční prvky, chladiče, kabely:		
Součástka:	Hodnota:	Počet ks (metry):
FAST-ON, zdířka - 6,3mm, B	IFSH-B-6,3	1
FAST-ON, zdířka - 6,3mm, B	IFSH-R-6,3	3
FAST-ON, zdířka - 6,3mm, Y	IFSH-Y-6,3	2
Ventilátory, 92x92mm	SUNON KDE1209PTS1.13	2
Pojistkové pouzdro, 5x20mm, F-pojistka	PTF 35, F-1A, 5x20mm	1
Plochý kabel, 2,54 mm	AWG 28-16G	0,5
Kolébková spínač, 13x19mm	WSB 2100	1
Přístrojová zdířka, 20A, 4mm, Black	BP 20A/0	1
Přístrojová zdířka, 20A, 4mm, Red	BP 20A/2	1
Signálový konektor, 10-pin, 2,54 mm, male	XINYA PFL10	1
Signálový konektor, 16-pin, 2,54 mm, male	XINYA PFL16	1
LCD displej, 4 x 16 znaků	WINSTAR WH1604A-YYH	1
EURO konektor, síťový filtr	FEH51104	1
4 mm zkratovací propojka na zdířky	FK 19/4 sw	1
Vestavné zdířky, izolované, 4mm	SEB 2610 F4.8 SCHWARZ/BLACK	2
Foliová klávesnice	TS 523 6157	1
Izolační podložka, TO-220, slídová	GLIMMER TO220	4
Distanční sloupek, M3, 2xvnit. Závit, 15mm	DI 15MM	8
Izolační podložka, TO-247, slídová	GLIMMER TO247	2
Přístrojová nožička, 20mm, tvr. Guma	GN 2	4
Chladič, 80x62x20mm	CH 08/62-80	1
Chladič, 37,5x44x11mm	CH 17/37	1
Distanční sloupek, M3, 2xvnit. Závit, 30mm	DI 30MM	8
Ochranná mřížka na ventilátor, 92mm	FG 09	2
Přístrojové ucho	MENTOR 268.3	1
Chladič, 200x40x100mm	SK 47 100 SA	1
Pouzdro, 250x150x200mm	1248 GSS10 ČERNÉ	1
3-pinový konektor, male	PSK 254/03W	2
Smršťovací bužírka, PVC	RC 1.5/2	0,5
Smršťovací bužírka, PVC	RC 1.0/0	0,5
Izolovaný drátek, 0,4mm	U 0,4 5/3	0,5
Síťový kabel, PVC izolace	CYSY 3x1,5W	1
FAST-ON, kabelové oko, M4	QS 1,5-4	1
Šroubky M3, M4, podložky, matky		60

