

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra řídicí techniky**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**



**Spínaný zdroj 24V/2,5A**

Praha 2003

Petr Janda

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady ( literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v příloženém seznamu.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č.121/2000 Sb. , o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....  
podpis

## Obsah

I.	Zadání	3
	1. Podrobné zadání	4
II.	Úvod	5
III.	Realizace a rozbor daného tématu	7
	1. Úvodní rozbor	7
	2. Popis funkce integrovaného obvodu UC3842	8
IV.	Popis funkce spínaného zdroje	10
V.	Výpočet daných součástek	12
	1. Návrh transformátoru	12
	2. Význam použitých symbolů	18
	3. Výpočet filtračního kondenzátoru	19
	4. Návrh výstupního filtru zdroje	19
	5. Návrh řídicí části zdroje	20
VI.	Oživení	21
VII.	Výsledné schéma	23
VIII.	Deska plošného spoje	24
	1. Deska plošného spoje ze strany spojů	24
	2. Deska plošného spoje ze strany součástek	25
IX.	Soupiska součástek	26
X.	Naměřené a vypočtené hodnoty	28
XI.	Závěr	30
XII.	Použitá literatura	31
Příloha A	Katalogový list integrovaného obvodu UC3842	
Příloha B	Katalogový list feritového jádra ETD 39	
Příloha C	Katalogový list krabic na DIN lištu MODULBOX	



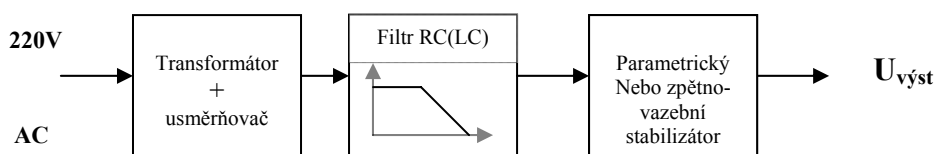
## I. 1. Podrobné zadání

Navrhněte spínaný napájecí zdroj s následujícími parametry:

<b>Primární napětí</b>	<b>230V AC</b>
<b>Přípustný rozsah</b>	<b>85V .... 264V</b>
<b>Frekvence vstupního napětí</b>	<b>47 .... 63 Hz</b>
<b>Jmenovité výstupní napětí</b>	<b>24V DC</b>
<b>Tolerance napětí</b>	<b>+/- 3%</b>
<b>Zvlnění</b>	<b>&lt; 250 mV ss</b>
<b>Výstupní proud</b>	<b>2.5A</b>
<b>Zkratová odolnost</b>	<b>ANO</b>
<b>Montáž</b>	<b>na DIN lištu 35 mm</b>

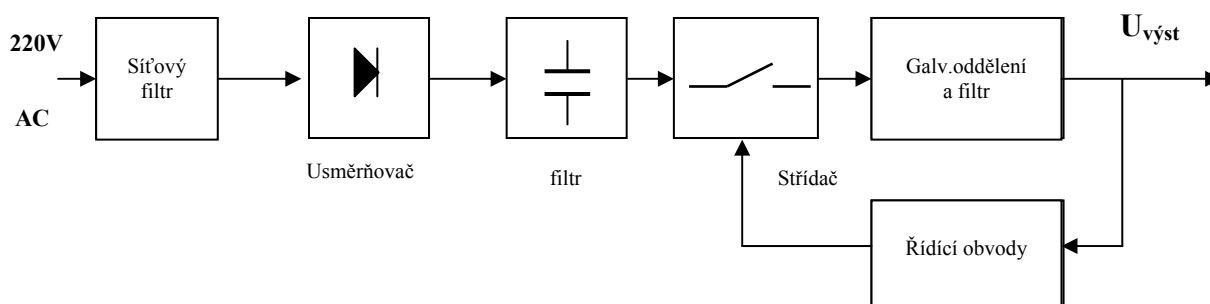
## II. Úvod

Většina elektronických systémů vyžaduje pro svou funkci stejnosměrné napájecí napětí. Naprostá většina aplikací používá napájení ze sítě technického kmitočtu. Soubor elektronických obvodů, které změny síťové napětí, usměrní, filtruje, stabilizuje a chrání před přetížením se nazývá napájecí zdroj. Napájecí zdroje rozdělujeme na klasické a impulsní. Klasický napájecí zdroj obsahuje transformátor, usměrňovač, filtr a stabilizátor (blokové schéma viz obr.1).



Obr. 1

Impulsní napájecí zdroj podle blokového schématu obr.2. Zde se usměrní síťové napětí bez transformátoru, vyhladí se filtračním kondenzátorem, stejnosměrné napětí se přivádí na střídač, který je řízen zpětnou vazbou metodami PWM. Pulsní napětí se transformuje pomocí pulsního transformátoru (obvykle s feritovým jádrem) na požadovanou úroveň, usměrňuje se a filtruje na požadované zvlnění. Impulsní zdroje se vyznačují též velikým rušením, proto je nutné použít filtr jak na výstupu tak i na vstupu impulsního zdroje (síťový filtr).



Obr. 2

**Impulsní zdroje** mají řadu výhod oproti klasickým napájecím zdrojům, mezi hlavní patří:

**Dostí značná hmotnostní a objemová úspora**

**Vyšší energetická účinnost**

**Menší problémy s chlazením**

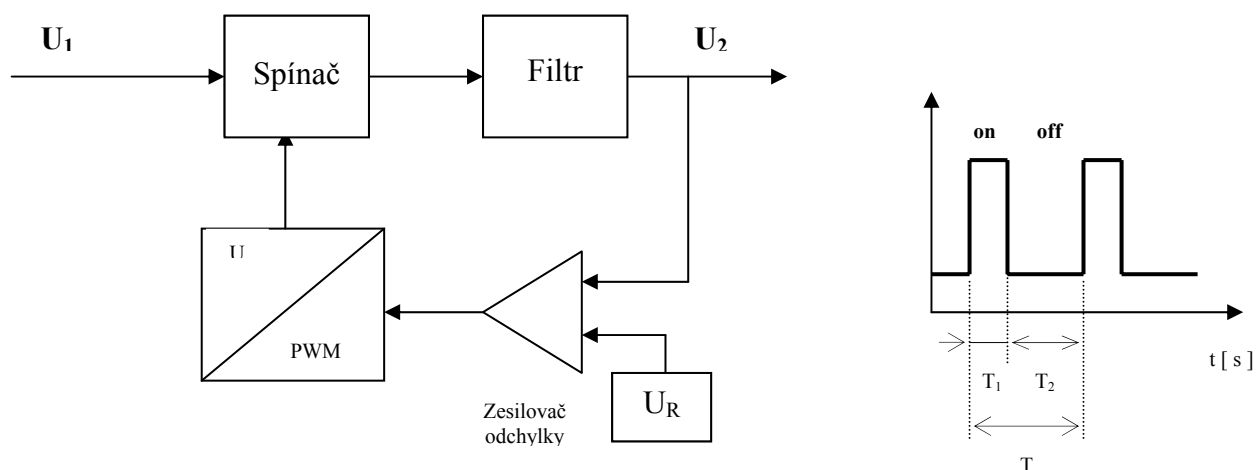
**Impulsní zdroje** mají také některé nevýhody těmi hlavními jsou:

**Nutnost odrušovat frekvence vyzařované do okolí**

**Vyšší požadavky na kvalitu součástek**

**Pokles energetické účinnosti při malé zátěži**

Základem impulsního napájecího zdroje je DC-DC měnič, blokové schéma tohoto měniče je na obr.3. Řídící členem je spínač, který je v části periody  $T_1$  sepnut a ve zbytku periody  $T_2$  rozepnut. V době  $T_1$  se výkon odebírá ze zdroje vstupního napětí a po dobu  $T_2$  je výkon dodáván do zátěže z energie akumulované v měniči po dobu  $T_1$ . Akumulačním prvkem bývá cívka nebo transformátor. Jako spínače se používá vysokofrekvenčního spínacího prvku např. tranzistoru.



