

Viackanálový laboratórny zdroj 0-30V/3A s digitálnym riadením a predregulátorom

Úloha

1. Podľa predloženej schémy zapojenia navrhnete motív plošného spoja.
2. Navrhnutý motív plošného spoja preneste na dosku plošného spoja.
3. Plošný spoj vyleptajte.
4. Osadzte súčiastky.
5. Zariadenie oživte.

Úvod

V praktickej časti budete stavať jeden modul viackanálového laboratórneho zdroja 0-30 V/0-3 A. Zdroj je digitálne riadený mikrokontrolérom, je vybavený spínaným predregulátorom a elektronickou poistkou. Modul zdroja komunikuje s nadriadeným mikrokontrolérom na hlavnej riadiacej doske, ktorá dokáže obslúžiť až štyri kanály. Všetok potrebný materiál pre druhý kanál ste dostali, ak si budete chcieť postaviť aj tretí a štvrtý kanál, materiál sa dá ľahko dokúpiť. Získate tak veľmi užitočný a hodnotný prístroj do domáceho laboratória.

Organizátori zabezpečili jednostranné dosky plošných spojov potiahnuté fotocitlivou vrstvou o veľkosti 150x200 mm. Presná veľkosť Vášho návrhu plošného spoja nie je daná, z materiálu použijete toľko, koľko potrebujete. Ak ste si priniesli vlastný materiál, môžete ho použiť.

Na USB kľúči máte pripravené súbory so schémou pre návrhový systém Eagle a dokumentáciu ku použitým súčiastkam.

V prípade, že Vám po odovzdaní oživeného výrobku ostane čas, môžete zdroj pomocou presného multimetra v niekoľkých bodoch okalibrovať a získať bonusové body.

Hodnotenie

Hodnotenie praktickej časti je nasledovné:

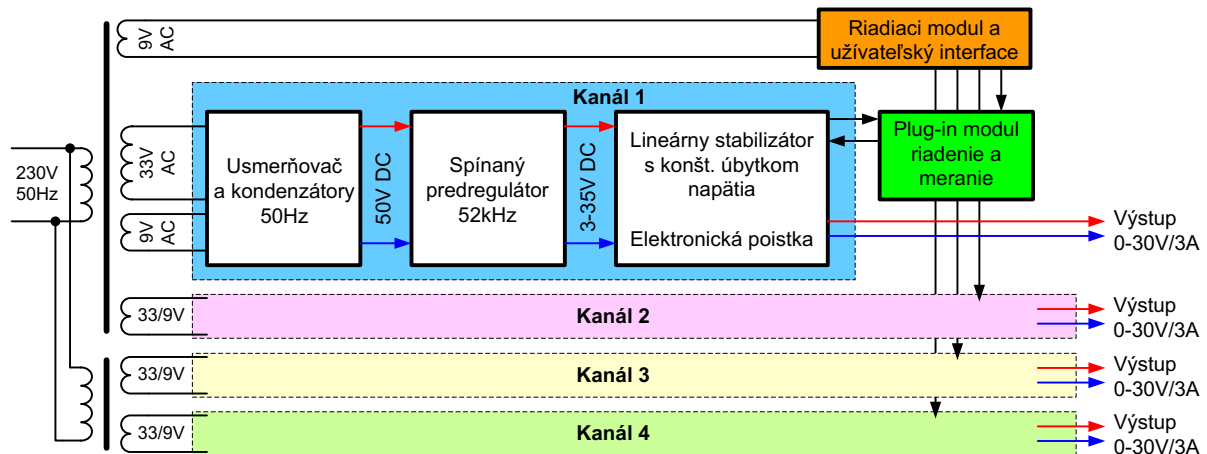
- Návrh plošného spoja maximálne 20 bodov
- Kvalita spájkovania maximálne 15 bodov
- Čistota vyhotovenia maximálne 5 bodov
- Funkcia zhotoveného zapojenia maximálne 40 bodov, z toho:
 - Blok „Usmerňovač a zberné kondenzátory“ 10 bodov
 - Blok „Predregulátor a filter 52 kHz“ 10 bodov
 - Blok „Lineárny stabilizátor“ 10 bodov
 - Blok „Meranie prúdu“ 5 bodov
 - Blok „Zdroj +/-12 V, +5 V“ 5 bodov
- Bonus za kalibráciu 10 bodov.

