

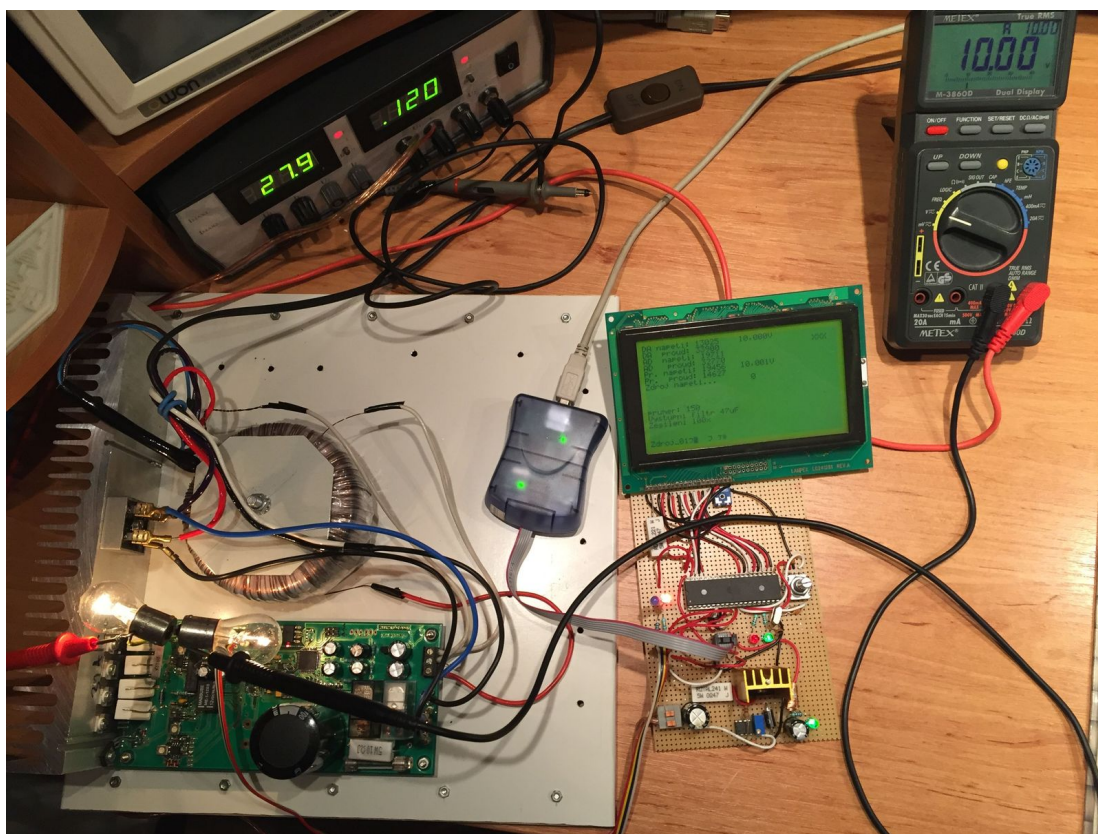
Laboratorní zdroj - 1. část

Publikované: 12.02.2016, Kategorie: Silové části

www.svetelektro.com

V sérii článků, se spolu s kolegou Michalem OK2HAZ, budeme věnovat popisu naší práce při stavbě laboratorního zdroje, řízeného jednočipovým mikro počítačem.

Michal se věnuje spíš hardwarové stránce, já budu popisovat většinou programování. Seriál článků jsme zahájili s tím, že prototyp sestavený na začátku roku 2015 funguje. Takže je velká naděje, že dojdeme do konce. I když zatím jsou to jen desky plošných spojů, které leží na stole bez krabičky a bez barevného displeje. Během stavby bylo potřeba opravit několik chyb, které jsme při přemýšlení a kreslení udělali.



