

Návrh spínaného zdroje

System design of switching power supply

Radek Juráň

Bakalářská práce
2005



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Institut řízení procesů a aplikované informatiky

Vložit oficiální zadání diplomové/bakalářské práce

Úvodem bych chtěl poděkovat vedoucímu této bakalářské práce Mgr. Milanu Adámkovi, PhD. za jeho odborné rady, pomoc, věcné připomínky a za čas, který věnoval této bakalářské práci.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé bakalářské práce může být naloženo podle uvážení vedoucího bakalářské práce a vedoucího katedry. V případě publikace budu uveden jako spoluautor.

Prohlašuji, že jsem na celé diplomové práci pracoval/a samostatně a použitou literaturu jsem citoval/a.

Ve Zlíně, 04. 06. 2005

.....

podpis

Abstrakt

Rozvoj výpočetní techniky vede ke zvyšování nároků na konstrukce komponent. Do nich spadá důležitý prvek každého z těchto zařízení, napájecí zdroj. Konstrukce spínaných zdrojů se využívají nejen pro výpočetní systémy, ale mají hojné zastoupení i v průmyslové elektronice. Vykazují vysoký výkon a účinnost při malých rozměrech a hmotnosti. Úkolem této práce je obeznámit se základními principy funkce a konstrukčního uspořádání spínaných zdrojů, nastínit trendy a budoucnost těchto zařízení. V praktické části je realizován jednoduchý, výkonný zdroj v rámci diplomové práce.

Abstract

Expansion of computer equipment goes to escalation of claim of construction component. They contain important element of each of these devices - the power supply. Constructions of switching power supply doesn't use only for computing system but they have large representation at the industrial electronic. They are able to provide high power and effect on small dimensions and weight. The main target of this work is introduce bases principles of function and inner structure of switching power supply, outline the trends and future of these devices. At the practical part is realized simple and useful switching power supply in frame of this thesis.

OBSAH

ÚVOD.....	6
1 TEORETICKÁ ČÁST.....	7
1.1 NAPÁJECÍ ZDROJE.....	7
1.1.1 Lineární zdroje.....	7
1.1.2 Spínané zdroje.....	8
1.2 SPÍNANÝ ZDROJ.....	10
1.2.1 Požadavky na jednotlivé bloky zdroje.....	11
1.2.2 Princip činnosti základních typů spínaných zdrojů.....	12
1.2.3 Střída a perioda spínacího signálu.....	16
1.2.4 Princip spojení podle způsobu přenosu energie.....	17
1.2.5 Pulsně šířková modulace – PWM.....	20
1.2.6 Pulsně šířková modulace a proudová zpětná vazba.....	22
1.3 MĚŘENÍ NAPĚTÍ A PROUDU.....	23
2 PRAKTICKÁ ČÁST.....	25
2.1 REALIZACE SPÍNANÉHO ZDROJE.....	25
2.1.1 Obecná charakteristika.....	26
2.1.2 Modul základní desky zdroje.....	27
2.1.3 Modul regulace a výstupní obvody.....	28
2.1.4 Regulace napětí.....	29
2.1.5 Regulace proudu.....	30
2.1.6 Oživení zdroje a bloku regulace.....	30
2.2 REALIZACE MĚŘICÍHO MODULU.....	32
2.2.1 Charakteristika voltmetru - ampérmetru.....	33
2.2.2 Výpočet předřadníku a bočníku pro měření napětí a proudu.....	34
2.2.3 Popis zapojení.....	36
2.2.4 Výroba modulu měřidla.....	37
2.3 MĚŘENÍ NA ZDROJI.....	38
2.3.1 Měření zatěžovacích charakteristik zdroje.....	38
ZÁVĚR.....	42
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	44
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	45
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	47
SEZNAM TABULEK.....	48
SEZNAM PŘÍLOH.....	49

ÚVOD

Konstrukce spínaných zdrojů jsou schopny dodávat vysoké výkony do napájených obvodů. Nacházejí uplatnění v odvětvích výpočetní, ale i v průmyslové elektroniky. Pracují na zcela jiném principu nežli doposud používané lineární zdroje, kterými prakticky již nelze nahradit v řadě případů konstrukce spínaných zdrojů. Rozmach v používání těchto zdrojů nastal s rozvojem výpočetní techniky, tedy v druhé polovině 20 století. První konstrukce spínaných zdrojů obsahovaly tyristorové spínače pracujících na nízké frekvenci.

Lineární zdroje jsou charakteristické velkými ztrátami při přenosu energie, především tepelnými. V porovnání se spínanými zdroji dosahují malé účinnosti. Kdežto zdroje spínané pracují výhradně ve spínacím režimu. Zavedení zpětné vazby, kterou jsou spínané zdroje řízeny, umožňuje dynamicky řídit přenášený výkon z primární strany na sekundární dle potřeby. Tedy v závislosti na zatížení, na kolísání síťového napětí, atd. Dosahují relativně vysoké účinnosti ve srovnání s lineárními zdroji. Spínané zdroje mají náročnější kritéria na výběr součástek a konečný návrh zdroje je mnohem komplikovanější než u zdrojů lineárních.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Napájecí zdroje

Elektrické napájecí zdroje obecně jsou elektrická zařízení dodávající elektrickou energii pro potřeby obvodů. Ať již to jsou zdroje regulovatelné, především laboratorní, kdy je možno stavitelným prvkem hodnotu výstupního napětí měnit, nebo zdroje pevné, bez možnosti regulace výstupního napětí, především určené pro zabudování do celku elektrospotřebiče. Jejich hlavním cílem je určitým způsobem transformovat vstupní napětí, především síťové, na napětí vyhovující potřebám obvodů, které bude napájet. Vstupní síťové napětí není podmínkou, např. některé zdroje pracují se vstupním napětím přiváděným z baterií. Hovoříme-li o stejnosměrných zdrojích, jejichž hodnota výstupního napětí se periodicky s časem nemění, pak z hlediska vnitřního principu lze napětíové zdroje rozdělit na zdroje :

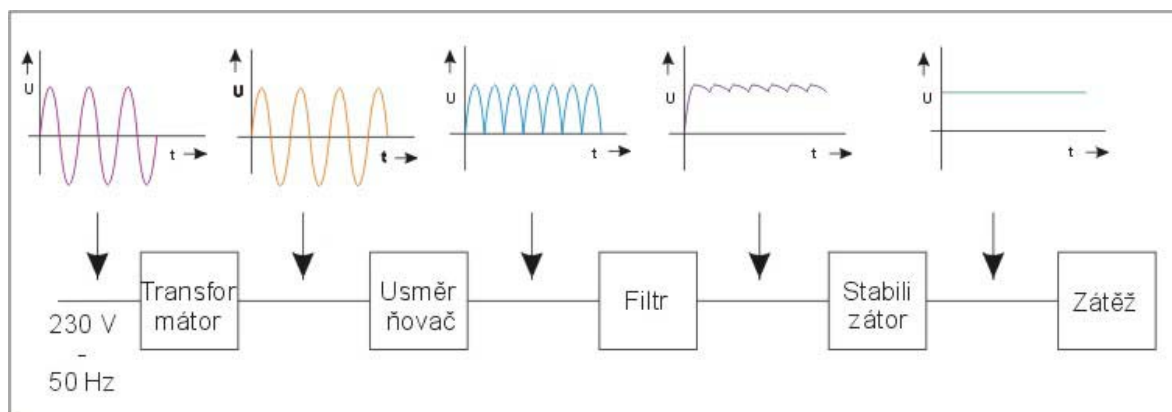
- lineární
- spínané.

Tyto se liší nejen podle principu funkce, jak napětí transformovat, ale také podle jiných vlastností jako je především účinnost, kvalita výstupního napětí, váha a v neposlední řadě také cena součástek potřebných k realizaci zdroje.

1.1.1 Lineární zdroje

Lineární zdroje jsou obvykle větších rozměrů a větší váhy. Jejich účinnost se pohybuje řádově mezi 30% - 50 %. Dnes už především využívají integrovaných stabilizátorů (s možností regulace), které se v řadě případů upevňují na chladiče nemalých rozměrů. S požadovaným odebíraným výkonem na výstupu zdroje roste jeho velikost, hmotnost a cena. Výhodou lineárních zdrojů je jednoduchý návrh a zapojení. Nejsou tak náročné na výběr součástek jako zdroje spínané. Případné tlumivky a kondenzátory obsažené ve filtračních členech mají mnohem větší hodnoty, jelikož pracují na nízké

frekvenci 50 Hz sítě. Síťové napětí se nejdříve za pomoci transformátoru sníží dle transformačního poměru na rovněž střídavé napětí a galvanicky oddělí od sítě. Toto je třeba usměrnit a výstupním filtrem či stabilizátorem, nebo kombinací obojí, vzniklé zvlnění na výstupu vyhladit. Blokové schéma jednoduchého lineárního zdroje, spolu s jednotlivými ilustračními průběhy napětí je na obr. 1. [2]



Obr. 1 Blokové schéma lineárního zdroje

1.1.2 Spínané zdroje

Prosazují se především v oblastech kancelářské a výpočetní techniky, ale i v odvětvích průmyslové elektroniky. A to díky vlastnostem, které spínané zdroje nabízejí v porovnání s lineárními zdroji. Jsou výhodnější z hlediska dosažitelného výkonu, vyšší účinnosti, menších rozměrů a váhy. Lze je rovněž využít i v případech omezeného výkonu dodávaného z baterií. Nevýhodné se můžou jevit z hlediska komplikovanějšího návrhu a zapojení. Účinnost těchto zdrojů je velmi vysoká, konkrétně dosahuje až $75\% - 90\%$. Díky vysoké pracovní frekvenci se snadněji filtrují zbytky střídavého napětí, naopak zbytky usměrněného síťového napětí o frekvenci 50 Hz se snadněji dostanou až na výstup. Vzhledem k těmto požadavkům jsou u spínaných zdrojů kladeny větší nároky na výběr součástek, jelikož se mnohem více uplatňují parazitní vlastnosti součástek než u zdrojů lineárních. Spolehlivost použitelných součástek klesá s rostoucím kmitočtem, začnou se uplatňovat mezní kmitočty tranzistorů a diod, stejnosměrné odpory elektrolytických kondenzátorů a rozptylové kapacity transformátorů. Zdroje využívají transformátorů s feritovými jádry vhodné pro impulsový provoz, také filtrační cívky jsou vinuty na feritových jádrech [1]. Zlepšením účinnosti se dosahuje v okolí pracovních kmitočtů 20

kHz a výše. Dnešní spínané zdroje však pracují na mnohem vyšších kmitočtech, řádově okolo $100\ kHz$ a díky moderním součástkám jsou schopny pracovat na frekvenci až $1\ MHz$, kdy je jejich účinnost až 8x lepší, nežli podobné lineární řešení s obdobnými vlastnostmi. Všechny spínané zdroje jsou řízeny zpětnou vazbou, která sleduje výstupní napětí nebo proud a pomocí řídicí logiky řídí činnost výkonového spínacího členu [1].

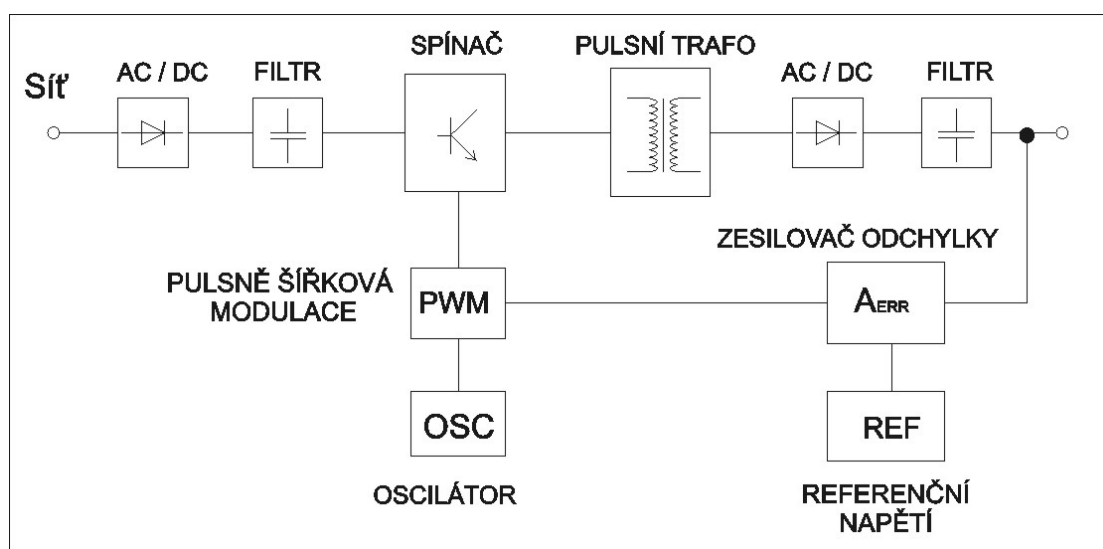
Stručný přehled vlastností jednotlivých typů zdrojů je uveden v tab.1. Je z ní patrné, že pro spínané zdroje hovoří především vysoká účinnost, poměr výkonu ku velikosti zdroje, poměr výkonu ku výsledné váze zdroje a cena. Tyto argumenty ve většině případů rozhodují v jejich prospěch. Naopak, proti hovoří vyšší hodnoty zvlnění výstupního napětí, odezvy na skok a doby náběhu. Avšak doplněním vhodnými kvalitními filtračními členy je možné takový zdroj použít kupříkladu k napájení zesilovačů, kde jsou kladeny vyšší nároky na minimální hodnoty šumu a zvlnění.

Tab. 1 Srovnání vlastností spínaných a lineárních zdrojů

Parametr	Spínaný zdroj	Lineární zdroj
účinnost	75 [%]	30 [%]
velikost	0,2 [W / cm ³]	0,05 [W / cm ³]
váha	100 [W / kg]	20 [W / kg]
výstupní zvlnění	50 [mV]	5 [mV]
šumové napětí	200 [mV]	50 [mV]
odezva na skok	1 [ms]	200 [ms]
doba náběhu	20 [ms]	2 [ms]
cena	přibližně konstantní	roste s výkonem

1.2 Spínaný zdroj

Pulsní - spínané zdroje se obvykle skládají z několika základních částí, které lze shrnout do blokového schématu, které je uvedeno na obr. 2. Některé části nemusí nutně obsahovat. Příkladem může být vstupní usměrňovač, který je při provozu z baterie zcela zbytečný, naopak u monitorů, zdrojů notebooků, laboratorních či jiných pulsních zdrojů odebírajících napětí ze sítě nezbytný. Jelikož zdroj pracuje se síťovým - střídavým napětím. Právě stejnosměrné vstupní napětí, co nejvíce zbavené střídavé složky, je podmínkou činnosti těchto zařízení. To je úkolem vstupního usměrňovače AC/DC a následného vyhlazovacího filtru. Základem činnosti moderního spínaného zdroje jsou polovodičové prvky pracující výhradně ve spínacím režimu. Vznikají jen velmi malé tepelné ztráty, z čehož vyplývá vysoká účinnost spínaných zdrojů (90 % i více). Dále, aby bylo možno vstupní stejnosměrné napětí transformovat, je nutné jej určitým způsobem převést na střídavý tvar. Děje se tak za pomoci vysokofrekvenčních spínacích prvků, dnes již běžně tranzistory, s vhodnými parametry. V dřívějších dobách se užívaly ke spínání tyristory s pracovní frekvencí 50 Hz či o něco málo větší, které nahradily právě spínací tranzistory s mnohem lepšími vlastnostmi. Napětí, které je přerušováno vhodným spínačem je přivedeno na primární část pulsního transformátoru. Ten zajistí transformaci napětí na sekundární vinutí a galvanické oddělení od síťové části. Napětí indukované v sekundární části se opět v bloku AC/DC usměrní a výstupním filtrem vyhladí. Dále je toto napětí vedeno do zpětné vazby, která na jeho základě řídí celou činnost zdroje. V



Obr. 2 Blokové schéma spínaného zdroje

bloku zesilovače odchylky se zesílí případný rozdíl referenčního napětí a napětí výstupního. Takto získaný signál, který vyjadřuje jak se požadované napětí liší od skutečného, se přivede do bloku komparátoru. Ten porovná výstupní signál oscilátoru a chybového napětí. Výsledkem je signál, jímž je řízen spínací prvek, tedy celý zdroj. [1]

1.2.1 Požadavky na jednotlivé bloky zdroje

Na výběr součástek a samotnou konstrukci jednotlivých bloků spínaného jsou kladeny vyšší nároky nežli u zdrojů lineárních. Především proto, že při vysokých frekvencích, na kterých pracují, se mnohem více uplatňují jejich parazitní vlastnosti. V následujícím jsou uvedeny některé z hlavních požadavků na jednotlivé bloky spínaného zdroje. Jsou však závislé na typu zdroje a konkrétních požadavcích.