Obr. 3

Existují dva základní typy měničů, které používá většina zapojení.

- 1.) **propustný měnič**, který dodává energii do zátěže v době  $T_1$
- 2.) **blokující měnič**, který dodává energii do zátěže v době  $T_2$
- 3.) **speciální měniče**, které kombinují oba první případy

V dnešní době existuje celá řada integrovaných obvodů, které slouží nejen jako řídicí obvody pro spínače, ale i regulátory ve výkonových pouzdrech které vyžadují pouze připojení výstupního LC filtru.

## **III. Realizace a rozbor daného tématu**

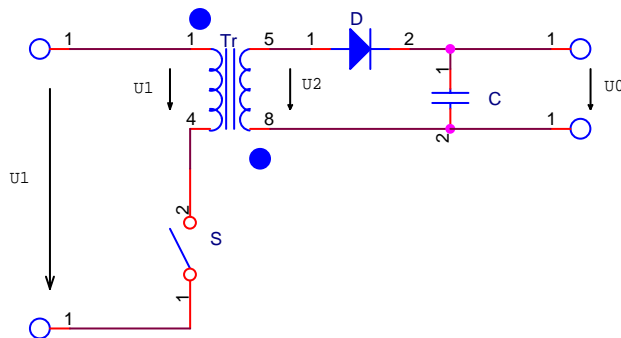
### **III. 1. Úvodní rozbor**

Pro realizaci daného problému jsem se rozhodl použít modifikaci zapojení klasického spínaného zdroje (viz. Obr.4), který se používá jako zdroj pro PC a monitory. V tomto zapojení je použit blokující DC-DC měnič s transformátorem. Původní záměr použít pro realizaci spínaného zdroje monolitický měnič napětí nebylo možné, hlavním důvodem je velký rozsah vstupního napětí, tento problém nelze kompenzovat ani pomocí před-regulátoru napětí a to z důvodu velké výkonové ztráty, kterou by nebylo možné kompenzovat chlazením. Nelze použít ani síťový transformátor a to také z důvodu velkého rozsahu vstupního napětí.

Obr.4

Základní zapojení blokujícího měniče s impulsním transformátorem je na Obr.5. Tento měnič pracuje tak, že v první fázi se při sepnutém spínači S teče proud do zátěže a zároveň se nabíjí kondenzátor který hradí energii potřebnou pro zátěž při rozpojeném spínači S. U tohoto zapojení je důležité dodržet opačný smysl vinutí jinak se z blokujícího měniče stává měnič propustný. Výstupní napětí tohoto měniče lze nastavit převodovým poměrem transformátoru a to tak že může být nižší, ale i vyšší než je vstupní napětí tohoto měniče. Hlavní výhodou měniče je galvanické oddělení vstupu a výstupu. Tento měnič je velice často využíván a to především pro své široké použití, jediným problémem je složitý výpočet impulsního transformátoru.





Obr.5

Pro modifikované zapojení bylo nutné přepočítat hodnoty některých součástek a hlavně bylo nutné přepočítat impulsní transformátor. Tento transformátor je nejdůležitější součástí tohoto zdroje a jeho návrh je celkem složitý a pracný. Z výpočtu impulsního transformátoru získáme nejen údaje potřebné pro realizaci tohoto transformátoru, ale i maximální hodnoty proudů jednotlivých vinutí což je důležité pro výběr vhodných součástek námi realizovaného spínaného zdroje.

Dále je nutné přepočítat hodnoty součástek vstupního (síťového filtru), výstupních filtrů jednotlivých vinutí, kapacitu filtračního kondenzátoru, startovací rezistor pro integrovaný obvod UC3842, který slouží jako řídicí obvod pro spínač který je realizován pomocí tranzistoru IRF840. Je také třeba přepočítat součástky pro realizaci vlastního oscilátoru obvodu UC3842.

### **III. 2. Popis funkce integrovaného obvodu UC3842**

Obvod UC3842 je určen pro realizaci DC-DC měničů a síťových zdrojů s impulsním transformátorem pracujících s pevnou frekvencí a řízením proudu primárního vinutí. Blokové vnitřní schéma obvodu UC3842 je zobrazeno na Obr.6. Jak je vidět z tohoto schématu je vidět, že obvod obsahuje vlastní oscilátor u kterého se frekvence nastavuje pomocí externě připojené kombinace rezistoru  $C_T$ ,  $R_T$ , dle daného vztahu, oscilátor lze také synchronizovat vnějším signálem a to z důvodu potlačení rušení. Dále jsou zde obvody pro řízení impulsů pro řízení externího spínače, kterým obvykle bývá MOSFET tranzistoru. Těmito řídicími obvody jsou komparátor proudu, který porovnává napětí získané na snímacím rezistoru s 1V, a obvod odchylky výstupního napětí. Dalšími součástmi tohoto obvodu jsou budič výkonového tranzistoru, vnitřní napěťová reference vypínaná při podpětí a obvod detekce podpětí s hysterezí.

Obvod pracuje na principu řízení maximální proudu primárního vinutí podle odchylky výstupního napětí. V indukčnosti primárního vinutí transformátoru je po dosažení nastavené úrovně proudu uloženo definované množství energie, které je po vypnutí spínacího tranzistoru do výstupu měniče. Proud protékající primárním vinutím je snímáno na externím rezistoru  $R_S$ . Získané napětí je přivedeno na vstup komparátoru proudu, maximální hodnota tohoto napětí je 1V.