Příloha E - Výkres předního panelu pouzdra

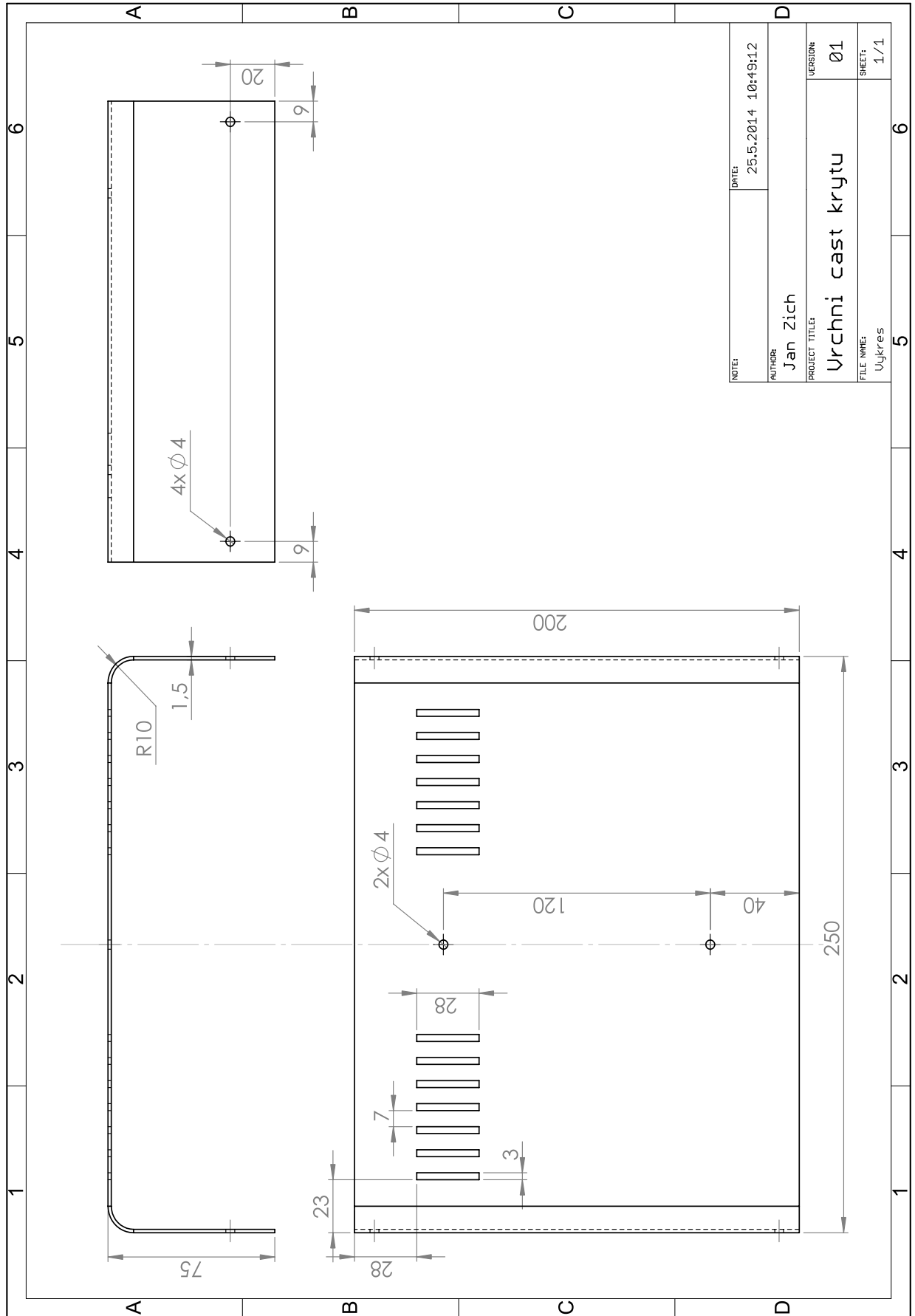


NOTE:	DATE:	25.5.2014 10:49:41
AUTHOR:	Jan Zich	
PROJECT TITLE:	Predni panel	
VERSION:	Ø1	
FILE NAME:	Uykres	
SHEET:	1/1	

