

# Přesná elektronická zátěž

Ivo Stražil

**Elektronická zátěž je jedním ze základních přístrojů pro měření a kontrolu napájecích zdrojů. Článek popisuje konstrukci elektronické zátěže s digitálním nastavením parametrů, možností vnější modulace proudu a práce v režimu konstantního proudu, odporu či napětí. Rozsah aplikací rozšiřuje i USB komunikace s počítačem, schopnost společného řízení více zátěží a funkce pro měření odebrané energie a vnitřního odporu zkoušeného zdroje.**

## Technické parametry

Napájení st.:	230 V, 6 W (síťový adaptér 12 V/0,8 A).
Proud testovaným zdrojem:	Rozsahy 0 až 1 A, 0 až 10 A; omezení ztrátového výkonu na 250 W krátkodobě, dlouhodobě podle chlazení.
Napětí testovaného zdroje:	0,8 až 32 V (rozsah 1 A); 1,6 až 32 V (rozsah 10 A).
Standardní nejistota měření napětí:	0,5 % +2 dgt, aut. volba rozsahu 10 V/30 V.
Standardní nejistota měření proudu:	0,15 % +3 dgt.
Standardní nejistota měření příkonu a energie:	0,9 % +2 dgt.
Standardní nejistota měření vnitř. odporu:	1,5 % +5 dgt.
Standardní nejistota regulace proudu:	0,25 %.
Standardní nejistota regulace napětí:	2,3 %.
Standardní nejistota regulace na konst. R:	2,0 %.
Modulace proudu:	vnitřní, větší 0 až 2,5 V do 20 kHz.
Vnější měření proudu:	výstup 2,35 V/1 A resp. 3,0 V/10 A.
Provozní teplota:	0 až 50 °C, nejistoty udány pro 25 °C.
Hmotnost:	2,1 kg.
Vnější rozměry:	254 x 178 x 76 mm.

## Koncepce

Elektronická zátěž (viz blokové schéma na obr. 1) je navržena tak, aby umožnila testování rozličných typů zdrojů v různých režimech regulace proudu.

Měřený zdroj se připojuje mezi svorky *Kladný pól* a *Záporný pól*, svorku *Součtová svorka* můžeme využít pro odebrání části proudu, který by jinak procházel regulačním tranzistorem.

V režimu **konstantního proudu** odebírá zátěž ze zdroje konstantní proud bez ohledu na napětí (napětí zdroje samozřejmě musí být vyšší než minimální - uvedené v technických parametrech). Úbytek napětí na měřicích rezistorech je zesilován blokem měření proudu a stupeň otevření

regulačního tranzistoru je řízen zesilovačem odchylky tak, aby byl skutečný proud roven proudu požadovanému, určenému napětím na výstupu převodníku D/A.

Referenční napětí převodníku D/A je možné elektronickým přepínačem přepnout na vnitřní referenční napětí 2,5 V, napětí na vstupu pro externí modulaci (takto je umožněna regulace citlivosti externího vstupu, protože signál stále prochází převodníkem D/A, který nyní pracuje jako elektronický potenciometr) nebo na výstup z odporového děliče měření napětí.

Touto volbou přejde přístroj do režimu **konstantního odporu**, kdy je proud zátěží přímo úměrný napětí na zátěži.

Posledním základním režimem práce je režim **regulace napětí**, kdy přístroj neodebírá žádný proud, pokud není napětí na jeho vstupních svorkách vyšší než nastavené. Po jeho dosažení se zařízení chová podle nastavení jako v režimu konstantního proudu nebo odporu. Tuto funkcionalitu zajišťuje komparátor napětí, který při nízkém napětí na svorkách přístroje nuluje požadovanou hodnotu proudu na výstupu z převodníku D/A.

## Popis zapojení

### Řídící obvody

Srdcem řídicích obvodů přístroje (viz schéma na obr. 2) je mikrokont-



rolér ATmega16 (IC4), běžící na hodinové frekvenci 16 MHz.

Mikrokontrolér snímá stav fóliové maticové klávesnice, připojené ke konektoru SL1, a přímo řídí podsvícený displej LCD 16x 2 znaků (LCD1). Kontrast displeje můžeme změnit změnou odporu rezistoru R28, jas podsvícení změnou odporu rezistoru R20; uvedené hodnoty jsou vhodné pro použitý displej MC1602B s červeným podsvitem.

Konektor SV1 na desce přístroje slouží k programování mikrokontroléru pomocí rozhraní ISP.

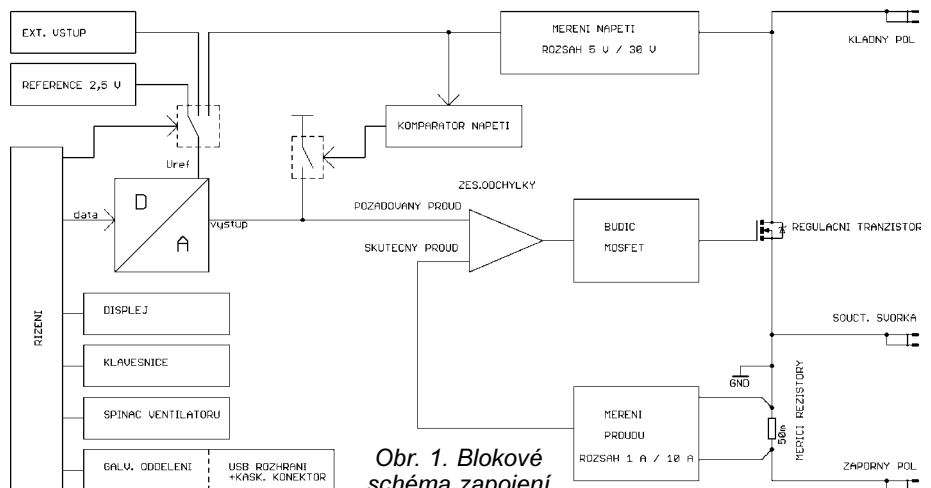
### Komunikační rozhraní

Spojení měřiče s okolím zajišťuje obvod USB rozhraní FT232R (IC8), což je inovovaná verze známého převodníku USB na asynchronní sériovou linku FT8U232BM, nyní bez potřeby vnějšího krystalu.