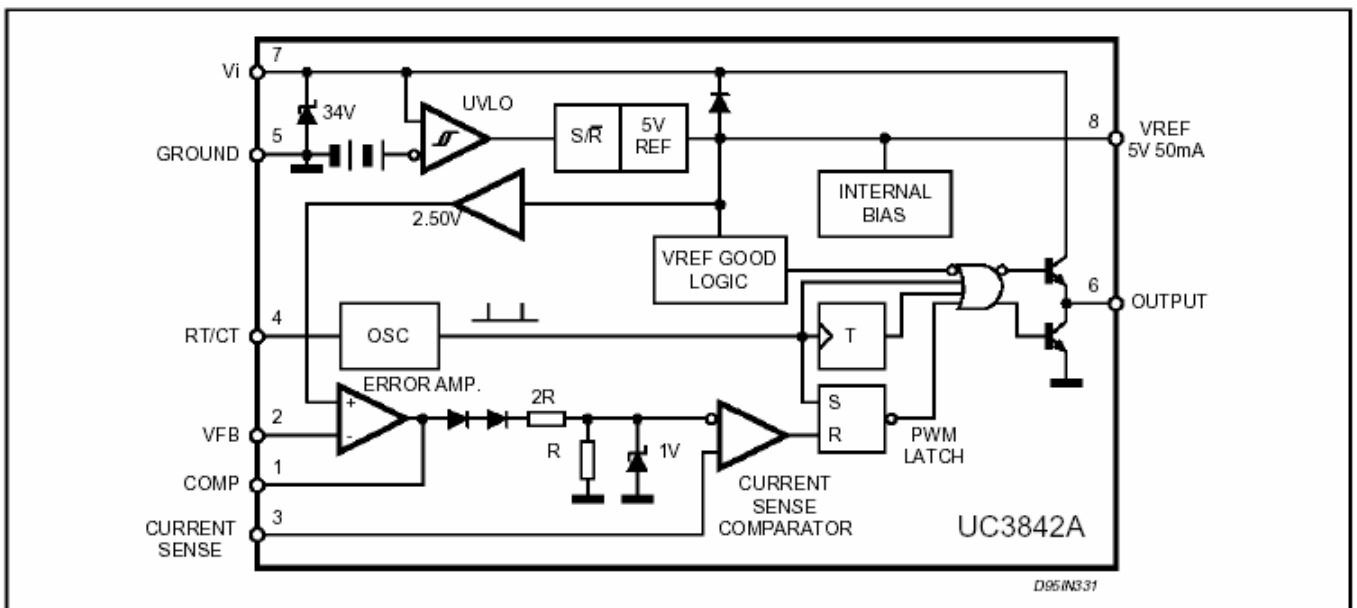
Tato hodnota určuje maximální proud, který protéká primárním vinutím v době kdy ještě nebylo dosaženo stanovené hodnoty výstupního napětí a zabraňuje přesycení. Výstup proudového komparátoru je přiveden na resetovací vstup klopného obvodu, který řídí budič spínacího tranzistoru. Klopný obvod je nastavován na počátku každého cyklu oscilátoru.

Výstupní napětí bývá obvykle sníženo a porovnáváno s referenčním napětím +2,5V. Napětí z komparátoru je dále sníženo o 1,4V dvěma diodami, což zajišťuje možnost úplného vypnutí zdroje na nízkou úroveň nebo při odpojení zátěže. Napětí za diodami je sníženo na třetinu a omezeno na úroveň +1V, toto napětí je přivedeno na druhý vstup komparátoru pro omezení proudu.

Výsledkem činnosti celého obvodu je řízení doby sepnutí výstupního tranzistoru, tj. PWM, během cyklu oscilátoru podle výchylky výstupního napětí. Limitace špičkového proudu zajišťuje, že nedochází k přesycování indukčnosti ani při proměnném vstupním napětí.

Podpěťová ochrana zajišťuje po startu spuštění výstupního budiče až do okamžiku, kdy napájecí napětí dosáhne horní prahové úrovně. Poté je obvod spuštěn a zůstává v činnosti až do okamžiku poklesu jeho napájecího napětí pod spodní prahovou úroveň. Pro obvod UC3842 jsou tyto úrovně +16V/+10V. Napájecí napětí pro obvod lze získat přivedením vstupního napětí přes člen s rezistorem a kondenzátorem. Protože je ve vypnutém stavu odběr obvodu maximálně 0,5mA, může být hodnota rezistoru velická. Po překročení horní prahové úrovně napájecího napětí je obvod spuštěn, přičemž energie uložená v kondenzátoru je využita ke startu zdroje a dosažení požadované hodnoty výstupního napětí. Dále může být celý obvod napájen ze vstupního napětí nebo z pomocného vinutí.

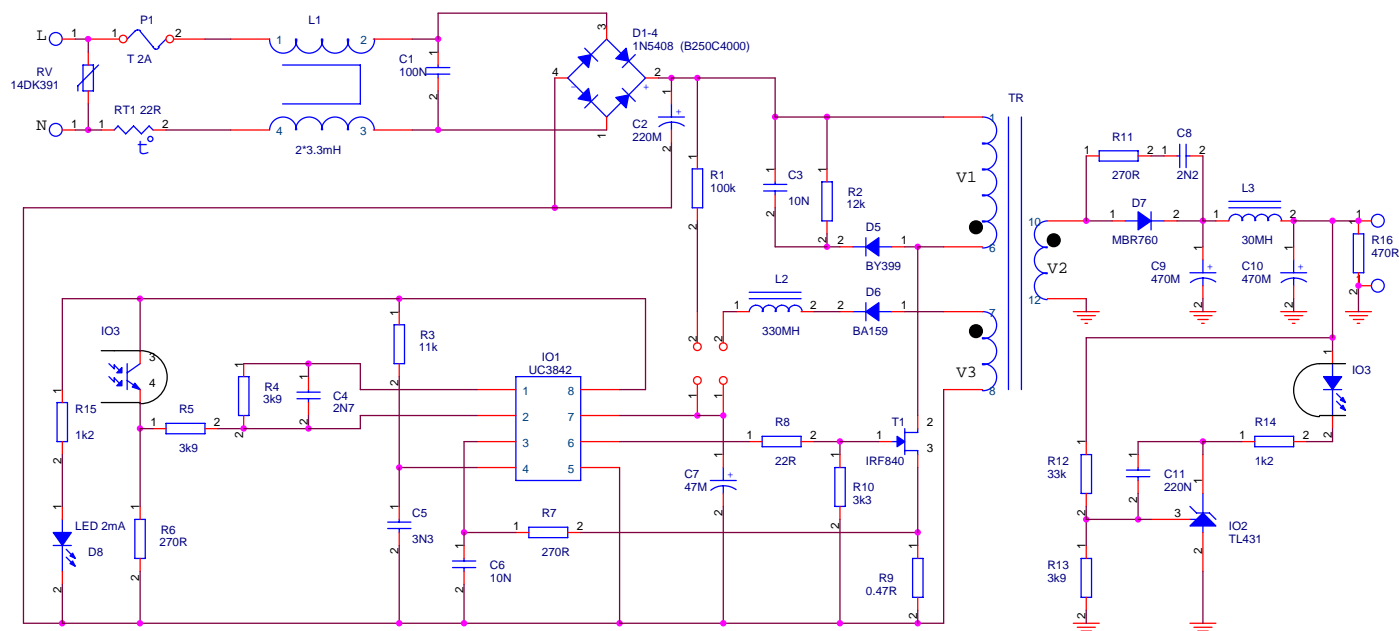
#### BLOCK DIAGRAM (toggle flip flop used only in UC3844A and UC3845A)



Obr.6

## IV. Popis funkce spínaného zdroje

Navržené schéma spínaného zdroje je na Obr.7.



