

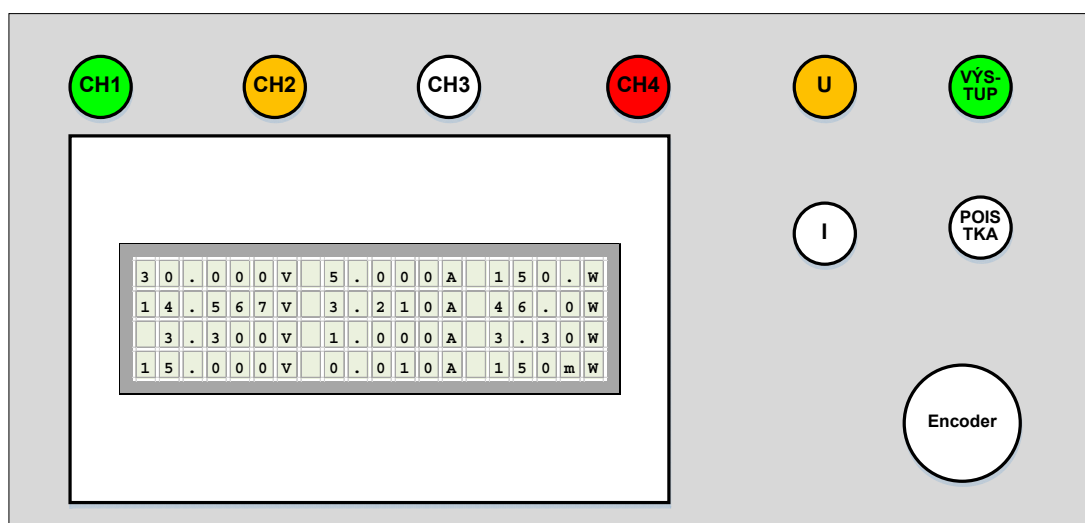
Napájací zdroj ZENIT 2017: špecifikácia riadiaceho programu

autor: Daniel Valúch, január 2017

Konštrukcia prináša sofistikovanejšiu, ale stále pomerne jednoduchý napájací zdroj do domáceho laboratória. Zdroj pozostáva z riadiacej jednotky a niekoľkých modulov lineárneho napájacieho zdroja s predreguláciou. Architektúra prístroja bola navrhnutá s ohľadom na flexibilitu a možnosť číslicového riadenia.

K riadiacej jednotke je možné pripojiť jeden až štyri galvanicky oddelené moduly napájacieho zdroja. Typické výstupné parametre s bežnými súčiastkami sú 0-30 V, 0-3 A.

Riadiaca jednotka obsahuje LCD displej 20x4 znakov, ovládacie prvky a USB interface pre pripojenie k externému PC.



Užívateľský interface

Užívateľský interface pozostáva z LCD displeja 20x4 znakov, 8 podsvietených tlačidiel (CH1, CH2, CH3, CH4, U, I, Poistka, Výstup) a rotačného enkódera pre ovládanie nastavení. Užívateľský interface je navrhnutý pre maximálne jednoduché ovládanie princípom zvol' funkciu - zadaj hodnotu - potvrd'.

LCD displej 20x4 znakov zobrazuje hodnoty napätia a prúdu. U aktívnych (zapnutých) výstupov zobrazuje skutočné namerané hodnoty, u neaktívnych výstupov zobrazuje nastavené hodnoty. Príklad zobrazenia

3	0	.	0	0	0	V	5	.	0	0	0	A	F	u	s	L
1	4	.	5	6	7	V	3	.	2	1	0	A				
	3	.	3	0	0	V	1	.	0	0	0	A	T	r	i	p
1	5	.	0	0	0	V	0	.	0	1	0	A				

Podsvietené tlačidlá zobrazujú stav príslušného kanálu, alebo funkcie. Vo všeobecnosti zelená znamená aktívny stav, červená poruchu, alebo limitáciu, oranžová prebiehajúcu aktivitu.

Stav prístroja a dôležité premenné

Okamžitý stav prístroja je uložený v nasledujúcich premenných v RAM.