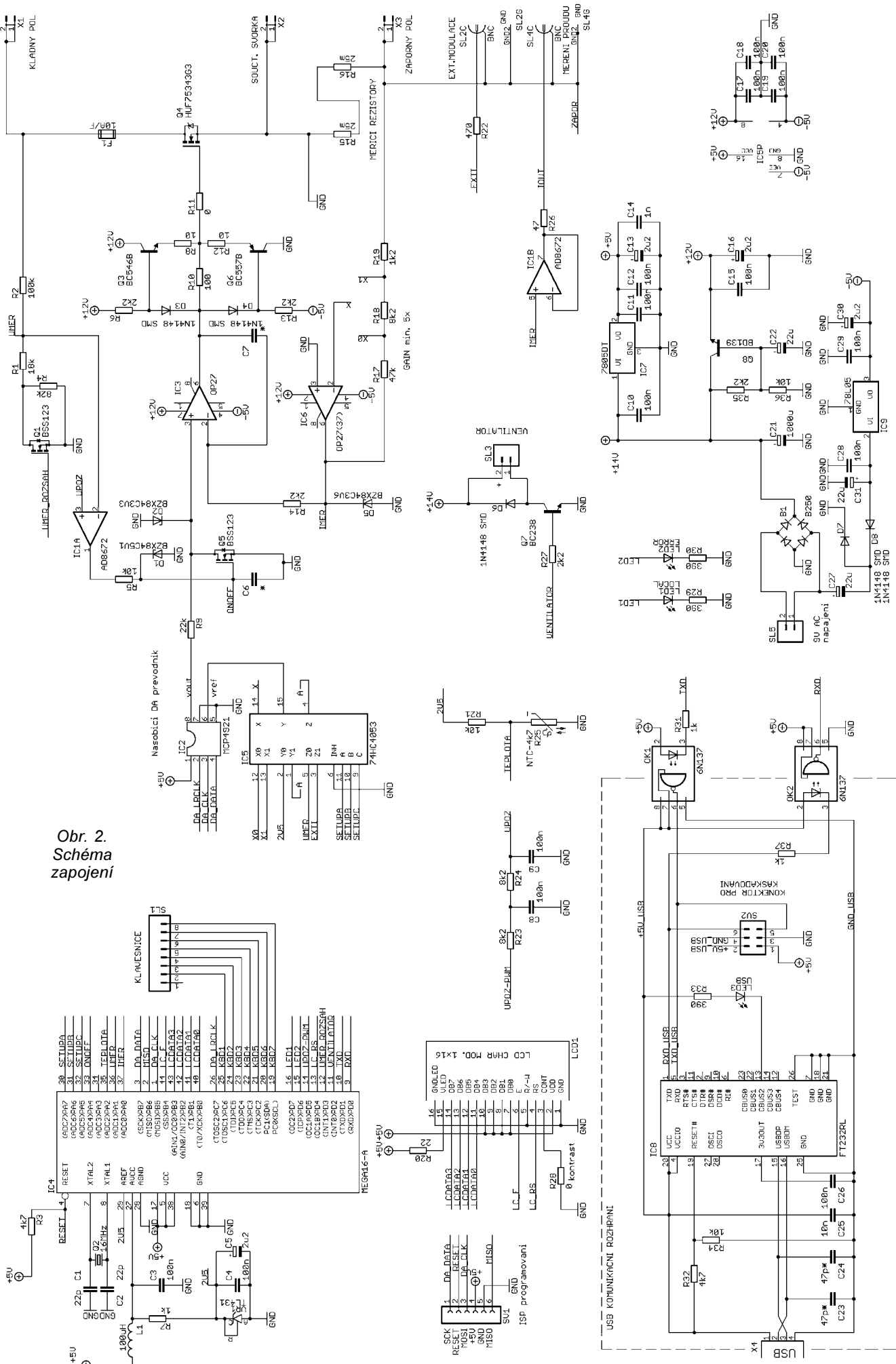
Kondenzátory C23, C34 odušují USB linku osazujeme jen v případě, že je komunikace nestabilní.

Obvod USB rozhraní je napájen z počítače, jeho galvanické oddělení od obvodů zátěže zajišťují optočleny OK1, OK2.