Při činnosti zdroje, konkrétně spínacího prvku, vznikají rušivé pulsy, které vnikají do sítě. Proto se před blok usměrňovače zařazuje ještě síťový filtr, který by účinně filtroval rušení vznikající činností zdroje a rovněž rušení vnikající ze sítě do zdroje.

Pokud je vstupní napětí síťové, musí mít dané usměrňovací diody potřebné závěrné napětí. Kvůli nabíjení velkých kapacit filtračních kondenzátorů musí být dimenzovány na velké proudy. Zmiňované kondenzátory musí snášet stejnosměrné napětí překračující 330 V, což je maximální hodnota, na kterou se nabíjejí. Frekvence spínacího prvku je mnohem vyšší než frekvence sítě, z toho důvodu jsou tyto kondenzátory většinu času zdrojem napětí měniče. Uplatňuje se parazitní stejnosměrný odpor, který snižuje velikost proudového impulsu při sepnutí spínače.

Samotný spínač je namáhán velkým závěrným napětím vznikajícím při vypínání indukčnosti, na které musí být dimenzován, jako na velké proudy, tekoucí primárním vinutím. Podstatné jsou také spínací a vypínací časy, které mají vliv na ztráty způsobené spínačem. Je snahou tyto doby minimalizovat.

Zřejmě nejproblematictější částí je pulsní transformátor zajišťující potřebný převod a přenos energie na sekundární stranu. Velmi důležitý je použitý feritový materiál jádra, vhodný pro vysokofrekvenční provoz. Samotná konstrukce transformátoru, tedy způsob jeho vinutí a dodržení izolačních vlastností vyžaduje precizní návrh a konečnou realizaci. Charakteristické parazitní vlastnosti transformátorů jsou rozptylové indukčnosti a parazitní kapacity. Tyto by měly být co nejmenší

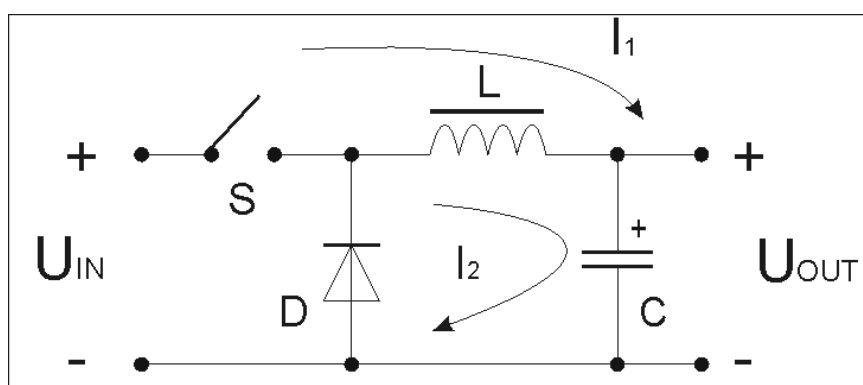
Výstupní střídavé napětí je na stejném kmitočtu jako spínací prvek. Usměrnovací diody musí být tedy dostatečně rychlé s velmi malou tzv. zotavovací dobou. Odebírané proudy někdy dosahují až desítky ampér, které tečou těmito diodami. Proto musejí být tyto diody patřičně dimenzovány a v řadě případů umístěny na chladič.

Výstupní filtr musí účinně filtrovat zvlnění způsobené činností měniče. Výstupní tlumivka by měla být navržena tak, aby pokrývala frekvenční pásmo vznikající změnou zátěže. Kondenzátory by měly mít opět malý stejnosměrný odpor stejně jako tlumivka. Tento totiž snižuje celkovou účinnost zdroje. [3]

1.2.2 Princip činnosti základních typů spínaných zdrojů

a) Obvody s indukčností, zapojenou do série se spínacím prvkem, snižující napětí

Cívka je zde součástí LC integračního článku obvodu na obr. 3. Pokud je sepnut spínač S, nabíjí se proudem I_1 kondenzátor C ze vstupu přes indukčnost L a na kondenzátoru roste napětí tím pomaleji, čím větší je kapacita C a indukčnost L. V téže době se průchodem proudu hromadí v magnetickém poli cívky energie. Po rozepnutí spínače S se tato energie mění na proud I_2 dobíjející kondenzátor C. V tomto případě se obvod uzavírá přes diodu D.



Obr. 3 Principiální schéma obvodu snižujícího napětí

Výstupní napětí je řízeno poměrem doby, kdy je spínač S sepnut či rozepnut, tzv. střídou signálu. Maximálně se však může rovnat napětí vstupnímu. Jelikož obvod snižuje napětí, bývá označován jako **Step – Down** nebo jako **BUCK**. Závislost doby sepnutí spínače na celkové době periody spínání se nazývá **klíčovací poměr** a je dán vztahem [1]

$$\delta = \frac{t_1}{T} \quad (1.1)$$

, kde

$$T = t_1 + t_2 \quad (1.2)$$

Je patrné, že poměr δ bude vždy v intervalu

$$0 \leq \delta \leq 1 \quad (1.3)$$

Tento matematický popis vychází ze dvou stavů, ve kterých je spínač rozepnut a sepnut.

Pokud je sepnut, pak po dobu sepnutí t_1 teče proud indukčností a narůstá podle vztahu [1]

$$U_L = L \frac{dI}{dt} \quad (1.4)$$

, z čehož plyne

$$\frac{(U_{IN} - U_{OUT})t_1}{L} = dI_1 \quad (1.5)$$

Na počátku, kdy spínač rozepneme, tedy na počátku t_2 , bude proud cívku pokračovat stejným směrem a stejnou velikostí

$$dI_1 = dI_2$$

ale se stejným poklesem dle (1.4), z toho vztahu pak

$$\frac{-U_{OUT}t_2}{L} = -dI_2 \quad (1.6)$$

Podle vztahu rovnosti obou proudů na konci doby t_1 a na počátku doby t_2 , lze tyto rovnice porovnat

$$U_{OUT}t_2 = (U_{IN} - U_{OUT})t_1 \quad (1.7)$$

konečnou úpravou lze získat jednoduchý vztah pro výstupní napětí v závislosti na poměru délek časů, v nichž je spínač sepnut či rozepnut

$$U_{OUT} = U_{IN} \left[\frac{t_1}{t_1 + t_2} \right] \quad (1.8)$$

a je-li výraz

$$\delta = \frac{t_1}{t_1 + t_2} \quad (1.9)$$

, pak lze jednoduše psát

$$U_{OUT} = \delta U_{IN} \quad (1.10)$$

Výstupní napětí U_{OUT} je tedy lineárně závislé na napětí vstupním U_{IN} .

b) Obvody s indukčností, zapojenou do série se spínacím prvkem, zvyšující napětí

Po dobu, kdy je sepnut spínač S, označovanou jako t_1 , se kondenzátor C vybíjí do zátěže, viz. principiální zapojení na obr.4. Dioda D zabraňuje jeho vybíjení přes spínač S. Ve stejnou dobu teče proud I_1 ze vstupu přes indukčnost a spínač S. V magnetickém poli cívky se opět hromadí energie. Proud cívkou roste až do doby rozepnutí spínače S, označované jako t_2 . V tuto dobu naakumulovaná energie cívky vyvolá indukci napětí na cívce. Toto napětí sčítá s napětím výstupním a dohromady vyvolají proud I_2 do výstupního kondenzátoru C. Indukované napětí na cívce závisí podle vztahu [1]

$$U_{IND} = -L \frac{dI_1}{dt} \quad (1.11)$$

, tedy na indukčnosti cívky, na hodnotě proudu I_1 , a rychlosti rozepnutí spínače S. Po sečtení s napětím vstupním je tedy vždy větší než napětí vstupní. Po dobu sepnutí platí pro protékající proud, že

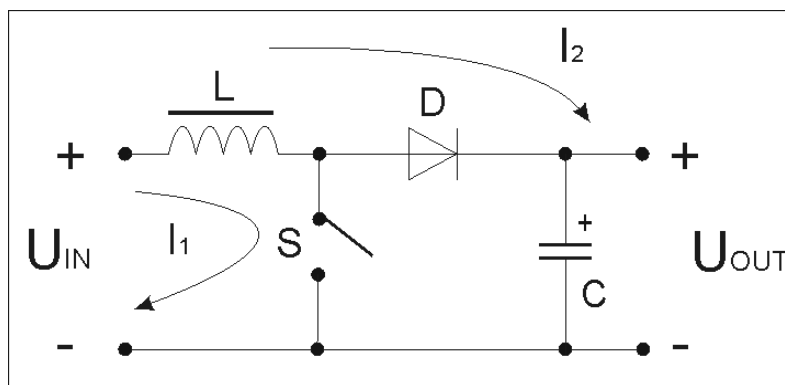
$$dI_1 = \frac{U_{IN} t_1}{L} \quad (1.12)$$

, po dobu t_2 pak

$$dI_2 = \frac{(U_{IN} - U_{OUT}) t_2}{L} \quad (1.13)$$

opět srovnáním obou proudů, jež jsou si při přechodu z doby t_1 na t_2 rovny, získáme vztah, který vyjadřuje velikost výstupního napětí na klíčovacím poměru

$$U_{OUT} = \frac{U_{IN}}{1 - \delta} \quad (1.14)$$



Obr. 4 Principiální schéma obvodu zvyšujícího napětí

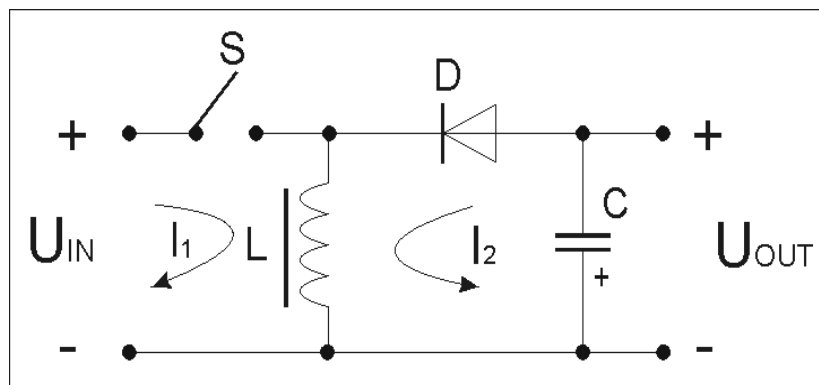
Pro poměr δ platí stejné pravidla jako v předchozím případě. Je tedy v intervalu podle vztahu (1.3). Platí, že

$$U_{OUT} > U_{IN}$$

Takovýto zdroj je nazýván **Step – up** nebo jako **BOOST**.

c) Obvody s indukčností, zapojenou do série se spínacím prvkem invertující napětí

Třetím používaným zapojením je pulsní zdroj invertujícího napětí. Principiální schéma je zobrazeno na obr.5. V čase t_1 , kdy je sepnut spínač S , teče proud I_1 ze vstupu, tedy vlivem napětí U_{IN} . Proud cívkou roste do té doby, než je spínač S rozepnut, během tohoto okamžiku se opět hromadí energie v magnetickém poli cívkou. Po rozepnutí spínače S , se indukčnost vlivem naakumulované energie snaží udržet velikost i směr proudu I_1 , vyvolá proud I_2 , kterým nabíjí kondenzátor C , ale v opačné polaritě než je vstupní. V tomto případě uzavírá obvod dioda D , která chrání též kondenzátor C proti přebíjení opačným napětím ze vstupu U_{IN} . [1]



Obr. 5 Principiální schéma obvodu invertujícího napětí

Velikost výstupního napětí U_{OUT} je dána rovněž v závislosti na klíčovacím poměru δ a jako v předešlých zapojeních vychází s popisu dvou stavů, sepnutého a rozepnutého spínače. Pro dobu t_1 a t_2 platí [1] :

$$-\frac{U_{IN}t_1}{L} = dI_1 \quad (1.15)$$

$$\frac{-U_{OUT}t_2}{L} = -dI_2 \quad (1.16)$$

, spojením obou rovnic získáme zjednodušený vztah

$$U_{OUT} = -U_{IN} \frac{\delta}{1-\delta} \quad (1.17)$$

Ze vztahu je patrné, že výstupní napětí může být větší i menší nežli napětí vstupní U_{IN} . Cizojazyčné označení pro tento typ zdroje je **INVERT**.

1.2.3 Střída a perioda spínacího signálu

Časové úseky t_1 , resp. t_2 , jimiž je řízena regulace výstupního napětí, lze volit dvěma různými způsoby. Tyto mají zásadní vliv na konstrukci celého zapojení [1] :

- S proměnnou frekvencí
- S konstantní frekvencí.

S proměnnou frekvencí

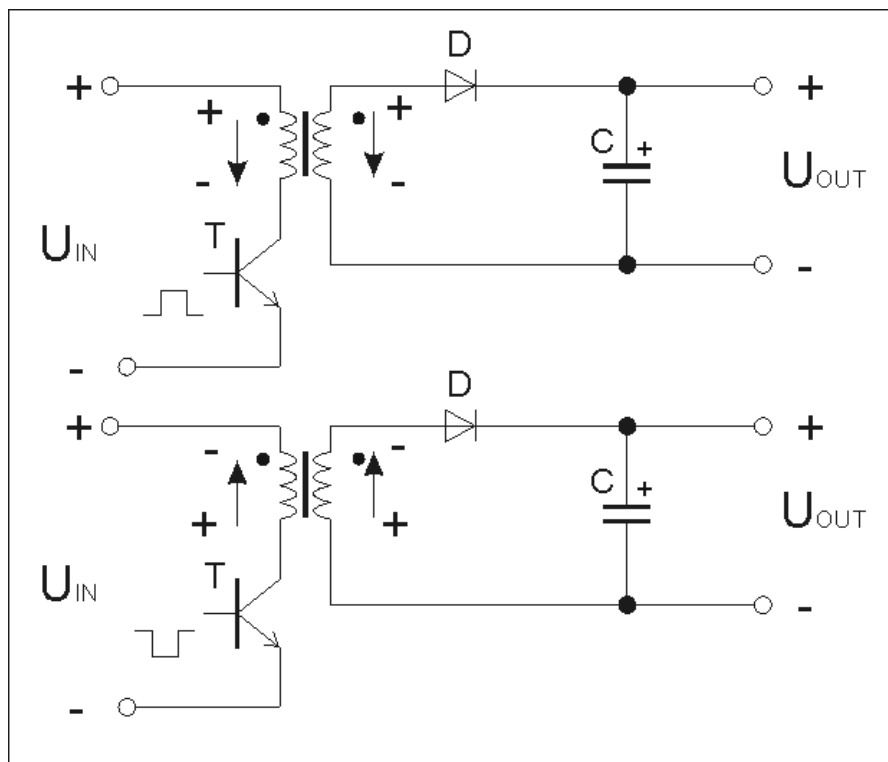
Jedna část periody t_1 nebo t_2 je konstantní a mění se délka té druhé. Systém má potom výslednou celkovou periodu T proměnnou, což se může jevit jako nevýhodné. Výstupní zvlnění vzniká činností spínacího prvku. Pokud se bude měnit v určitém rozsahu perioda spínání, bude se tedy měnit i perioda zvlnění výstupního napětí. Výstupní filtrační blok musí být navržen tak, aby pokrýval frekvenční pásmo v němž se bude zvlnění pohybovat.

S konstantní frekvencí

Součet dob t_1 a t_2 je konstantní, tedy výsledná frekvence spínání je konstantní. Pokud se zvětšuje doba sepnutí t_1 dochází ke snižování doby rozepnutí t_2 a naopak. Tento způsob převládá v regulaci spínaných zdrojů jelikož je výhodnější nežli předchozí způsob regulace. Především lze velmi dobře filtrovat zvlnění výstupního napětí U_{OUT} , které je na stejném kmitočtu jako frekvence spínání tranzistoru.