V současné době používám dvojitý zdroj s regulátorem MAA723 a digitálními měřidly osazenými převodníky ICL7107. Stavěl jsem jej po maturitě, někdy v devadesátých letech minulého století. Při stavbě nového zdroje bychom se chtěli s parametry zdroje dostat o kus dál, odstranit tyto nedostatky starého zdroje:

- Napětí bude možné regulovat od několika desetin voltu, do 50V. MAA723 umožňuje regulaci přibližně od 2V do max. napájecího napětí stabilizátoru 35V.
- Proud bude možné regulovat od jednotek miliampér do 5A. Bude použit dost velký chladič a přepínání sekundárních vinutí výkonového transformátoru, aby nedocházelo k přehřívání.
- Přejít mezi zdrojem napětí a proudem bude strmý, kmitání v režimu zdroje proudu bychom chtěli omezit na jednotky milivolt.
- Kmitání a šum v režimu zdroje napětí na výstupních svorkách snížit na jednotky milivolt.
- Mikroprocesor umožní komfortní ovládání prostřednictvím rotačních kodérů.
- Nelinearita použitých obvodů bude kompenzována softwarově.
- Bude možno vypočítat a na displeji zobrazit doplňující údaje, výkon, průměry naměřených hodnot atd.
- Zdroj řízený procesorem bude možno naprogramovat do režimu nabíječka akumulátorů - VA charakteristiky, detekce nabití.
- Procesor bude schopen zaznamenávat průběh napětí, proudu, případně teplot při dlouhodobějším měření.
- Program procesoru bude schopen vytvořit pulsy různých tvarů.

Při návrhu analogové části jsme pro inspiraci použili schéma z [diskuse na serveru svetelektro.com](http://diskuse.na.serveru.svetelektro.com). V diskusi je spousta nápadů, ale není zřejmé, jak to celé dopadlo. My zkusíme vzít pro začátek zapojení a postupně ho zpracovat do něčeho, co bude fungovat. Zapojení jsme vybrali hlavně proto, že DA převodníky mají společnou zem, takže je možno použít dvoukanálový DA převodník. Jeden kanál převodníku řídí napětí, druhý proud. Dalším důvodem k volbě tohoto zapojení je to, že výstupní napětí může být vyšší, než napájecí napětí operačních zesilovačů. Nevýhodou použitého zapojení je způsob měření proudu.

Zdroj bude sestavován dle aktuální dostupnosti součástek a hlavně našich vědomostí kolem nich. Zařízení je amatérskou stavbou, kde chceme vyzkoušet naše schopnosti při návrhu hardware, odladění regulačních smyček a programování uživatelského rozhraní. Série článků není chápána jako stavební návod, spíš jako stavební deník s popisem nápadů a chyb které stavbu provází. Přitom je potřeba práci na zdroji začlenit do pracovních a rodinných povinností, takže to nepůjde tak rychle jako výrobky na střední škole. S návrhem jsme začali v roce 2013 a na konci roku 2015 jsme ve fázi funkčního vzorku - propojené desky na stole, bez krabičky. Dokončení bude trvat ještě několik let. Na druhé straně nemáme finanční rozpočet omezený tolik, jako na střední škole.

Při úvahách o ceně součástek, hlavně použitých DA převodníků, procesoru a displeje jsme postupovali následovně: Cena víceotáčkového potenciometru pro řízení napětí je srovnatelná s cenou 16-ti bitového, dvojkánalového DA převodníku. Měřidla a displeje by byly potřeba i při analogovém řešení zdroje. Takže cenový rozdíl námi použitého digitálního řízení ve srovnání s řízením čistě analogového zdroje je tvořen pouze cenou procesoru a TFT displeje.

Plánované parametry a myšlenky vedoucí k použitému řešení

Dva navzájem galvanicky oddělené zdroje zabudované do jedné skříňky. Analogové části zdrojů budou osazené na dvojici stejných desek pl. spojů. Deska bude navržena tak, aby maximální použitelné parametry byly 50V / 5A. Konkrétní parametry budou určeny podle použitého transformátoru, výkonových prvků osazených na desce, rezistorů napěťových děličů a proudového bočnicku.