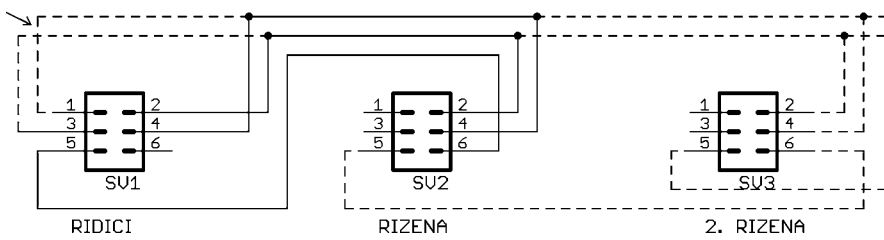
Pokud potřebujeme ovládat počítačem více než jednu zátěž, případně nastavovat parametry na více zátěžích současně z panelu jednoho přístroje, je možné propojením konektorů SV2 jednotlivých přístrojů podle schématu na obr. 3 propojit řízení na dvě či více zařízení. Každá zátěž má určenou adresu v systému v rozsahu 0 až 7; více zátěží může mít shodnou adresu, tyto přístroje poté přebírají



Obr. 1. Blokové schéma zapojení



Obr. 2.  
Schéma zapojení



Obr. 3. Propojení přístrojů

shodné hodnoty nastavení. Pokud je připojeno USB rozhraní a řídicí zátěž je v REMOTE režimu - dálkově řízena z počítače, jsou povely z počítače předávány všem přístrojům. Není-li USB rozhraní připojeno nebo je-li řídicí zátěž v lokálním režimu, jsou nastavení prováděná z jejího panelu předávána všem zátěžím, které mají stejnou adresu jako řídicí zátěž a jsou v režimu REMOTE (pro provoz bez připojeného USB konektoru je nutné na jedné zátěži spojit vývody 1-2 a 3-4 konektoru pro kaskádování, aby byly napájeny optočleny galvanického oddělení).

Při připojení USB konektoru a korektním navázání komunikace svítí LED USB, při přepnutí přístroje do REMOTE režimu navíc i LED REMOTE.

Komunikační protokol je znakový a jeho dokumentace je volně ke stažení.

### Měřicí obvody

Proud z měřeného zdroje teče svorkou *Kladný pól* (X1) přes rychlou tavnou pojistku F1 (10 A) a regulační tranzistor Q4 k *součtové svorce* (X2) a dále přes dvojici sériově zapojených rezistorů R15, R16 na svorku *záporného pólu* (X3).

Průchod proudu mezi svorkami X3 a X1 (resp. X2) vyvolává úbytek napětí na rezistorech R15/R16, který je zesilován operačním zesilovačem IC6, zapojeným jako invertující zesilovač s přepínatelným zesílením. Volba zesílení určuje zvolený proudový rozsah přístroje a je realizována přepínáním záporného vstupu OZ mezi pozicemi X0 (rozsah 10 A) a X1 (rozsah 1 A) v odporovém děliči R17/R18/R19 běžným multiplexerem 74HC4053 (IC5). Při této topologii zapojení není na závodu vnitřní odpor spínačů v obvodu IC5, protože jimi prochází pouze zanedbatelný vstupní proud operačního zesilovače.

Kladný vstup OZ je na DPS přiveden zvláštním vodičem přímo k rezistoru R15 tak, aby úbytky napětí společně zemní ploše nevyvolávaly chybu měření.

Měřicí rezistory R15/R16 Welwyn OAR5 jsou ve speciálním provedení pro měřicí přístroje s teplotním koeficientem menším než 20 ppm/°C, jejich ohřev tedy nevyvolává významnou přídavnou chybu měření.

Celkový převod obvodu měření proudu pro jednotlivé rozsahy určíme z úbytku napětí na rezistorech R15/R16 a zesílení obvodu IC6 jako:

$$A_{\text{rozsah 10A}} = (R_{15} + R_{16}) \cdot \frac{R_{17}}{R_{18} + R_{19}} = 0,25 \text{ VA}^{-1} [\text{VA}^{-1}; \Omega] \quad (1)$$

$$A_{\text{rozsah 1A}} = (R_{15} + R_{16}) \cdot \frac{R_{17} + R_{18}}{R_{19}} = 2,3 \text{ VA}^{-1} [\text{VA}^{-1}; \Omega] \quad (2)$$

Výstupní napětí, odpovídající měřenému proudu, je přivedeno vodičem IMER na vstup převodníku A/D mikrokontroléru a dále přes oddělovací zesilovač IC1B na výstupní konektor BNC (SL4) pro připojení osciloskopu. Zem tohoto výstupního konektoru je pro snazší užití s uzemněným zdrojem spojena se svorkou *Zápor* - výstupní napětí na výstupu z OZ IC1B je tedy navýšeno o úbytek na měřicích rezistorech a převodní koeficienty pro tento výstup jsou 2,35 V/A pro rozsah 1 A, resp. 0,3 V/1 A pro rozsah 10 A.

Zenerova dioda 3,6 V (D5) chrání převodník A/D mikrokontroléru před poškozením v případě, kdy bude na výstupu OZ IC6 z jakéhokoliv důvodu vyšší nebo záporné napětí, například při přepólování vstupních svorek nebo při poruše regulačních obvodů. Proud Zenerovou diodou je omezován vnitřní nadproudovou ochranou IC6.

Napětí na zátěži se měří odporovým děličem R2/R1-R4; výstupní napětí na vodiči UMER je vzorkováno mikrokontrolérem a je přivedeno do OZ IC1A pro řízení zátěže v režimu regulace napětí. Přístroj automaticky volí rozsah otevřením nebo zavřením tranzistoru Q1 (BSS123). Při otevřeném tranzistoru je rezistor R4 zkrácen zanedbatelným vnitřním odporem kanálu  $R_{\text{DS on}}$  Q1 (asi 10  $\Omega$ ) a je zvolen rozsah 30 V, při zavřeném tranzistoru je rozsah měření 10 V.