1.2.4 Princip zapojení podle způsobu přenosu energie***a) Propustné zapojení – Forward***

Principiální zapojení obvodu je na obr. 6. Teče-li proud primární částí pulsního transformátoru, teče zároveň proud i sekundární částí. Lze toho dosáhnout vhodným zapojením vinutí transformátoru a usměrňovacích diod, jak je naznačeno na zjednodušeném zapojení, viz. obr. 6. Naznačeny jsou zde dvě situace. V prvním případě je tranzistor sepnut a teče proud primárním vinutím. Jelikož jsou obě vinutí vinuta souhlasně (začátky vinutí jsou označeny tečkou), indukuje se na sekundární cívice napětí v souhlasné polaritě. Dioda D je polarizována tak, že může nabíjet kondenzátor C.



Obr. 6 Principiální schéma propustného zapojení

V druhém případě je tranzistor rozeprt. Na sekundárním vinutí se indukuje napětí opačné polarity než v předchozím případě. Průchodu proudu potom brání dioda D, která je polarizována závěrně.

Matematický popis opět vychází ze stavu sepnutého a rozeprutého spínače, tedy v tomto případě tranzistoru. Během doby t_1 platí [1]:

$$\frac{U_{IN}t_1}{L_1} = dI_C \quad (1.18)$$

, naopak během doby t_2 platí

$$-\frac{(U_{OUT})t_2}{(pL_1)} = dI_C \quad (1.19)$$

, porovnáním obou rovnic a algebraickou úpravou vztahu lze napětí U_{OUT} vyjádřit

$$U_{OUT} = \frac{U_{IN}p\delta}{1-\delta} \quad (1.20)$$

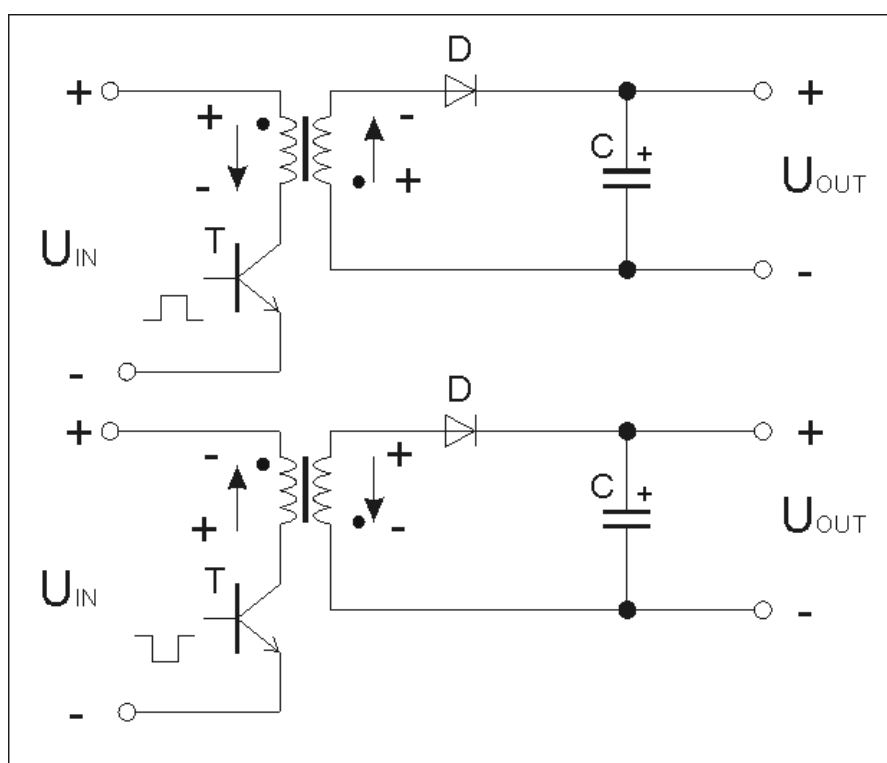
, kde pro převodní poměr transformátoru p platí

$$p = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} \quad (1.21)$$

Z konečné rovnice vyjadřující velikost napětí U_{OUT} je patrné, že výstupní napětí může být vyšší i nižší než je napětí vstupní jako u zapojení invertujícího. Ale vzhledem ke konstantě převodního poměru transformátoru p pro jiné rozsahy hodnot δ .

b) Akumulační – Blokující zapojení (FLYBACK)

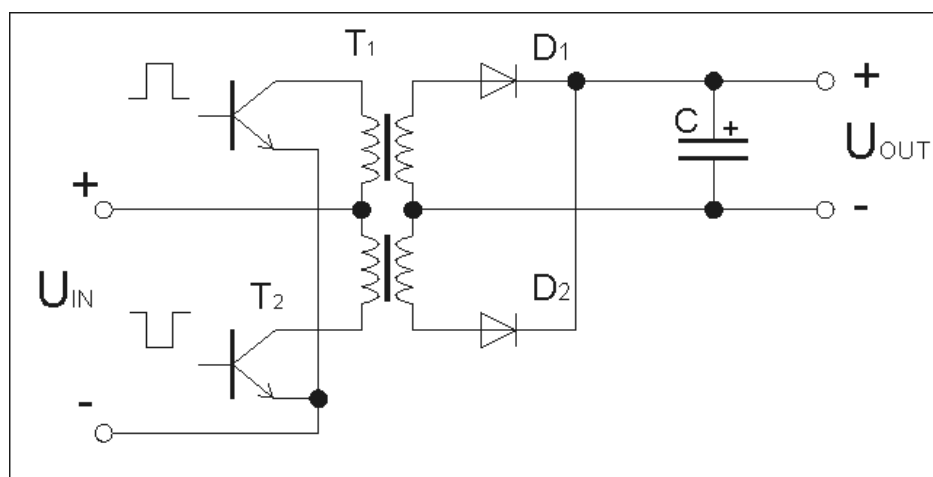
Zjednodušené schéma je na obr. 7. Při sepnutí spínacího tranzistoru teče přes vstupní - primární vinutí proud. Jelikož je výstupní vinutí polarizováno oproti primárnímu opačně, indukuje se též napětí opačné polarity a výstupním obvodem proud neteče. Všechna energie je tedy uložena v magnetickém poli transformátoru. Teprve po rozepnutí tranzistoru a ukončení proudu primárním vinutím, se na sekundárním vinutí indukuje napětí opačné polarity a může protékat výstupní proud nabíjející kondenzátor C.



Obr. 7 Principiální schéma blokujícího zapojení

c) Dvoučinné zapojení (*PUSH PULL*)

Základem celého zapojení je symetrické primární vinutí transformátoru, viz. obr. 8. Každá polovina primárního vinutí je buzena samostatným tranzistorem. Tranzistory pracují inverzně. Na sekundární straně se s výhodami využívá dvoucestné nebo můstkové zapojení usměrňovače. Celek potom slučuje oba předchozí typy měničů. Výkon je z primární strany na sekundární přenášen v každé půlperiodě jednou diodou přímo a v druhé půlperiodě akumulovaně. Toto zapojení rovněž odstraňuje stejnosměrné sycení jádra transformátoru vznikající u jednočinných spínaných zdrojů. Mezi výhody zapojení patří především velmi vysoká účinnost a možnost širokého rozsahu regulace. Proto jsou dvoučinná zapojení nejčastější, např. téměř každý zdroj PC. Zapojení není zatíženo stejnosměrným sycením jádra transformátoru, tzn. že lze dosáhnout ještě lepší účinnosti než u ostatních zapojení.

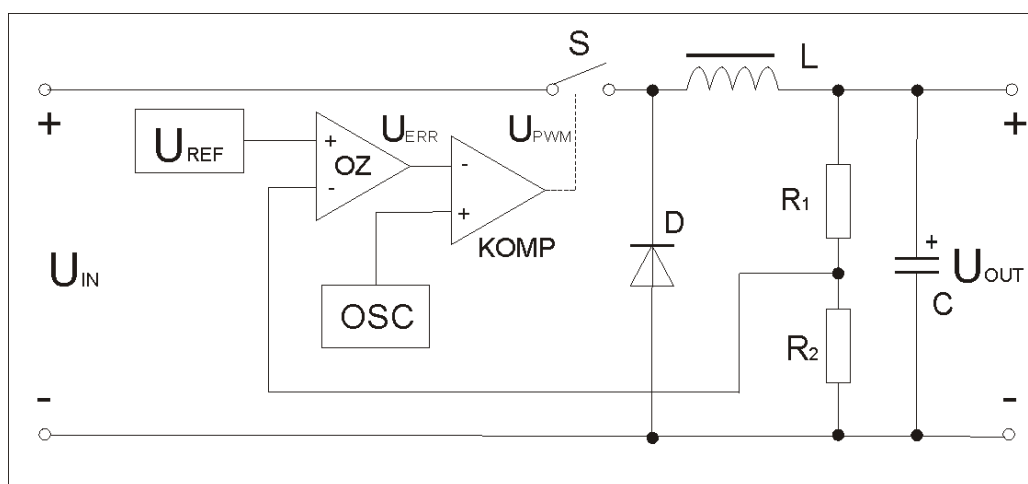


Obr. 8 Principiální schéma dvojčinného zapojení

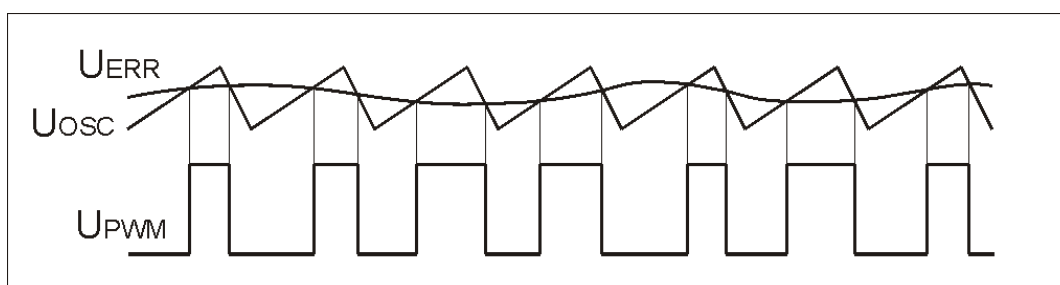
1.2.5 Pulsně šířková modulace – PWM

Způsob řízení spínaných zdrojů se označuje jako **PWM** (*Pulse Width Modulated*). Ze sníženého výstupního napětí se porovnáním s napětím referenčním odvodí tzv. chybové napětí, které vyjadřuje rozdíl mezi referenčním a výstupním napětím. Chybové napětí se dále srovnává v komparátoru s napětím interního oscilátoru, které má nejčastěji pilový tvar. Výsledkem je obdélníkový signál, jímž je řízen spínací prvek, nejčastěji tranzistor. Zjednodušené blokové schéma principu řízení PWM je na obr. 9. Toto zapojení

nepředpokládá proudovou zpětnou vazbu, která účinně chrání spínací prvek. Průběhy napětí, zobrazené na obr.10, ilustrují chování jednotlivých členů zapojení. Je zřejmé, že tento způsob regulace má za následek proměnnou střidu signálu, jímž je spínán spínač S. Zároveň se však mění celková perioda signálu U_{PWM} , což je nevýhodné, jak bylo uvedeno v části **1.2.3 Střída a perioda spínacího signálu**. Hodně závisí na kolísání zátěže. Tímto řízením je zdroj schopen okamžitě reagovat na změny výstupního napětí a udržovat jej konstantní změnou střidy signálu, který ovládá činnost spínacího prvku. Tím pádem jsou spínané zdroje dostatečně tvrdé, protože případné úbytky na vnitřním odporu vykompenzuje změnou střidy spínacího signálu [1].



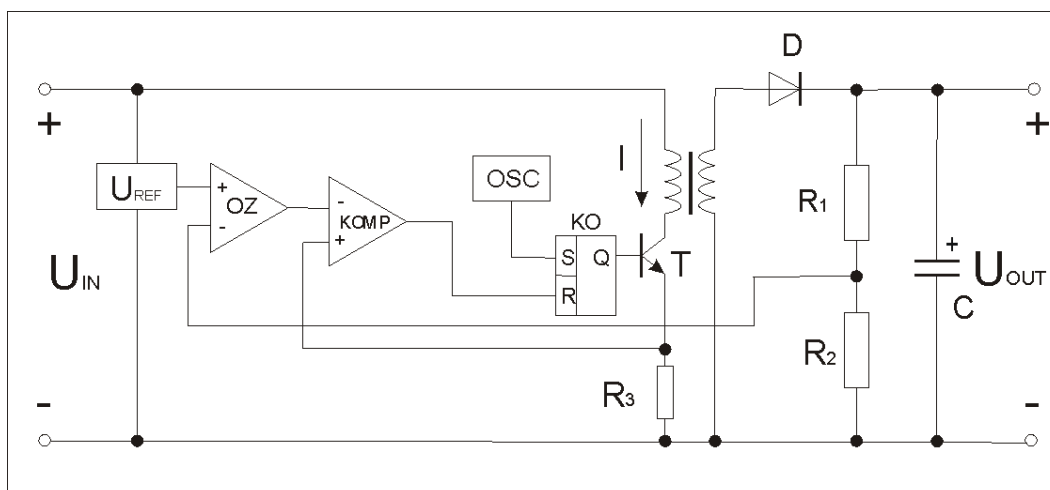
Obr. 9 Blokové schéma řízení PWM



Obr. 10 Získání signálu PWM

1.2.6 Pulsně šířková modulace a proudová zpětná vazba

Pomocí proudové zpětné vazby lze zabezpečit ochranu výkonového spínače před proudovým přetížením a tepelným zničením. Blokové schéma je na obr. 11. Od referenčního napětí se odčítá redukované výstupní napětí a pak se porovnává s úbytkem napětí na R_3 v komparátoru. V případě, že nadměrně vzroste proud I , ať už příliš nízkou zátěží či zkratem, nebo poruchou např. mezi závitovým zkratem primárního vinutí pulsního transformátoru, komparátor zablokuje RS klopný obvod a tím i buzení tranzistoru T. Je žádoucí, aby proudová ochrana neovlivňovala regulaci výstupního napětí. Z toho důvodu se hodnota referenčního napětí odvozuje buď z napětí výstupního, nebo je jeho hodnota podstatně větší než je signál odpovídající celému rozsahu pracovních podmínek zdroje [1]. V případě, že úměrně s rostoucím proudem primárního vinutí roste výstupní napětí, proudová regulace nijak neovlivňuje napěťovou stabilizaci. V situaci, kdy nadměrně vzroste proud vinutím a výstupní napětí neodpovídá tomuto nárůstu proudu, pak komparátor tento stav vyhodnotí jako nežádoucí a zablokuje RS klopný obvod, který následně ukončí budící impuls tranzistoru T. [1]



Obr. 11 Blokové schéma řízení PWM a proudové zpětné vazby

1.3 Měření napětí a proudu

Měřením zjišťujeme velikosti elektrotechnických veličin jako jsou napětí, proud, odpor, indukčnost, kapacita, perioda, atd. Měřením ověřujeme též vlastnosti elektrických zdrojů, přístrojů, sítí, apod. Přístroje měřící tyto veličiny lze podle konstrukce rozdělit na

- Analogové
- Číslicové - Digitální.

Analogová měřidla

Jsou realizovány některou z možných měřicích soustav jako magnetoelektrická, feromagnetická, elektrodynamická, atd. Velikost měřené veličiny zobrazuje výchylkou ručka na stupnici. Převažují přístroje s magnetoelektrickou soustavou, jelikož mají řadu výhodných vlastností jako je značná citlivost, vysoká přesnost, malou vlastní spotřebou, atd. Analogové přístroje dávají rychlou a přehlednou informaci o okamžité hodnotě veličiny. Umožňují rychlou orientaci a posouzení vývoje veličiny. Z toho důvodu jsou vhodné pro rychlou kontrolu a měření v provozu, např. u napájecích zdrojů. Většina analogových měřicích přístrojů pracuje na principu vzájemného působení sil magnetických polí.