Obr.7

Po zapnutí zdroje je síťové napětí usměrněno usměrňovacím můstkem realizovaným diodami D1-D4 a nabije se kondenzátor C2 a to až na  $372V=$ . Přeš rezistor R1 se nabijí kondenzátor C7. IO1 má minimální odběr a zatím je v tzv. sleep režimu. Jakmile však napětí na kondenzátoru C7 a vývodu č.7 integrovaného obvodu IO1 dostoupí zhruba  $16..18V$ , IO1 se "probudí" a na jeho vývodu č.8 se objeví stabilizované napětí  $+5V=$ . Tím se přes rezistor R3 se rozběhne vnitřní oscilátor na vývodu č.4 IO1, tvořený rezistorem R3 a kondenzátorem C5. Na vývodu č.6 IO1 se objeví obdélníkové řídicí impulsy pro tranzistor T1. Tranzistor začne spínat vstupní napětí z kondenzátoru C2 do primárního vinutí V1 transformátoru TR. Veškerá energie pro řídicí IO1 je zatím uhrazována z energie naakumulované na kondenzátoru C7, nahromaděné před startem. Proud procházející přes rezistor R1 však nedokáže spotřebu pracujícího IO1 uhrazovat. Pro tento případ je tu nutné druhé sekundární vinutí V3 transformátoru TR. Jakmile se zdroj úspěšně rozběhne, proud z tohoto vinutí se usměrní přes diodu D6 a začne napájet integrovaný obvod, který se tak udrží v chodu trvale. Na prvním sekundárním vinutí V2 transformátoru se indukují výstupní napětí, které je usměrněno diodou D7 a vyhlazeno v kondenzátorech C9, C10 a za pomoci tlumivky L3. Napětí na kondenzátorech po startu stoupá, až dojde k otevření referenční diody IO2 a současně k rozsvícení vnitřní led diody v optočlenu IO3. Ta způsobí osvit fototranzistoru (označená optická vazba), který připojí stabilizované napětí  $+5V$  z vývodu č.8 IO1 přes rezistor R5 na řídicí vstup IO1 (vývod č.2). Jakmile je na tomto vstupu dosaženo napětí vyšší než  $+2,5V$ , začne řídicí IO1 zužovat šířku impulsů pro tranzistor T1. Tím se zamezí dalšímu nárůstu napětí na výstupu zdroje. Řídicí impulsy pro transistor jsou řízeny i podle proudu, který prochází transistorem T1. K tomu slouží snímací rezistor R9, napětí na něm je kontrolováno na vstupu č.3 IO1 a jakmile je vyšší než  $1V$ , výstupní impulsy se

ihned ukončí. Tato ochrana reaguje velmi rychle. Zachrání zdroj při přetížení, špatně navrženém transformátoru, stejně tak i při průrazu primárního vinutí. Termistor RT1 omezuje proudový náraz při zapnutí a nabíjení C2. Síťový filtr realizovaný kondenzátorem C1 a tlumivkou L1 zabraňuje šíření rušení do sítě. Obvody C3, R2 odstraňují napěťové špičky vznikající na vinutí V1, které by jinak zničily tranzistor T1. Tutéž službu koná R11 a C8 pro diodu D7. Rezistor R8 chrání výstup IO1 před přetížením. Kondenzátor C5 s rezistorem R3 určuje kmitočet oscilátoru (zhruba 50 kHz). Obvod složený z rezistoru R7 a kondenzátoru C6 odstraňuje napěťové špičky vznikající na odporu R9. Obvod s kondenzátorem C4 a rezistorem R4 je člen zpětné vazby regulačního řetězce uvnitř řídicího obvodu IO1. Mimo tyto obvody tu existuje ještě jedna zvláštní nepřímá ochranná vazba. Vznikne-li na výstupu zdroje z nějakého důvodu vážný zkrat, druhé sekundární vinutí V3 nedokáže dodat dostatečné napájecí napětí pro řídicí obvod IO1 a zdroj se zastaví. Potom se bude (asi v půlsekundových intervalech) pokoušet o nový start pro případ, že by byl zkrat odstraněn. Tento stav systému nevádí a díky této vlastnosti je tento zdroj téměř "nezničitelný".

## V. Výpočet daných součástí

### V. 1. Návrh transformátoru

#### Vinutí 24V/2,5A

$U_1 = 85 \div 264 \text{ V}_{AC}$  ;  $U_{0N} = 24 \text{ V}$  ;  $I_0 = 2,5 \text{ A}$  ;  $f = 50 \text{ kHz}$  ;  $\sigma = 3 \text{ A/mm}^2$  ;  $\delta_{\max} = 0,5$   
ETD jádro materiálu H21

$$U_{1\min} = \sqrt{2 * 85 - 0,15 * 85 - 2} = \underline{100 \text{ V}}$$

$$U_{1\max} = \sqrt{2 * 264 - 2} = \underline{372 \text{ V}}$$

$$U_0 * n * (1 - \delta_{\min}) = U_{1\max} * \delta_{\min}$$

$$U_0 * n * (1 - \delta_{\max}) = U_{1\min} * \delta_{\max}$$

$$U_0 = U_{0N} + U_D + U_T$$

$$U_0 = 24 + 0,5 + 0,05 * 24 = \underline{25,7 \text{ V}}$$

$$n = \frac{U_{1\min} * \delta_{\max}}{U_0 * (1 - \delta_{\max})} = \frac{100 * 0,5}{25,7 * (1 - 0,5)} = 3,891 \quad \underline{n = 3,9}$$

$$\delta_{\min} = \frac{U_0 * n}{U_{1\max} + U_0 * n} = \frac{25,7 * 3,9}{372 + 25,7 * 3,9} = \underline{0,212}$$

pro  $\delta_{\min}$  :

$$I_0 = \frac{I_{L\max}}{2} * (1 - \delta_{\min}) \quad \Delta I_L = I_{L\max}$$

$$I_{L\max} = \frac{2 * I_0}{1 - \delta_{\min}} = \frac{2 * 2,5}{1 - 0,212} = 6,345 \text{ A} \quad \Delta I_L = I_{L\max} = 6,345 \text{ A}$$

$$\Delta I_1 = \frac{\Delta I_L}{n} = \frac{6,345}{3,9} = 1,627 \text{ A}$$

$$L_1 = \frac{U_{1\max} * \delta_{\min}}{f * \Delta I_1} = \frac{372 * 0,212}{50 * 10^3 * 1,627} = 0,969 * 10^{-3} \text{ H}$$

$$L_0 = \frac{L_1}{n^2} = \frac{0,969 * 10^{-3}}{3,9^2} = 0,637 * 10^{-4} \text{ H}$$

$$I_0 = (I_{L_{\max}} + I_{L_{\min}}) * \frac{1 - \delta_{\min}}{2} \quad \Delta I_L = I_{L_{\max}} - I_{L_{\min}}$$