Jako hlavní napěťová reference je užitá referenční dioda TL431C (VR1), nastavená na napětí 2,5 V. Toto napětí slouží jako referenční pro převodník A/D mikrokontroléru a jako referenční napětí převodníku D/A v režimu konstantního proudu.

Na tomto místě je vhodné zmínit, že na žádném místě v přístroji není vyžadováno použití přesných rezistorů, pouze rezistorů teplotně stabilních. Setrvalé chyby hodnot se vykompenzují při softwarové kalibraci přístroje, ale nesmí být použity takéové součástky, které jsou nadměrně teplotně závislé nebo jinak mění své vlastnosti, například stárnutím.

Požadovaný proud se nastavuje 12bitovým násobícím převodníkem D/A Microchip MCP4921 (IC2). Obvod je vybaven volitelným dvojnásobným zesílením výstupního napětí, které vlastně rozšiřuje rozlišení převodníku o třináctý bit. Vstup referenč-

ního napětí *vref* je ve struktuře IC2 vybaven oddělovacím zesilovačem a má vysokou vstupní impedanci, takže bylo možné pro připojování jednotlivých zdrojů referenčního napětí (2,5 V z VR1, externí vstup na SL2 a výstup z děliče měření napětí - vodič UMER) použít zbylé sekce Y a Z multiplexeru 4053 (IC5). Pomocí převodníku D/A se také uskutečňují požadované modulace proudu zátěží.

Výstup převodníku D/A je přes rezistor R9 přiveden ke spínači s tranzistorem Q5. Tento obvod slouží k vypínání zátěže a k realizaci funkce regulace napětí.

Celý obvod je ovládán mikrokontrolérem pomocí vodiče ONOFF:

- Je-li vodič ONOFF v úrovni L, je tranzistor Q5 trvale zavřený a přístroj je v normálním provozním režimu bez regulace napětí.

- Je-li vodič ONOFF v úrovni H, je tranzistor Q5 plně otevřený a zkratuje výstupní napětí z převodníku D/A. Proud zátěží je tedy nulový - zátěž je vypnutá.

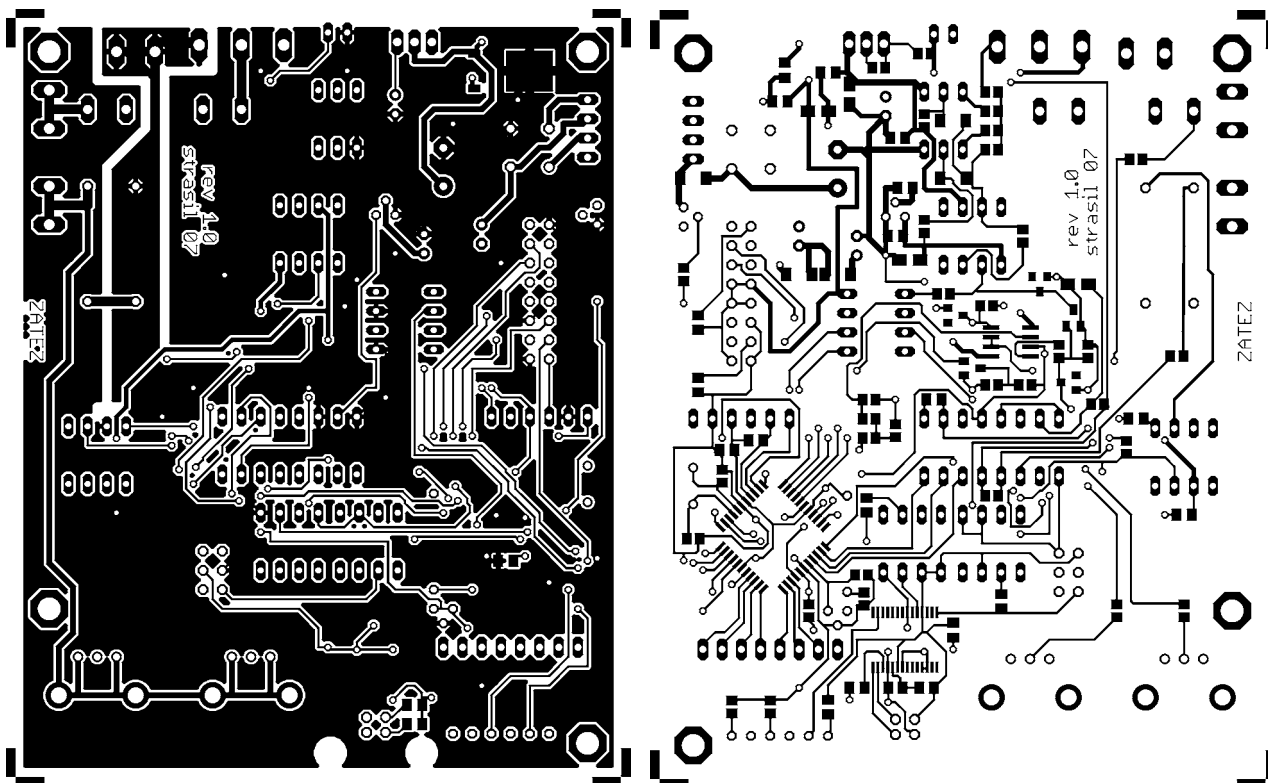
- Je-li vodič ONOFF ve stavu vysoké impedance, je zvolen režim regulace napětí. Gate tranzistoru Q5 je ovládána výstupem z OZ IC1A, který srovnává požadované minimální napětí na zátěži (vodič UPOZ) se skutečným napětím (vodič UMER). Napětí na vodiči ONOFF odpovídá stavu otevření tranzistoru a je čteno převodníkem A/D mikrokontroléru, který tak může detekovat případné kmitání připojeného zdroje a zobrazit varování.