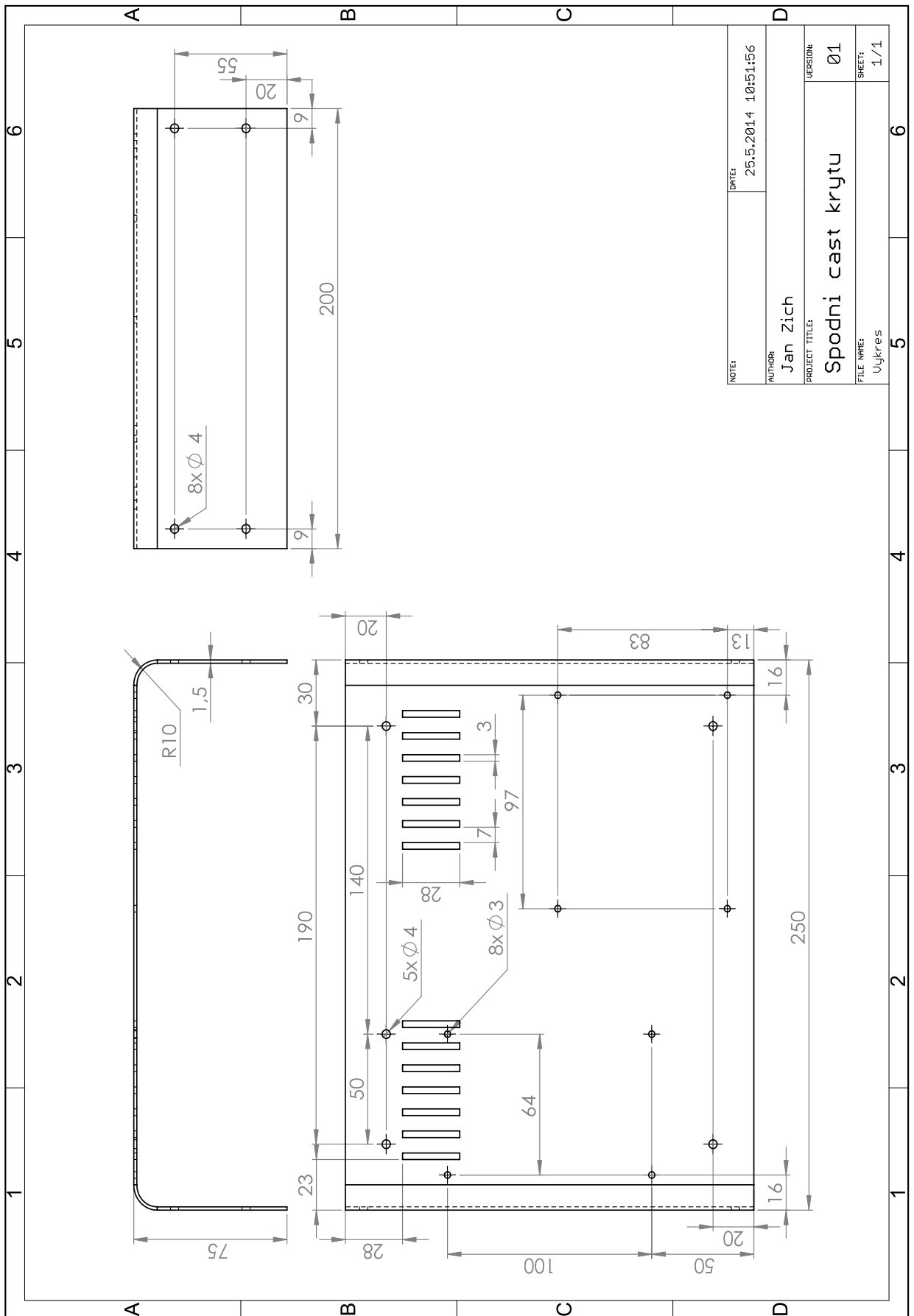
Příloha F - Výkres zadního panelu pouzdra