$$2,5 = (I_{L_{\max}} + I_{L_{\min}}) * \frac{1 - 0,212}{2} \quad 6,345 = I_{L_{\max}} - I_{L_{\min}}$$

$$I_{L_{\max}} = 6,345 \text{ A} \quad I_{L_{\min}} = 0$$

$$I_{2\text{ef}} = \sqrt{I_{L_{\max}} * \frac{1}{3}} = \sqrt{6,345 * \frac{1}{3}} = 3,663 \text{ A}$$

pro  $\delta_{\max}$  :

$$\Delta I_1 = \frac{U_{1\min} * \delta_{\max}}{f * L_1} = \frac{100 * 0,5}{50 * 10^3 * 0,969 * 10^{-3}} = 1,032 \text{ A}$$

$$\Delta I_2 = \Delta I_1 * n = 1,032 * 3,9 = 4,025 \text{ A}$$

$$I_0 = (I_{L_{\max}} + I_{L_{\min}}) * \frac{1 - \delta_{\max}}{2} \quad \Delta I_L = I_{L_{\max}} - I_{L_{\min}}$$

$$2,5 = (I_{L_{\max}} + I_{L_{\min}}) * \frac{1 - 0,5}{2} \quad 4,025 = I_{L_{\max}} - I_{L_{\min}}$$

$$I_{L_{\max}} = 7,0125 \text{ A} \quad I_{L_{\min}} = 2,9875 \text{ A}$$

$$I_{2\text{ef}} = \sqrt{\left( \frac{\Delta I_L^2}{3} - \Delta I_L * I_{L_{\max}} + I_{L_{\max}}^2 \right)} = \sqrt{\left( \frac{4,025^2}{3} - 4,025 * 7,0125 + 7,0125^2 \right)}$$

$$\underline{I_{2\text{ef}} = 5,133 \text{ A}}$$

$$\sigma = 3 \text{ A/mm}^2$$

$$S_2 = \frac{I_{2ef}}{\sigma} = \frac{5,133}{3} = 1,711 \text{ mm}^2$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 * S_2}{\pi}} = 1,476 \text{ mm}$$

$$d_2 = 1,5 \text{ mm} \quad a_v = 0,83$$

$$I_{1ef} = \frac{I_{2ef}}{n} = \frac{5,133}{3,9} = 1,316 \text{ A}$$

$$\frac{B_s}{2} > \frac{L_0 * I_{2max} * d_2^2 * 2}{a_v * S_e^2}$$

$$0,25 > \frac{0,637 * 10^{-4} * 7,0125 * (1,5 * 10^{-3})^2 * 2}{0,83 * S_e^2}$$

$$S_e > 98,42 \text{ mm}^2$$

Z katalogového listu bylo zvoleno jádro ETD39

ETD39:  $S_e = 125 \text{ mm}^2$ ,  $l_e = 69 \text{ mm}$

$$N_2^2 = \frac{L_0 * l_e}{S_e * \mu_0 * \mu_e} \quad \mu_e = 68$$

$$N_2 = \sqrt{\frac{0,637 * 10^{-4} * 69 * 10^{-3}}{125 * 10^{-6} * 1,256 * 10^{-6} * 68}}$$

$$N_2 = 20 \text{ závitů}$$

$$N_1 = n * N_2 = 3,9 * 20 = 78 \text{ závitů}$$

## Vinutí 18V/50 mA

$$U_{1min} = \sqrt{2 * 85 - 0,15 * 85 - 2} = \underline{100 \text{ V}}$$

$$U_{1max} = \sqrt{2 * 264 - 2} = \underline{372 \text{ V}}$$

$$U_0 * n * (1 - \delta_{\min}) = U_{1 \max} * \delta_{\min}$$

$$U_0 * n * (1 - \delta_{\max}) = U_{1 \min} * \delta_{\max}$$

$$U_0 = U_{0N} + U_D + U_T$$

$$U_0 = 18 + 0,5 + 0,05 * 18 = \underline{19,4 \text{ V}}$$

$$\delta_{\max} = \underline{0,5}$$

$$n = \frac{U_{1 \min} * \delta_{\max}}{U_0 * (1 - \delta_{\max})} = \frac{100 * 0,5}{19,4 * (1 - 0,5)} = 5,1547 \quad \underline{n = 5,15}$$

$$\delta_{\min} = \frac{U_0 * n}{U_{1 \max} + U_0 * n} = \frac{19,4 * 5,15}{372 + 19,4 * 5,15} = \underline{0,211}$$

pro  $\delta_{\min}$ :

$$I_0 = \frac{I_{L \max}}{2} * (1 - \delta_{\min}) \quad \Delta I_L = I_{L \max}$$

$$I_{L \max} = \frac{2 * I_0}{1 - \delta_{\min}} = \frac{2 * 50 * 10^{-3}}{1 - 0,212} = 0,127 \text{ A} \quad \Delta I_L = I_{L \max} = 0,127 \text{ A}$$

$$\Delta I_1 = \frac{\Delta L}{n} = \frac{0,127}{5,15} = 0,025 \text{ A}$$

$$L_1 = \frac{U_{1 \max} * \delta_{\min}}{f * \Delta I_1} = \frac{372 * 0,212}{50 * 10^3 * 0,025} = 63,1 * 10^{-3} \text{ H}$$

$$L_0 = \frac{L_1}{n^2} = \frac{63,1 * 10^{-3}}{5,15^2} = 2,38 * 10^{-3} \text{ H}$$

$$I_0 = (I_{L \max} + I_{L \min}) * \frac{1 - \delta_{\min}}{2} \quad \Delta I_L = I_{L \max} - I_{L \min}$$

$$0,05 = (I_{L \max} + I_{L \min}) * \frac{1 - 0,212}{2} \quad 0,127 = I_{L \max} - I_{L \min}$$

$$I_{L \max} = 0,127 \text{ A} \quad I_{L \min} = 0$$



$$I_{2ef} = \sqrt{I_{Lmax} * \frac{1}{3}} = \sqrt{0,127 * \frac{1}{3}} = \underline{0,206 \text{ A}}$$

pro  $\delta_{max}$  :

$$\Delta I_1 = \frac{U_{1min} * \delta_{max}}{f * L_1} = \frac{100 * 0,5}{50 * 10^3 * 63,1 * 10^{-3}} = 0,016 \text{ A}$$

$$\Delta I_2 = \Delta I_1 * n = 0,016 * 5,15 = 0,082 \text{ A}$$

$$I_0 = (I_{Lmax} + I_{Lmin}) * \frac{1 - \delta_{max}}{2} \quad \Delta I_L = I_{Lmax} - I_{Lmin}$$

$$0,05 = (I_{Lmax} + I_{Lmin}) * \frac{1 - 0,5}{2} \quad 0,082 = I_{Lmax} - I_{Lmin}$$

$$I_{Lmax} = 0,141 \text{ A} \quad I_{Lmin} = 0,059 \text{ A}$$

$$I_{2ef} = \sqrt{\left( \frac{\Delta I_L^2}{3} - \Delta I_L * I_{Lmax} + I_{Lmax}^2 \right)} = \sqrt{\left( \frac{0,082^2}{3} - 0,082 * 0,141 + 0,141^2 \right)}$$