Jednoduché zapojení obvodu IC1A neumožňuje v režimu regulace napětí kompenzovat chybu, způsobenou úbytkem na rezistorech měření proudu R15/R16, proto je tento režim regulace oproti ostatním relativně nepřesný. V režimu konstantního odporu se chyba neuplatní, je kompenzována softwarovým odečtením odporu dvojice R15/R16 od požadovaného odporu zátěže.

Napětí na vodiči UPOZ je generováno modulací PWM v mikrokontroléru a filtrováno dvojitým článkem RC R23/C8, R24/C9.

Zesilovač odchylky s OZ IC3 řídí proud zátěží tak, aby vyrovnal napětí, odpovídající skutečnému proudu (vodič IMER), s napětím, určujícím požadovaný proud (drain Q5). Pro případ poruchy řídicích obvodů nebo přivedení nadměrného napětí na vstup externí modulače je hodnota požadovaného proudu omezena před vstupem do zesilovače odchylky Zenerovou diodou D2. D5 musí mít vyšší stabilizační napětí než D2, aby regulace fungovala při otevření D2 správně a nesešel se nekontrolovaně regulační tranzistor.

IC3 ovládá přes jednoduchý budič s tranzistorem Q3, Q6 regulační tranzistor MOSFET HUF75343G3 (Q4). Tento typ tranzistoru byl zvolen pro malý  $R_{\text{DS on}} = 9 \text{ m}\Omega$ , který umožňuje provoz zátěže při velkých proudech a malém úbytku napětí. Pro zlepšení spolehlivosti je tranzistor značně vý-



Obr. 4. Deska s plošnými spoji

konově předimenzovaný (katalogové údaje pro trvalý provoz 75 A, 55 V, 270 W).

Nabíjecí a vybíjecí proudy parazitní kapacity  $C_{es}$  Q4 neovlivňují měření, protože neprochází měřicími rezistory proudu a vrací se do země přístroje ihned přes source Q4.

Některé další měřicí funkce jsou realizovány výpočetně mikrokontrolérem, například měření kapacity akumulátorů nebo měření vnitřního odporu zdroje při různých proudových zátěžích.

Jako operační zesilovače v přesných obvodech měření proudu a zesilovače byly zvoleny OZ OP27, které jsou pro amatérskou stavbu přístroje dostatečně dobře dostupné. Na pozici IC6 je možné použít i OZ OP37 (dekompenzovaná verze OP27), který zlepšil frekvenční charakteristiku obvodu za cenu nutnosti osazení kompenzačního kondenzátoru C7 do obvodu zesilovače odchylky. Kapacitu C7 určíme experimentálně jako nejmenší, při které nebude zátěž samovolně kmitat (asi 100 pF).

Vlastnosti přístroje při vyšších frekvencích (nad 1 MHz) můžeme zlepšit použitím rychlejších operačních zesilovačů s malým ofsetem a vysokou rychlostí přeběhu, například LT1468. Tyto OZ jsou však dosti nákladné a pro běžná měření v oblasti lineárních a spínaných stejnosměrných zdrojů nepřinesí jejich užití žádnou měřitelnou výhodu.

Typ OZ IC1 - AD8672 s malým ofsetem a vysokou rychlostí přeběhu již není kritický a je možné jej nahradit bez významné ztráty přesnosti standardním obvodem, například LM358. V případě kmitání obvodu regulace napětí (IC1A) můžeme osadit kondenzátor C6 s kapacitou 1 až 100 nF.

## Napájecí zdroj

Přístroj je napájen síťovým adaptérem se střídavým výstupem 12 V, 800 mA (MW1208AC). Výstupní vodič adaptéru je připojen do zásuvky na zadním panelu přístroje a odtud na konektor SL5 na DPS.

Napájecí napětí je usměřeno Graetzovým můstkem B1 a vyhlazeno kondenzátorem C21. Napájení digitální části přístroje napětím 5 V je stabilizováno obvodem IC7, napájecí napětí analogové části je pouze vyhlazeno násobičem kapacity s tranzistorem Q8. Napájení převodníku A/D mikrokontroléru a napěťové reference VR1 je navíc filtrováno filtrem LC L1/C3.

Záporné napájecí napětí, potřebné pro korektní funkci použitých operačních zesilovačů v okolí nulových vstupních a výstupních napětí, je získáno násobičem (diody D7, D8) a stabilizováno obvodem IC9 na -5 V.

Aktivní chlazení přístroje zajišťuje ventilátor, spínaný tranzistorem Q7 podle teploty chladiče, která je periodicky měřena mikrokontrolérem pomocí termistoru R25.

## Mechanická konstrukce

DPS přístroje je oboustranná prokovená s nepájivou maskou (obr. 4 až 6). Mimo DPS je umístěn jen displej, který připojíme plochým kabelem do konektoru LCD1, a klávesnice. Samotná fóliová klávesnice je zakončena velmi krátkým páskovým vodičem, ukončeným konektorem, který přilepíme na zadní stranu čelního panelu přístroje a spojíme sedmi vodiči s konektorem SL1 na DPS měřiče. Ventilátor připojíme do konektoru SL3, napájecí konektor k SL1 a konektory fast-on X1 až X3 spojíme lankem o průřezu 2,5 mm<sup>2</sup> s dostatečně di-

menzovanými přístrojovými zdírkami, které umístíme na čelní panel.