Digitální měřidla

Jsou zcela odlišné od analogových měřidel. Velikost měřené veličiny zobrazují přímo v číselném vyjádření na displeji měřidla. Vznikly, jelikož měřidla analogová nestačila již svou přesností a rychlostí. Navíc lze údaj o velikosti měřené veličiny předat v binární podobě dalším obvodům k vyhodnocování. Spojité veličiny jako napětí a proud je nutné pomocí Analogově – Digitálního převodníku převést na údaj čistě diskrétní, vhodný pro zobrazení na displeji. Výstupem A/D převodníku je číselná posloupnost okamžitých hodnot signálu vzájemně vzdálených o konstantní časovou vzdálenost. Výstupní číslicový signál A/D převodníku tedy vyjadřuje jen vybrané napěťové úrovně vstupní analogové veličiny. To může způsobovat nepřesnost a ztrátu informace, která vznikla mezi intervaly odběru – vzorkování vstupního signálu.

Mezi důležité parametry A/D převodníků patří tzv. rozlišovací schopnost. Udává, počet rozlišitelných údajů analogového signálu. Nejčastěji bývá vyjádřena jako velikost binárního slova, např. $16b$, $8b$, které odpovídají počtu 65536, resp. 256 rozlišitelných úrovní. Jako další důležitá vlastnost je rychlost převodu. Určuje se tzv. vzorkovacím kmitočtem, nebo periodou vzorkování.

A/D převodníky jsou nedílnou součástí digitálních měřicích přístrojů. Celá řada fyzikálních veličin lze převést za pomoci technických prostředků automatizace na velikost napětí, které je určitým způsobem úměrné původní měřené veličině. Velikost napětí potom vyjadřuje přímo velikost měřené veličiny. A/D převodníky jsou nezastupitelné v měřicích přístrojích voltmetrů a ampérmetrů. Moderní, velmi kvalitní tzv. digitální multimetry umožňují měřit také ohmický odpor, kapacitu, indukčnost, frekvenci, dynamický odpor diody v propustném směru, zesilovací činitel bipolárních tranzistorů, teplotu, počet a úrovně digitálních impulsů, atd. Jsou vybaveny obvody pro automatickou volbu rozsahu, pro připojení k PC, často i generátory signálů, atd. Voltmetry mívají velmi vysoký vstupní odpor, tzn. že zanedbatelně zatěžují měřený obvod. Technologie výroby IO určuje jejich spotřebu a použití. V kombinaci s LCD displeji se s výhodami používají u zmiňovaných digitálních multimetrů, které jsou napájeny 9 V destičkovou baterií.

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 Realizace spínaného zdroje

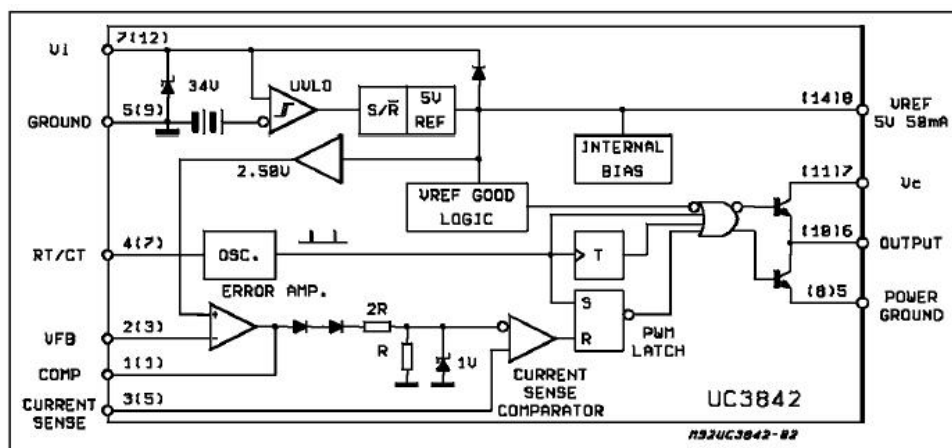
Z dostupných zdrojů byl navržen regulovatelný spínaný zdroj s napěťovou i proudovou regulací [3]. Tento zdroj vyniká především jednoduchým návrhem, malým počtem součástek, malými rozměry, hmotností, vysokým výstupním výkonem a pořizovací cenou součástek. Je rozdělen na dvě části, z nichž první je základní deskou na níž je primární i sekundární část zdroje. Obsahuje veškeré filtrační členy, řídicí obvody, usměrňovače, pulsní transformátor a obvody výstupní. Na druhé desce, čistě regulační, jsou obsaženy obvody regulace napětí a proudu, regulační prvky a signalizace napěťové či proudové regulace. Oba moduly jsou propojeny páskovým, sedmižilovým vodičem. Důvodem oddělení desek je umístění základní desky dovnitř skříně a desku regulace využít jako ovládací panel se všemi nastavitelnými prvky s umístěním do čela skříně. Rovněž jsou výstupní obvody a regulační modul galvanicky odděleny od primární části jednak transformátorem a také optoelektrickými prvky, které jsou využity pro řízení regulace zdroje. Takto navržený zdroj je dále doplněn modulem slučujícím digitální voltmetr a ampérmetr umožňující pohodlné měření výstupního proudu a napětí [4]. Modul využívá dříve velmi rozšířeného, dnes již staršího obvodu 7106, který představuje analogově – digitální převodník pracujícím na principu dvojí integrace, jež je uzpůsoben pro zobrazování na 3 a ½ místním LCD displeji.

Zdroj má tyto referenční parametry :

- Síťové napětí 180 – 240 V
- Výstupní napětí 5 – 25 V
- Výstupní proud max. 5 A
- Pracovní frekvence cca 75 kHz.

2.1.1 Obecná charakteristika

Základem celého zdroje, který pracuje jako jednočinný blokující měnič (FLYBACK) je obvod UC3843 firmy Motorola. Schéma zdroje je zobrazeno, viz. příloha i. Tento obvod má relativně složitou vnitřní strukturu. Malý počet vývodů a malý počet externích součástek značně zjednodušují konečný návrh. Svým dokonalým řešením se uplatňuje především v odvětví výpočetní techniky např. zdroje pro notebooky ale lze jej nalézt i v amatérských aplikacích, např. nabíječek. Pracuje s konstantní frekvencí jež je dána vnějšími pasivními prvky a je především určen pro buzení externích spínacích tranzistorů MOSFET. Blokový diagram obvodu UC3842 je na obr.12. Od obvodu UC3843 se liší velikostí startovacího a vypínacího napětí, jinak je funkčně shodný.



Obr. 12 Blokový diagram obvodu UC3842

Konstrukce zdroje má však některá úskalí, které se mohou jevit jako nevýhodné. Výstupní napětí je regulovatelné v rozsahu $5\text{ V} - 25\text{ V}$. Vychází z celého funkčního zapojení zdroje. V obvodech regulace jsou použity operační zesilovače ve funkci komparátorů pro srovnávání výstupního napětí a proudu s referenčními – žádanými hodnotami, viz. příloha ii. Dále jako zesilovač napětí, zesilující úbytek snímaný na odporovém bočniku pro následné vyhodnocení regulačními obvody. Tyto obvody je nutno napájet vhodnými napětími pro jejich správnou funkci prakticky okamžitě po zapnutí zdroje. Získávat tato napětí různými přídavnými pomocnými obvody je kvůli výsledné jednoduchosti nepřijatelné. Jsou tedy získávána za svépomoci zdroje, stabilizací výstupního napětí, které tedy nemůže jít pod hranici 5 V potřebných k napájení těchto obvodů. K napájení je nutno použít symetrické napětí $\pm 5\text{ V}$. Kladná část tohoto

symetrického napětí je získána stabilizací výstupního napětí obvodem LM 2931, což je nízkoúbytkový stabilizátor napětí. Nízkoúbytková verze je nutná, jelikož minimální úbytek obyčejné verze podobných stabilizátorů je 1,5 V. Záporná větev napájení je vytvořena obvodem ICL 7662, což je napěťový konvertor zapojený tak, že na jeho vstupu je stejnosměrné napětí + 5 V, které získává z již zmíněného stabilizátoru LM 2931 a převádí jej na stejnosměrné napětí – 5 V.

Dále nelze nastavit libovolný minimální proud, spolehlivě kontrolovatelný blokem regulace. Tato hranice je cca 100 mA při minimálním napětí 5 V. Pod touto hranicí, kdy zdroj běží čistě v proudovém režimu, klesá výstupní napětí, tedy napájení OZ a zdroj přestává spolehlivě fungovat.

2.1.2 Modul základní desky zdroje

Síťové napětí je přivedeno na svorky X1 – 1 a X1 – 2, viz. příloha i. Zdroj je při hrubé závadě chráněn pomalou pojistkou typu „T“, aby vydržela proudové rázy způsobené filtračními kondenzátory. Do série je zde zařazen termistor RN1, který omezuje značný proudový ráz do sítě. Po zahřátí jeho malá výkonová ztráta nezhoršuje účinnost zdroje. Rezistory R1 a R2 slouží k vybití filtračních kondenzátorů po odpojení zdroje ze sítě. Paralelně připojený varistor VAR1 chrání zdroj před průnikem napěťových špiček ze sítě. Síťový filtr tvoří kondenzátory C1, C2 a toroidní tlumivka L1. Filtruje rušení vstupující ze sítě, ale také v opačném směru, vznikající při činnosti zdroje. Takto filtrované napětí je usměrněno na můstkovém usměrňovači D1 a dále se jím nabíjí filtrační kondenzátory C35 a C36. Přes diodu D3 a rezistor R4 je vytvořeno pomocné napětí pro počáteční provoz obvodu UC3843. Po jeho úspěšném startu je dále obvod napájen pomocným vinutím TR1A. Toto napětí je usměrněno diodou D4 a pomocí stabilizátoru, který tvoří zenerova dioda a rezistor R5, omezeno na max. 18 V. Je to z toho důvodu, že pomocné napětí by pro provoz obvodu nestačilo, spotřeba obvodu je poté daleko vyšší, pohybuje se od 25 mA po 30 mA. Kondenzátory C4, C5 jsou součástí obvodu pro pomocné napětí, které je nabíjí. Konstantní kmitočet obvodu určují prvky R6, C7. Šířková modulace je řízena dvěma způsoby. Emitorový proud spínacího tranzistoru T1 je snímán na paralelní kombinaci odporů R10, R11, kde vytváří úbytek napětí a přes integrační člen tvořený kondenzátorem C8 a odporem R9 je toto přivedeno na pin č. 3 IO. Integrační člen filtruje překmity a dotvořuje napětí na trojúhelníkový tvar. Toto napětí se vevnitř IO porovnává s napětím na výstupu zesilovače regulační odchylky a pokud je větší překloupí se vnitřní obvod R/S a

budící impuls se ukončí. Tento způsob regulace chrání především tranzistor T1 proti přetížení nadměrnými proudy. Ochrana je též účinná v případě mezi závitového zkratu. Tranzistor T1 musí být osazen na chladiči. Velikost budících pulsů IO je pro T1 omezen na max. 18 V pomocí zenerovy diody. Odpor R7 snižuje proudové namáhání IO při nabíjení velké kapacity tranzistoru T1 C_{G-S} . Dioda D6 naopak napomáhá k rychlému vybití tohoto náboje a tím urychluje uzavírání T1. Členy složené z prvků D2, R3, C3 a D8, C9, R12 mají za úkol snížit napěťové překmity a chránit tranzistor T1 před zničením. Překmity způsobuje rozptylová indukčnost a parazitní kapacity transformátoru. Částečně je snížena rozdělením primárního vinutí na dvě části, mezi něž je vloženo sekundární vinutí. Obvod složený s diod D12, D13, kondenzátoru C18 a rezistoru R22 slouží k plynulému, pozvolnému naběhnutí zdroje, tzv. **SOFT start**.

Napětí, jež se indukuje na vinutí TR1D je usměrňováno dvojistou schottkyho diodou D9, kterou je třeba kvůli velkým hodnotám proudu umístit na chladič a chránit tak před tepelným zničením. Usměrněné napětí je vyhlazeno na výstupním filtru složeného z kondenzátorů C12, C13, C14, C15, tlumivku L2 a přivedeno na výstup, kde lze připojit zátěž. Výkonový rezistor R18 tvoří takzvanou předzátěž, protože žádný spínaný zdroj nepracuje zcela naprázdno, bez zátěže. Pro ochranu výstupních obvodů proti přivedením napětí opačné polarity je zde zařazena dioda D10 paralelně k výstupu. [3]

2.1.3 Modul regulace a výstupní obvody

Blok regulace je velmi důležitou součástí každého spínaného zdroje. V podstatě blok měniče a blok regulace spolu vytvářejí uzavřený regulační obvod. Tento zajišťuje stabilitu zdroje při změně zátěže či změně síťového napětí, při neustálém sledování výstupního napětí, nebo v případě proudového režimu, sledováním výstupního proudu. Při poruše v bloku regulace zpravidla dochází ke zničení zdroje, jelikož jeho činnost již není kontrolována tímto blokem.

Ve většině případů není tento blok regulovatelný, tzn., že nelze měnit výstupní napětí zdroje v závislosti na nastavení ovládacího prvku. Příkladem mohou být aplikace v počítačových zdrojích, monitorech, televizorech, ale i v nabíječkách mobilních telefonů, kde není třeba výstupní napětí měnit, pouze udržovat jeho konstantní hodnotu na výstupu. K řízení regulace se zde používají různé jednoduché obvody napěťové reference jako např.

TL 431. V případě použití regulovatelného spínaného zdroje jsou obvody regulace v porovnání s předchozími složitější. Tyto zdroje slouží především k laboratorním účelům. Blok regulace již obsahuje nastavitelné prvky jako např. potenciometry či tlačítka v případě číslicového řízení. Zdroje dynamicky mění hodnotu výstupního napětí nebo proudu v závislosti na nastavení těmito prvky. Při regulaci výstupního napětí je toto snímáno a na základě jeho aktuální velikosti blok regulace za pomoci PWM řídí činnost zdroje. Při proudové regulaci je potřeba velikost proudu snímat na odporovém bočníku a na základě velikosti napěťového úbytku řídit rovněž pomocí PWM činnost zdroje.