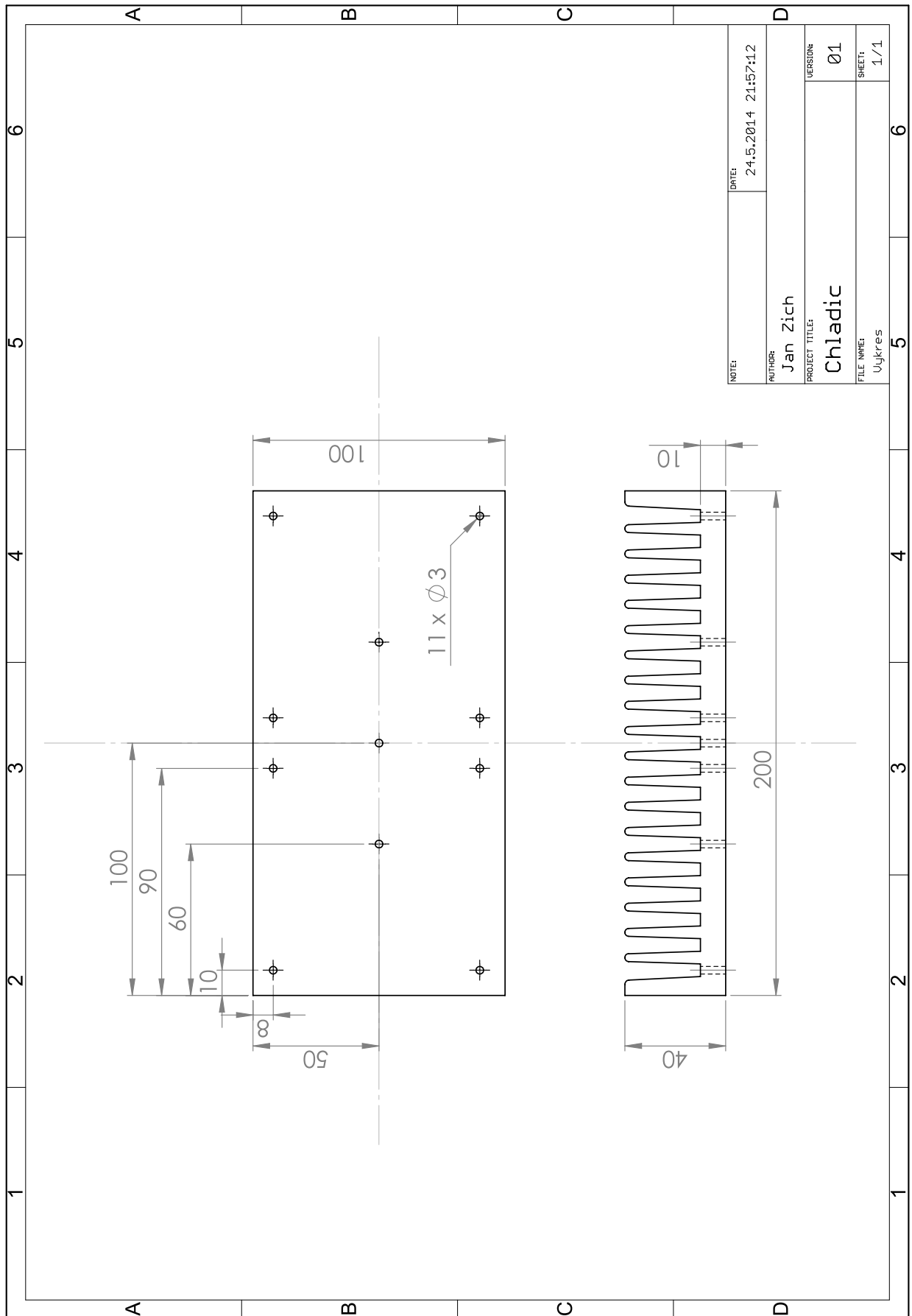
Příloha G - Výkres vrchní části krytu



Příloha H - Výkres spodní části krytu



Příloha I - Výkres osazení chladiče



Příloha J - Předloha pro popis panelů a ventilátorů

ELEKTRONICKÁ ZÁTĚŽ
DC, 40V, 10A

2ČU FEL 2014