Přístroj je vestavěn v plastové krabici typu SP-7771. Čelní panel je použit plastový, dodávaný s krabíčkou, do kterého vyvrtáme díry pro zdírky a vyřezáme otvory pro displej, přívodní plochý kabel klávesnice a konektory, umístěné na DPS. Zadní panel nese pouze napájecí konektor. Samotná DPS je připevněna na distančních sloupcích ke spodnímu dílu krabíčky.

Na předním panelu je nalepen štítek podle obr. 7, vytištěný počítačem na samolepící fólii a přelepený průhlednou samolepící fólií. Teprve na tento štítek lepíme fóliovou klávesnici, kterou předem upravíme odstrihnutím horní části, kde nejsou umístěna tlačítka, tak, aby se výškově vešla na panel.

V zadní části krabíčky je umístěn černěný hliníkový chladič s tepelným odporem 1,8 K/W, ke kterému jsou přišroubovány tranzistory Q4 a Q8. Tranzistor Q4 můžeme montovat bez izolační podložky - jeho chladič plocha je vnitřně izolována. Nezapomeneme na teplovodivou pastu zejména pod tranzistor Q4! Teplotu chladiče snímá tepelně vodivým lepidlem připevněný termistor R25.

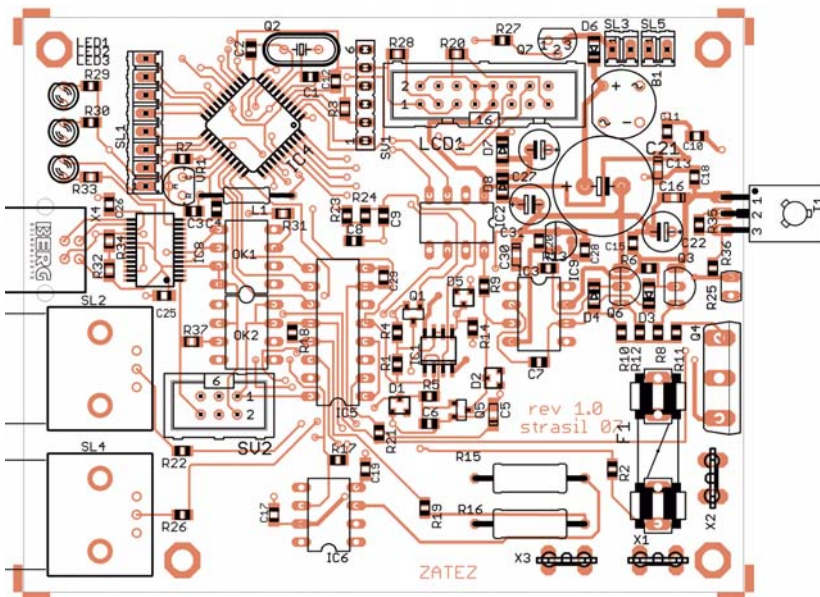
## Ovládání přístroje

Po zapnutí přístroje se na displeji krátce objeví identifikace přístroje, verze firmware a nastavená adresa. Poté se zobrazí standardní zobrazení:

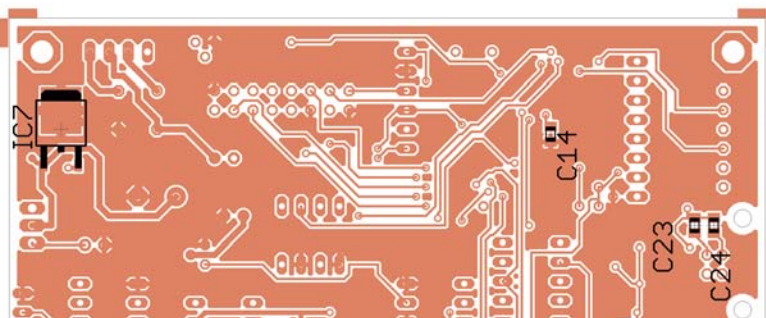
I const. 1,000 A  
0,998 A 17,56 V

Na prvním řádku displeje je vždy zobrazen režim funkce a požadovaná hodnota, druhý řádek zobrazuje skutečné napětí a proud zátěží.





