


Impulsní zdroje

Switched Mode Power Supplies

Michal Vysloužil

Bakalářská práce
2008

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav aplikované informatiky
akademický rok: 2007/2008

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal VYSLOUŽIL**
Studijní program: **B 3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační technologie**

Téma práce: **Impulsní zdroje**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte přehled používaných spínaných zdrojů elektrické energie.
2. V přehledu uveďte průřez historickým vývojem.
3. Uveďte příklady obvodů používaných k řízení zdrojů.
4. Uveďte materiály používané při konstrukci.
5. Vypracujte přehled výrobců a v současnosti na trhu dostupných zdrojů.
6. Vytvořte přehled parametrů dostupných zdrojů a jejich cenový přehled.
7. Vytvořte prezentaci v programu Power point seznamující s problematikou spínaných zdrojů.

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

1. KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje I., 2. vydání Praha: BEN, 1997, 341 str. ISBN 80-8056-02-3.
2. KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje II., 2. vydání Praha: BEN, 1997, 343 str. ISBN 80-86056-03-1.
3. KREJČÍŘÍK, A. Napájecí zdroje III., 1. vydání Praha: BEN, 1999, 349 str. ISBN 80-86056-56-2.
4. KREJČÍŘÍK, A. Moderní spínané zdroje, 1. vydání Praha: BEN, 1999, 111 str. ISBN 80-86056-78-3.
5. KREJČÍŘÍK, A. Spínané napájecí zdroje, 1. vydání Praha: BEN, 2002, 397 str. ISBN 80-7300-031-8.
6. FAKTOR, Z. Transformátory a tlumivky, 1. vydání Praha: BEN, 2002, 243 str. ISBN 80-86056-91-0.
7. History of Switched Mode Power Supplies. URL:
<http://www.steve-w.dircon.co.uk/fleadh/mphil/history.htm> [cit. 2008-01-17].

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektrotechniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

20. února 2008

Termín odevzdání bakalářské práce:

5. května 2008

Ve Zlíně dne 20. února 2008

prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.
děkan



doc. Ing. Ivan Zelinka, Ph.D.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Práce se zabývá problematikou impulsních (spínaných) zdrojů. Teoretická část obsahuje historický vývoj, porovnání s lineárními regulátory a základní zapojení spínaných zdrojů. V praktické části se nachází rozdělení obvodů a řídicích obvodů vybraných firem. Dále jsou zde uvedeny materiály používané k výrobě jádra. Na konci je uveden přehled parametrů v současnosti nabízených zdrojů a jejich cenové srovnání.

Klíčová slova: spínaný zdroj, řídicí obvody, materiály pro výrobu jádra

ABSTRACT

This paper deals with switched mode power supplies. The theoretic part of the paper includes historical development and the elementary schemes of switched mode power supplies and also includes the comparing with linear regulators. In the practical part of the paper was made dividing of basic circuits and also control circuits from selected companies. Furthermore are mentioned materials for cores production. The last part provides review of the power supplies actual market prices and parameters.

Keywords: switched mode power supply, control circuits, materials for cores production

Chtěl bych poděkovat Ing. Lubomíru Macků za jeho ochotu a pomoc při tvorbě bakalářské práce.

Prohlašuji, že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvolněno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	8
I TEORETICKÁ ČÁST	9
1 HISTORIE A VÝVOJ SPÍNANÝCH ZDROJŮ	10
1.1 PŮVOD A VÝVOJ	10
2 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU SPÍNANÝCH ZDROJŮ	14
2.1 POROVNÁNÍ S LINEÁRNÍMI REGULÁTORY	14
2.2 BLOKOVÉ SCHÉMA SPÍNANÉHO ZDROJE	16
3 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ SPÍNANÝCH ZDROJŮ	18
3.1 PROPUSTNÉ ZAPOJENÍ.....	18
3.2 AKUMULAČNÍ ZAPOJENÍ	19
3.3 KOMBINOVANÉ ZAPOJENÍ.....	20
3.4 DVOJČINNÉ ZAPOJENÍ.....	21
3.5 MŮSTKOVÉ ZAPOJENÍ	22
3.5.1 Polomost.....	23
3.5.2 Plný most.....	24
3.6 PULZNĚ ŠÍRKOVÁ MODULACE.....	25
3.7 PROUDOVÁ ZPĚTNÁ VAZBA	26
3.8 REZONANČNÍ MÓD.....	27
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
4 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ OBVODŮ VYBRANÝCH FIREM	30
4.1 MAXIM	30
4.1.1 Spínané zdroje bez indukčnosti.....	30
4.1.2 Zdroje zvyšující napětí (STEP UP, BOOST).....	30
4.1.3 Zdroje snižující napětí (STEP DOWN, BUCK)	31
4.1.4 Zdroje invertující.....	31
4.1.5 Zdroje dvojitě	31
4.2 MOTOROLA	31
4.2.1 Jednočinné zdroje s integrovaným tranzistorem	31
4.2.2 Zdroje s externím tranzistorem	32
4.2.3 Zjednodušená řada jednočinných zdrojů.....	32
4.2.4 Obvody s dvojitým výstupem.....	33
4.3 LINEAR TECHNOLOGY	33
4.3.1 Spínané zdroje bez indukčnosti.....	33
4.3.2 Spínané zdroje s indukčností.....	33
4.4 TEXAS INSTRUMENTS	34
4.4.1 Obvody bez indukčnosti.....	34
4.4.2 Obvody s indukčností.....	34
4.5 POWER INTEGRATIONS	34
5 VYBRANÉ ŘÍDÍCÍ OBVODY SPÍNANÝCH ZDROJŮ FIRMY UNITRODE	36

5.1	PROUDOVĚ ŘÍZENÉ OBVODY	36
5.2	OBVODY PRO SNIŽOVÁNÍ NAPĚTÍ.....	36
5.3	REZONANČNÍ OBVODY	36
5.4	OBVODY PRO PREREGULÁTORY.....	37
5.5	VÝKONOVÉ OBVODY	37
5.6	OBVODY PRO NABÍJEČE AKUMULÁTORŮ	37
5.7	OBVODY PRO ŘÍZENÍ SVĚTELNÝCH ZDROJŮ	37
5.8	IZOLOVANÝ ZPĚTNOVAZEBNÍ GENERÁTOR	38
6	MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ JÁDRA	39
6.1	ŽELEZOPRACHOVÁ JÁDRA	39
6.2	FERITY	39
6.3	JÁDRA Z AMORFNÍCH MAGNETICKÝCH MATERIÁLŮ.....	40
6.4	JÁDRA SLOŽENÁ NEBO VINUTÁ Z MAGNETICKÝCH PLECHŮ S KRYSTALICKOU STRUKTUROU.....	40
7	PŘEHLED VÝROBCŮ V SOUČASNOSTI NABÍZENÝCH ZDROJŮ	42
7.1	AMIT	42
7.2	AXIMA	43
7.3	BKE.....	44
7.4	OMRON	46
7.5	REM-TECHNIK	46
7.6	SIEMENS	47
7.7	ZHODNOCENÍ.....	47
	ZÁVĚR	49
	CONCLUSION	50
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	51
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	52
	SEZNAM OBRÁZKŮ	53
	SEZNAM TABULEK.....	54
	SEZNAM PŘÍLOH.....	55

ÚVOD

V současné době se klade velký důraz na efektivitu a ekonomičnost zařízení všeho druhu. Nejinak tomu je i v oblasti napájecích zdrojů. Klasické zdroje využívající transformátorů běžících na frekvenci síťového napětí 50Hz bývají proto postupně nahrazovány spínanými zdroji, které mají výrazně větší výkon při stejných rozměrech a menší ztráty v širokém rozsahu zatížení. Z toho důvodu dochází k úspoře materiálu při výrobě spínaných zdrojů zmenšením jejich rozměrů a dále k energetickým úsporám při provozu spínaných zdrojů.

Spínané zdroje jsou tedy moderní náhradou síťových zdrojů s běžným transformátorem. Jsou to elektronické napájecí zdroje, které vstupní napětí (po případném usměrnění a vyhlazení) převedou na impulzy poměrně vysoké frekvence, transformují je na požadované napětí a následně usměrní a vyhladí, čím se získá výsledné výstupní napětí.

Jejich výrobní cena přes poměrně větší náklady na vývoj začíná být při rostoucích výrobních sériích příznivá, jejich vývoj je ale náročnější, výroba není v amatérských podmínkách tak jednoduchá jako u zdrojů s klasickým transformátorem.

Převažující význam v oblasti napájení elektronických přístrojů dosáhly spínané zdroje, jejichž základem je pulzně šířková modulace. Tato technologie umožňuje zpracovat napětí na mnohem vyšším kmitočtu, než je kmitočet síťového napětí. Umožňuje dosáhnout stálou hodnotu stejnosměrného napětí spínaného zdroje, která je nezávislá na zatížení a má nízkou hodnotu zvlnění.