Velký maximální výkon zdroje vybízí k použití pulsní předregulace. Přinutit pulsní regulátor k práci v tak velkém proudovém a napěťovém rozsahu, jak má mít navrhovaný zdroj je velmi obtížné. Proto jsme se rozhodli, že použijeme pouze lineární regulaci řízenou DA převodníkem. Úspory ztrátového výkonu na chladiči výkonových tranzistorů dosáhneme pomocí přepínání dvojice vinutí na transformátoru.

Zdroj bude řízen osmibitovým procesorem řady ATmega. Budou použity 16-ti bitové externí AD a DA převodníky. V některých zapojeních, dostupných na internetu, je regulační smyčka napětí a proudu realizována procesorem. Ten musí mít velký výkon, aby bylo možné dosáhnout rychlé reakce na změnu zátěže. V našem zapojení bude regulace řešena operačními zesilovači, AD převodníky budou použity pouze pro měření.

Analogová část zdroje bude sestavena z precizních operačních zesilovačů, nebude použit hotový regulátor. Bude použito takové zapojení, aby bylo možno regulovat větší rozsah napětí, než je maximální napájecí napětí OZ. To přináší nutnost mít pomocné vinutí na silovém transformátoru. Pomocné vinutí bude napájet nejenom operační zesilovače, ale i digitální obvody a relé, takže tam stejně musí být.

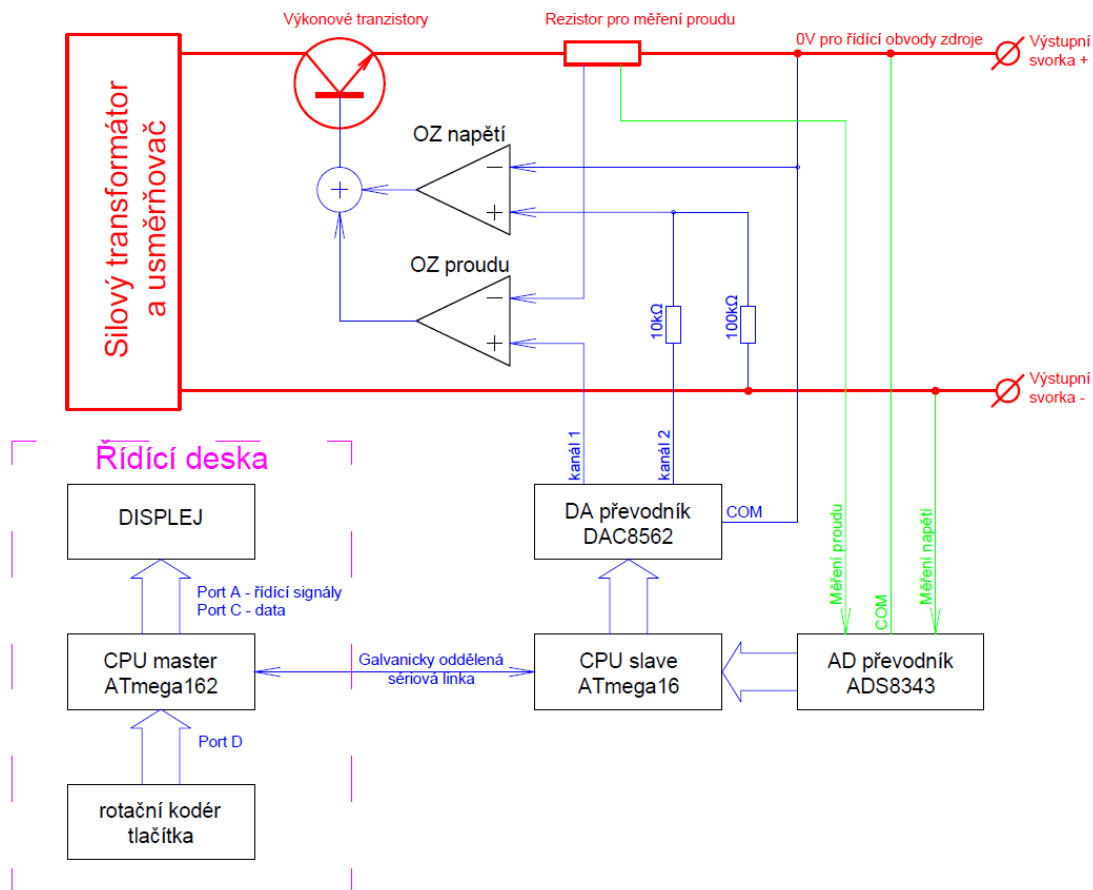
Nyní je několik možností jak sestavit řízení zdroje:

a) Jeden procesor na řídicí desce s displejem a ovládacím panelem. Pokud mají být dva zdroje galvanicky oddělené, je nutné galvanické oddělení AD a DA převodníků, nebo použít převodníky které mají integrované galvanické oddělení. Toto řešení klade velké nároky na program procesoru. Časově náročné úkoly, např. tvorba střídavého napětí programem procesoru bude obtížné kombinovat s programem uživatelského rozhraní přístroje.

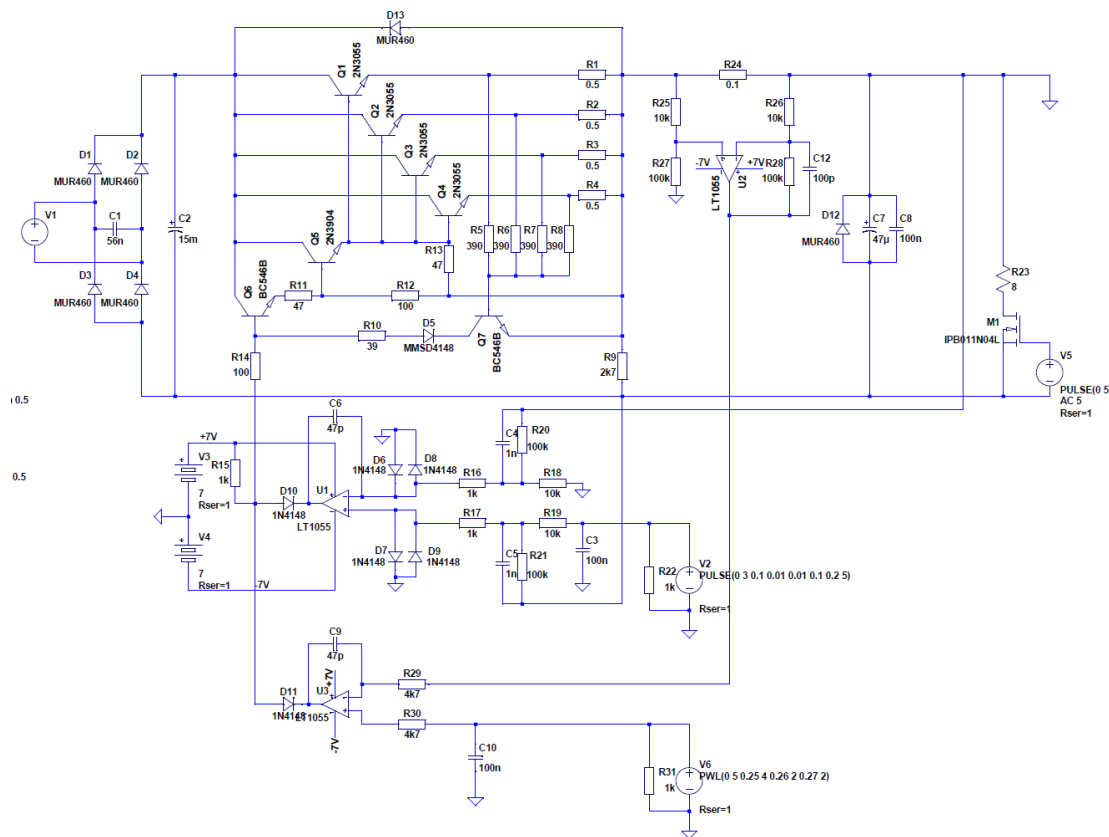
b) Jeden procesor na řídicí desce s displejem a ovládacím panelem. Galvanické oddělení jeho sériové linky, která komunikuje s pořízenými procesory na analogových deskách zdroje. Cena dalšího procesoru řady ATmega není moc velká a bude stačit dvojice optočlenů pro každý zdroj. Výhodou je rozložení programované úlohy mezi několik procesorů, které nemusí mít velký výkon.