Obr. 5. Rozmístění součástek



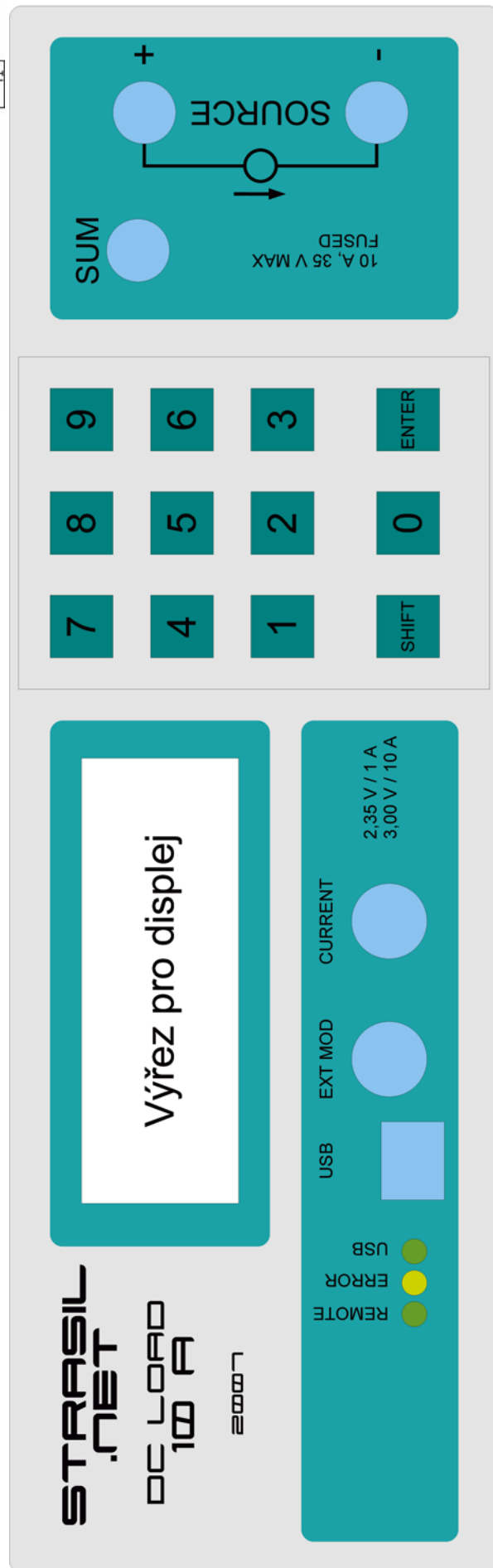
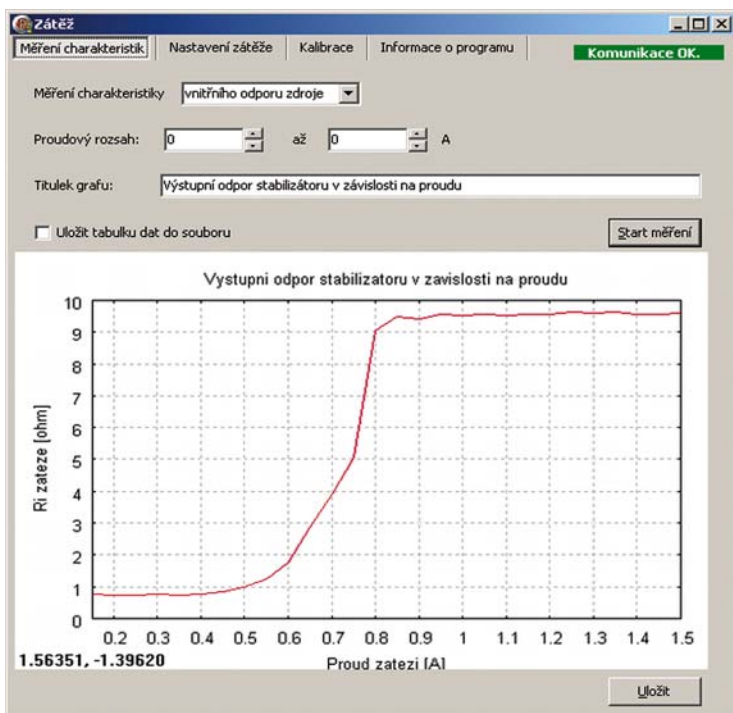
Obr. 6. Rozmístění součástek SMD

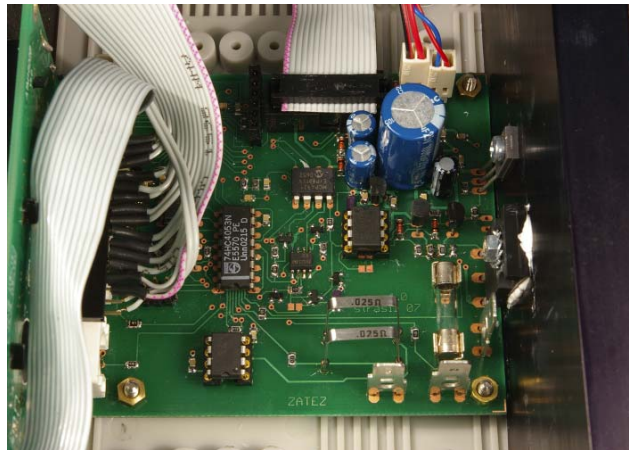
Stiskem klávesy Enter zapínáme a vypínáme zátěž. Tlačítkem Shift přepínáme mezi režimy zobrazení v druhém řádku, kdy můžeme volit i zobrazení odebrané energie (kapacity při použití zátěže k vybití baterií) nebo výkonu.

Klávesa 0 slouží pro vstup do menu, kde můžeme nastavit režim práce přístroje a vlastnosti komunikace. Klávesy s kurzorovými šipkami slouží pro vstup do menu přístroje; ostatní klávesy umožňují rychlé při-

Obr. 7. Přední panel

Obr. 8. Obslužný program





mé zadání požadovaných hodnot nebo jejich změnu o řád nahoru/dolů.

Kompletní návod k obsluze stejně jako návod k obslužnému programu pro Windows, který umožňuje grafické zobrazení charakteristik (viz obr. 8) a kalibraci přístroje, je z důvodu značného rozsahu umístěn pouze na www stránce přístroje.

### Osazení a oživení

Při osazování desek s plošnými spoji postupujeme běžným způsobem. Napřed osadíme SMD integrované obvody, které lze jednoduše zapájet při použití kvalitního pájecího drátu a dostatku tavidla (používám pájku Stannol Sn60Pb38Cu2 a tavidlo MTL 468) „přejetím“ řady nožiček křížovou pinzetou dočasně přichyceného obvodu horkou páječkou s velkou kuličkou pájky. Přebytečný cín poté odsajeme odsávací ličnou, DPS omyjeme izopropylalkoholem a pod lupou pájení zkontrolujeme.