Spínané zdroje jsou vyráběny nejen jako zařízení soustředěné v jedné konstrukční jednotce, ale také jako několik spínaných zdrojů o menším výkonu, které jsou rozptýleny v jednotlivých částech zařízení. Dosahuje se tím jejich zastupitelnosti při poruše a nižší úbytky napětí v místech spotřeby. Vyrábějí se rovněž moduly spínaných napájecích zdrojů, ze kterých lze paralelním a sériovým zapojením skládat jednotky s vyšším napětím a vyššími proudy.

Tato práce poskytuje základní informace o spínaných zdrojích a obsahuje přehled v současnosti na trhu nabízených zdrojů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 HISTORIE A VÝVOJ SPÍNANÝCH ZDROJŮ

S vývojem tranzistorů na počátku padesátých let a zvláště s postupným vývojem integrovaných obvodů počátkem šedesátých let se návrháři elektronických zařízení, počítačů a přístrojů snaží vše zmenšit a zefektivnit zdroje energie k napájení jejich zařízení [7]. Pro splnění požadavků se zdroje stávají více a více propracované. Ve skutečnosti lze vývoj spínaných napájecích zdrojů přímo spojit s vynálezem polovodičů.

Lineární regulace napětí byla hojně využívána na přelomu padesátých a šedesátých let, kdy spínané zdroje byly velmi ojedinělé. Nadvláda spínaných zdrojů je spojena s vývojem rychlých vysoko-napěťových spínacích tranzistorů v roce 1967 a v malé míře s vývojem keramických feritových materiálů a novější technologie kondenzátorů. Lineární regulátory a zdroje mají stále své místo v různých aplikacích dodnes, např. v obvodech do 50W, a jde tedy o stabilní větev napájecích zdrojů. Lineární zdroje jsou tedy preferovány převážně tam, kde je potřeba bezšumový zdroj.

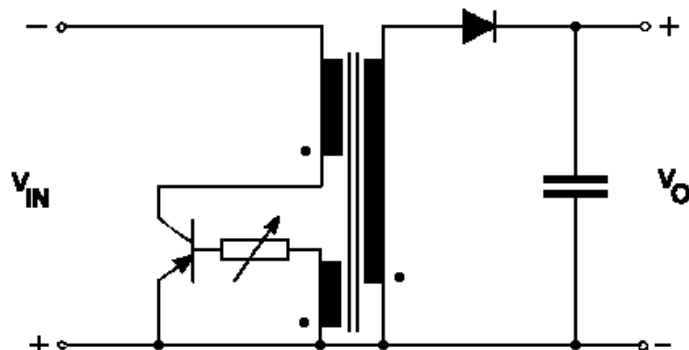
1.1 Původ a vývoj

Původ spínaných obvodů je spojen s vývojem měničů [7]. Měnič vytváří střídavé napětí ze stejnosměrného a je proto součástí spínaných zdrojů napětí. První popsané měniče byly vyvinuty před objevem prvních tranzistorů a používaly elektronky jako spínací jednotky, jako třeba souměrný měnič. Poté co byl v roce 1948 vyroben první bipolární tranzistor, se rozšířila výroba měničů a konvertorů. V roce 1952 byly popsány nízkonapěťové stejnosměrné zdroje v aplikacích jako např. Geigrův počítač, který slouží pro detekci radiace.

Od roku 1952 se staly germaniové tranzistory dostupnější, což byl impuls k vývoji měničů a konvertorů. Tranzistorově spínané obvody vyvinuté v padesátých letech se dělí do tří hlavních skupin, jmenovitě „Jednoduché-koncové“, „Auto-oscilační“ a „Řízené souměrné“ obvody.

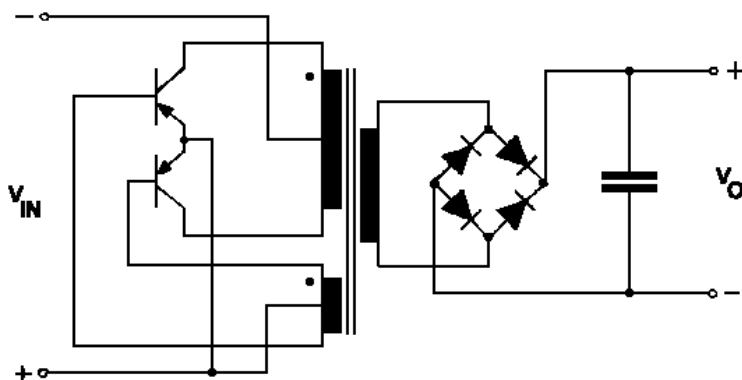
Jednoduchý-koncový obvod (Obrázek č. 1) obsahuje tranzistor v transformátoru spojený s oscilátorem, který periodicky otvírá a zavírá tranzistor. Energie je převedena na výstup během vypnutí tranzistoru. Moderním ekvivalentem je zpětný obvod. Obvod byl

použitelný pouze pro nízkonapěťové aplikace a nejvíce používaný jako zdroj stejnosměrného napětí.

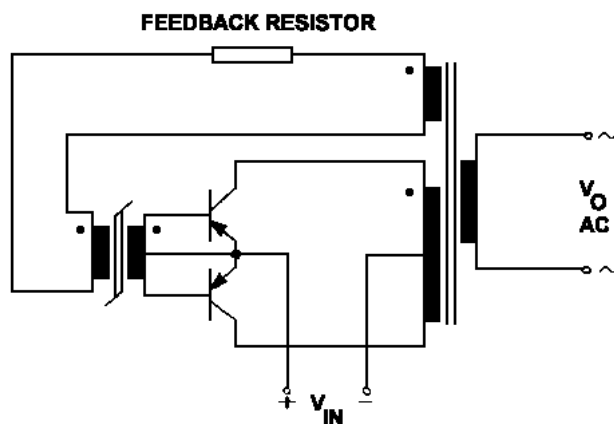


Obrázek č. 1: Jednoduchý-koncový obvod

Auto-oscilační souměrné konvertory jsou základem středně energeticky náročných aplikací 10-100 W. Obvod používá pár tranzistorů v oscilátoru symetrického obdélníkového signálu. Tranzistory se střídavě zapínají, vypínají a spojují stejnosměrné napětí na vstupu s jednou nebo druhou stranou vinutí transformátoru. Tento měnič produkuje obdélníkové napětí, které je dále upraveno a přivedeno ve stejnosměrném tvaru na výstup. Jsou dvě hlavní metody, jak způsobit oscilaci obvodu. Základní metoda (Obrázek č. 2) zobrazuje zpětnovazební vinutí na hlavním transformátoru. Dva tranzistory střídavě propouští, když transformátor saturuje. Druhá metoda (Obrázek č. 3) zobrazuje oddělený zpětnovazební řídicí transformátor, který řídí spínání tranzistorů.

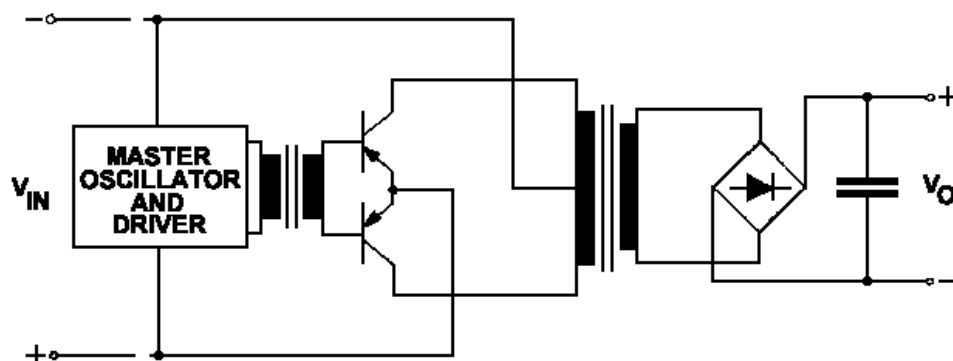


Obrázek č. 2: Auto-oscilační souměrný konvertor



Obrázek č. 3: Auto-oscilační souměrný měnič

Řídicí souměrný obvod (Obrázek č. 4) se mnohem častěji používá při vysokém napětí, kde frekvenční stabilita auto-oscilační metody je výhodou. Souměrný obvod je řízen odděleným hlavním oscilátorem, který řídí frekvenci operace a může být jako zdroj stejnosměrného nebo střídavého napětí. Řízený souměrný obvod je používán jako část napájecích zdrojů dodnes.



Obrázek č. 4: Řídicí souměrný obvod

Šedesátá léta odstartovala vývoj moderních spínaných regulátorů a spínaných napájecích zdrojů. Během šedesátých let byly vyvinuty tři metody spínaných regulátorů pro nízko-napěťové stejnosměrné napětí v stejnosměrných aplikacích. Jsou to snižovací, zvyšovací a snižovací-zvyšovací regulátory. Snižovací regulátor mění vstupní napětí na menší regulované výstupní napětí. Zvyšovací regulátor mění vstupní napětí na vyšší regulované výstupní napětí. Snižovací-zvyšovací regulátor, známý jako zpětnovazební regulátor, je používán k regulování záporného napětí na vyšší nebo nižší úroveň kladného napětí vstupu. Metody regulačního řízení je ve všech případech dosaženo změnou výkonu elektronického spínače, nejčastěji pomocí pulzně šířkové modulace (PWM).