c) Na každé desce zdroje mikroprocesor včetně připojení displeje, rotačních kodérů a uživatelského rozhraní. Vlastně dva na sobě nezávislé zdroje v jedné skříňce. Toto řešení vyžaduje příliš mnoho místa na ovládacím panelu skříňky a cena je zvýšena potřebou dvojice displejů, které chceme ve finální verzi zdroje použít barevné.

Zvolili jsme druhou možnost, takže ve zdroji budou tři procesory na společné sériové lince. Každá analogová deska bude osazena dvojicí optočlenů, které galvanicky oddělí oba zdroje i řídicí desku navzájem. Procesor na řídicí desce bude v režimu Master a dva budou na jeho sériové lince připojeny v režimu Slave.



V blokovém schématu chybí druhá analogová deska. Bude stejná, připojená paralelně na sériovou linku. Schéma zobrazuje hlavní části zdroje a princip práce regulátoru napětí a proudu. V následujících řádcích popíšu princip práce jednotlivých obvodů analogové části zdroje tak, jak byla testována na modelu v programu LTspice a potom sestavena na univerzální desce plošných spojů. Problémy s jednotlivými součástkami reálného zapojení budou průběžně popisovány v článku o měření. Součástky v modelu jsou vybrány z aktuální knihovny LTspice, neodpovídají realitě. Cílem je, ověřit základní principy a najít potenciální problémy.



Napájecí transformátor V1 bude mít v reálném zapojení odbočku přibližně v polovině vinutí. Ta bude připojována pomocí relé. V diskusi je zmiňována možnost připojování pomocí triaků, možná by to stálo za testování a hraní si. Ale nemůžeme si hrát se vším, příliš bychom oddalovali dokončení stavby. Takže mnoho věcí ve zdroji bude kompromisem, nebo řešením navrženým podle aktuálních vědomostí.

Regulovaný výkon je kvůli lepšímu rozvedení tepla po chladiči rozdělen do čtveřice výkonových tranzistorů. Tranzistory v zapojení se společným kolektorem pracují jako zesilovač proudu. Jsou napájeny dvojicí tranzistorů Q5 a Q6 pro dosažení většího zesílení. Tranzistor Q7 slouží jako proudová ochrana výkonových tranzistorů. Začne se otevírat, když je na rezistorech R1 - R4 cca 0,5V a tím omezí proud do báze tranzistoru Q6.

Proud pro bázi tranzistoru Q6 je získáván z pomocného zdroje V3, přes rezistor R15. Zem pomocného zdroje je spojena s kladnou výstupní svorkou zdroje, takže k otevírání výstupních tranzistorů není potřeba moc velké napětí. Regulované napětí může být mnohem větší, než je mezní napájecí napětí použitých operačních zesilovačů. Proud do báze Q6 je řízen součtem proudů z operačních zesilovačů.

Diody D6 - D9 chrání vstupy zesilovače, kondenzátor C5 zrychluje reakci regulátoru, ale způsobuje rozkmitávání. Rezistor R20 je plánován pro čtyřvodičové měření napětí - nakonec nebylo použito.

Regulátor napětí

Operační zesilovač U1 řídí výstupní napětí zdroje. Jde o diferenciální zesilovač, který se snaží svým výstupem dosáhnout rovnováhy na svých vstupech: když je rozdíl napětí na vstupech kladný, napětí na výstupu se zvyšuje. Když je rozdíl na vstupech záporný, na invertujícím vstupu je větší napětí, než na neinvertujícím, napětí na výstupu se snižuje. Napětí na výstupu se ustálí v okamžiku, kdy je na obou vstupech stejné napětí.