Za praktickú časť možno získať maximálne 80 bodov. Bonusové body sa podľa pravidiel súťaže do hodnotenia priamo nezapočítavajú a zohľadnia sa v prípade ak viacerí súťažiaci získajú zhodný počet bodov.

Celková koncepcia napájacieho zdroja

Laboratórny napájací zdroj sa skladá z troch hlavných blokov: riadiaceho modulu s užívateľským interface (oranžový blok) a analógových modulov zdroja (modrý blok). Každý analógový regulátor získava referenčné napätie zo svojho riadiaceho plug-in modulu (zelený blok). Tento zabezpečuje aj meranie aktuálneho výstupného napätia a prúdu a funkciu elektronickej poistky. Koncepcia zdroja je navrhnutá tak, aby k riadiacej jednotke bolo možné pripojiť jeden až štyri galvanicky oddelené kanály zdroja. Jednotlivé výstupy je možné zapájať do série.

Predregulátor udržiava na lineárnom stabilizátore konštantný úbytok napätia, čo výrazne znižuje tepelné straty. Jeden kompletný kanál zdroja v najnepriaznivejšom pracovnom bode uvoľňuje maximálne 15 W stratového výkonu, takže na chladenie stačia len malé pasívne chladiče.



Popis zapojenia analógovej časti napájacieho zdroja

Podrobná schéma zapojenia analógovej časti zdroja, pre ktorú budete navrhovať a vyrábať plošný spoj je uvedená v prílohe.

Striedavé napätie 30-36 V/50 Hz je dvojcestne usmernené a vyhladené kondenzátormi C1-2-5-6-8-9. Kapacita bola navrhnutá pre maximálne zvlnenie výstupného napätia 2.5 V pri odbere prúdu 3 A. Použité kondenzátory sú typ s nízkou impedanciou (low ESR) a ich počet bol zvolený podľa maximálneho dovoleného impulzného zaťažovacieho prúdu. Pre správnu funkciu nasledujúceho stupňa tieto kondenzátory nie je možné nahradiť jedným kusom o 6x vyššej kapacite.

Nasleduje spínaný predregulátor osadeným obvodom LM2567HVT-ADJ. IC2 je znižujúci menič (step-down) pracujúci na konštantnej frekvencii 52 kHz s nastaviteľným výstupným napätím.

Kľúčové súčiastky sú rýchla Schottky dióda D8, batéria kondenzátorov C15-16-17-18-20 a cievka L1+L2. Výstupná kapacita je opäť rozdelená do 5 kusov nízkoimpedančných kondenzátorov. Vzhľadom na výrazne vyššiu spínanú frekvenciu je celková potrebná kapacita nižšia. Upozorňujeme, že medzi týmito prvkami tečú vysoké impulzné prúdy, preto je extrémne dôležité správne navrhnuť plošný spoj. Súčiastky musia byť blízko seba a je nutné zabezpečiť, aby prúdy tiekli cez dostatočne dimenzované spoje a cez čo najmenšie slučky. V opačnom prípade bude zdroj vyžarovať elektromagnetickú energiu, čo môže spôsobiť rušenie, alebo dokonca nefunkčnosť okolitých obvodov.

Úlohou predregulátora je udržiavať konštantný úbytok napätia na hlavnom lineárnom stabilizátore a tým výrazne obmedziť výkonovú stratu na hlavnom tranzistore T5. Požadovaný úbytok sa nastavuje napätím medzi cievkou L3 a emitorom tranzistora T2. V našom prípade je nastavený na hodnotu približne 2 V pomocou troch P-N prieschodov (D9-D10-D11). Ak by sme chceli hodnotu úbytku zmeniť, je možné nahradiť D9-D11 zenerovou, alebo LED diódou. S úbytkom napätia 2 V bude maximálna výkonová strata na T5 aj v najhorších prevádzkových podmienkach len 6 W, takže na odvod tepla stačí len malý chladič. Z praktických dôvodov je použitý tranzistor TIP35C, ktorý je značne predimenzovaný. Je možné ho nahradiť výrazne menším tranzistorom v púzdre TO220, alebo ešte menším. Náhrada môže vylepšiť dynamické vlastnosti zdroja.