2.1.4 Regulace napětí

Schéma bloku regulace viz. příloha ii. Výstupní napětí zdroje je připojeno na odporový dělič složený s R27, R28, R29, R30 a potenciometru P1, který slouží k nastavení výstupního napětí. Napětí z běžce potenciometru je přes odpor R52 přivedeno na neinvertující vstup operačního zesilovače IO4B, který zde slouží jako komparátor. Na invertujícím vstupu je trvale nastaveno konstantní napětí 3,3 V za pomoci stabilizátoru se zenerovou diodou a rezistoru R31. Pokud napětí na běžci potenciometru překročí tuto hranici 3,3 V, výstup komparátoru se překloupí na hodnotu cca 3,5 V. Tento stav indikuje zelená LED dioda, která se rozsvítí sepnutím tranzistoru T3, jehož báze je připojena na výstup komparátoru. Pokud svítí zelená LED, znamená to, že výstupní napětí je stabilizováno na nastavené hodnotě danou potenciometrem P1. Signál, který vytváří komparátor IO4B je přiváděn přes D17 a R37 na diodu optočlenu IO2. Přivedením kladného napětí z komparátoru na tuto diodu se stane vodivý tranzistor obsažený uvnitř IO2 a na pin č.2 obvodu UC3843 přivede referenční kladné napětí, čímž dává signál tomuto řídicímu obvodu ke zkracování pulsů PWM, které řídí spínání tranzistoru T1. Dojde ke snížení výstupního napětí až do té doby, než napětí na neinvertujícím vstupu komparátoru IO4B klesne pod hodnotu 3,3 V nastavených zenerovou diodou. Výstup komparátoru se překloupí a přestane napájet diodu optočlenu IO2 a tím pádem uzavře vevnitř obsažený tranzistor. Na pinu č.2 IO1 není kladné napětí omezující činnost měniče, tak IO1 opět začne zvětšovat šířku pulsů budících tranzistor T1 až do chvíle kdy se vlivem vysokého napětí na výstupu opět překloupí komparátor IO4B. Celý zpětnovazební cyklus, řídicí výstupní napětí se neustále opakuje. Výše popsaná regulace pracuje tehdy, neběží-li zdroj v proudovém režimu. [3]

2.1.5 Regulace proudu

Odebíraný proud je snímán na paralelní kombinaci odporů R19, R20, jejíž celková hodnota činí $0,05 \Omega$. Toto napětí, které je vůči společné svorce regulátoru a výstupních obvodů, záporné, je přivedeno na vstup invertujícího operačního zesilovače, který jej 10x zesílí. Je zde použit typ LM 748. Prvky P3, R48 a C28 slouží ke kompenzaci nesymetrií tohoto OZ. Kvůli zesilování velmi malého napětí je nezbytné symetrické napájení, přiváděné ze základní desky. Obvod složený s R46, R47, C22 a zenerovy diody D21 na 4,7 V chrání IO před přivedením nebezpečného napětí zvenčí na svorky X4 – 1 a X4 – 2. Tyto svorky slouží k připojení přístroje měřící odebíraný proud. Na téže svorky je připojen vstup pro měření proudu modulu voltmetru - ampérmetru, jež je součástí zadání. Zesílené napětí na výstupu IO5 je přivedeno na neinvertující vstup proudového komparátoru IO4A. Tento obvod jej porovnává s napětím na invertujícím vstupu. Toto napětí se nastavuje regulačním prvkem P2 a je dáno odporovým děličem R42, R43, R44, P2, který určuje rozsah proudové regulace. Horní mez je určena napětím přibližně 2,5 V což odpovídá proudu 5A, dolní mez je určena hodnotou napětí přibližně 0,045 V, které odpovídá proudu přibližně 90 mA. Pokud je napětí na neinvertujícím vstupu IO4A větší nežli toto přednastavené napětí, překloupí se komparátor IO4A a na jeho výstupu se objeví kladné napětí. Toto je přes diodu D18 a odpor R37 přivedeno na diodu optočlenu IO2. Další činnosti obvodů jsou stejné jako v případě napětíové regulace, tzn. dojde ke zkracování pulsů generované IO1 a tím pádem k poklesu napětí, tedy i proudu. Překloupí se komparátor IO4A a obvod IO1 může opět zvětšovat šířku pulsů. Celý regulační cyklus se neustále opakuje, stejně jako u napětíové regulace. [3]

2.1.6 Oživení zdroje a bloku regulace

Než se zhotovený celek připojí k síti, je nutné provést správné oživovací postupy a přesvědčit se o funkčnosti jednotlivých částí zdroje. V případě nějaké poruchy nebo konstrukční vady, studený spoj, zkrat, atd. , se může zdroj stát velmi nebezpečným. Např. při nefunkčnosti zpětné vazby může zdroj dodat na výstup maximální napětí, které může být i několik desítek voltů. Na takovou situaci nejsou dimenzovány výstupní filtrační kondenzátory ani usměrňovací dioda, což vede k jejich zničení. Proto je nutno zdroj po částech oživit a ověřit si tak funkčnost alespoň těch bloků, které jsou pro samotnou činnost nejdůležitější.

Oživení bloku regulace

Spočívá v ověření si funkčnosti celé regulační napěťové zpětné vazby. K oživení je nutný stejnosměrný regulovatelný zdroj $0 - 30\text{ V}$ a digitální ohmmetr. Zdroj se ve správné polaritě připojí na výstupní svorky spínaného zdroje, tedy X2-1 a X2-2. Digitální ohmmetr se připojí rovněž ve správné polaritě na piny 4 a 5 optočlenu IO2, tedy mezi kolektor a emitor tranzistoru, viz. příloha i. V tomto stavu by měl ohmmetr ukazovat hodnotu cca $3\text{ k}\Omega$. Dále nastavíme potenciometr napěťové regulace na minimální napětí (doleva) a pomocným regulovatelným zdrojem zvyšujeme napětí. Při cca 5 V ohmmetr prudce změní hodnotu na cca $150\text{ }\Omega$. Potenciometr vytočíme na maximální napětí (doprava) a opět regulovatelným zdrojem zvyšujeme napětí. Při cca 25 V by se měla opakovat stejná situace jako při dolní hranici 5 V . Tímto způsobem lze zjistit funkčnost napěťového komparátoru a regulační cesty.

Oživení síťové části zdroje

Pomocný regulovatelný zdroj nastavíme na hodnotu cca 12 V a připojíme na pin č. 7 a 5 IO1, tedy na napájecí piny obvodu UC3843. Osciloskop připojíme na elektrodu G tranzistoru T1. Měly by se objevit obdélníkové pulsy o mezi vrcholové hodnotě cca 10 V se střídou signálu cca 18:1 a frekvencí 75 kHz . Tím je zajištěna funkce měniče. Dále lze částečně zajistit funkci zdroje a ověřit napěťovou regulaci. Pomocný zdroj necháme napájet IO1 stejným napětím a na síťový vstup spínaného zdroje připojíme další pomocný zdroj. Při napětí cca 30 V by se na výstupu mělo objevit napětí. Zdroj lze při minimálním nastaveném napětí částečně zatížit a částečně by měla fungovat i regulace výstupního napětí.

Dopadly – li tyto oživovací pokusy úspěšně, lze zdroj připojit na síťové napětí celkem bez obav [3]. Funkce proudové regulace není potřebná pro funkci zdroje. Další pokusy a měření se síťovým je nutno provádět nejlépe na oddělovacím transformátoru. Jelikož je většina osciloskopů uzemněna, mohly by nastat nebezpečné zkraty. Proto je nutný oddělovací transformátor.

2.2 REALIZACE MĚŘICÍHO MODULU

Tento přídatný modul je téměř nezbytným doplňkem laboratorního zdroje. V tomto případě poskytuje rychlou informaci o výstupních veličinách napětí a proudu bez nutnosti připojení vnějších měřicích přístrojů, v neposlední řadě ke kontrole zdroje samotného.

Použití měřicího přístroje s automatickou volbou rozsahu je možné, ale v případě jednoduché aplikace jako je tato zcela zbytečné. Především kvůli své náročnosti. Uplatnění nachází především ve složitějších přístrojích, které se zaměřují na kvalitní a pohodlné vyhodnocování měřených veličin, kupříkladu v kvalitních multimetrech. Použitý modul je svými rozsahy zcela dostačující pro orientační snímání nejdůležitějších veličin zdroje. Těmi jsou především nastavené výstupní napětí a odebíraný proud. Pro každou z těchto měřených veličin není kvůli jednoduchosti a úspoře místa použit samostatný obvod, ale vstup měřené veličiny je pro konkrétní účel přepínán. Převáděn a zobrazován je v témže modulu.

Voltmetr – ampérmetr zde slouží jednak pro měření výstupního napětí zdroje v rozsahu $\pm 200\text{ V}$, jednak pro měření odebíraného proudu a to ve dvou rozsazích. V prvním rozsahu $\pm 2\text{ A}$, dále pro rozsah $\pm 20\text{ A}$. Rozsahy jsou pro uvedený spínaný zdroj nadbytečně velké, maximální výstupní napětí zdroje je 25 V a maximální odebíraný proud může dosahovat hodnoty 5 A . Vychází však z použitého obvodu 7106 [5], jehož vstupní úroveň napětí pro plný rozsah je $\pm 200\text{ mV}$. Tento obvod spojuje 3 a $\frac{1}{2}$ místný A/D převodník s budičem LCD displeje. Byl zvolen především pro svou jednoduchost a právě kvůli zmiňovanému vestavěnému budiči LCD. Ke své funkci potřebuje pouze několik pasivních součástek, sloužících především k volbě provozních parametrů převodníku. Obvod je primárně určen pro napájení 9 V baterií, v aplikacích digitálních multimetrů. V modulu laboratorního zdroje by bylo velmi nepraktické použít pro napájení výše uvedenou 9 V baterii. S výhodou lze použít symetrické napětí $\pm 5\text{ V}$, určené pro napájení operačních zesilovačů na desce regulace napětí a proudu spínaného zdroje. Referenční zapojení obvodu s tímto napájením lze rovněž nalézt v katalogovém listu výrobce. Tato symetrická napětí vytváří jednak stabilizátor LM 2931 a jednak měnič napětí ICL 7662 viz. příloha i. Jelikož tento měřicí modul nebyl součástí návrhu spínaného zdroje, ale dodatečně byl přidán, je snahou napájecí obvody co nejméně proudově zatěžovat. Mimo skutečnost, že obvod 7106 má velmi vysoký vstupní odpor, odebíraný proud se pohybuje v jednotkách pikoampér, jsou též odebírané proudy v každé napájecí větvi, při chodu

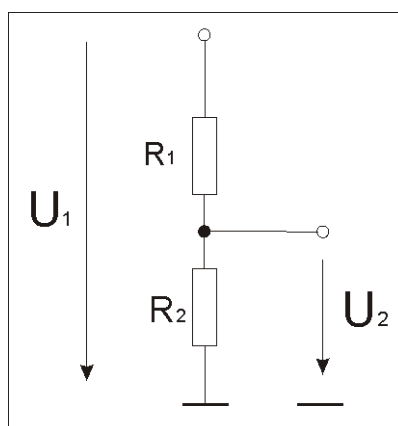
displeje a zdroje okolo hodnoty 1 mA . Plyne to z použití LCD displeje jako zobrazovací jednotky, která je charakteristická velmi nízkou spotřebou s porovnáním např. LED displeji.

2.2.1 Charakteristika voltmetru - ampérmetru

Schéma vychází z katalogového zapojení výrobce a je zobrazeno, viz. příloha iii. Vstupní obvody bylo třeba doplnit vhodně navrženými odporovými předřadníky, mezi nimiž je potom pomocí dvou dvojitých přepínačů přepínám vstup převodníku a pomocí téže přepínačů jsou přepínány desetinné tečky pro správný rozsah měřicího přístroje. Pro měření napětí jsou standardně přivedeny výstupní svorky zdroje na vstup napěťového předřadníku měřicího přístroje. Pro měření protékaného proudu je však nutno získat napěťový úbytek na vhodném odporovém bočníku. V návrhu spínaného zdroje je s touto možností počítáno. Pro regulaci proudu je třeba rovněž snímat odebíraný proud, děje se tak na rezistorech R19 a R20, jejichž celková hodnota v paralelní kombinaci činí $0,05\Omega$, viz. příloha ii. Toto napětí je dále přivedeno na vstup invertujícího operačního zesilovače, který napětí 10x zesílí. Z jeho výstupu jsou vyvedeny svorky, kde je již možno odebírat napětí pro jednak proudové regulační obvody, ale i pro přídavný měřicí přístroj, který původní regulační blok téměř nezatěžuje. Hodnoty proudových předřadníků je třeba spočítat za pomoci vztahu, který je daný použitými hodnotami paralelní kombinace odporů R19 a R20 a udává převod mezi protékaným proudem a napětím na výstupu operačního zesilovače. Činí $1\text{ A} = 0,5\text{ V}$. Rozsah měřidla pro měření napětí je pouze jeden, s přesností na jedno desetinné číslo. Rozsah měřidla pro měření proudu je dvojitý, a to do 2 A s přesností na tři desetinné místa, a do 20 A s přesností na dvě desetinné místa.

2.2.2 Výpočet předřadníku a bočnicku pro měření napětí a proudu

Napětí pro plný rozsah převodníku je dáno výrobcem jako 200 mV . Tato hodnota je výchozí při dalším výpočtu pro odporový předřadník, ale i proudový bočník pro zvýšení rozsahu měření. Schéma předřadníku je na obr. 13. Jedná se o jednoduchý odporový dělič. V praxi se využívá mnohem složitější zapojení pro přepínání několika rozsahů. Pro potřeby tohoto měřidla dané jednoduché schéma vystačí.



Obr. 13 Odporový předřadník

Plné napětí U_1 se přivádí na sériovou kombinaci odporů R_1 a R_2 . Na odporu R_1 musí vzniknout takový úbytek napětí U_1 , aby na odporu R_2 bylo napětí U_2 , které je maximálně rovno velikosti napětí pro plný rozsah převodníku, tedy 200 mV . Ve skutečnosti je třeba počítat s hodnotou $199,9\text{ mV}$, které odpovídá zobrazení číslic 1999. Při přetečení displeje bude zobrazena „1“. Rozsah do $19,99\text{ V}$ je pro použitý zdroj příliš málo, vyhovuje tedy rozsah do $199,9\text{ V}$, který bude s přesností na jedno desetinné číslo. Takto zvolený voltmetr plně vyhovuje potřebám zdroje, kde není nutnost měřit výstupní napětí v desítkách nebo jednotkách mV . Předem je nutno zvolit hodnotu odporu R_2 , který bude při přepínání rozsahů konstantní, tzn. přepínání se provádí pouze pro pozici odporu R_1 nebo případných kombinací, kterými jej lze nahradit a tím změnit rozsah měření. Na velikosti odporu R_2 závisí vstupní odpor voltmetru a v době kdy není na vstupu žádné napětí zajišťuje ošetření vstupu převodníku, nulový potenciál na pinu 31 ICL 7601. Proud tekoucí do převodníku lze díky jeho velmi malé hodnotě zanedbat.

Bude-li maximální vstupní napětí $199,9 \text{ V}$ a zvolíme-li hodnotu odporu $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$, budou jednoduché výpočetní úvahy následující :

$$U_{R2} = 0,1999 \text{ V}$$

tzn. zbytek z celkového napětí musí zůstat jako úbytek na odporu R_1

$$U_{R1} = U - U_{R2} = 199,7001 \text{ V}$$

Proud, který bude protékat při maximálním napětí se rovná

$$I_{MAX} = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{0,1999}{1000} = 1,999 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

Známe-li protékající proud a napětí jednoduše podle Ohmova zákona zjistíme hodnotu R_1

$$R_2 = \frac{U_{R1}}{I_{MAX}} = \frac{199,7001}{1,999 \cdot 10^{-4}} = 999 \text{ k}\Omega$$

Z řady proto volíme hodnotu $1 \text{ M}\Omega$, výsledná chyba při měření napětí bude projevovat na řádech desítkách mV, což lze při přesnosti na řádově stovky mV zanedbat.

Ten samý výpočet je nutno provést i pro proudový bočník. V tomto případě ale nelze o návrhu bočníku mluvit, jelikož již je navržen jako součást zdroje. Je pouze potřeba snímané napětí upravit pro zobrazení na použitém převodníku. Jde tedy opět o návrh napěťového děliče. Snímací odpor má hodnotu $0,05 \Omega$ a úbytek napětí vytvořený protékajícím proudem se dále ještě na desce regulace, odkud je odebírán, 10x zesílí. Což znamená, že při maximálním odběru proudu 5 A , bude výsledné napětí $2,5 \text{ V}$. Pro toto napětí je třeba navrhnout dělič napětí pro daný rozsah. Z vlastností převodníku plyne, že by musel být do $19,99 \text{ A}$. Jsou proto použity dva přepínatelné rozsahy do $1,999 \text{ A}$ a do $19,99 \text{ A}$.

Při protékajícím proudu $1,999 \text{ A}$ bude napětí na vstupu U_I podle obr. rovno $0,9995 \text{ V}$

$$U_{R2} = 0,1999 \text{ V}$$

tzn. zbytek napětí musí opět zůstat jako úbytek na odporu R_1

$$U_{R1} = U - U_{R2} = 0,7996 \text{ V}$$

Jelikož odpor R_2 zůstává neměnný, proud, který bude protékat při maximálním napětí se rovná

$$I_{MAX} = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{0,1999}{1000} = 1,999 \cdot 10^{-4} \text{ A}$$

Podle Ohmova zákona zjistíme hodnotu R_1

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{MAX}} = \frac{0,7996}{1,999 \cdot 10^{-4}} = 4000\Omega$$

Tato hodnota se ve vyráběných řadách neobjevuje, je ji tedy nutno poskládat sériovou kombinací z vyráběných typů řady E12, popř. E24 pro celkovou nejbližší hodnotu $R_1 = 4000\Omega$. Použité hodnoty součástek měly v realizaci příliš velkou toleranci, proto byla kombinace doplněna o odpor $R_4 = 20\Omega$, který chybu kompenzoval.