Hlavním důvodem vývoje spínaných konvertorů byl letecký průmysl. Na běžném trhu byly stále používány obrovské lineární regulátory s izolací, což je nezbytná věc pro bezpečnost, s klasickým transformátorem. Hlavní průlom v napájecích zdrojích nastal na konci šedesátých let s výrobou vysoko-napěťových silikonových spínacích tranzistorů.

Další impuls pro vývoj těchto zařízení přišel z televizního průmyslu. Designéři mohli implementovat spínaný regulátor a měnič do stabilizovaných napájecích zdrojů. V USA, kde byla výhoda nižšího efektivního napětí než v Evropě (110 V), představily továrny na napájecí zdroje jako první spínané konvertory označované jako Trio. S příchodem vysoko-napěťových spínacích tranzistorů zaujala své místo spínaná technika také v Evropě.

Jedna z prvních komerčních řad spínaných napájecích zdrojů byla tzv. „MG“, výstupní jednotka uvedená firmou ADVANCE ELECTRONICS Ltd. v roce 1972. Několik jiných firem později také vstoupilo na trh s jejich vlastním spínaným napájecím zdrojem (např. firma FARNELL INSTRUMENTS Ltd.) Byla preferována technologie využívající poloviční most řízený pulzně šířkovou modulací. Tato topologie dosahuje nejlepších výsledků při použití dvou tranzistorů.

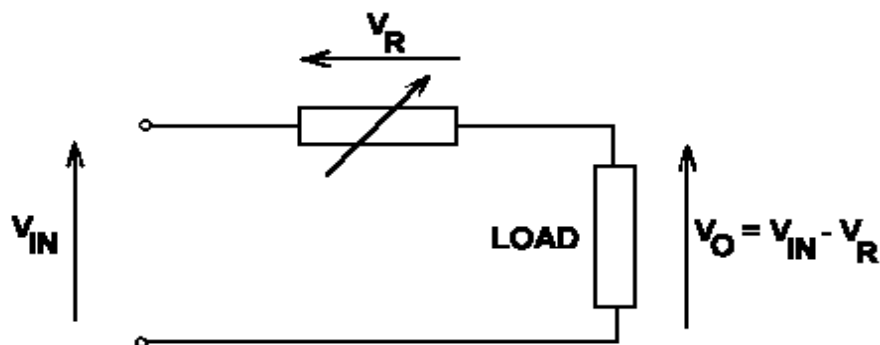
2 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU SPÍNANÝCH ZDROJŮ

Popularita spínaných zdrojů v poslední době velmi roste a stávají se převažující skupinou zdrojů na trhu. Umožňují vytvářet kompaktní přístroje s malou hmotností a objemem a s velkou účinností. Praktický návrh spínaných zdrojů je však mnohem komplikovanější, než u zdrojů lineárních a náročnost na výběr součástek jejich návrh dále komplikuje [1].

2.1 Porovnání s lineárními regulátory

Regulace napájecího zdroje může být založena na dvou principech, na lineární a spínané technice regulace [7].

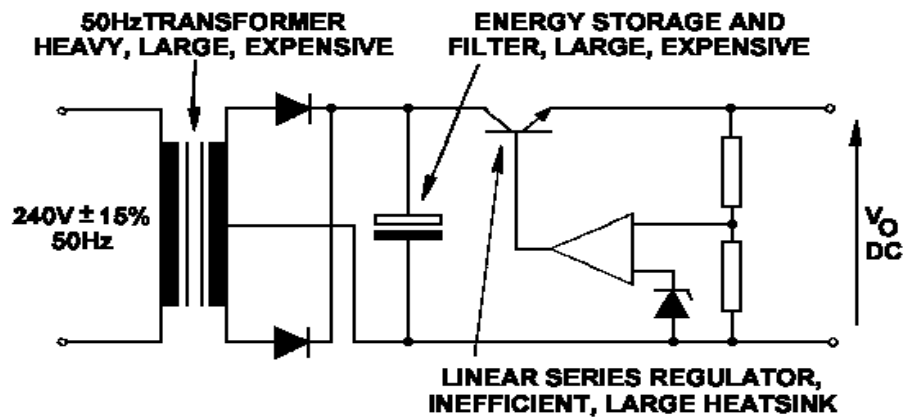
Hlavním rozdílem mezi lineární a spínanou regulací je velikost, váha a efektivita zkonstruovaného napájecího zdroje. Lineární regulátor (Obrázek č. 5) umožňuje jednoduché řízení spotřeby energie k dosažení regulovaného výstupního napětí nezávislého na kolísání výkonu. Je však neefektivní zejména tehdy, když je třeba velké vstupní napětí. Při použití lineární techniky k regulaci napětí sítě (110 V nebo 240 V) se pak projeví nevýhody těchto zdrojů.



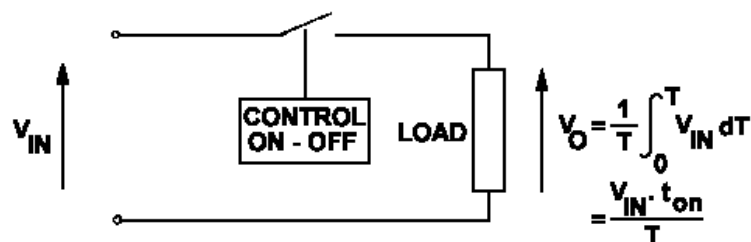
Obrázek č. 5: Náhradní zapojení lineárního sériového regulátoru

Schéma typického lineárního napájecího zdroje nalezneme na (Obrázek č. 6). Snižovací transformátor pro nízké frekvence je velmi rozměrný a je potřeba odvádět velké množství tepla z regulační jednotky a také je zapotřebí velká kapacita filtračního kondenzátoru k nahromadění velkého množství energie pro udržení konstantního napětí na výstupu. Spínaná technika navíc nabízí možnost méně ztrátového převodu energie. Spínaný regulátor (Obrázek č. 7) používá k řízení výkonu obvod se spínací jednotkou, omezující nadměrný přísun energie. Výhodné je toto řízení zejména např. při vypnutém

zařízení, neboť poskytuje omezení ztrátového výkonu v transformátoru a jednotce pro nahromadění energie.



Obrázek č. 6: Praktický obvod lineárního sériového regulátoru



Obrázek č. 7: Náhradní obvod spínaného regulátoru

Protože spínaný konvertor pracuje na vysokých frekvencích, lze použít malý transformátor s feritovým jádrem.

Největší výhodou spínaných zdrojů je jejich vysoká účinnost. Přes komplikace návrhu procento spínaných zdrojů stále roste a dnes se dá odhadnout, že jejich nasazení je zajímavé u všech zdrojů okolo výkonu 20 W. Výhodou spínaných zdrojů [1], vyplývající z vysokého pracovního kmitočtu, je snadná filtrovatelnost zbytků střídavé složky. Tato vlastnost se však uplatní až při podstatně vyšších kmitočtech 50 Hz.

Nicméně nevýhodou spínaných zdrojů právě z hlediska jejich vysoké pracovní frekvence je vyšší cena jednotlivých součástek, které musí na takto vysokých kmitočtech spolehlivě pracovat (mezní kmitočty tranzistorů a diod, rozptylové kapacity transformátorů a stejnosměrné odpory elektrolytických kondenzátorů). Právě s postupně klesající cenou těchto součástek klesá i výkonová hranice efektivního využití spínaných zdrojů.

Srovnání spínaných stabilizátorů s lineárními je přehledně uvedeno níže (Tab. 1). Účinnost spínaných zdrojů se běžně pohybuje v rozmezí od 70 do 80 % a to i v případě velmi špatných spínaných zdrojů od 60 do 65 %. Obdobné lineární stabilizátory podobných parametrů by stěží mohly dosáhnout účinnosti lepší než 50 %, obvykle se jejich účinnost pohybuje okolo 30 %.

Podstatné zlepšení účinnosti se dosahuje v okolí pracovních kmitočtů 20 kHz, avšak dnešní součástky umožňují i konstrukci spínaných zdrojů, které pracují na kmitočtech 100 kHz až 1 MHz s účinností až 8 krát lepší, než jejich obdobná lineární zapojení s podobnými vlastnostmi. Další parametry mohou být přinejmenším porovnatelné. S rostoucím kmitočtem (a tedy rostoucí kvalitou) součástek se dále poměr parametrů mění ve prospěch spínaných zdrojů.