Operačný zosilňovač IC4B realizuje napäťovú regulačnú slučku. Referencia na kladnom vstupe sa porovnáva so vzorkou výstupného napätia z deliča R21-R22, ktorého deliaci pomer je $DP = 1/16$. IC4 je

vysoko precízny operačný zosilňovač so šírkou pásma 8 MHz a napäťovým offsetom $<100\mu\text{V}$, môžeme ho preto považovať za ideálny operačný zosilňovač. Referencia U_{REF} sa získava z číslicovo analógového prevodníka na doske plug-in. Maximálna hodnota referenčného napätia je $U_{\text{REFMAX}} = 2.048\text{ V}$, čo umožňuje dosiahnuť maximálne výstupné napätie $U_{\text{VYSTMAX}} = U_{\text{REFMAX}} / \text{DP} = 32.768\text{ V}$. IC4A slúži ako buffer pre meranie napätia. Rezistory v deliči R21-R22 sú bežné metalizované 1%. Pre dosiahnutie dostatočnej stability merania a regulácie je nutné umiestniť ich blízko seba a mimo zdrojov tepla. Vysoká presnosť merania napätia sa dosiahne kalibráciou.

Výstupný prúd sa meria na bočníku R8-9-10. Úbytok napätia pri maximálnom pracovnom prúde 3 A dosahuje $U_{\text{BOČNÍKmax}} = 3\text{ A} * 0.033\text{ Ohm} = 0.1\text{ V}$. Pomocou IC3A sa zosilní $43/2.2 = 19.54$ krát na hodnotu $U_{\text{IMEASmax}} = 1.954\text{ V}$, čo je takmer plný rozsah číslicového analógového prevodníka pre nastavenie maximálneho prúdu 2.048 V (signál I_{REF}). Reguláciu zabezpečuje operačný zosilňovač IC3B. Meranie prúdu bolo navrhnuté tak, aby obvod čo najmenej ovplyvňovalo tzv. súhlasné napätie na vstupe (common mode). Ak chcete dosiahnuť najlepšiu presnosť doporučujeme zmerať a spárovať hodnoty rezistorov R5-R11 a R6-R12. Ich absolútna veľkosť nie je dôležitá, ale navzájom by sa hodnoty mali zhodovať aspoň na 4 platné číslice.

Všetky štyri operačné zosilňovače IC3A, IC3B, IC4A, IC4B sú rovnaké. Ak by ste z ľubovoľných dôvodov (napr. jednoduchší návrh dosky) potrebovali medzi sebou zosilňovače zameniť, môžete tak urobiť.

Relé RE1 slúži ako odpojovač výstupu. Po zaslaní príkazu z riadiaceho systému sa relé zopne a v rovnakom momente sa zapnú/vypnú všetky kanály zdroja. Riadiaci obvod umožňuje aktivovať aj elektronickú poistku. V prípade, že zdroj prejde do režimu limitácie prúdu výstupné relé sa vypne.

Generáciu referenčných napätí U_{REF} , I_{REF} (rozsah 0 - 2.048 V), meranie skutočného výstupného napätia U_{MEAS} , prúdu I_{MEAS} a ovládanie relé zabezpečuje tzv. plug-in modul. Plug-in modul prijíma každých ca. 400 ms telegram s nastaveniami pre analógovú dosku a zároveň meria a posiela namerané údaje do riadiaceho modulu. Podrobná schéma zapojenia je k dispozícii v dokumentácii ku „úvod do praktickej časti“ a popis komunikačného protokolu v časti „programovanie mikrokontrolérov“.

Poznámky k návrhu plošného spoja

Navrhujete precízny a výkonový analógový obvod, preto by ste mali venovať zvýšenú pozornosť návrhu plošného spoja:

- Snažte sa vyvarovať zbytočným slučkám a „rozťahanému“ routovaniu, obzvlášť v rozvode signálu GND (zem).
- Niektorými vodičmi tečú vysoké prúdy (3-5A), nezabudnite ich patrične dimenzovať.
- Dobre zrealizované drôtové prepojký majú výrazne lepšie elektrické vlastnosti ako za každú cenu natiahnuté spoje okolo celej dosky. Obzvlášť dôležité u výkonovej časti.
- Spínaný predregulátor pracuje na frekvencii 52 kHz a v obvode tečú vysoké impulzné prúdy. Snažte sa preto bloky „usmerňovač a zberné kondenzátory“ a blok „predregulátor a filter 52 kHz“ navrhnuť čo najkompaktnejšie, bez zbytočne dlhých prepojov.
- Niektoré súčiastky sa v prevádzke ohrievajú (hlavne IC2, T2), alebo okolo seba produkujú magnetické pole (cievky L1, L2). Snažte sa na dosku rozložiť citlivé meracie rezistory prúdu a napätia tak aby sa vzájomne neovplyvňovali.
- IC2 uvoľňuje ca. 8 W tepla a vyžaduje (dodaný) chladič. T5 uvoľňuje ca. 6 W tepla a vyžaduje (dodaný) chladič.
- Ostatné súčiastky uvoľňujúce teplo: cievky L1, L2, L3 3 W, diódový mostík 3 W
- Elektrolytické kondenzátory nemajú radi teplo.
- Rezistory, kondenzátory aj diódy majú v knižnici zenit_kniznica.lbr definovaných niekoľko rôznych púzdiar. Pomocou príkazu „change package“ a kliknutím na príslušnú súčiastku môžete púzdro zmeniť na tvar, ktorý sa Vám najlepšie hodí pre návrh dosky.

Oživenie a odovzdanie konštrukcie

Súťažiaci majú k dispozícii oživovacie pracovisko, kde môžu svoj výrobok pred odovzdaním otestovať. Problémy, ktoré súťažiaci zistia a opravujú **pred oficiálnym odovzdaním výrobku** sa do hodnotenia **nezapočítavajú**. Problémy, ktoré sa zistia **pri oficiálnom odovzdaní** hodnotiacej komisii sa do finálneho hodnotenia **započítavajú**.

Zapojenie je navrhnuté modulárne a jednotlivé bloky sa dajú oživiť aj samostatne. V prípade časovej tiesne nemusíte navrhovať alebo osadzovať kompletný plošný spoj. Výrobok bude možné oživiť aj

po častiach. Súťažiacemu sa podľa stupňa rozpracovanosti stále udelia body za dokončenú a funkčnú prácu (viď. strana 1).

Kalibrácia

Napájací zdroj je síce osadený štandardnými pasívnymi súčiastkami s toleranciou 1%, ale bol navrhnutý tak, aby sme mohli profitovať z presného digitálneho riadenia a dosiahnuť oveľa lepšiu presnosť merania a regulácie. D/A prevodník, od ktorého sa odvodzuje výstupné napätie aj maximálny prúd obsahuje pomerne stabilnú a presnú napäťovú referenciu, merací A/D prevodník dosahuje ešte lepšie parametre (ref. 2.048 V \pm 0.05%, 15 ppm/°C). Operačné zosilňovače boli vybrané s napäťovým offsetom <100 μ V.

Presnosť nastavenia a merania výstupného napätia je preto definovaná viacmenej len rezistormi deliča R21+R22. Presnosť nastavenia a merania výstupného prúdu je zase definovaná rezistormi bočníka R8-R9-R10, a späťoväzobnými rezistormi IC3a R5+R6, R11+R12.

Pri správne navrhnutom plošnom spoji dokážeme pomocou jednoduchej kalibrácie dosiahnuť presnosť nastavenia a merania v ráde desiatín percenta.

Postup kalibrácie **napäťového rozsahu** je nasledovný:

1. Kalibrovateľný kanál zdroja zaťažíme výkonovým rezistorom v rozsahu desiatok až stoviek Ohmov.
2. Riadiacim modulom nastavíme výstupné napätie $U_{NASTn} = 30.000$ V.
3. Presným multimetrom odmeriame skutočné výstupné napätie $U_{SKUTn} = 30.216$ V (príklad).
4. Z displeja zdroja odčítame nameranú hodnotu napätia $U_{MERn} = 30.010$ V (príklad)
5. Vypočítame kalibračné konštanty
 - a. $CalibUspToDac = 4095.0/32.768 * U_{NASTn} / U_{SKUTn}$
 $CalibUspToDac = 4095.0/32.768 * 30.000V / 30.216V = 124.076134$
 - b. $CalibAdcToUmeas = 32.767/32767.0 * U_{SKUTn} / U_{MERn}$
 $CalibAdcToUmeas = 32.767/32767.0 * 30.216V / 30.010 V = 0.001006864$
6. Vypočítané konštanty okopírujeme do zdrojového kódu plug-in modulu, skompilujeme a flashneme do mikrokontroléra. Použijeme aspoň 6 platných číslic
const float CalibUspToDac = 124.076134;
const float CalibAdcToUmeas = 0.001006864;
7. Opakujeme s ostatnými kanálmi