$$I_{2ef} = 0,103 \text{ A}$$

$$\sigma = 3 \text{ A/mm}^2$$

$$S_2 = \frac{I_{2ef}}{\sigma} = \frac{0,205}{3} = 0,0683 \text{ mm}^2$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 * S_2}{\pi}} = 0,295 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,3 \text{ mm} \quad a_v = 0,7$$

$$I_{1ef}^* = \frac{I_{2ef}}{n} = \frac{0,205}{5,15} = 0,04 \text{ A}$$

$$I_{1ef} = I_{1ef} + I_{1ef}^* = 1,316 + 0,04 = 1,356 \text{ A}$$

$$\sigma = 3 \text{ A/mm}^2$$

$$S_1 = \frac{I_{1ef}}{\sigma} = \frac{1,356}{3} = 0,452 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = \sqrt{\frac{4 * S_1}{\pi}} = 0,76 \text{ mm}$$

$$d_1 = 0,8 \text{ mm} \quad a_v = 0,79$$

$$N_2 = \frac{N_1}{n} = \frac{78}{5,15} = 15 \text{ závitů}$$

### **Výsledné údaje pro výrobu transformátoru:**

#### Jádro:

ETD39 materiál H21

$$\delta_{vz} = 2 \text{ mm}$$

#### Primární vinutí:

$$N = 78 \text{ závitů}$$

$$d_1 = 0,8 \text{ mm}$$

$$a_v = 0,79$$

#### Hlavní sekundární vinutí:

$$N = 20 \text{ závitů}$$

$$d_2 = 1,5 \text{ mm}$$

$$a_v = 0,83$$

#### Pomocné sekundární vinutí:

$$N = 15 \text{ závitů}$$

$$d_2 = 0,295 \text{ mm}$$

$$a_v = 0,7$$

## V. 2. Význam použitých symbolů

$U_1$	vstupní napětí
$U_{1\max}$	maximální vstupní napětí
$U_{1\min}$	minimální vstupní napětí
$U_{ON}$	jmenovité výstupní napětí
$U_0$	výstupní napětí
$U_T$	úbytek na vinutí
$U_D$	úbytek na diodě
$f$	frekvence měniče
$n$	převod transformátoru
$\delta_{\max}$	maximální střída
$\delta_{\min}$	minimální střída
$I_0$	výstupní proud
$I_{L\max}$	maximální sekundární proud
$I_{L\min}$	minimální sekundární proud
$\Delta I_L$	změna sekundárního proudu
$\Delta I_1$	změna primárního proudu
$L_1$	indukčnost primární vinutí
$L_0$	indukčnost sekundárního vinutí
$I_{1\text{ef}}$	efektivní hodnota primárního proudu
$I_{2\text{ef}}$	efektivní hodnota sekundárního proudu
$\sigma$	proudová hustota
$S_1$	průřez vodiče primárního vinutí
$S_2$	průřez vodiče sekundárního vinutí
$d_1$	průměr vodiče primárního vinutí
$d_2$	průměr vodiče sekundárního vinutí
$a_v$	činitel vinutí
$B_s/2$	Remanence
$S_e$	efektivní průřez jádra
$l_e$	efektivní délka magnetické siločáry
$\mu_0$	permeabilita vakua
$\mu_e$	efektivní permeabilita jádra
$N_2$	počet závitů sekundárního vinutí
$N_1$	počet závitů primárního vinutí

### V. 3. Výpočet filtračního kondenzátoru

$$A_1 = \frac{P_0}{2 * f_1 * \eta} = \frac{60}{2 * 47 * 0,85} = 0,751 \text{ Ws}$$

$$A_2 = \frac{P_0}{2 * f_2 * \eta} = \frac{60}{2 * 63 * 0,85} = 0,560 \text{ Ws}$$

$$C_1 = \frac{A_1}{U_{1\min}^2 - (0,85 * U_{1\min})^2} = \frac{0,751}{118^2 - (0,85 * 118)^2} = 194,4 \mu\text{F}$$

$$C_2 = \frac{A_2}{U_{1\min}^2 - (0,85 * U_{1\min})^2} = \frac{0,560}{118^2 - (0,85 * 118)^2} = 144,9 \mu\text{F}$$

$$C = 220 \mu\text{F}$$

### V. 4. Návrh výstupního filtru zdroje

#### A) vinutí 24V/2,5A

$$X_c < 0,02 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f * X_c} = \frac{1}{2 * \pi * 50 * 10^3 * 0,02} = 159 * 10^{-6} \text{ F} \quad C = 470 \mu\text{F}$$

$$q = 1500$$

$$f_r = \frac{f}{\sqrt{1+q}} = \frac{50 * 10^3}{\sqrt{1+1500}} = 1290 \text{ Hz}$$

$$L = \frac{1}{(2 * \pi * f_r)^2 * C} = \frac{1}{(2 * \pi * 1290)^2 * 470 * 10^{-6}} = 32,39 * 10^{-6} \text{ H} \quad L = 64 \mu\text{H}$$

#### B) vinutí 18V/50 mA

$$X_c < 0,1 \Omega$$

$$C = \frac{1}{2 * \pi * f * X_c} = \frac{1}{2 * \pi * 50 * 10^3 * 0,1} = 31,8 * 10^{-6} \text{ F} \quad C = 47 \mu\text{F}$$

$$q = 1500$$

$$f_r = \frac{f}{\sqrt{1+q}} = \frac{50 * 10^3}{\sqrt{1+1500}} = 1290 \text{ Hz}$$

$$L = \frac{1}{(2 * \pi * f_r)^2 * C} = \frac{1}{(2 * \pi * 1290)^2 * 47 * 10^{-6}} = 323 * 10^{-6} \text{ H} \quad \mathbf{L = 330 \mu H}$$

## V. 5. Návrh řídicí části zdroje

### Výpočet startovacího rezistoru

$$I_{\text{start}} > 0,5 \text{ mA}$$

$$R_{\text{start}} < \frac{U_{1\text{min}}}{I_{\text{start}}}$$

$$R_{\text{start}} < \frac{100}{0,5 * 10^{-3}}$$

$$R_{\text{start}} < 200 * 10^3 \Omega$$

$$\mathbf{R_{\text{start}} = 100 \text{ k}\Omega}$$

### Výpočet součástek vlastního oscilátoru IO

$$f = \frac{1,72}{C_T * R_T}$$

$$f = 50 * 10^3 \text{ Hz} \quad \mathbf{R_T = 11 \text{ k}\Omega \Rightarrow C_T = 3,3 \text{ nF}}$$

## VI. Oživení

Jelikož jde o zdroj skládající se z více samostatně fungujících částí a zdroj pracující se síťovým napětím je lépe tyto jednotlivé části oživit samostatně čímž se snadněji lokalizuje možný problém v zapojení.