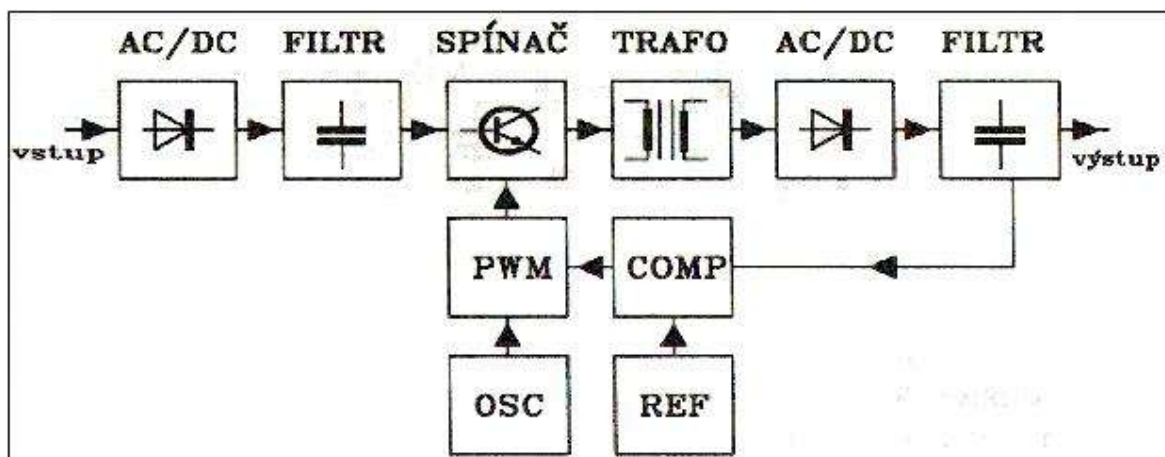
Tabulka č. 1: Porovnání lineárních a spínaných zdrojů

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]	20 [μs]
doba náběhu	20 [ms]	2 [ms]
cena	přibližně konstantní	roste s výkonem

2.2 Blokové schéma spínaného zdroje

Spínaný zdroj se skládá z několika základních částí (Obrázek č. 8) [1]. Ne vždy obsahuje všechny (výstupní filtr) a často obsahuje i některé navíc (vstupní usměrňovač).

Podmínkou činnosti spínaného zdroje je stejnosměrné vstupní napětí, pokud možno co nejvíce zbavené střídavé složky, která vzhledem ke svému nízkému kmitočtu (50 Hz) snadno prochází celým filtrem až na jeho výstup.



Obrázek č. 8: Blokové schéma spínaného zdroje

Jsou tedy dvě základní možnosti, buď je vstupní napětí stejnosměrné a s obvykle velmi malým vnitřním odporem a pak náročnost na vstupní filtr není vysoká, nebo v druhém případě je vstupní napětí střídavé a po jeho usměrnění vstupním usměrňovačem je potřeba důkladně vyhladit jeho zbytkové zvlnění vstupním filtrem.

Oba tyto prvky, jak usměrňovač, tak vstupní filtr musí být dostatečně účinné na síťovém kmitočtu 50 Hz, což vede na užití prakticky libovolných usměrňovacích diod (vhodných parametrů) ale na značné nároky na filtrační člen (RC, LC), který i na takto nízkém kmitočtu musí být dostatečně účinný.

Abychom mohli vstupní napětí transformovat, je nutné jej převést na střídavý tvar, což se ve spínaném zdroji provádí pomocí vysokofrekvenčních spínacích tranzistorů, které při kmitočtech 20 kHz až 1 MHz vytvoří střídavý obdélníkový průběh.

Vlastní transformace velikosti napětí probíhá buď na indukčnosti, nebo na transformátoru. Výstupní střídavé napětí je nutno usměrnit a opět vyfiltrovat obsah jeho střídavé složky. Přitom naopak vzhledem ke vstupním obvodům jsou vysoké požadavky kladeny na diody, které musí vykazovat usměrňovací efekt na pracovním kmitočtu (malá kapacita přechodu, malá spínací a zejména vypínací doba). Na výstupní filtr již zdaleka nejsou kladeny takové požadavky, protože pracuje na vysokém kmitočtu a jeho filtrační účinky na tomto kmitočtu jsou vynikající.

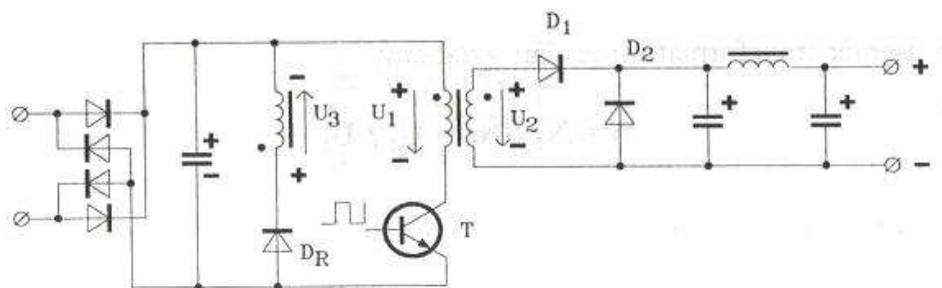
Všechny spínané zdroje jsou řízeny zpětnou vazbou, která snímá velikost výstupního (výstupních) napětí, případně výstupního (nebo i vstupního) proudu pomocí řídicí logiky spínání spínacích tranzistorů.

3 ZÁKLADNÍ ZAPOJENÍ SPÍNANÝCH ZDROJŮ

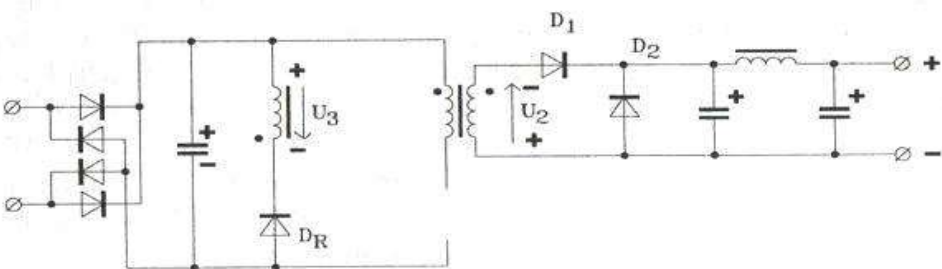
Zapojení spínaných zdrojů jsou všeobecně komplikovaná a pro jejich znalost je nutno znát i vnitřní zapojení specializovaných integrovaných obvodů, které jsou v těchto zdrojích užívány. Nicméně odhlédneme-li od oblasti obvodů zpětnovazebních stabilizací, lze spínané zdroje rozdělit podle jejich zapojení a funkce do několika základních skupin [1]. Jednotlivá zapojení se obvykle rozlišují podle způsobu přenosu energie z primárních obvodů do obvodů sekundárních.

3.1 Propustné zapojení

Propustné zapojení, označováno i jako FORWARD, je charakterizováno přímým přenosem energie přes transformátor, tj. teče-li proud primárním vinutím (v okamžiku sepnutí spínače), teče současně i sekundárním vinutím. Je to určeno vzájemnou polaritou primárního a sekundárního vinutí a polaritou výstupní diody.



Obrázek č. 9: Propustné zapojení - tranzistor sepnut



Obrázek č. 10: Propustné zapojení - rozepnutý tranzistor

Buď jsou obě vinutí vinuta souhlasně, pak kladné polaritě vstupního napětí transformátoru odpovídá kladná polarita výstupního napětí, nebo jsou vinutí vinuta opačně a tedy kladnému napětí na vstupu odpovídá záporné napětí na výstupu. Tedy při průchodu

proudu vinutím primárním může protékat proud vinutím sekundárním a je tedy nezbytné užití rekuperační diody s pomocným třetím vinutím.

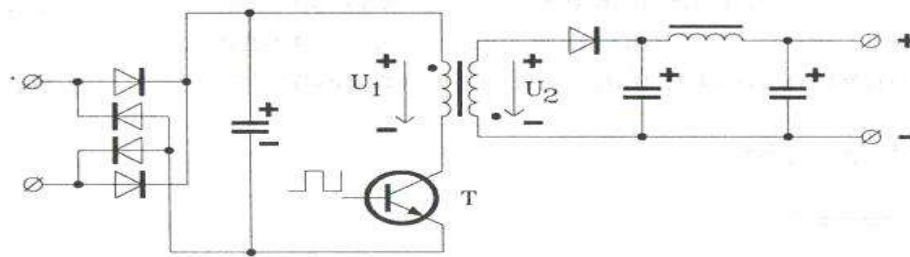
Přes nevýhodu dalšího vinutí a diody je toto zapojení užíváno pro absenci problémů se stejnosměrným sycením jádra transformátoru. Střída spínání však může být maximálně 50 % (doba sepnutí tranzistoru $t_1 <$ doba rozepnutí tranzistoru t_2).