U1setpoint	želaná hodnota výstupného napätia kanál 1 (V, float) Ostatné kanály: U2setpoint, U3setpoint, U4setpoint
U1meas	zmeraná hodnota výstupného napätia kanál 1 (V, float) Ostatné kanály: U2meas, U3meas, U4meas
I1setpoint	maximálna hodnota výstupného prúdu pre kanál 1 (A, float) Ostatné kanály: I2setpoint, I3setpoint, I4setpoint
I1meas	zmeraná hodnota výstupného prúdu kanál 1 (A, float) Ostatné kanály: I2meas, I3meas, I4meas
Ch1Enabled	zapnutie kanála 1 povolené (bool) Ostatné kanály: Ch2Enabled, Ch3Enabled, Ch4Enabled
Ch1Status	stav kanála 1 (bool 1 = kanál aktívny, 0 = kanál neaktívny) Ostatné kanály: Ch2Status, Ch3Status, Ch4Status
Fuse1Ena	elektronická poistka kanál 1 povolená (bool) Ostatné kanály: Fuse2Ena, Fuse3Ena, Fuse4Ena
Fuse1Trip	elektronická poistka kanál 1 vybavila (bool) Ostatné kanály: Fuse2Trip, Fuse3Trip, Fuse4Trip
Ch1Ilimit	kanál 1 pracuje v prúdovom režime (limituje) (bool) Ostatné kanály: Ch2Ilimit, Ch3Ilimit, Ch4Ilimit
OutEnabled	hlavný odpojovač výstupu (bool 1 = povolené výstupy zapnuté, 0 = všetky výstupy vypnuté)
Umax, Umin	maximálna a minimálna hodnota napätia (V, konštanta float)
Imax, Imin	maximálna a minimálna hodnota prúdu (A, konštanta float)

Komunikácia riadiacej jednotky s jednotlivými zdrojmi

Hlavná riadiaca doska, budeme ju nazývať "master", je osadená mikrokontrolérom ATmega328 vo forme dosky Arduino Nano. Master komunikuje s podriadenými plug-in modulmi prostredníctvom sériovej linky (UART), rýchlosťou 9600 baud, 8 dátových bitov, žiadna parita, jeden stop bit. Pre jednoduchosť riadiaceho programu a debugovanie počas súťaže bola zvolená komunikácia čistým textom v ASCII.

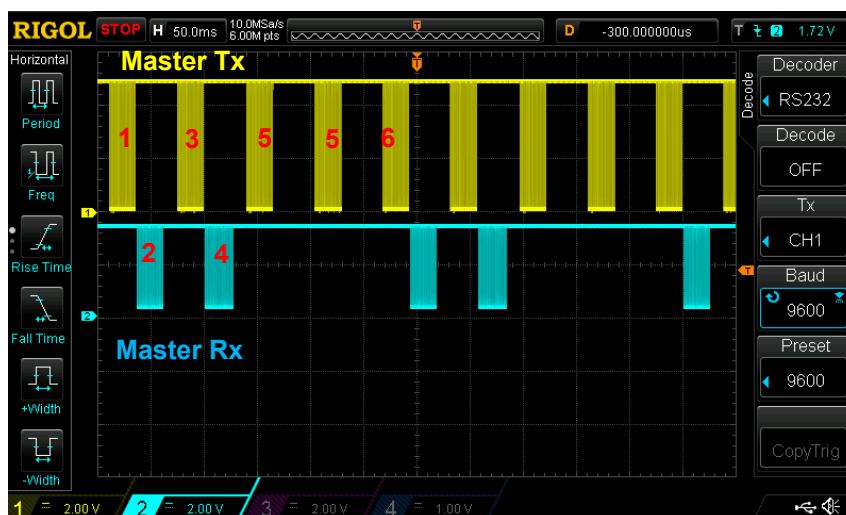
Zbernica je organizovaná do hviezdy, t.j. Tx výstup mastra je pripojený na Rx vstupy všetkých štyroch plug-in modulov. Tx výstupy všetkých štyroch modulov sú zapojené paralelne a

pripojené na Rx vstup mastra. Aby sa zabránilo konfliktom na Rx zbernici, komunikácia na musí byť arbitrovaná.