- 1) Sestavíme celý zdroj, avšak horní konec primárního vinutí V1 transformátoru T1 zatím nepřipojujeme. Ani nepřipojujete zdroj k síti. Propojky J1 a J2 jsou rozpojeny.
- 2) Připojíme mezi záporný vývod hlavního elektrolytického kondenzátoru C2 a kladný vývod elektrolytického kondenzátoru C7 napětí 18V= (získané spojením dvou devíti voltových baterií, zásadně ne z nějakého externího zdroje!). V ten okamžik by se měla rozsvítit led dioda D8, která říká, že se integrovaný obvod IO1 „probudil“. Změříme napětí na vývodu č.8 integrovaného obvodu IO1 proti zápornému pólu hlavního kondenzátoru C2, mělo by být +5V. (Střídavým VF voltmetrem nebo osciloskopem se můžete také přesvědčit, zda se na řídicí elektrodě transistoru T1 objevily řídicí impulsy.) Když se nic neděje, je chyba v řídicí části. Pokud pokus proběhl úspěšně, odpojíme baterii a propojíme propojku J1.
- 3) Při dodržení všech bezpečnostních předpisů (nejlépe tak, že celý zdroj položený na izolační podložce uzavřeme pod průhledný plastový kryt), zapojíme 220V, avšak do série přes žárovku 220V/60 ... 100W. Led dioda D8 by měla začít periodicky blikat. Což je důkaz toho, že se obvod pokouší o opakovaný start. Síťové napětí odpojíme a vyčkáme, až led dioda D8 přestane blikat. V případě, že zařízení nepracovalo, máme chybu v usměrňovači nebo v oblasti odporu R1. Než budeme zasahovat do zařízení, zkontrolujeme, zda je kondenzátor C2 vybit, v případě že tomu tak není vybijeme jej přes odpor 10kΩ/min. 1W. Když led dioda přestala blikat, měl by být kondenzátor C2 samozřejmě vybit.
- 4) Nyní připojíme primární vinutí V1 transformátoru TR. Při rozpojených propojkách J1 a J2 připojíme opět baterii 18V mezi záporný vývod hlavního kondenzátoru C1 a kladný vývod elektrolytického kondenzátoru C7. Led dioda D8 signalizující provoz IO1 se rozsvítí. Nyní připojíme síťové napětí 220V (opět přes žárovku). V ten okamžik by se měl zdroj rozběhnout a na výstupu by se mělo objevilo napětí a mělo by být stabilizováno. Žárovka v síťovém přívodu by svítit neměla a pokud, tak jen velmi mírně. Nerozběhne-li se zdroj vůbec nebo nefunguje tak jak by měl, je chyba v transformátoru nebo v polaritě diody D7. V tomto posledním případě většinou svítí žárovka v síťovém přívodu a ohlašuje, že je někde enormní odběr. Po odpojení napájení a po vybití kondenzátoru C2 případnou závadu odstraníme.

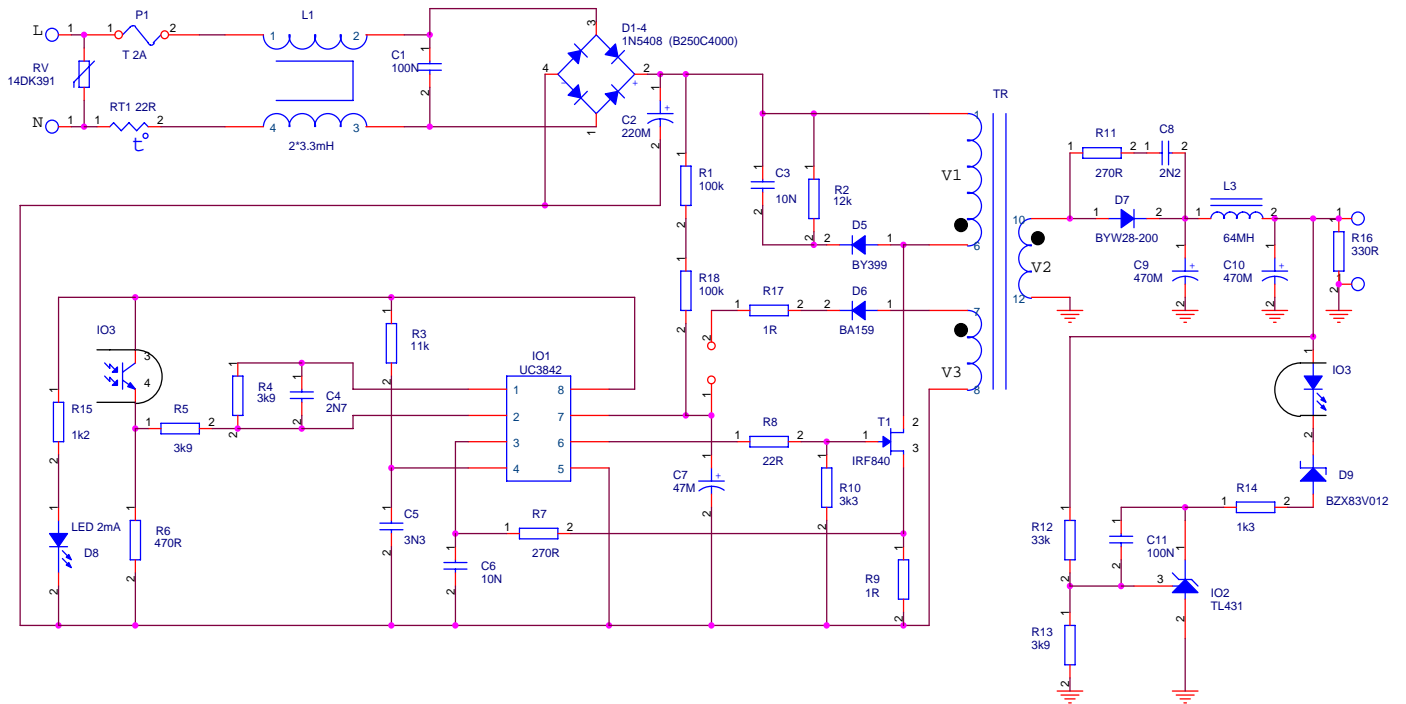
- 5) Odpojíme baterii a propojíme propojku J2. Pokus zopakujeme, mělo by opět docházet k pokusům o opakovaný start. Zdroj opět vypneme.
- 6) Propojku J2 necháme propojenou a spojíme i propojku J1. Nyní by po zapnutí měl zdroj běžet již trvale. Pokud ne, nedostává se z pomocného vinutí dostatečné napětí na kladný pól kondenzátoru C7 dostatečné napětí. Zřejmě je chyba ve vinutí V3 a bude nutno zvětšit počet závitů, nebo je hodnota tlumivky L2 moc velká. Napětí v tomto bodě by se mělo pohybovat okolo 18V.
- 7) Zapojíme zdroj do sítě přímo bez žárovky. Zatížíme výstup zdroje rezistorem o hodnotě 5,6 nebo 6,8  $\Omega$  na 10..25W (pozor silně se zahřeje!). Pokud zdroj běží je to v pořádku. Pokud zdroj vypadl a jen periodicky zkouší start, má vinutí V3 málo závitů nebo snížit hodnotu tlumivky L2.