Postup kalibrácie **merania prúdu** je nasledovný:

1. Riadiacim modulom nastavíme prúdový limit na maximum. Kalibrovateľný kanál zdroja zaťažíme výkonovým rezistorom nízkej hodnoty (jednotky Ohmov). Výstupné napätie nastavíme tak, aby bola hodnota prúdu blízko 3 A.
2. Presným multimetrom odmeriame skutočný výstupný prúd $I_{SKUTn} = 2.995$ A (príklad).
3. Z displeja zdroja odčítame nameranú hodnotu prúdu $I_{MERn} = 2.990$ A (príklad)
4. Vypočítame kalibračné konštanty
 $CalibAdcToImeas = 3.1752/32767.0 * I_{SKUTn} / I_{MERn}$
 $CalibAdcToImeas = 3.1752/32767.0 * 2.995A / 2.990A = 1.006864$
5. Vypočítané konštanty okopírujeme do zdrojového kódu plug-in modulu, skompilujeme a flashneme do mikrokontroléra. Použijeme aspoň 6 platných číslic
const float CalibAdcToImeas = 9.70644e-5;
6. Opakujeme s ostatnými kanálmi

Kalibrácia nastavenia maximálneho prúdu je časovo náročnejšia a obtiažnejšia, na súťaži ju nebudeme robiť.

Poznámka: Nastavené, skutočné a namerané hodnoty napätí/prúdov by sa aj bez kalibrácie nemali líšiť o viac ako 1%. Ak je odchýlka vyššia ako 2-3% je s veľkou pravdepodobnosťou problém s hardware zdroja.

Poznámky k zapojeniu

Zdroj je napájaný z toroidného transformátora s dvoma vinutiami 33-36V. Ak nebudete zdroj využívať pri plnom napätí a prúde postačí aj 30V. Vstupné napätie je limitované kondenzátormi dimenzovanými na 50 V, predregulátor znesie 57 V.

Pomocné obvody sú napájané striedavým napätím 9V. Ak použijeme štandardný toroidný transformátor, je možné jednoducho privinúť pomocné vinutia pre 9V sekcie. Prúdové zaťaženie je zanedbateľné (max. 150 mA).

Pre aplikácie s vysokým impulzným odberom je možné vypustiť tlmivku L3 (nahradit' prepojkou), zlepši sa odozva zdroja.

Dynamická odozva zdroja bola nastavená pre túto konkrétnu kombináciu použitých aktívnych súčiastok. V prípade, že zmeníte typ výkonového tranzistora, alebo operačné zosilňovače je možné, že zdroj bude pri zmenách záťaže prekrmitávať, alebo dokonca oscilovať. V tom prípade je nutné upraviť frekvenčnú odozvu regulátorov okolo IC3 a IC4.

Zoznam súčiastok

Súčiastka	Hodnota	Typ	Poznámka
C1, C2, C5, C6, C8, C9	2200 μ F/50V	WL1H228M1835MBB	Nízka impedancia
C15, C16, C17, C18, C20, C21	220 μ F/35V	GT 220U/35V	Nízka impedancia
C23	1nF		
C26	100p		
C27	22 μ F/35V		Štandardný elyt
C3, C4	2200 μ F/25V	CE-2200/25PHT-Y	Štandardný elyt
C7, C10, C11, C12, C13, C14, C19, C22, C24, C25, C28, C29	100n		
D1, D2, D3, D4, D5, D6, D8, D15	SK86-DIO	SK86-DIO	Schottky dióda 60V/8A
D7, D9, D10, D11, D12, D13, D14	1N4148	1N4148-DIO	Malosignálová dióda
IC1	7805		
IC2	LM2576HVT-ADJ	LM2576HVT-ADJ	Použiť teplovodivú pastu
IC3, IC4	OPA2227		Precízny OZ, 8MHz, 75 μ V. Pre nenáročné aplikácie možno nahradit' NE5532
KK1, KK2	chladič	SK129-63STS	Tep. odpor <5K/W
L1, L2	100uH, 5A, 59m Ω	DPO-5.0-100	Výkonová tlmivka
L3	64uH; 5A; 60m Ω	DLV-640-M5.0	Výkonová tlmivka
PLUGIN	Riadiaci modul		Osadiť konektor
R1, R2, R7, R13, R14, R16, R17, R19, R20, R22	2.2k		
R5, R11	2.2k, 1%		Zmerať a vybrať kusy rovnakej hodnoty! 2.xxx
R18	43k		
R6, R12	43k, 1%		Zmerať a vybrať kusy rovnakej hodnoty! 4x.xx
R3, R15	1.2k		
R4, R21	33k		
R8, R9, R10	0.1 Ohm		
RE1	SPST relé	LEG-1A-12F	
T1, T3	BCP55-16	BCP55-16	
T2, T4	BCP52-16	BCP52-16	
T5	TIP35C	TIP35C	Použiť teplovodivú pastu