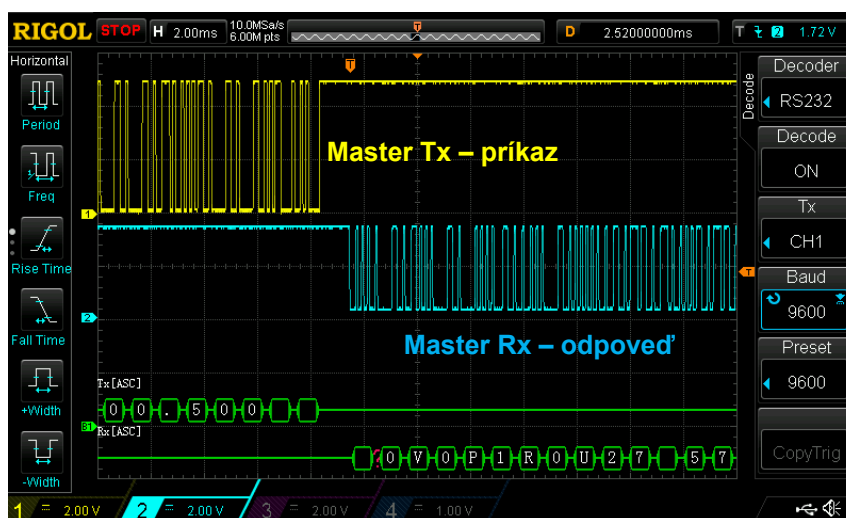
Na prijatý paket sa nečaká, t.j. ak na zbernici nie je plug-in s danou adresou, po uplynutí rezervovanej doby odozvy master vysiela paket pre nasledujúci plug-in. Optimálny čas medzi vyslaným paketmi, ktorý zabezpečí plynulé prekresľovanie displeja je 30 až 50 ms.

Komunikácia master – plug-in prebieha nasledovne:

- 1) Master pošle paket s nastaveniami plug-inu s adresou *0, paket prijmú všetky plug-iny. Odoslanie paketu trvá približne 25 ms.
- 2) Plugin s adresou *0 hneď po dekódovaní správy odpovie paketom s nameranými údajmi. Príjem paketu trvá približne 25 ms.
- 3) Master pošle paket s nastaveniami plug-inu s adresou *1, paket prijmú všetky plug-iny. Odoslanie paketu trvá približne 25 ms.
- 4) Plugin s adresou *1 hneď po dekódovaní správy odpovie paketom s nameranými údajmi. Príjem paketu trvá približne 25 ms.
- 5) ... opakuje sa pre ostávajúce plug-iny *2 a *3
- 6) Návrat do bodu 1



Obr. 2: Príklad komunikácie Master – plug-in moduly. Žltá krivka master Tx, modrá master Rx



Obr. 3: Detail komunikácie Master – plug-in modul *0.

Špeciálny prípad komunikácie je prenos povelu pre všetky moduly naraz, vtedy sa použije adresa *F

- 1) Master pošle paket s adresou *F, paket prijímú všetky plug-iny
- 2) Každý plugin okamžite použije príkaz ale na paket neodpovedá!

Štruktúra paketu s nastaveniami od Mastra pre jeden plug-in modul

Vysiela sa vždy kompletný paket o dĺžke 24 znakov. Paket má formát

***3V1P0R0U12.345I09.999**

kde:

- *3 je adresa prijímacieho plug-in modulu. Kanál 1: *0, kanál 2: *1, kanál 3: *2, kanál 4: *3
- V1 výstup zapnúť (V1), výstup vypnúť (V0)
- P1 elektronická poistka zapnúť (P1), vypnúť (P0)
- R1 príkaz vymazať elektronickú poistku (R1), inak sa vysiela R0
- U12.345 nastavenie napätia vo formáte Uxx.xxx , jednotka Volt
- I09.999 nastavenie prúdu vo formáte Ixx.xxx , jednotka Ampér
- Ukončovacie znaky CR+LF (\n)

Poznámka: Prenos jedného paketu trvá 25 milisekúnd!

Príklad: chceme nastaviť kanál 1, výstupné napätie $U_1 = 5.000$ V, maximálny prúd $I_1 = 2.500$ A, povoliť zapnutie kanálu bez elektronickej poistky.