Na rozsahu do $19,99\text{ A}$ bude teoreticky při protékaném proudu $19,99\text{ A}$, napětí na výstupu desky regulace $U_I = 9,995\text{ V}$, což je opět výchozí hodnota napětí pro výpočet odporu R_1 . Jde pouze o odhad rozsahu, takový proud není zdroj schopen dodat. Napětí na konstantním odporu R_2 zůstává pro maximální hodnotu zobrazení neměnné

$$U_{R2} = 0,1999\text{V}$$

úbytek na odporu R_1

$$U_{R1} = U - U_{R2} = 9,7951\text{V}$$

Jelikož odpor R_2 zůstává neměnný, proud, který bude protékat při maximálním napětí se rovná

$$I_{MAX} = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{0,1999}{1000} = 1,999 \cdot 10^{-4}\text{ A}$$

Podle Ohmova zákona zjistíme opět hodnotu R_1

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{MAX}} = \frac{9,7951}{1,999 \cdot 10^{-4}} = 49000\Omega$$

Z vyráběných řad byly opět použity hodnoty dané sériovou kombinací **49KΩ**.

2.2.3 Popis zapojení

Schéma zapojení viz. příloha iii. Rezistor R_9 a kondenzátor C_2 jsou prvky vnitřního oscilátoru a určují jeho kmitočet. Kvůli potlačení síťového brumu je vhodné volit kmitočet jako celistvý násobek frekvence sítě. Rezistor R_{10} a kondenzátor C_4 jsou součástmi integračního obvodu, kondenzátor C_5 kompenzuje napěťové nesymetrie vnitřních vstupních obvodů. Víceotáčkovým trimrem P_1 se nastavuje referenční napětí na pinu č. 36. Pro rozsah vstupního napětí $\pm 200\text{ mV}$ má podle referencí výrobce toto napětí být 100 mV . Integrační článek R_8 a C_1 slouží pro potlačení střídavých složek na vstupu

převodníku, tedy mezi piny 31 a 32. Pro správnou funkci displeje je nutno jej napájet střídavým napětím obdélníkového tvaru. Segmenty, které mají zobrazeny jsou pak připojeny k těmto napětím, ale s opačnou polaritou. Segmenty desetinných teček jsou přes odpory R12,R13,R14 přivedeny v době své nečinnosti na střídavé napětí téže polarity. Zamezuje se tím jejich nechtěnému problikávání v době nečinnosti. Společnou elektrodou segmentů LCD displeje je pin č.21 IO 7106, z něhož jsou výše zmiňované segmenty teček přes odpory napájeny. V době své činnosti je na příslušný segment desetinné tečky přivedeno invertované napětí z přepínačů S1 a S2, které současně přepínají vstup převodníku pro měření napětí nebo proudu. Napětí opačné polarity získáme pomocí tranzistoru T1, který pracuje jako invertor signálu z pinu č.21 a fází obdélníkového signálu obrací. [5]

2.2.4 Výroba modulu měřidla

Pro takto navržený jednoduchý voltmetr a ampérmetr s přepínatelným rozsahem bylo třeba vyrobit desku plošných spojů. Vzhledem k velkému počtu pinů převodníku a LCD displeje a požadavku na co nejmenší výsledný rozměr modulu, byl plošný spoj vyroben fotocestou. Vodivé cesty výsledného návrhu vedly též mezi piny těchto dvou součástek, což jest velmi obtížně realizovatelné jiným jednoduchým způsobem výroby plošného spoje. K úspoře místa je možno umístit převodník pod LCD displej i s několika pasivními součástkami. LCD displej se přitom umístí do patice, z důvodu jednoduché případné manipulace s ním, a též kvůli zisku prostoru pro zmiňovaný obvod 7106, který lze též umístit do patice. Tento způsob úspory místa je použit především v aplikacích převodníku 7106 v digitálních multimetrech..

Masku pro výrobu plošného spoje lze zhotovit různými způsoby. Komfortní řešení nabízejí dnes softwarové aplikace, přímo určené pro vývoj plošných spojů. Jedním z těchto programů, od firmy CadSoft, je velmi účelná a uživatelsky příjemná aplikace EAGLE. Umožňuje nakreslení schématu za pomoci vkládání součástek z vestavěných knihoven. Součástky v knihovnách mají svůj schematický tvar spojený s reálným rozměrem prvku. Lze nové prvky do knihovny přidávat a editovat. Při pozdějším přechodu ze schematického editoru do editoru DPS jsou součástky již v reálných velikostech a lze začít s řešením DPS. To je možno buď ručně, nebo pomocí nastavitelného autorouteru, který po rozmístění součástek na desce provede pospojování vodivými cestami sám.

Hotový pohled lze přímo tisknout v tiskárně na průhlednou folii a poté použít jako masku pro výrobu DPS. Výsledná deska plošných spojů je zobrazena, viz. příloha viii.

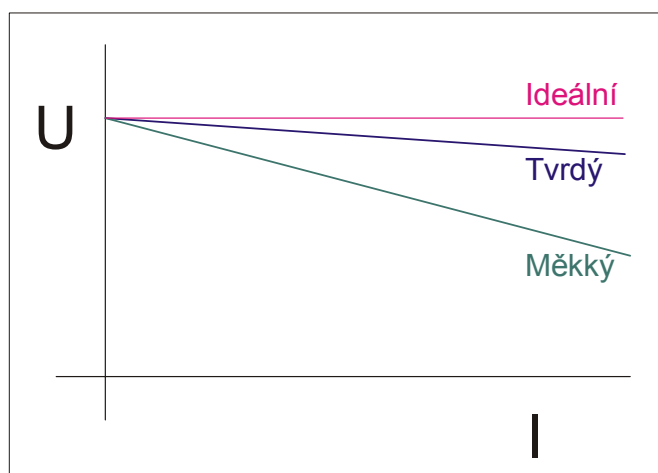
Modul měřidla je spolu s modulem zdroje propojen pomocí pěti vodičů. Dva snímají hodnoty výstupního napětí a protékaného proudu. Zbylé tři jsou přívodem napájecích napětí a společnou zemí. Měřicí modul je umístěn spolu s regulačním obvodem zdroje na přední straně skříně celku laboratorního zdroje.

2.3 Měření na zdroji

2.3.1 Měření zatěžovacích charakteristik zdroje

Teorie

Každý zdroj je charakteristický poklesem svorkového napětí při zatížení odběrem proudu. Je to způsobeno úbytkem napětí na vnitřním odporu R_i , na kterém odebíraný proud vytvoří daný úbytek napětí. Pokud se svorkové napětí hodně mění s rostoucím odebíraným proudem, označuje se takový zdroj jako **měkký**. Naopak, pokud se svorkové napětí téměř nemění, tzn. že je téměř konstantní, lze takový zdroj označit jako **tvrdý**. Ideální případ je dostatečně tvrdý zdroj, jehož svorkové napětí je konstantní při jakémkoli odebíraném proudě. Ilustrační zatěžovací charakteristiky zdrojů jsou znázorněny na obr. 14.



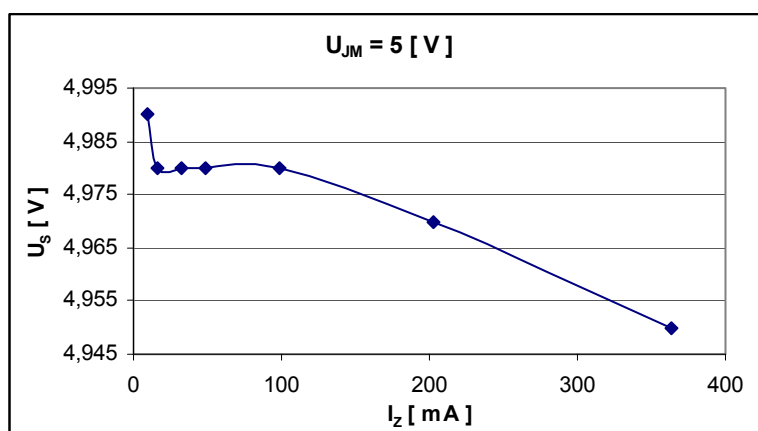
Obr. 14 Zatěžovací charakteristiky zdrojů

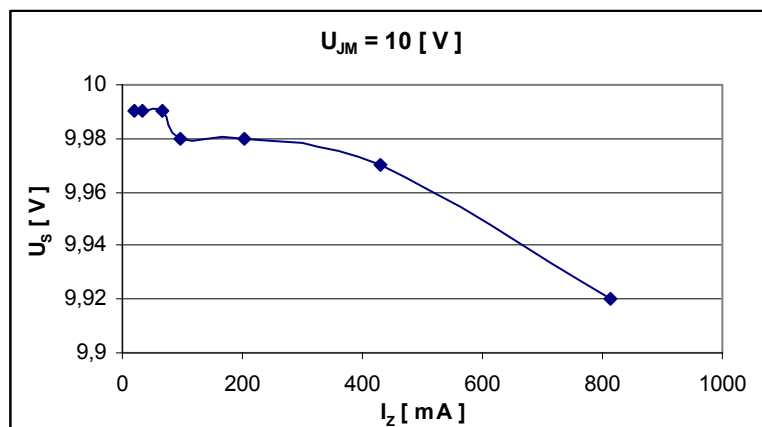
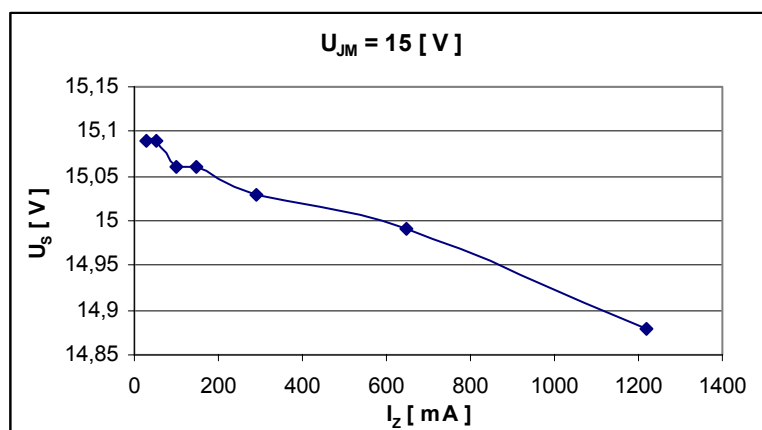
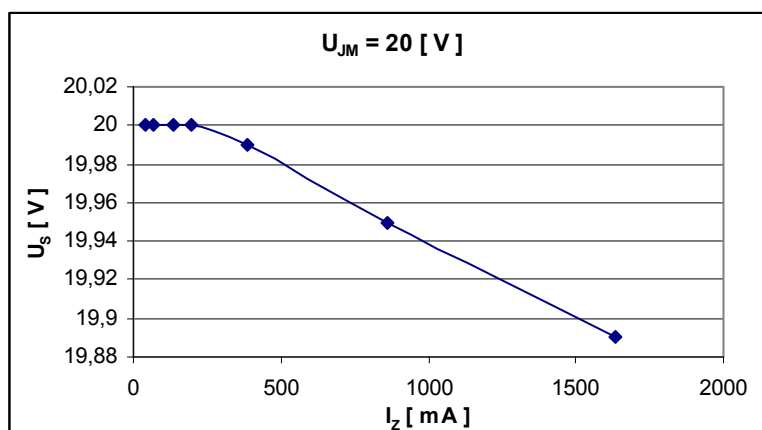
Zatěžovací charakteristiky sestaveného zdroje byly měřeny celkem pro 5 hodnot nastaveného výstupního napětí tak, že pokrývají celý napěťový rozsah zdroje. Zvolené hodnoty odporu zátěží vycházejí z dostupných odporových prvků. Postup měření vychází ze zadání, tedy měření svorkového napětí zdroje v závislosti na měnící se zátěži. Regulačním prvkem bylo nastaveno jmenovité napětí U_{JM} , poté byly postupně při konstantním nastavení měněny hodnoty zátěží a odečítány hodnoty svorkového napětí U_S a zatěžovacího proudu I_Z . Naměřené hodnoty jsou zobrazeny v tab. 2, a pěti různých grafech. A to z toho důvodu, že v souhrnném grafu by vzhledem k velkým rozdílným hodnotám nebyly patrné malé změny při poklesu napětí.

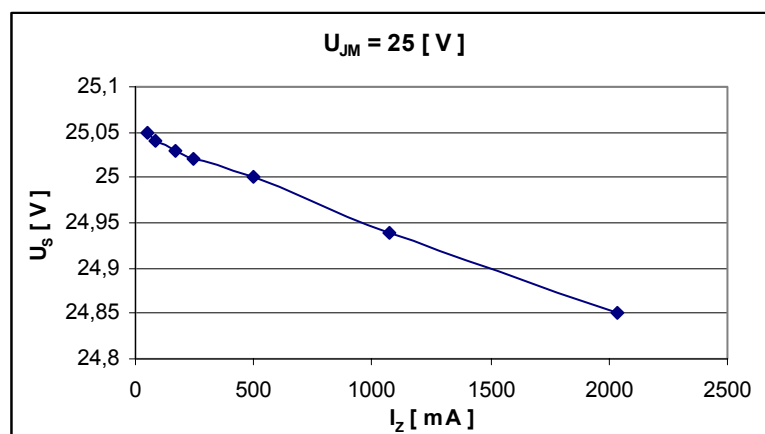
Tab. 2 Naměřené hodnoty zatěžovacích charakteristik

$U_{JM} [V]$	5		10		15		25		20	
$R_Z [\Omega]$	$U_S [V]$	$I_Z [mA]$	$U_S [V]$	$I_Z [mA]$	$U_S [V]$	$I_Z [mA]$	$U_S [V]$	$I_Z [mA]$	$U_S [V]$	$I_Z [mA]$
500	4,99	9,97	9,99	19,88	15,09	29,99	25,05	49,80	20,00	39,83
300	4,98	16,50	9,99	32,92	15,09	50,90	25,04	83,00	20,00	66,30
150	4,98	32,60	9,99	65,30	15,06	99,70	25,03	168,10	20,00	132,40
100	4,98	48,80	9,98	97,20	15,06	148,60	25,02	247,60	20,00	197,70
50	4,98	98,40	9,98	203,00	15,03	291,60	25,00	499,00	19,99	387,40
24	4,97	202,70	9,97	429,00	14,99	648,00	24,94	1074,00	19,95	861,00
12	4,95	364,10	9,92	814,00	14,88	1221,00	24,85	2037,00	19,89	1632,00
4	4,86	1229,00	9,76	2465,00	14,76	3551,00	19,33	4540,00	19,27	4580,00

Pro $U_{JM} = 5 V$ na obr. 15, $U_{JM} = 10 V$ na obr. 16, $U_{JM} = 15 V$ na obr. 17, $U_{JM} = 20 V$ na obr. 18 a konečně pro $U_{JM} = 25 V$ na obr. 19.

Obr. 15 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 5 V$

Obr. 16 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 10 \text{ V}$ Obr. 17 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 15 \text{ V}$ Obr. 18 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 20 \text{ V}$

Obr. 19 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 25 \text{ V}$

Poslední hodnota měření pro $R_Z = 4\Omega$ byla vždy vynechána, jelikož se v řadě případů podstatně liší a její vynášení graf pouze znehodnotí. Při měření $U_{JM} = 20 \text{ V}$ a $U_{JM} = 25 \text{ V}$ na zátěži $R_Z = 4\Omega$ se uplatňovala navíc proudová limitace, ovlivňující výstupní napětí. Tyto hodnoty proudu jsou u daného zdroje tedy jako maximálně dosažitelné. Od referenční hodnoty maximálního odebíraného proudu se liší vlivem tolerancí odporů tvořících jednak bočník a jednak napěťový dělič v bloku regulace proudu, viz příloha i a příloha ii.

ZÁVĚR

Zabývat se konstrukcí a návrhem spínaných zdrojů není srovnatelné s návrhy zdrojů lineárních. Vyžaduje především dostatek odborných znalostí a v neposlední řadě také dostatek praktických zkušeností. Měření při konstrukci a opravách si nevystačí pouze s jednoduchým multimetrem jako u zdrojů lineárních. Pro zjištění dějů v obvodu je zapotřebí dané signály zobrazovat osciloskopem a zdroj galvanicky oddělit od sítě. Nelze zanedbat ani elektromagnetické rušení, vznikající při činnosti zdroje, které má vliv jak na okolní přístroje, tak i na vlastní zdroj.