V okamžiku, kdy je sepnut tranzistor T (Obrázek č. 9), začne lineárně narůstat proud, tekoucí vinutím 1 a na tomto vinutí je napětí U_1 v naznačené polaritě. Protože sekundární vinutí je shodně polarizováno s primárním vinutím, je indukované napětí takové polarity, že diodou D_1 teče proud. Současně je indukováno napětí v kladné polaritě i na vinutí 3 o velikosti U_3 . Toto napětí může vyvolat průchod proudu vlivem polarizace diody D_R . Teprve v okamžiku, kdy je rozepnut tranzistor T (Obrázek č. 10), indukuje pokles proudu vinutím 1 napětí do vinutí 2, tak i 3 a to v naznačené polaritě. Napětí U_3 je v tomto okamžiku takové polarity, že dioda D_R je vodivá. Dioda D_2 umožňuje průtok výstupního proudu z tlumivky do zátěže během doby t_2 , tj. v době rozepnutého tranzistoru T, kdy diodou D_1 proud neteče.

Pokud je indukované napětí v pomocném (rekuperačním) vinutí tak velké, že převyšuje napětí (minimálně o úbytek na rekuperační diodě) na kondenzátoru napájecího zdroje, je tento kondenzátor při rozepnutém tranzistoru dobíjen a část energie je tak vracena zpět do napájecího zdroje. Tím je zvyšována účinnost zapojení a je omezeno riziko průrazu tranzistoru indukovaným napětím při vypínání indukční zátěže.

3.2 Akumulační zapojení

Akumulační zapojení, označované i jako FLYBACK (Obrázek č. 11), se užívá pro rozsah výkonů přibližně v rozsahu 20 až 50 W, jeho účinnost bývá okolo 80 % a doporučuje se, aby střída spínacího prvku nepřesáhla 40 %, aby bylo možno dosáhnout uvedené účinnosti. Pracovní kmitočet těchto spínaných zdrojů bývá podle kvality tranzistoru, diod a transformátoru v rozmezí od 50 do 500 kHz.

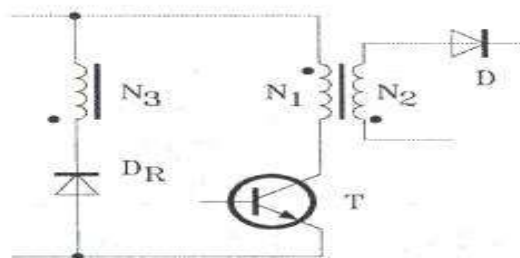


Obrázek č. 11: Akumulační zapojení

Teče-li vstupním vinutím proud, je sekundární vinutí vzhledem k polaritě výstupní diody polarizováno tak, že proud neteče. Veškerá energie je uložena v magnetickém poli transformátoru a teprve po ukončení proudu primárním vinutím začíná protékat proud vinutím sekundárním. Primární vinutí je vinuto opačným směrem než vinutí sekundární (polarita vstupního napětí U_1 je vyznačena pro sepnutý tranzistor a polarita výstupního napětí U_2 je vyznačena pro rozepnutý tranzistor - nejsou rozkreslena 2 zapojení).

I akumulční zapojení lze doplnit rekuperační diodou a rekuperačním vinutím (Obrázek č. 12), ale jejich použití není u tohoto zapojení nezbytné, pouze zlepšuje účinnost využitím té části energie, která po rozepnutí tranzistoru je akumulována v magnetickém poli transformátoru a není přenesena do výstupních obvodů.

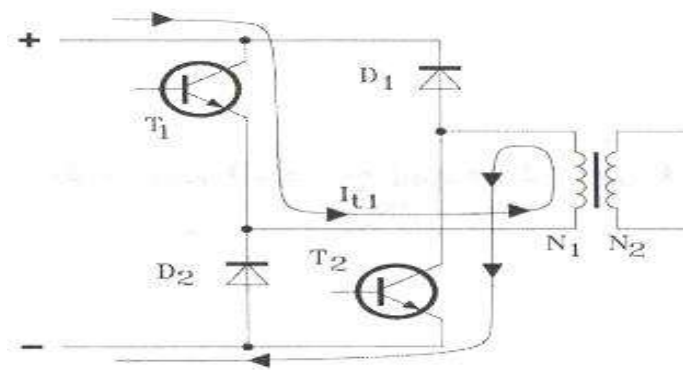
Proto teče-li proud primárním vinutím při sepnutí tranzistoru T, nemůže současně téci proud vinutím sekundárním.



Obrázek č. 12: Rekuperační vinutí

3.3 Kombinované zapojení

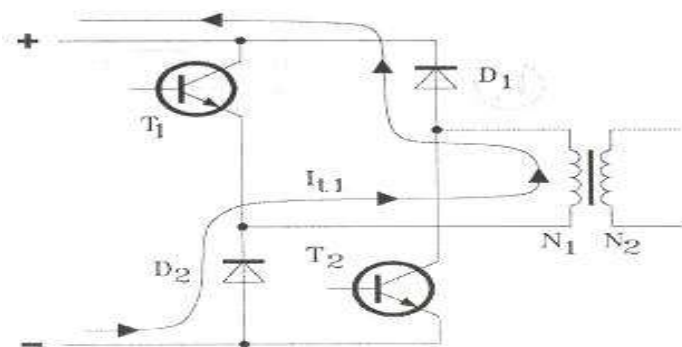
Vzhledem k tomu, že nutnost rekuperačního vinutí komplikuje realizaci transformátoru, je vhodné zkombinovat dva tranzistory a dvě rekuperační diody podle obrázku (Obrázek č. 13).



Obrázek č. 13: Kombinované zapojení - sepnuté

Jestliže sepneme oba tranzistory současně, pak protéká proud z kladné stejnosměrné svorky přes tranzistor T_1 , primární vinutí transformátoru a druhý tranzistor T_2 .

Po rozeptnutí obou tranzistorů současně má proud primární indukčností snahu pokračovat ve stejné velikosti a stejném směru. Protéká tedy z horní svorky primárního vinutí přes diodu D_1 , zdroj, diodu D_2 na spodní svorku primárního vinutí (Obrázek č. 14). Polarita zapojení výstupní usměrňovací diody pak udává, zda se jedná o zapojení propustné, nebo akumulující.



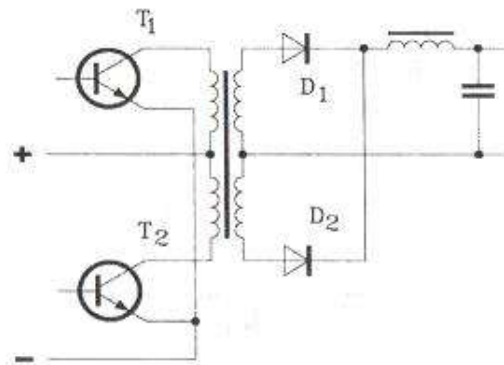
Obrázek č. 14: Kombinované zapojení - rozeptuté

3.4 Dvojčinné zapojení

Dvojčinné zapojení se označuje i jako PUSH-PULL. Do primárního vinutí je spínán proud obou polarit pomocí dvou spínacích prvků, které pracují v inverzním zapojení. Obvykle i výstupní usměrňovače jsou dvoucestné, takže se jedná vlastně o dvojčinnou verzi propustného zapojení. Většina spínaných zdrojů je tohoto principu, modifikovaného způsobem buzení primárního vinutí oběma spínači.

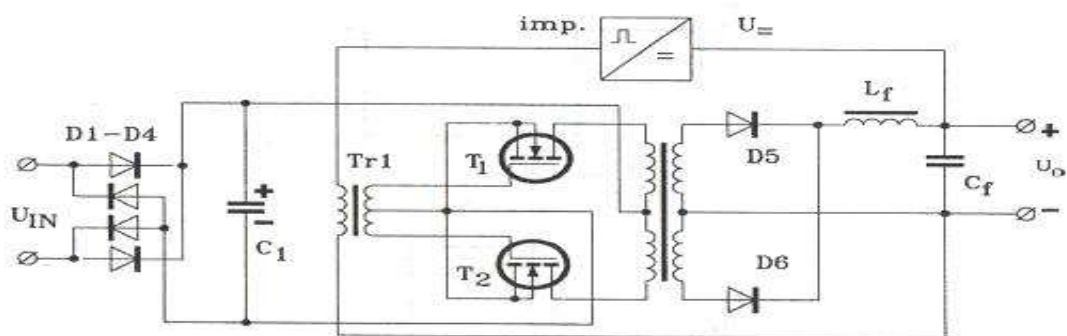
Základní součástí je symetrické primární vinutí transformátoru (Obrázek č. 15), kde každá jeho polovina je buzena samostatným tranzistorem. Výhodou je nepřítomnost stejnosměrné složky sycení jádra transformátoru.

S výhodou se na sekundární straně užívá dvoucestné (nebo můstkové) zapojení usměrňovače. Potom je výkon přenášen přímo v každé půlperiodě jednou z diod a akumulovaně druhou. Účinnost takovýcho zapojení je velmi vysoká a pohybuje se nad 80 %. Další výhodou je možnost širokého rozsahu regulace.