### **Problémy při oživování**

Při oživování se vyskytli problémy:

- 1) V zapojení regulační vazby okolo optočlenu, ten se při běžícím zdroji enormně zahříval a způsoboval rychlý nárůst výstupního napětí, pro odstranění tohoto problému byla do obvodu zpětné vazby vřazena zenerova dioda, která svým záporným teplotním koeficientem vyrovnává teplotní stabilitu tohoto obvodu, pro zvýšení této stability byla hodnota rezistoru R6 v emitoru tranzistoru optočlenu zvýšena na 470  $\Omega$ .
- 2) z důvodu nedostatečného napětí na kondenzátoru C7 vyměněna tlumivka L3 za ochranný rezistor R17 o hodnotě 1  $\Omega$ .
- 3) pro možnost běhu zdroje bez připojené zátěže bylo nutno změnit hodnotu výstupního rezistoru R16 a to na hodnotu 330  $\Omega$ .
- 4) do série s rezistorem R1 byl zařazen rezistor R18 o hodnotě 100 k $\Omega$  a to z důvodu omezení maximálního průrazného napětí na tomto rezistoru.

## VII. Výsledné schéma









## IX. Soupiska součástek

R1	100k	2W	RR W2	metalizovaný	4.-
R2	12k	2W	RR W2	metalizovaný	4.-
R3	11k	0.125W	SMD	vel. 1206	1.-
R4	3k9	0.125W	SMD	vel. 1206	1.-
R5	3k9	0.125W	SMD	vel. 1206	1.-
R6	470R	0.125W	SMD	vel. 1206	1.-
R7	270R	0.6W	RR	metalizovaný	1.-
R8	22R	0.6W	RR	metalizovaný	1.-
R9	0.47 R	2W	RR W2	metalizovaný	4.-
R10	3k3	0.6W	RR	metalizovaný	1.-
R11	270R	0.6W	RR	metalizovaný	1.-
R12	33k	0.125W	SMD	vel. 1206	1.-
R13	3k9	0.125W	SMD	vel. 1206	1.-
R14	1k3	0.6W	RR	metalizovaný	1.-
R15	1k2	0.125W	SMD	vel. 1206	1.-
R16	270-330R	4W		metalizovaný	5.-
R17	1R	0.6W	RR	metalizovaný	1.-
R18	100K	0.6W	RR	metalizovaný	1.-
C1	100N/ 1000V		MKS4	fóliový	20.-
C2	220M/400V		E	elektrolytický	150.-
C3	10N/1000V		MKS4	fóliový	9.-
C4	2N7		SMD 1206	keramický	2.-
C5	3N3/100V		CF2	fóliový	3.-
C6	10N		SMD 1206	keramický	2.-
C7	47M/50V		E	elektrolytický T=105°C	4.-
C8	2N2/100V		CF2	fóliový	3.-
C9	470M/63V		E	elektrolytický T=105°C	20.-
C10	470M/63V		E	elektrolytický T=105°C	20.-
C11	100N		SMD 1206	keramický	2.-
D1-4	B250C4000		250V/4A	usměřovací můstek	20.-
D5	BY399		800V/3A	rychlá	4.-
D6	BA159		1000V/1A	rychlá	2.-
D7	BYW80-200		200V/8A	velmi rychlá	25.-
D8	LED 5MM 2mA			zelená	4.-
D9	BZX83V012		12V/0.5W	zenerova dioda	2.-
RT1	22R		termistor	negativní NTC	20.-
RV1	ERZC14DK391		varistor	390V=	8.-

L1	2*3,3mH		odrušovací tlumivka	50.-
L2	64mH	SFT1240	tlumivka	55.-
P1	2 A	T	pojistka	4.-
T1	IRF840	500V/8A	N-MOSFET	32.-
IO1	UC3842(4)		PWM controler	21.-
IO2	TL431	2,5-36V	napěťová reference	6.-
IO3	PC817		optočlen	7.-
S1	ARK110/2		svorkovnice	10.-
S2	ARK110/2		svorkovnice	10.-
S3	ARK110/2		svorkovnice	10.-
F1	KS20SW		poj.držák	8.-
Transformátor			viz. text	305.-
Krabice na DIN lištu			MODULBOX DIN 9M	165.-
Celkem				cca.1200.-





## **XI. Závěr**

Výsledkem tohoto projektu je plně funkční spínaný zdroj, který splňuje všechny podmínky definované v zadání. Tolerance výstupního napětí se pohybuje mezi  $-2,05$  až  $-2,4$  %, zvlnění výstupního napětí je přibližně  $50$  mV, zdroj bez problémů dodává do zátěže maximální proud  $2,5$  A. Zkratová odolnost byla ověřena. Rozsah vstupního napětí byl při trvalém odběru  $1$  A a to v rozsahu  $70$  až  $260$  V.

Výstupní napětí se pohybuje okolo  $23,5$  V, což je o  $0,5$  V méně než je stanovené jmenovité napětí, tento rozdíl je způsoben transformátorem, který byl vyroben firmou Tronic ([www.trafo.cz](http://www.trafo.cz)), při objednávání jsem zadal této firmě údaje potřebné pro výrobu tohoto transformátoru s výstupní napětím  $24,5$  V, což se ukázalo jako nedostatečné, pro správné napětí na výstupu by bylo třeba transformátoru s výstupním napětím o  $0,5$  až  $0,7$  V vyšším.

Při ožívání se vyskytli problémy, které jsou popsány výše, tyto problémy byly odstraněny za pomoci níže uvedené literatury a konzultací.

Cenové náklady byly minimalizovány s ohledem na použití některých součástek z již nefungujících spínaných zdrojů, ale i při koupi všech těchto součástek by se cena měla pohybovat okolo  $1.200$  Kč, což je mnohem méně než cena tohoto zdroje zakoupeného od některé z firem, které se zabývají výrobou a prodejem těchto zdrojů.

## **XII. Použitá literatura**

- 1 Faktor, Zdeněk : Transformátory a tlumivky pro spínané zdroje.  
Nakladatelství BEN, Praha 2001
- 2 Vysoký, Ondřej : Elektronické systémy II  
Vydavatelství ČVUT, Praha 1999
- 3 Honců J., Hlinovský M., Vysoký O. : Elektronické systémy II, Návody ke cvičení  
Vydavatelství ČVUT, Praha 1999
- 4 Krejčířík A. : DC-DC měniče  
Nakladatelství BEN, Praha 2001
- 5 Belza J. : DC-DC měniče a jejich praktické použití  
Amatérské Radio B4/1994
- 6 [www.thompson.com](http://www.thompson.com)  
internetové stránky firmy SGS Thompson
- 7 [www.fonox.com](http://www.fonox.com)  
internetové stránky firmy, obsahující katalogové listy feritových jader



## **Příloha A**

### **Katalogový list integrovaného obvodu UC3842**

## **Příloha B**

### **Katalogový list feritového jádra ETD 39**

## **Příloha C**

### **Katalogový list krabic na DIN lištu MODULBOX**