Na invertující vstup je připojen kladný pól zdroje, v následující úvaze 0 voltů. Na kladný vstup operačního zesilovače je přivedeno napětí ze záporné svorky zdroje přes R21 a napětí z referenčního zdroje přes R19. Odpor rezistorů je v poměru 10/1. Takže když na referenčním zdroji V2 (v reálném zapojení potenciometr nebo DA převodník) bude např. 1,2V, operační zesilovač začne zvyšovat napětí na svém výstupu. Napětí bude zesíleno výkonovými tranzistory a začne růst napětí na svorkách zdroje. Pro naši úvahu začne klesat napětí na záporné svorce zdroje vůči potenciálu 0V na kladné svorce. Záporné napětí z R21 bude vyrovnávat kladné napětí z R19. Zapojení se ustálí ve stavu, kdy poměr napětí bude stejný jako poměr odporů, to je +1,2V / -12V. Na výstupních svorkách bude 12V a na obou vstupech operačního zesilovače bude 0V. Zdroj se ustálí. Pokud se zvýší odběr proudu ze zdroje, zvedne se napětí na kladném vstupu operačního zesilovače, který odchylku zesílí a zvýší proud do báze Q6. Zdroj se znovu ustálí na 12V.

Operační zesilovač svým výstupem velmi rychle reaguje na změny které jsou na jeho vstupech. Výkonové tranzistory jsou mnohem pomalejší, takže se regulační smyčka rozkmitává. Kmitání je omezováno zápornou zpětnou vazbou, to je kondenzátor C6. Ta ale zpomaluje rychlost reakce obvodu na změnu odběru proudu. Takže je nutno volbou kondenzátorů hledat kompromis mezi kladnou a zápornou zpětnou vazbou zesilovače tak, aby byla rychlost reakce co největší a přitom se obvod nerozkmital.

Regulátor proudu

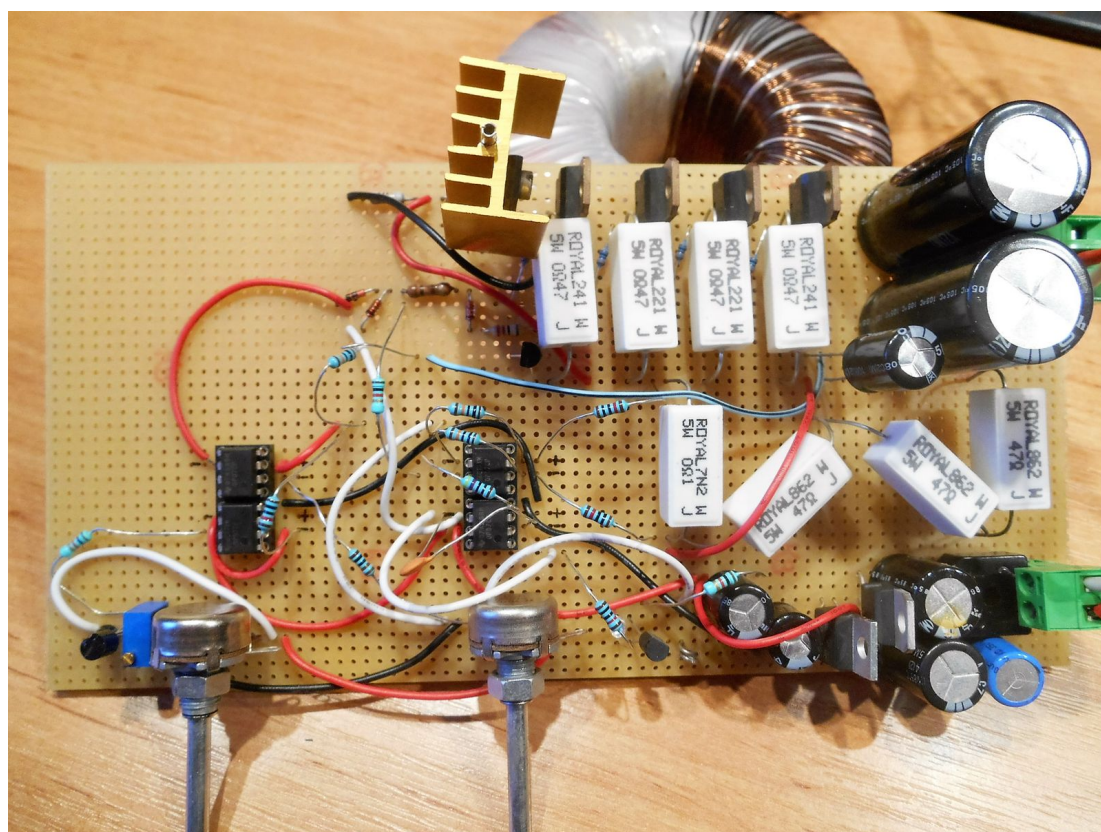
Výstupní proud je sledován na rezistoru R24. Napětí z něj je zesilováno operačním zesilovačem U2. Tady je velké téma k diskusi, jak obvod zapojit. Použít speciální obvod určený k měření na bočníku, nebo operační zesilovač s pevně nastaveným zesílením? My se rozhodli použít zapojení s obyčejným precizním zesilovačem. No a kolem něj vybrat dvojice rezistorů se stejným odporem (dvojice R25, R26 a dvojice R27 a R28). Ve starém zdroji s MAA723 to bylo zdrojem velkých problémů, tehdy jsem použil uhlíkové rezistory. Tady budou použity metalizované SMD rezistory, takže by mělo být možné dosáhnout dobrých parametrů.