Obrázek č. 15: Dvojčinné zapojení

Pracovní frekvence, na kterých mohou zdroje tohoto typu pracovat, se pohybují cca do 200 kHz, kde omezujícím faktorem je mezní kmitočet užitých tranzistorů (jejich vypínací doba) a zejména vhodný materiál jádra transformátoru.



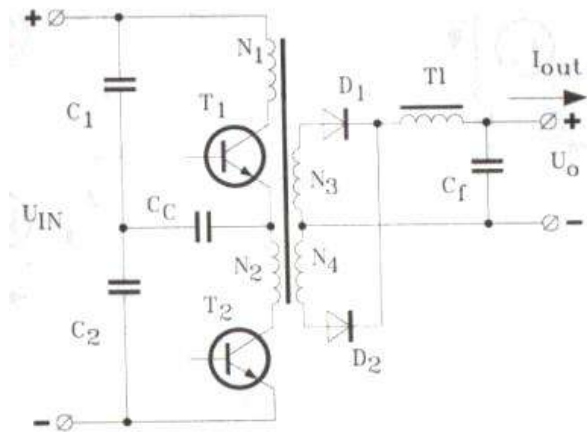
Obrázek č. 16: Celkové schéma zapojení spínaného zdroje typu PUSH-PULL

3.5 Můstkové zapojení

Můstkových zapojení je celá řada podle uspořádání jednotlivých prvků v mostu. Nejčastěji používané jsou tzv. polomosty.

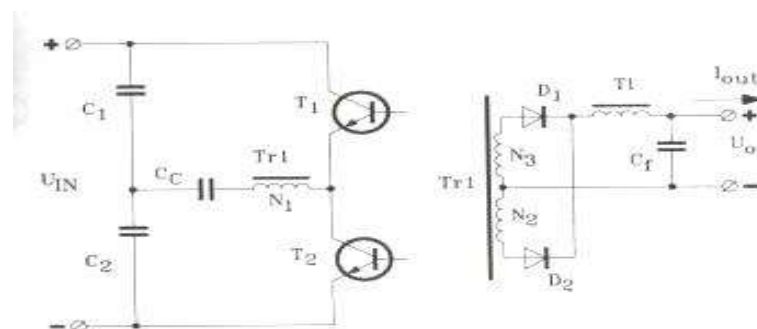
3.5.1 Polomost

Polovina mostu je tvořena dvěma spínacími tranzistory a druhá polovina dvěma kondenzátory.



Obrázek č. 17: Dvoucestný polomost

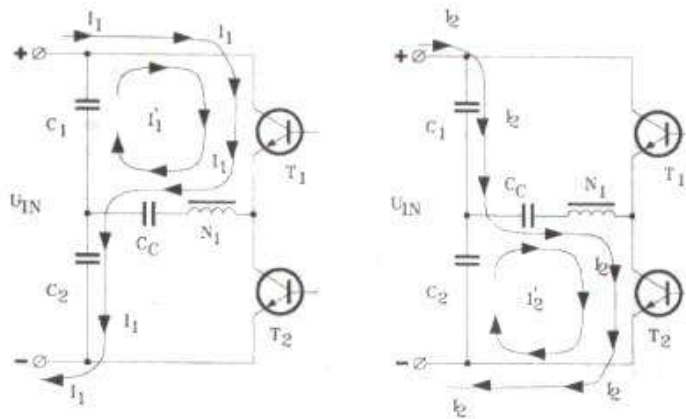
Dvoucestný polomost (Obrázek č. 17) je zapojení, kde každý tranzistor má vlastní primární vinutí transformátoru a v diagonále mostu je bipolární elektrolytický kondenzátor s velkou kapacitou C_C . Kapacita kondenzátoru C_C musí být poměrně vysoká, aby jeho přebíjením z jedné polaroty na druhou nedocházelo k nadměrným ztrátám. Navíc na kondenzátoru C_C se vyskytuje napětí obou polarit, takže nelze užít běžný elektrolytický kondenzátor. Výhoda polomostů je obecně v tom, že část impulsního proudu, který by jinak musel pokrývat zdroj stejnosměrného napětí U_{IN} , je kryta pomocí nabíjecích a vybíjecích proudů kondenzátorů C_1 a C_2 . Oba tranzistory jsou buzeny v protifázi se střídou maximálně do 80 %.



Obrázek č. 18: Polomost s jedním primárním vinutím

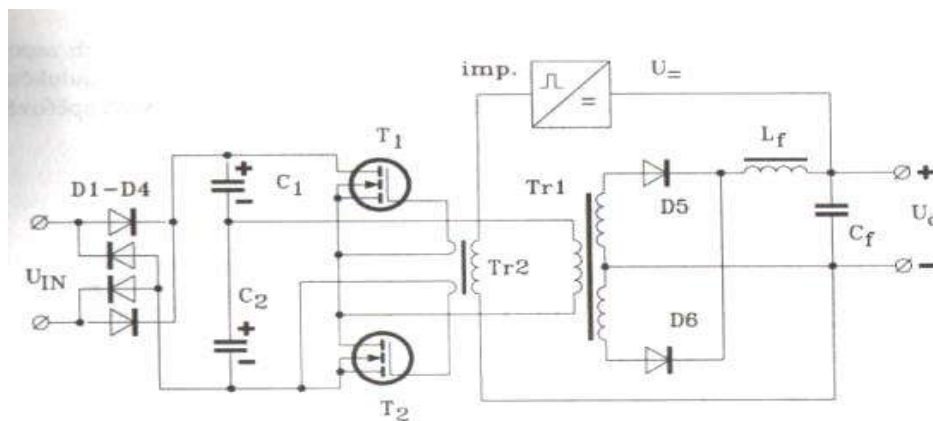
Potřeba dvou primárních vinutí transformátoru je nepříjemná a lze se jí zbavit modifikací předcházejícího zapojení, kdy jedno primární vinutí (N_1) zapojíme do úhlopříčky mostu spolu s kondenzátorem C_C (Obrázek č. 18). Toto jedno vinutí je potom

při střídavém spínání tranzistorů T_1 a T_2 protékáno proudem I_1 zleva doprava a proudem I_2 zprava doleva (Obrázek č. 19).



Obrázek č. 19: Polomost - sepnut T_1 / sepnut T_2

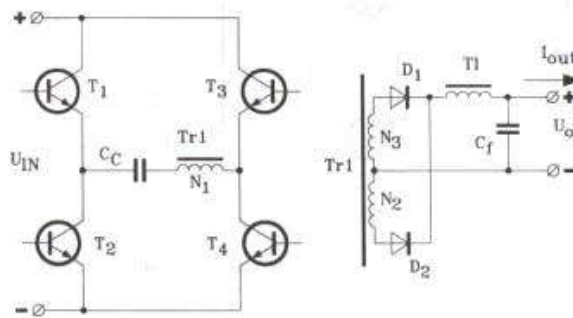
U tohoto zapojení je patrné, že se střída nemůže pohybovat až do 100 %, protože by vzhledem k tolerancím součástek mohlo dojít k sepnutí obou tranzistorů, tudíž by došlo přes ně ke zkratu a bylo by otázkou, zda by shořely dříve tranzistory nebo napájecí zdroj s napětím U_{IN} .



Obrázek č. 20: Kompletní zapojení polomostu s NMOS tranzistory

3.5.2 Plný most

Zapojení, které je označováno jako plný most (Obrázek č. 21), se skládá ze čtyř shodných tranzistorů, po jednom v každé větvi.

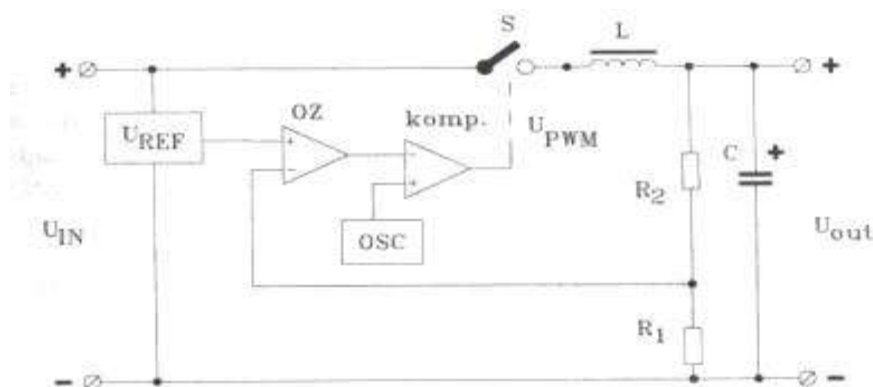


Obrázek č. 21: Plný most

Zapojení se používá pro nejvyšší výkony do 1 kW, kdy proudy z kondenzátorů polomostu již nestačí a je nutno plný výkon odebírat ze skutečně tvrdého zdroje. Nevýhodou plného mostu je komplikovanější buzení jednotlivých tranzistorů, kdy spínají současně tranzistory T_1 a T_4 a v druhé půlperiodě T_2 a T_3 . Na místě jednotlivých tranzistorů lze použít tranzistory MOS s indukovaným kanálem, případně tranzistory JFET. V případě použití bipolárních se často užívají Darlingtonovy dvojice v jednom pouzdře pro snížení nároků na ovládací příkon obvodu. Tranzistory ve všech zapojeních jsou ohrožovány indukčními špičkami, vznikajícími při vypínání indukční zátěže (primární vinutí) a je nutno použít ochranné obvody (D, ZD, RC členy).