Zapojení je relativně jednoduché a mělo by pracovat při pečlivé práci na první zapojení, pouze je vhodné zkontrolovat osciloskopem průběh výstupního proudu v režimech s modulací a případně zákmity odstranit osazením kondenzátoru C7.

Pokud nepracuje řídicí část zapojení, ověřte správnost naprogramování mikrokontroléru a kmitání krystalu Q2. Při závadě v analogové části napřed ověřme funkci obvodů měření napětí a proudu kontrolou napětí na vodičích UMER a IMER, dále podle charakteru závady ověřme v režimu konstantního proudu napětí na výstupu převodníku D/A a drainu Q5, které musí odpovídat požadovanému proudu. Následně ověřme funkci zesilovače odchylky IC3, budiče s Q3, Q6 a případně i stav samotného regulačního tranzistoru Q4 (přístup k elektrodě gate si uvolníme odpájením nulového rezistoru R11).

Po dokončení kontroly spojíme přístroj pomocí USB rozhraní s počítačem, nastavíme obvod FT232R programem MProg (soubor s nastavením je přístupný na www stránce přístroje) a po instalaci a spuštění ovládacího programu zátěže uskutečnime kalibraci, která spočívá v připojení zátěže ke zdroji a zadávání údajů

kontrolního ampérmetru a voltmetru do přístroje. Jako kontrolní ampérmetr a voltmetr vyhoví libovolné přístroje třídy přesnosti 0,1.

### Seznam součástek

R1	18 kΩ, SMD 0805
R2	100 kΩ, SMD 0805
R3, R32	4,7 kΩ, SMD 0805
R4	82 kΩ, SMD 0805
R5, R21, R34, R36	10 kΩ, SMD 0805
R6, R13, R14, R27, R35	2,2 kΩ, SMD 0805
R7, R31, R37	1 kΩ, SMD 0805
R8, R12	10 Ω, SMD 0805
R9	22 kΩ, SMD 0805
R10	100 Ω, SMD 0805
R11, R28	0 Ω, SMD 0805
R15, R16	25 mΩ, Welwyn OAR5, 5 W
R17	47 kΩ, SMD 0805
R18, R23, R24	8,2 kΩ, SMD 0805
R19	1,2 kΩ, SMD 0805
R20	22 Ω, SMD 0805
R22	470 Ω, SMD 0805
R25	4,7 kΩ, NTC
R26	47 Ω, SMD 0805
R29, R30, R33	390 Ω, SMD 0805
C1, C2	22 pF, SMD 0805
C3, C4, C8 až C12, C15, C17 až C20, C28, C29	100 nF, SMD 0805 X7R
C5, C13, C30	2,2 μF SMD Tn vel. A
C6, C7	viz text
C14	1 nF, SMD 0805 NPO
C21	1000 μF/35 V
C22, C27, C32	22 μF/35 V
C23, C24	47 pF, SMD 0805
C25	10 nF SMD 0805 X7R
D1	BZX84 5,1 V
D2	BZX84 3,3 V
D3, D4, D6 až D8	1N4148 MINIMELF
D5	BZX84 3,6 V
B1	B250
IC1	AD8672
IC2	MCP4921
IC3, IC6	OP27
IC4	ATMega16-16PU
IC5	74HC4053
IC7	7805DT (SMD)
IC8	FT232RL
IC9	79L05
L1	TLEC24 0,1 mH
LCD1	MLW16
LED1 až LED3	3 mm, LED
OK1, OK2	6N137

Q1, Q5	BSS123
Q2	Miniaturní 16 MHz
Q3	BC546B
Q4	HUF75343G3
Q6	BC557B
Q7	BC238
Q8	BD139
SL1	PSH02-08PG
SL2, SL4	BNC-Z 50RW
SL3, SL5	PSH02-02PG
displej	LCD 2x 16 znaků
SV1	dut. lišta 6 pinů
SV2	ML06
VR1	TL431C
X1-X3	faston 4,8 mm
X4	PN61729
F1 pojistka 10 A/F včetně držáku	
Součástky mimo DPS (značení podle GM Electronic)	
krabička U-SP7771	
napájecí konektor 2,5 mm	
3 ks přístrojové zdičky	
fóliová klávesnice STD34-07 (GES ELECTRONICS)	
napájecí zdroj MW1208AC	

### Závěr

Popisovaná konstrukce umožňuje s relativně nízkými náklady doplnit laboratoř o přesný a pohodlně ovladatelný přístroj pro všestranné testování napájecích zdrojů a měření kapacity akumulátorů.

Všechny použité součástky jsou běžně dostupné, kromě rezistorů R15, R16 a tranzistoru Q4, které dodává i v kusových množstvích například firma Farnell ([www.farnell.com/cz](http://www.farnell.com/cz)) přes své distributory v ČR.

V případě zájmu čtenářů je možné otestovat a zveřejnit i upravenou verzi zátěže pro střídavá měření s FET usměrňovačem.

*Pokud máte jakékoliv náměty, dotazy nebo připomínky, kontaktujte mě prosím na e-mailu: [ivo@strasil.net](mailto:ivo@strasil.net)*

Firmware, software pro PC, štítky, návod k obsluze, popis komunikačního protokolu a případně doplňující informace jsou dostupné na [www.strasil.cz](http://www.strasil.cz).

### Literatura

- [1] Krejčířik, A.: *Napájecí zdroje 3*. BÉN Praha, 2002. 352 s.  
 [2] Horowitz, P.; Hill, W.: *The Art of Electronics*. Cambridge University Press, 1989. 1125 s.