Samotné aplikace spínaných zdrojů jsou takřka neomezené. Moderní televizní přijímače, monitory, počítače a jejich periferie se bez nich zkrátka neobejdou. Objevují se i jako nabíječe bateriových článků, autobaterií, ale i jako malé kompaktní nabíječe mobilních telefonů s minimálními rozměry a váhou. Zřejmě nejdůležitější částí spínaného zdroje je transformátor. Lineární zdroje si vystačí s materiály jako jsou železné EI plechy. Pracovní frekvence transformátoru je 50 Hz. Potřebný odebíraný výkon se přímo úměrně projeví na velikosti a hmotnosti transformátoru, ať již velikostí EI plechů či počtem a průřezem závitů. Je velmi těžké si představit transformátor lineárního zdroje do PC o výkonu 300W, když spínaný zdroj má podobu malé skříňky o objemu cca 1,8 dm³ a váze 0,5 kg. Pulsní transformátory pracují na frekvencích 20 kHz – 1 MHz. Z toho důvodu je nutné použít materiál s vhodnými magneticko – fyzikálními vlastnostmi pro dané kmitočtové pásmo, tedy nejčastěji feritové jádra.

Konečné řešení zdroje značně zjednodušuje integrovaný monolitický obvod, který v podstatě řídí veškerou činnost zdroje. Moderní řídicí obvody obsahují vnitřní oscilátory, zdroje referenčního napětí, chybové zesilovače, obvody hlídající pokles napájecího napětí, výkonové výstupní členy, a mnoho dalších vylepšení a funkcí. Např. vstup pro proudovou zpětnou vazbu a ochranu externího tranzistoru, nebo možnost SOFT startu zdroje, tzn. plynulé naběhnutí na plný výkon. Tyto obvody mají v řadě případů velmi složitou vnitřní strukturu, ale v konečném řešení pouze malý počet vývodů. Pro svou funkci potřebují pouze několik pasivních součástek, především pro vnitřní oscilátor, čímž lze určit jeho pracovní kmitočet. Dále pro kompenzaci napěťových nesymetrií operačních zesilovačů chybového napětí, které mají velké zesílení.

Mezi přední světové výrobce obvodů určených k řízení spínaných zdrojů patří firmy jako Motorola, Texas Instrument, Linear Technology a Unitrode. Právě jeden z výrobků fy Motorola byl použit při konstrukci zdroje v rámci této práce. Obvod UC 3843 patří do rodiny tzv. PWM řídicích obvodů pro spínané zdroje třetí generace. Je určen pro jednočinné aplikace spínaných zdrojů. Má vstupy pro řízení PWM signálu komparací výstupního napětí a velikostí proudu spínacího prvku.

Při konstrukci spínaného zdroje byl velmi důležitý precizní postup. Jednak při pájení, jelikož případné studené spoje mohou být nebezpečné. A to v případě zpětné vazby, řízení výstupního napětí. Dále bylo nutné postupovat přesně podle postupu oživení. To se skládalo z postupných měření s malými stejnosměrnými napětími. Především bylo nutné zajistit plnou funkci alespoň napěťové regulace. Jsou-li všechny oživovací postupy v pořádku, lze zdroj připojit na síť. V případě měřicího modulu není nutný žádný oživovací postup. Pokud je celek správně sestaven, pracuje ihned po připojení napájecího napětí. Je nutno pouze nastavit hodnotu referenčního napětí na pinu č.36, které má činit 100 mV. Oživené moduly byly osazeny do plastové krabice U-KP11B. Deska regulace a modul měřidla na čelo krabice. Do čela jsou umístěny též svorky zdroje, síťový vypínač a indikační diody módu regulace.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Krejčířík, A. *Nápájecí zdroje 1, 2*. BEN, 1999, Praha
- [2] Krejčířík, A. *Lineární napájecí zdroje*. BEN, 2002, Praha
- [3] Chlouba, D. *Univerzální regulovatelný spínaný zdroj*. Rádio plus. 2001, roč. 9, č. 9, 10, s. 10 – 14, s 5 – 7.
- [4] Stavebnice č. 497. *Voltmetr / ampérmetr*. Rádio plus. 2001, roč. 9, č. 2, s. 8 – 10.
- [5] Malina, V. *Poznáváme elektroniku 3*. Kopp, 1998, České Budějovice
- [6] Burian, Z. *Simuluj – simulace analogových elektrických obvodů*. BEN, 2002, Praha
- [7] Uhlíř, I. *Elektrické stroje a pohony*. ČVUT, 2002, Praha
- [8] Punčochář, J. *Operační zesilovače v elektronice*. BEN, 1996, Praha
- [9] Myslík, J. *Elektrické obvody*. BEN, 1997, Praha

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AC / DC		Usměrňovač
A_{ERR}		Zesilovač chybového napětí
REF		Referenční napětí
OSC		Oscilátor
KO		Klopný obvod
D		Dioda
L	[H]	Indukčnost, cívka
S		Spínač
LCD		Liquid Crystal Display – Displej z tekutých krystalů
LED		Light emitting diode – Svítivá dioda
C	[F]	Kondenzátor
R	[Ω]	Rezistor
δ	[-]	Klíčovací poměr
T	[s]	Perioda
t_1	[s]	Doba sepnutí
t_2	[s]	Doba rozepnutí
U_L	[V]	Napětí na cívce
U_{IN}	[V]	Napětí na vstupních svorkách
U_{OUT}	[V]	Napětí na výstupních svorkách
p	[-]	Transformační poměr transformátoru
U_{ERR}	[V]	Chybové napětí
U_{OSC}	[V]	Výstupní napětí oscilátoru
U_{PWM}	[V]	Řídicí signál spínaného zdroje
U_S	[V]	Svorkové napětí

I_Z	[A]	Zatěžovací proud
R_Z	[Ω]	Zatěžovací odpor
U_1	[V]	Napětí na vstupu odporového děliče
U_2	[V]	Napětí na výstupu odporového děliče
U_{R1}	[V]	Úbytek napětí na odporu R_1
U_{R2}	[V]	Úbytek napětí na odporu R_2
I_{MAX}	[A]	Maximální proud
U_{JM}	[V]	Jmenovité napětí
A / D		Analogově – Digitální převodník
OZ		Operační zesilovač
DPS		Deska plošných spojů
IO		Integrovaný obvod
KOMP		Komparátor

SEZNAM OBRÁZKŮ

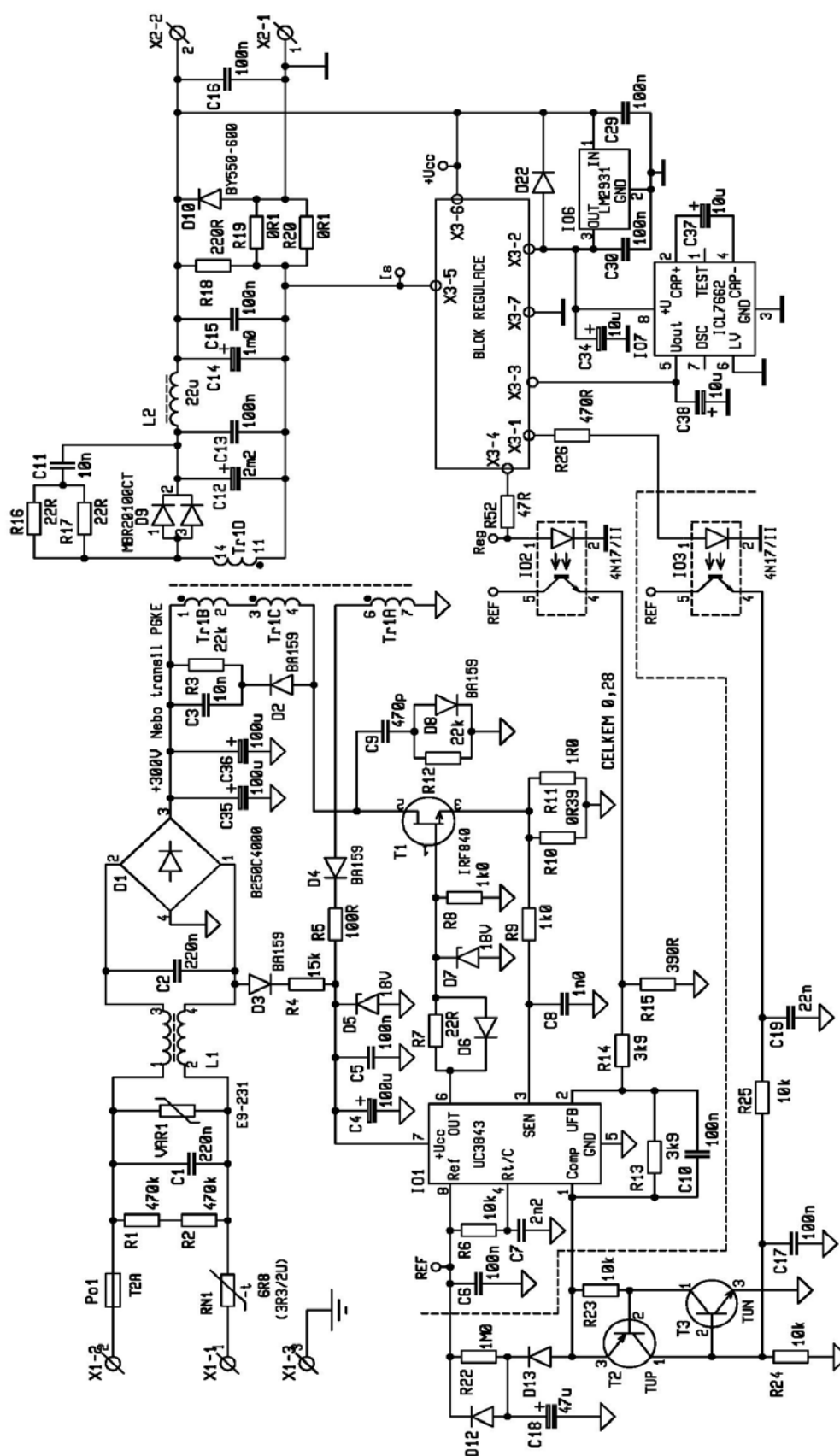
Obr. 1 Blokové schéma lineárního zdroje	8
Obr. 2 Blokové schéma spínaného zdroje	10
Obr. 3 Principiální schéma obvodu snižující napětí	12
Obr. 4 Principiální schéma obvodu zvyšující napětí	15
Obr. 5 Principiální schéma obvodu invertující napětí	16
Obr. 6 Principiální schéma propustného zapojení	18
Obr. 7 Principiální schéma blokujícího zapojení.....	19
Obr. 8 Principiální schéma dvojčinného zapojení	20
Obr. 9 Blokové schéma řízení PWM	21
Obr. 10 Získání signálu PWM	21
Obr. 11 Blokové schéma řízení PWM a proudové zpětné vazby	22
Obr. 12 Blokový diagram obvodu UC3842.....	26
Obr. 13 Odporový předřadník.....	34
Obr. 14 Zatěžovací charakteristiky zdrojů.....	38
Obr. 15 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 5\text{ V}$	39
Obr. 16 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 10\text{ V}$	40
Obr. 17 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 15\text{ V}$	40
Obr. 18 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 20\text{ V}$	40
Obr. 19 Zatěžovací charakteristika při $U_{JM} = 25\text{ V}$	41

SEZNAM TABULEK

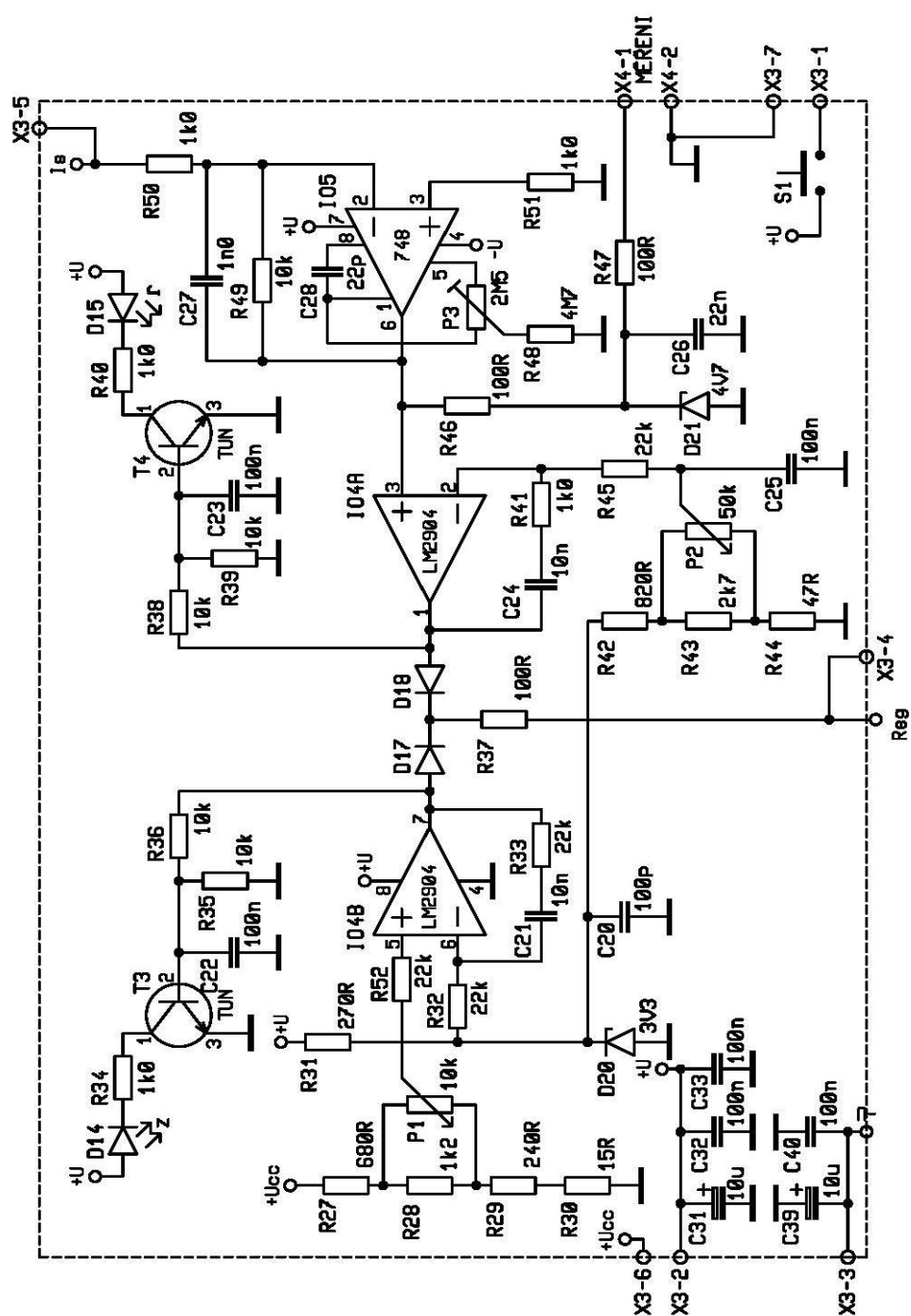
Tab. 1 Srovnání vlastností spínaných a lineárních zdrojů	9
Tab. 2 Naměřené hodnoty zatěžovacích charakteristik	39