3.6 Pulzně šířková modulace

Tento způsob řízení spínaného zdroje, označován jako PWM = Pulse Width Modulated (Obrázek č. 22), vychází z porovnání chybového napětí, odvozeného z napětí výstupního, s napětím interního oscilátoru (obvykle s pilovým výstupním napětím).

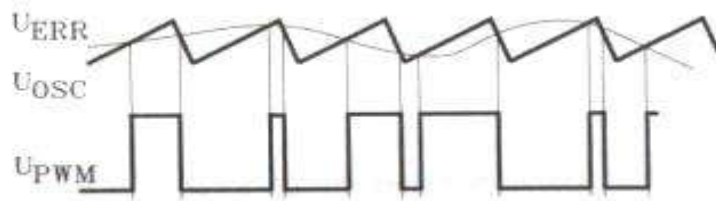


Obrázek č. 22: Zapojení zdroje s pulzně šířkovou modulací

Ze vstupního napětí se nejprve odvodí referenční napětí U_{REF} , přivedené na neinvertující vstup operační zesilovače OZ. Na invertující vstup je přivedeno vydělené

výstupní napětí U_{OUT} . Operační zesilovač zesiluje odchylku takto vydělené části výstupního napětí od napětí referenčního a získáváme tak analogový signál U_{ERR} . Tento signál pak porovnáváme na komparátoru s pilovitým napětím oscilátoru.

Výsledkem této komparace je signál, kterým je ovládán spínač S (Obrázek č. 23). Výstup komparátoru překlápí tak, že je-li napětí oscilátoru vyšší jak napětí chybové, potom sepne spínač. Ten je sepnutý tak dlouho, než se přes spínač S a tlumivku L navýší výstupní napětí U_{OUT} natolik, že napětí na odbočce děliče R_2-R_1 vzroste na hodnotu U_{REF} . Poté komparátor překlopí a spínač se rozezne. Tím zdroj průběžně reaguje na okamžitý stav napětí na výstupu a kondenzátor C je dobíjen právě na potřebnou hodnotu napětí U_{OUT} . Výhoda proporciálního dobíjení kondenzátoru podle okamžitého poklesu napětí na něm je však spojena s částečnou nevýhodou, kterou je tvar signálu U_{PWM} . Tento signál má proměnnou frekvenci i střídu, takže následná filtrace LC členem je různě účinná a na výstupu se mohou objevovat zvlnění.

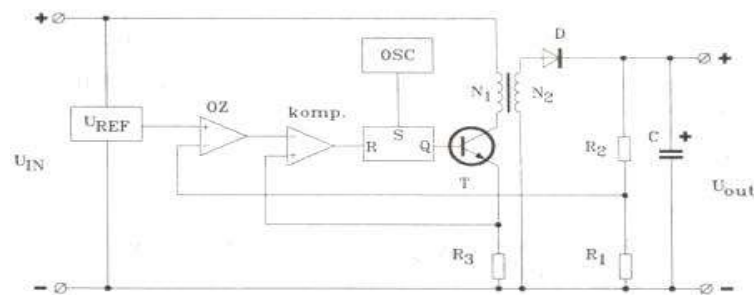


Obrázek č. 23: Průběhy napětí na zdroji s PWM

3.7 Proudová zpětná vazba

Střídu spínání ovlivňujeme zpětnovazebním proudem, který protéká obvykle primárním vinutím transformátoru (Obrázek č. 24). Tím jsme schopni zabezpečit ochranu spínacího prvku, ale potřebujeme, aby tato regulace neovlivňovala stabilizaci výstupního napětí.

Proto musí být hodnota referenčního napětí nastavena buď podstatně výše, než je signál, odpovídající celému rozsahu pracovních podmínek zdroje, nebo musí být referenční napětí odvozeno z napětí výstupního U_{OUT} .



Obrázek č. 24: Proudová zpětná vazba

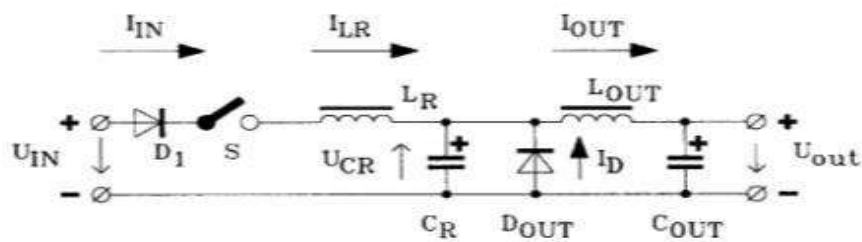
Není nutno odvozovat velikost chybového napětí od napětí výstupního. Potom však má obvod proudové zpětné vazby zcela jinou funkci a chrání vlastně proti zkratu bez možnosti spojitě ochrany. Modifikací tohoto zapojení na dvojčinná zapojení impulsních zdrojů lze dosáhnout dokonalé symetrie obou proudů, tj. téměř minimalizovat velikost stejnosměrné složky sycení jádra transformátoru, která se může objevit při nesymetrii obou proudů.

Další aplikací je dokonalé rozdělení proudů u dvou paralelně zapojených tranzistorů, kdy z důvodu proudového zatížení nelze zvolit jeden tranzistor výkonný. Každý tranzistor však musí mít svůj individuální řídicí obvod, jehož vstupní signál je odvozován od jeho individuálního kolektorového (emitorového) proudu.

Neposlední výhodou zpětné proudové vazby je reakce obvodu na změny vstupní napětí, které jsou takto také kompenzovány. Zapojení proudové zpětné vazby zlepšuje i dynamické chování zdroje (záporná zpětná vazba zmenšuje výstupní odpor). Navíc zajišťuje dokonalý přenos energie transformátorem.

3.8 Rezonanční mód

Jednou z moderních metod, aplikovaných ve spínacích zdrojích, je rezonanční princip činnosti (Obrázek č. 25).



Obrázek č. 25: Princip rezonančního zdroje

Přenos vyššího množství energie obvodem se uskuteční častějším spínáním spínače S (počet spínání za jednotku času je frekvence spínání). Naopak konstantní musí být doba sepnutí spínače S tak, aby korespondovala s parametry L_R a C_R . Mění se tedy střída ovládacího signálu.

Protože tohoto stavu by se obtížně dosahovalo, je zařazena do vstupu ještě dioda D_1 , která zamezuje zpětnému proudu do zdroje. Frekvence spínání spínače S je odvozována od vstupního napětí přes obvod VCO (Voltage Controlled Oscillator).

Jednou z nejdůležitějších podmínek dobré účinnosti je kvalita kondenzátoru C_R , zejména hodnota jeho ekvivalentního sériového odporu (ESR).

Zásadní výhodou rezonančních stabilizátorů je to, že ačkoliv spínací prvek pracuje v režimu sepnuto-rozepnuto (tedy s minimálními ztrátami), zbytek obvodů pracuje se spojitými průběhy.

To má za následek velmi značné snížení šumu, zvlnění, napěťových a proudových špiček, které nejen že je nutno eliminovat ve vlastním zařízení, ale vyzařují elektromagnetické pole do prostoru a způsobují snížení elektromagnetické kompatibility. Snižuje se i horní rozsah spektra rušících signálů.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ OBVODŮ VYBRANÝCH FIREM

4.1 Maxim

4.1.1 Spínané zdroje bez indukčnosti

Spínané zdroje lze konstruovat také na principu přepínání kondenzátorů [1]. Základní princip této metody umožňuje snadné násobení vstupního napětí dvěma, případně jeho inverzi. Metoda násobení napětí dvěma vychází z poměrně jednoduché představy nabíjení dvou kondenzátorů zapojených paralelně a jejich následném zapojení sériově. Obdobně metoda inverze pomocí spínaných tranzistorů otáčí nabitý kondenzátor tak, aby oproti společnému vodiči mělo výstupní napětí polaritu opačnou. Nejpropracovanější řadu integrovaných obvodů, výše zmíněných funkcí, vyrábí firma MAXIM a lze je podle funkce rozdělit:

- obvody pro dvojnásobení vstupního napětí (MAX 660)
- obvody pro inverzi vstupního napětí (MAX 660)
- obvody generující obě polarity výstupního napětí (MAX 681)

Přitom však uvedené rozdělení není zcela jasně ohraničené, některé obvody lze zapojit tak, že vykonávají i více funkcí. Zásadní výhodou spínaných zdrojů s kapacitami je vyloučení indukovaných špiček, vnikajících vypínáním indukčností a tím i snížení elektromagnetického vyzařování polem. Další předností je nižší hmotnost kondenzátorů proti cívkám s jádry a účinnost těchto obvodů díky nízkým ztrátám je okolo 90 %.