Operační zesilovač U3 je zapojen jako komparátor. Porovnává napětí z bočníku R24 s napětím z reference V6 (v reálném zapojení potenciometr nebo DA převodník). Pokud je na referenci V6 nastaveno větší napětí, než jde ze zesilovače U2, bude na výstupu komparátoru U3 kladné napětí. To neprojde přes diodu D11, takže stav zdroje je ovlivňován jenom regulátorem napětí - obvod je ve stavu „zdroj napětí“.

Když je ze zdroje odebírán větší proud než odpovídá hodnotě nastavené na referenci V6, bude na výstupu komparátoru U3 záporné napětí. To projde přes diodu D11 a začne zavírat výkonové tranzistory. Napětí na výstupních svorkách klesne a proud bude odpovídat tomu, co je nastaveno na referenci V6. Obvod je ve stavu „zdroj proudu“. Problém je, že tohle se bude rozkmitávat ještě víc, než napěťový regulátor. Jako blokovací kondenzátor je použit C9.

Zapojení na univerzální desce plošných spojů

Použil jsem zesilovače OP07, bez chladičů nebudu zkoušet moc velkou zátěž. Rozkmitávání napěťového regulátoru způsobuje šum 30mV na výstupních svorkách. Proudový regulátor kmitá 200mV při zátěži 100mA. Celkově to na nic není, odpory ve zpětných vazbách šumí. Prototyp analogové části zdroje bude na oboustranné desce plošných spojů a budou použity SMD rezistory. Takže šum obvodu by měl být mnohem menší.



Závěr

S použitým zapojením dle modelu v LTspice by mělo být možné dosáhnout očekávaných parametrů:

- Regulace napětí 16-ti bitovým převodníkem po 1mV od minimálního nastavitelného napětí 100mV do 50V nebo podle použitého trafo.
- Regulace proudu 16-ti bitovým převodníkem po 1mA s tím, že pomocí relé budeme přepínat zesílení obvodu U2 a tím se dostaneme k lepší citlivosti.
- Kmitání operačních zesilovačů je možno blokovat navrženými kondenzátory + přidat kondenzátor mezi vstupy OZ.
- Pomocí relé přepínat kapacitu výstupního filtru C7. Pro proudy řádu miliampér by měl mít kapacitu 1 μ F, jinak zdroj v režimu proudu nebude dost rychlý.