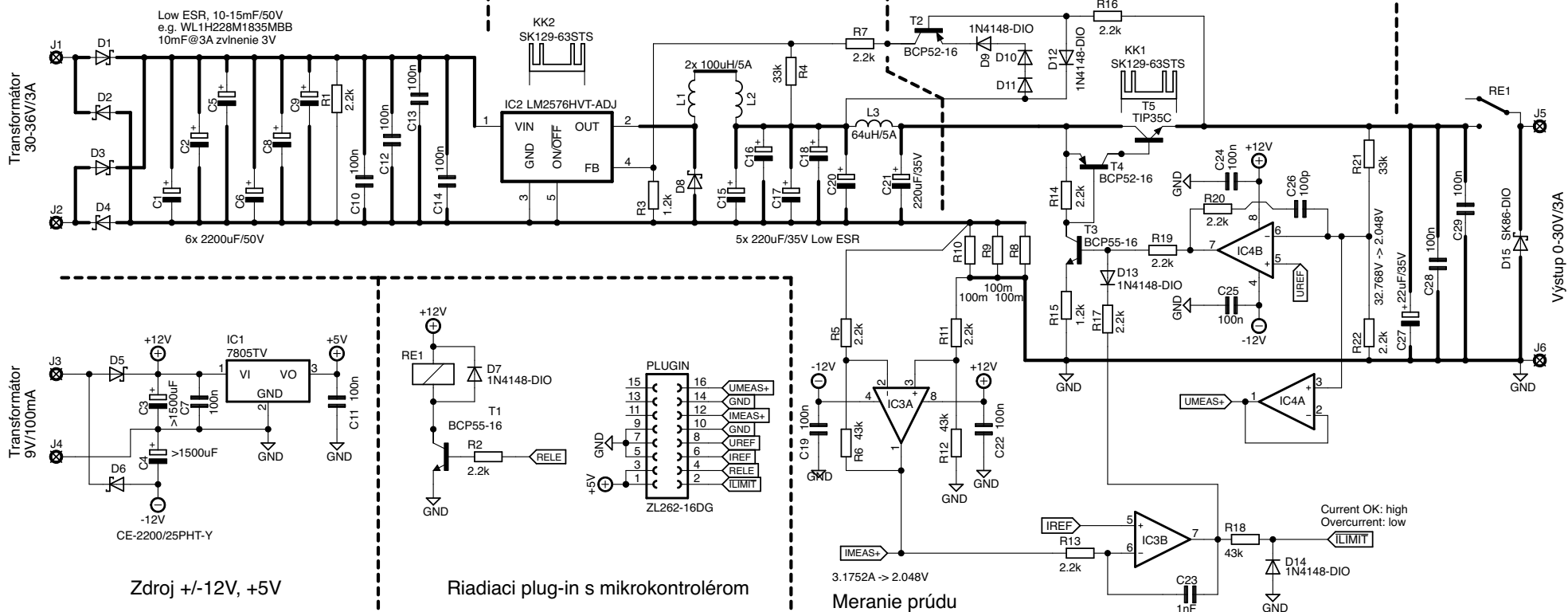
Autori: Ing. Daniel Valúch, PhD., daniel.valuch@cern.ch, Ing. Tomáš Pavlíček, xpavlicek@gmail.com

Usmerňovač a zberné kondenzátory 50Hz

Predregulátor a filter 52kHz

Lineárny stabilizátor

Prúdová poisťka



Výstup 0-30V/3A

zdroj33_final
22/01/2017 11:29