Výsledný paket, ktorý sa pošle bude vyzeráť nasledovne: ***0V1P0R0U05.000I02.500**

Štruktúra paketu s odpoveďou od plug-in modulu pre Mastra

Vysiela sa vždy kompletný paket o dĺžke 24 znakov. Paket má formát

***0V1P0R0U12.345I09.999**

kde:

- *0 je adresa vysielajúceho plug-in modulu. *0, *1, *2, *3
- V1 výstup je zapnutý (V1), výstup je vypnutý (V0)
- P1 stav elektronickej poistky. P1 = poistka vybavila, P0 = poistka OK
- R1 stav prúdovej limitácie. R1 = zdroj limituje prúd, R0 = zdroj v napäťovom režime
- U12.345 zmerané výstupné napätie vo formáte Uxx.xxx , jednotka Volt
- I09.999 zmeraný výstupný prúd vo formáte Ixx.xxx , jednotka Ampér
- Ukončovacie znaky CR+LF (\n)

Poznámka: Prenos jedného paketu trvá 25 milisekúnd!

Príklad: odpovedá kanál 2, zmerané výstupné napätie $U_2 = 15.100$ V, zmeraný výstupný prúd $I_2 = 0.523$ A, výstup je zapnutý, poistka aktívna, ale nevybavila, zdroj pracuje v napäťovom režime. Výsledný paket, ktorý plug-in modul pošle mastrovi bude vyzeráť nasledovne: ***1V1P0R0U15.100I00.523**

Štruktúra paketu s nastaveniami od Mastra pre všetky plug-in moduly

Vysiela sa vždy kompletný paket o dĺžke 6 znakov. Paket má formát

***FVZ**

kde:

- *F je adresa pre všetky plug-in moduly
- VZ zapnúť všetky výstupy, alebo VV vypnúť všetky výstupy
- Ukončovacie znaky CR+LF (\n)

Poznámka: Prenos jedného paketu trvá 6 milisekúnd!

Príklad: chceme zapnúť všetky povolené výstupy. Výsledný paket, ktorý sa pošle bude vyzeráť nasledovne: ***FVZ**

Príklad: chceme vypnúť všetky výstupy. Výsledný paket, ktorý sa pošle bude vyzeráť nasledovne: ***FVV**

Ovládanie výstupu kanálov zdroja

Každý z kanálov zdroja je možné individuálne zapnúť/vypnúť pomocou tlačidiel CH1 až CH4. Individuálnemu riadeniu kanálov je nadriadený centrálny odpojovač, tlačidlo „Výstup“.

Logika je nasledovná:

- 1) Po zapnutí zdroja je centrálny odpojovač vypnutý, t.j. všetky kanály sú neaktívne.
- 2) Po stlačení tlačidla výstup sa vyšle ***FVZ** paket a naraz sa zapnú všetky povolené kanály. Tento príkaz zároveň vymaže stav elektronických poistiek jednotlivých kanálov.
- 3) Po ďalšom stlačení tlačidla výstup sa vyšle ***FVV** paket a naraz sa vypnú všetky povolené kanály.
- 4) Po ďalšom stlačení tlačidla výstup sa vracia do bodu 2), zapnú sa povolené výstupy

Postup pri zadaní nastavenia napätia, prúdu, alebo poistky:

- 1) Nastavovací režim sa aktivuje stlačením tlačidla U (alebo I, alebo Poistka), stlačené tlačidlo sa rozsvieti na oranžovo.
- 2) Stlačí sa tlačidlo kanála, ktorý chceme nastavovať (CH1 ... CH4). Stlačené tlačidlo aktívneho kanála sa rozsvieti na oranžovo. Naraz môže byť aktívne nastavovanie len jedného kanála a len jedného parametra.
- 3) Počas nastavovania parametra sa na displeji zobrazuje nastavovaná hodnota, bez ohľadu na to, či je kanál zdroja zapnutý, alebo vypnutý. Prípadná limitácia prúdu sa zobrazuje len na displeji, farba aktívneho tlačidla sa nemení na červenú.
- 4) U príslušného kanálu a parametra sa na displeji sa zobrazí kurzor na mieste rádu, ktorý sa práve nastavuje. Defaultný rád je 0.1V, alebo 0.1A.
- 5) Pomocou rotačného enkódera sa zvyšuje, alebo znižuje hodnota v zvolenom ráde. Pri točení enkóderom v smere hodinových ručičiek prechádzame číslice 3 > 4 > 5 > 6... Pri pretečení sa inkrementuje/dekrementuje nasledujúci rád, ako keby sme točili potenciometrom. napr. 0.7 > 0.8 > 0.9 > 1.0 > 1.1 > 1.2... Pri točení proti smeru hodinových ručičiek prechádzame číslice v opačnom poradí.
- 6) Po stlačení tlačidla enkódera sa kurzor posunie na nasledujúci rád smerom doprava. Príklad nastavenia na obrázku, začíname na 3.300 V, kurzor je nastavený v ráde jednotiek Voltov.

3	0	.	0	0	0	V	5	.	0	0	0	A					
1	4	.	5	6	7	V	3	.	2	1	0	A					
3	.	3	0	0	V	1	.	0	0	0	A						
1	5	.	0	0	0	V	0	.	0	1	0	A					

- 7) Zvolená hodnota sa potvrdí:
 - a. stlačením tlačidla kanála, ktorý sme začali nastavovať (CH1 ... CH4),
 - b. alebo ukončením nastavovacieho módu stlačením tlačidla U (alebo I, alebo Poistka),
 - c. alebo zmenou aktívneho nastavovaného parametra stlačením tlačidla U (alebo I, alebo Poistka)
- 8) Pri ukončení nastavovacieho módu zhasne príslušné tlačidlo U (alebo I, alebo Poistka) a na displeji sa zobrazia hodnoty nameraných alebo nastavených veličín podľa toho, či je daný kanál aktívny. Tlačidlo príslušného kanála zmení farbu z oranžovej na zelenú, ak je kanál aktívny, alebo zhasne ak je kanál neaktívny (vypnutý, zapnutý, preťažovaný...)

Kalibrácia setpointu a kalibrácia merania:

v súčasnej verzii software moduly medzi sebou komunikujú v plain text formáte. Master pošle hodnotu setpointu napr. 12.380V a očakáva, že plug-in vygeneruje analógové referenčné napätie zodpovedajúce tomuto výstupnému napätiu. Takisto master očakáva, že plug-in prevedie meranú veličinu zo surového binárneho čísla na kalibrovanú hodnotu.

Odporový delič na doske zdroja je osadený rezistormi 33k a 2.2k, s deliacim pomerom 0.0625. Vstupné napätie 30V sa vydolí na hodnotu 1.875V, pri referenčnom napätí AD/DA prevodníkov 2.048V. Použité rezistory majú toleranciu 1%. Podobné platí aj pre meranie prúdu.

Numerickú hodnotu set-pointu treba previesť na binárne číslo zodpovedajúce referenčnému napätiu (a opačne) pomocou kalibračnej konštanty uloženej v mikrokontroléri plug-in modulu:

```
const float CalibUspToDac = 4095.0/30.0; // calibration Usetpoint to DAC code
4096bin/30.0V = 136.53333

const float CalibIspToDac = 4095.0/3.00; // calibration Isetpoint to DAC code
4096bin/3.0A = 1365.333

const float CalibAdcToUmeas = 30.0/32767.0; // calibration ADC code to Umeas
30.0V/32767bin = 0.000915527

const float CalibAdcToImeas = 3.0/32767.0; // calibration ADC code to Imeas
3.0A/32767bin = 0.00009155528428

DAC1 = (int(Usp * CalibUspToDac)) & 0x0fff;
DAC2 = (int(Isp * CalibIspToDac)) & 0x0fff;
```

Teoreticky sa táto kalibrácia robí len raz a pre každý plug-in sa môže skompilovať vlastný software s fixnými konštantami a flashnúť cez SPI. Oveľa pohodlnejší prístup ale máme do arduina na riadiacej doske. Môžeme skúsiť doprogramovať nový paket, ktorý odošle kalibračné konštanty, tie sa po prijatí zapíšu do EEPROM.