JAN ZICH

USB + -

0201020

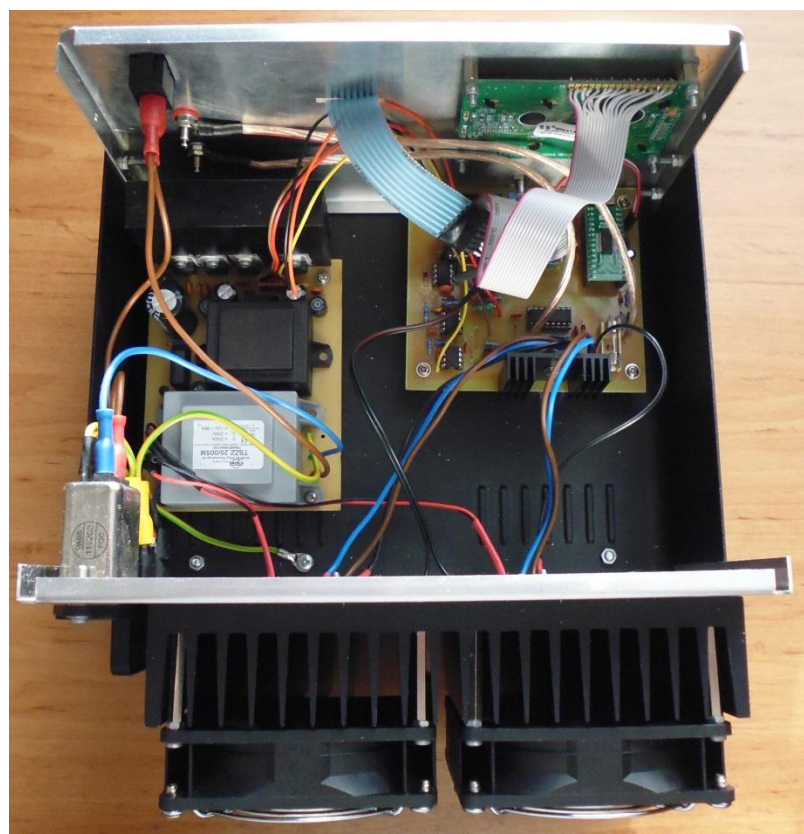
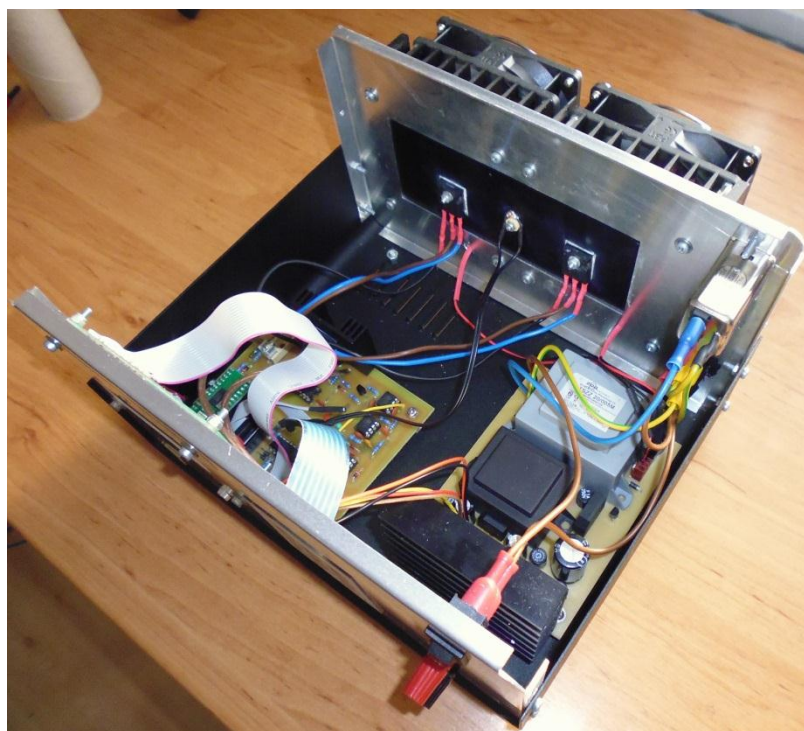
F 1A 230V



Příloha K - Výsledná podoba konstrukce – vnější pohled



Příloha L - Výsledná podoba konstrukce – vnitřní uspořádání



Příloha M - CD - Firmware