SEZNAM PŘÍLOH

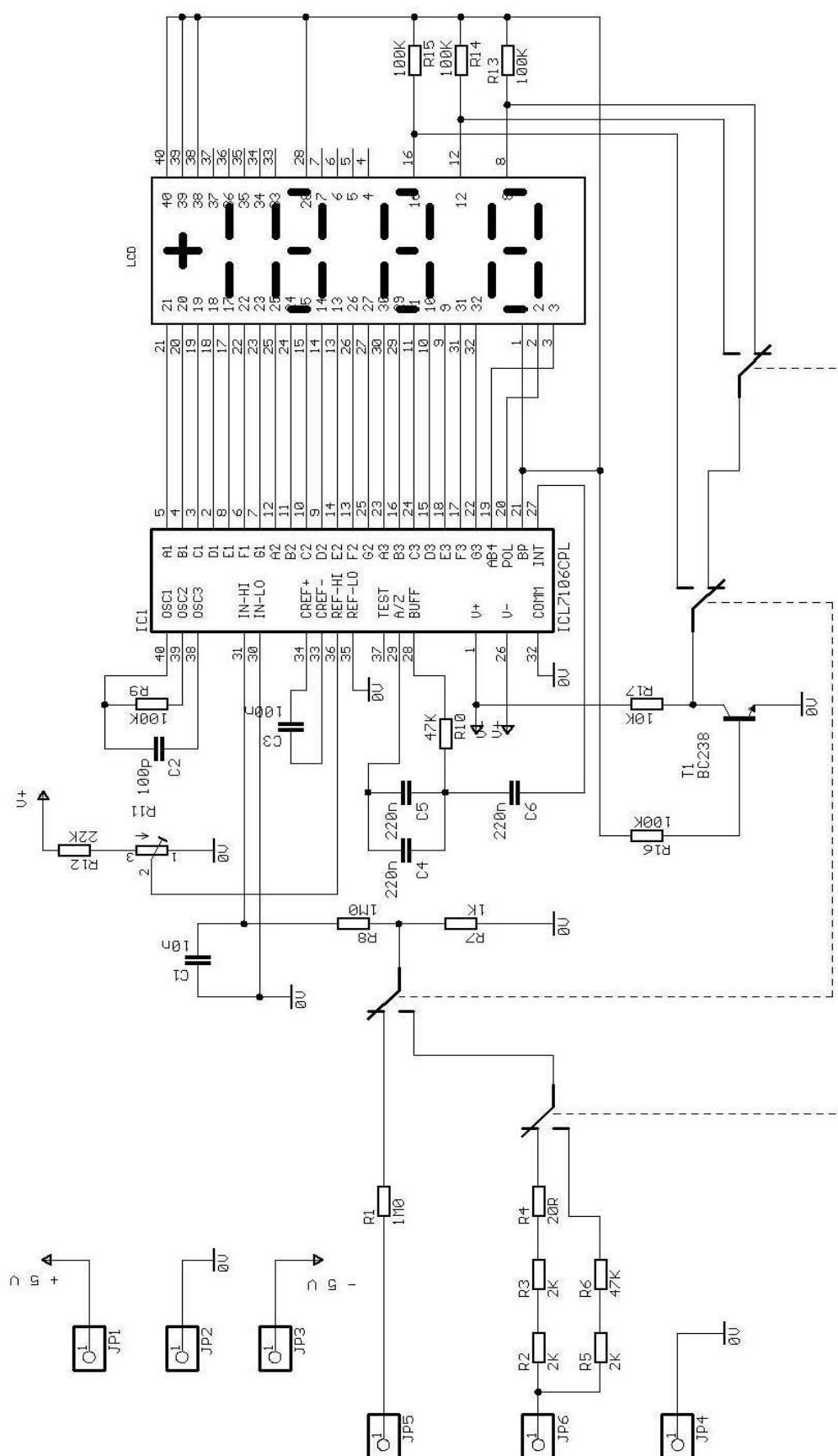
Příloha I. Schéma spínaného zdroje.....	50
Příloha II. Schéma bloku regulace.....	51
Příloha III. Schéma voltmetru – ampérmetru	52
Příloha IV. DPS spínaného zdroje – pohled ze strany spojů	53
Příloha V. DPS spínaného zdroje – pohled ze strany součástek.....	53
Příloha VI. DPS bloku regulace – pohled ze strany spojů.....	53
Příloha VII. DPS bloku regulace – pohled ze strany součástek	54
Příloha VIII. DPS měřicího modulu – pohled ze strany spojů	54
Příloha IX. DPS měřicího modulu – pohled ze strany součástek	55
Příloha X. Seznam součástek bloku regulace	55
Příloha XI. Seznam součástek spínaného zdroje	56
Příloha XII. Seznam součástek měřicího modulu.....	56



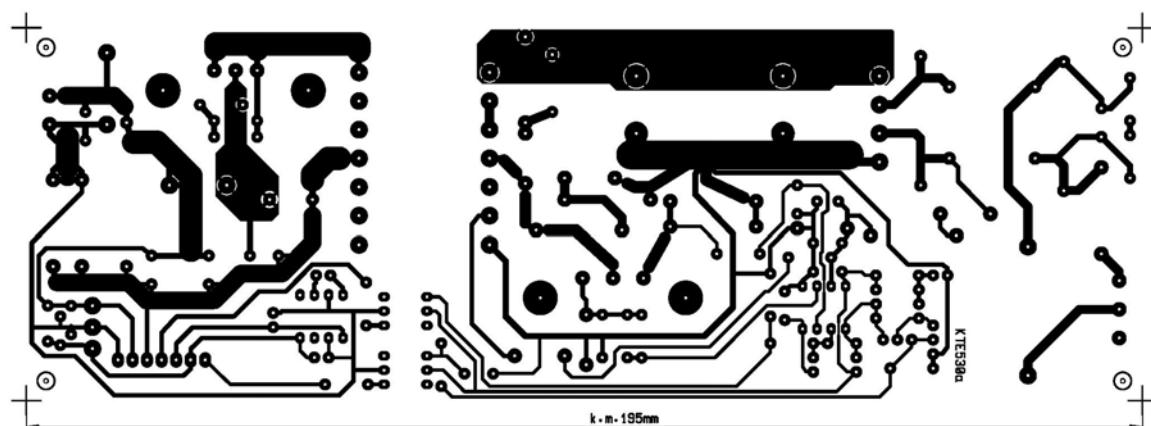
Přiloha I. Schéma spínaného zdroje



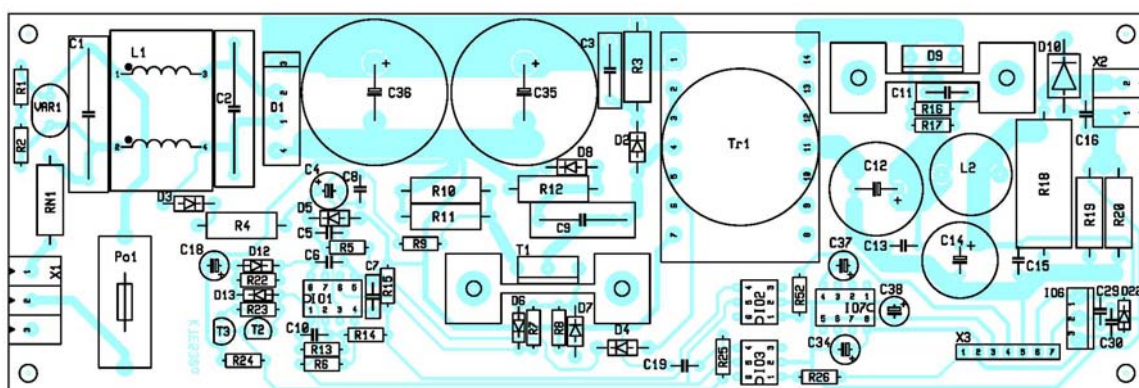
Příloha II. Schéma bloku regulace



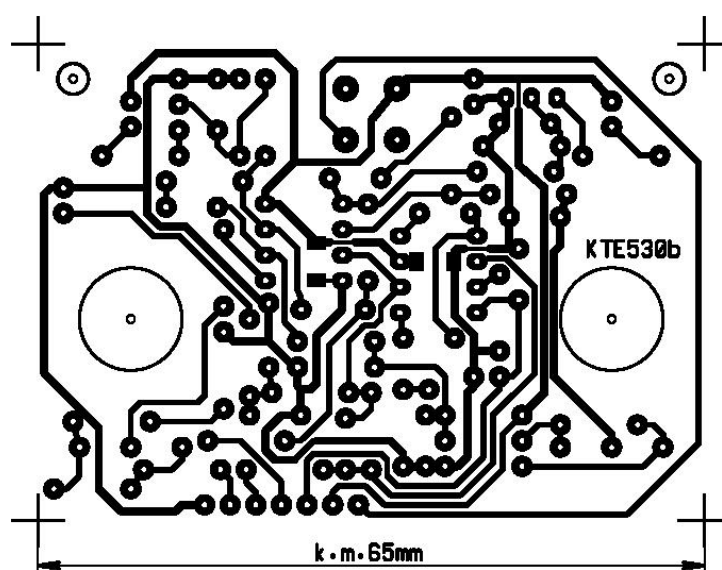
Příloha III. Schéma voltmetru – ampérmetru



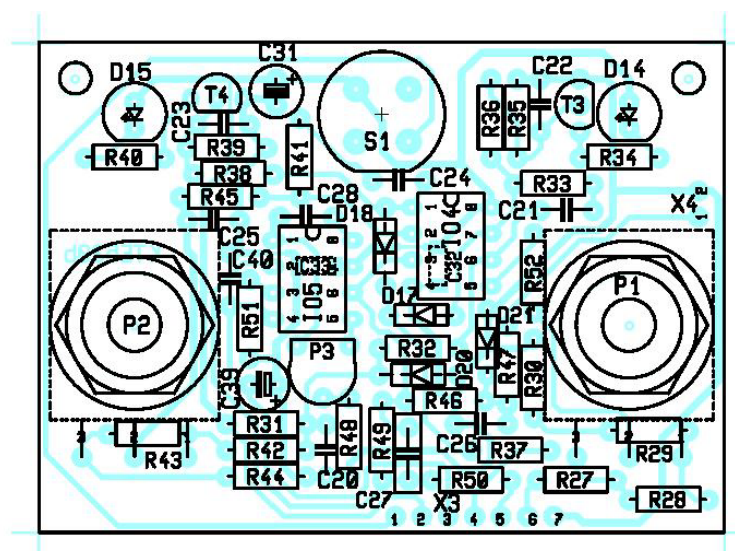
Příloha IV. DPS spínaného zdroje – pohled ze strany spojů



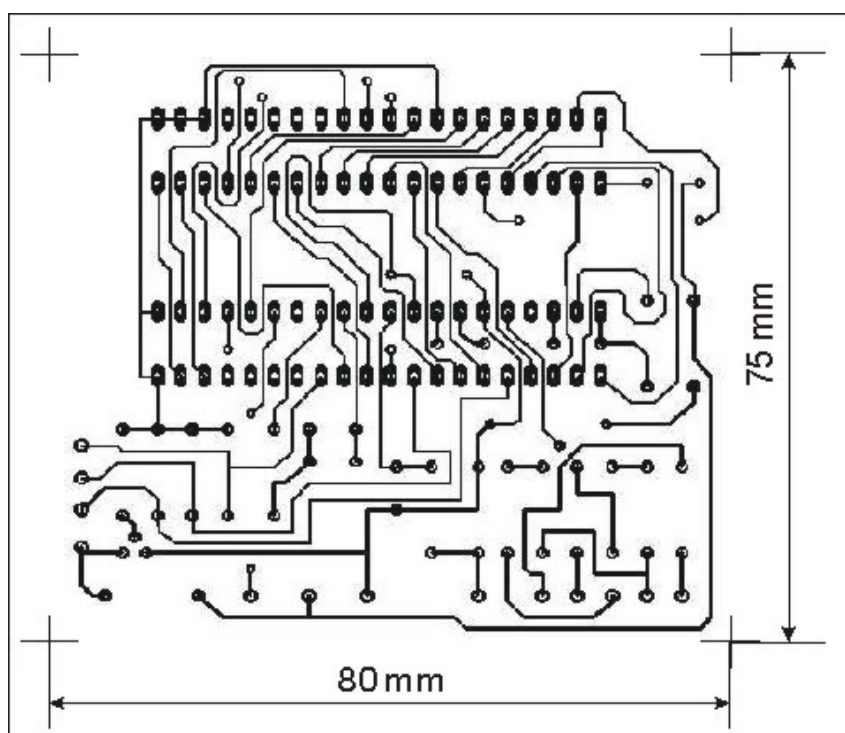
Příloha V. DPS spínaného zdroje – pohled ze strany součástek



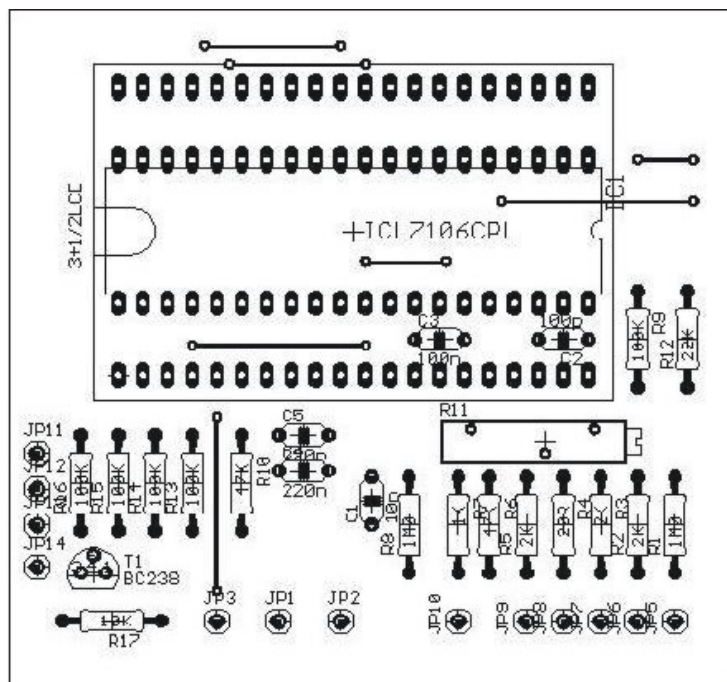
Příloha VI. DPS bloku regulace – pohled ze strany spojů



Příloha VII. DPS bloku regulace – pohled ze strany součástek



Příloha VIII. DPS měřicího modulu – pohled ze strany spojů



Příloha IX. DPS měřicího modulu – pohled ze strany součástek

Schematické označení	Přesné označení	Schematické označení	Přesné označení
R27	680R	C27	1n0 CF2
R28	1k2	C28	22p
R29	240R	C31 ,C39	10 μ / 25V miniaturní
R30	15R	C23, C33	100n SMD 1206
R31	270R	D15	LED 5mm 2mA RED
R32,R33,R41,R45,R52	22k	D14	LED 5mm 2mA GREEN
R34,R40,R50,R51	1k	D17,D18	1N4148
R35,R36,R38,R39,R49	10k	D20	3V3 / 0,5W
R37, R46, R47	100R	D21	4V7 / 0,5W
R42	820R	T4, T5	BC 546
R43	2k7	IO4	LM 2904
R44	47R	IO5	748
R48	4M7	P1	10k PC16ML
C20	100p	P2	50k PC16ML
C22, C23, C25, C40	100n / 50V	P3	2M5 PT6V
C21 , C24	10n	S1	DT6
C26	22n		

Příloha X. Seznam součástek bloku regulace

Schematické označení	Přesné označení	Schematické označení	Přesné označení
R1, R2	470k	C18	47 μ / 25V
R1, R2	22k / 2W	C19	22n
R4	15k / 2W	C34, C37, C38	10 μ / 25V
R5	100R / 2W	C35, C36	100 μ / 400V
R6, R23, R24, R25	10k	D1	B250C4000
R7, R16, R17	22R	D2,D3,D4,D8	BA 159
R8, R9	1k	D5, D7	18V / 1,3 W
R10	0R39 / 2W	D6,D12,D13,D22	1N4148
R11	1R0	D9	MBR20100CT
R13, R14	3k9	D10	BY550 - 600
R15	390R	T1	IRF 840
R18	220R / 5W	T2	BC 556
R19, R20	0R1 / 2W	T3	BC 546
R22	1M0	IO1	UC3843
R26	470R	IO2, IO3	CNY17 / II
R52	47R	IO6	LM 2931
C1, C2	CFAC 220n / 275VAC	IO7	ICL 7662
C3	10n FKS3	X1	ARK210 / 3
C4	100 μ / 25V	X2	ARK210 / 2
C5,C6,C10,C13	10n 50V	L1	RSD42V3010
C15,C16,C29,C30	10n 50V	L2	22 μ
C7	2n2 CF2	RN1	6R8 / 2W
C8	1n0	Tr1	viz. článek
C9	FKP1 470P / 2000V	VAR1	VARE9 - 231
C11	10n CF5	Po1	T2A
C12	2m2 / 50V	1x pojistkový držák	KS20SW
C14	1m0 / 35V		

Příloha XI. Seznam součástek spínaného zdroje

Schematické označení	Přesné označení	Schematické označení	Přesné označení
R1,R8	1M0	C1	10n
R2, R3, R5	2k	C2	100p
R4	20R	C3	100n / 50V
R6, R10	47k	C4, C5	220n
R7	1k0	C6	220n / CF1
R9,R13,R14,R15,R16	100k	IC1	7106
R11	1k0 64Z	T1	BC 238
R12	22k	S1, S2	P - BO69E
R17	10k	LCD	LDC 3902

Příloha XII. Seznam součástek měřicího modulu