4.1.2 Zdroje zvyšující napětí (STEP UP, BOOST)

Skupina zdrojů, které mohou pouze zvyšovat vstupní napětí, vychází z toho, že vždy najdeme cívku, připojenou jedním vývodem na zdroj, paralelní spínač k zemi a sériovou diodu, spojenou s výstupem.

- Dále se dělí na:
- zdroje s nastavitelným výstupním napětím (MAX 630)
 - zdroje s pevným výstupním napětím (MAX 631, 632 a 633)
 - zdroje pro bateriové napájení (MAX 654 - 659)

Vzhledem k rozšiřujícímu se užívání přenosných bateriových přístrojů roste i potřeba speciálních obvodů, přizpůsobených nízkému vstupnímu napětí. Tyto zdroje se také nazývají zdroje pro nízká napětí.

4.1.3 Zdroje snižující napětí (STEP DOWN, BUCK)

Integrovaných obvodů pro konstrukci spínaných zdrojů snižující vstupní napětí je poměrně málo, protože snížit napětí lze mnoha jednoduchými způsoby. Tyto speciální obvody se vyznačují tím, že spínací tranzistor v jejich vnitřní struktuře není spojen se zemí, aby bylo možno realizovat zapojení, kde spínač je realizován v integrovaném obvodu spínacím tranzistorem. Všechny obvody, které jsou výrobci uváděny, jako obvody pro snižování napětí lze užít i pro zvyšování napětí. Obvykle se tedy obvody, umožňující zapojení obou typů řadí mezi univerzální (MAX 638, 730, 738, 750 a 758).

4.1.4 Zdroje invertující

Stejně jako zdroje, které snižují výstupní napětí i zdroje, které invertují polaritu vstupního napětí, potřebují mít ve své struktuře tranzistor, který není žádnou svojí elektrodou spojen se zemí. Vzhledem k tomu, že však tento tranzistor lze obvykle uzemnit vnějším spojem, lze tyto obvody užít opět univerzálně (MAX 634 - 637, 735 a 739).

4.1.5 Zdroje dvojité

Podstatnou výhodou těchto typů zdrojů proti předcházejícím je to, že jsou stabilizována obě výstupní napětí a to každé samostatnou zpětnou vazbou (MAX 742).

4.2 Motorola

Firma Motorola vyrábí svoji řadu řídicích obvodů pro spínané zdroje jinak členěnou [1], zaměřuje se pouze na univerzální použití všech obvodů v různých zapojeních. Integrované spínací tranzistory jsou vždy oddělovány od země a lze je budít tedy v libovolném zapojení. Sám výrobce člení tyto obvody podle toho, zda umožňují buzení jednoho spínacího tranzistoru nebo dvou a dále zda tento tranzistor je integrován na čipu, nebo se předpokládá jeho externí připojení. Kromě obvodů pro prosté spínané zdroje firma Motorola vyrábí i celou škálu obvodů, které současně dohlízejí na napájecí poměry mikroprocesorových obvodů.

4.2.1 Jednočinné zdroje s integrovaným tranzistorem

Mezi obvody této řady patří zejména obvody MC34063 a μ A78S40 jako nejjednodušší a nevyžadující použití externích spínacích tranzistorů.

- Dále se dělí na:
- zdroje zvyšující napětí
 - zdroje snižující napětí
 - zdroje invertující
 - zdroje snižující i zvyšující napětí
 - obvody pro redukci minimálního zvlnění
 - obvody pro proudové posílení

4.2.2 Zdroje s externím tranzistorem

Přestože výše uvedené typy zdrojů pokrývají velkou část aplikací, roste potřeba spínaných zdrojů s vyššími výkony, než je schopen poskytnout interní, na čipu integrovaný, tranzistor. Dochází tedy k jeho posilování vnějším tranzistorem [2] a pak je nevhodné nechávat na čipu část tepla původního spínacího tranzistoru, které například ohřívá referenci. Proto byla vyvinuta celá řada integrovaných obvodů pro buzení vnějších tranzistorů, nejčastěji typu MOS. Tyto obvody jsou v literatuře považovány za druhou generaci integrovaných obvodů pro spínané zdroje a za jejich klasického představitele lze považovat integrovaný obvod MC34129.

4.2.3 Zjednodušená řada jednočinných zdrojů

Vzhledem k dokonalosti druhé generace integrovaných obvodů pro spínané zdroje se zdálo, že již nebude zapotřebí vyvíjet další typy obvodů, ale pouze je zrychlovat či vylepšovat. Praxe však ukázala, že jejich dokonalost s sebou nese značnou složitost návrhu a konstruktéři nepřestávali raději užívat třísvorkové lineární stabilizátory napětí.

Proto firma Motorola dala na trh celou řadu jednoduchých, snadno aplikovatelných obvodů s malým počtem pinů bez možnosti nejrůznějších variant činnosti. Jsou to obvody MC34060, TL494, TL594, UC 2842 - 2845. Všechny tyto obvody při poměrně velmi složitém vnitřním zapojení mají jednoduché vnější připojení. Lze je nazývat integrovanými obvody pro spínané zdroje třetí generace. Obvody MC34060 a MC35060 jsou řídicí obvody pro spínané zdroje s pevnou frekvencí (nastavovanou zvenku), pracující na principu PWM.

4.2.4 Obvody s dvojčinným výstupem

Rostoucí užívání galvanicky oddělujících výstupních transformátorů způsobovalo při aplikaci zdrojů s jednočinným výstupem jednu velkou potíž a tou byla stejnosměrná magnetizace jádra transformátoru stejnosměrnou složkou impulsního proudu.

Nejčastěji jsou oba tranzistory přístupné na vnějších svorkách obvodu jak svými emitery, tak kolektory. Standardně jsou tyto tranzistory buzeny v protifázi (jeden sepnut, druhý rozepnut). Jsou však i obvody, které umožňují přepínání do stavu, kdy oba oddělené tranzistory synchronně spínají a rozpínají. Do této skupiny patří obvody TL494, TL495, SG3525A, SG2525A, MC34066 a MC33066 a další.

4.3 Linear Technology

Tato firma je na našem trhu zajímavá v oblasti spínaných zdrojů hned z několika hledisek. Na rozdíl od jiných výrobců, jejichž výrobky se dováží v omezeném sortimentu, je možno sehnat obvody této firmy relativně snadno. Jsou pro konstruktéra velmi dobře aplikovatelné vzhledem k nízkému počtu jejich vývodů (obvykle pět) a tím pádem i malému počtu externích součástek. Firma Linear Technology [2] vyrábí poměrně malý počet jednotlivých obvodů.

4.3.1 Spínané zdroje bez indukčnosti

Do této řady obvodů, která opět pracuje na principu přepínání kondenzátorů, je možno zařadit obvody LT1026, LTC1044 a LT1054. Všechny tyto obvody se vyrábějí dále v různých mutacích. Základním obvodem je obvod LT1026, jehož obdobu vyrábí firma Maxim pod označením MAX680. Dalším obvodem se spínanými kapacitami je obvod LTC1044 (analogue obvodu IC7660 firmy Maxim). Vzhledem k tomu, že tento obvod vyrábí řada výrobců, je dosažitelný a levný.

4.3.2 Spínané zdroje s indukčností

Tyto obvody lze rozdělit do dvou skupin. V první z nich lze soustředit obvody, kde firma striktně omezuje počet svorek řídicího obvodu, aby se jeho aplikovatelnost blížila třísvorkovým lineárním regulátorům napětí. Druhá skupina jsou oblíbené analogie obvodů, vyráběných obecně řadou firem a na které je řada zákazníků zvyklá (LT1070, LT1525, LT1846 a další).

4.4 Texas Instruments

V sortimentu obvodů pro spínané zdroje firmy Texas Instruments se vyskytují převážně obvody, které pod stejným názvem již byly zmíněny u jiných výrobců.

4.4.1 Obvody bez indukčnosti

Do skupiny obvodů pro spínané zdroje bez indukčnosti patří typy LT1054DCW, LT1054CP, LT1054DW a LT1054IP, rozmístěním vývodů, vlastnostmi a funkčně kompatibilní s obvody LTC1044 (případně ICL7660).

4.4.2 Obvody s indukčností

Firma Texas Instruments se těmito typy obvodů nezabývá.

4.5 Power Integrations

Firma vyrábí několik řad obvodů TOPSwitch [5]. Tyto obvody lze vzhledem k jejich jednoduchosti přirovnat k třísvorkovým lineárním monolitickým stabilizátorům a lze je považovat za současné optimum řešení spínaných zdrojů o výkonu do 250 W. V ČR se prodávají vybrané obvody, určené pro napájení ze sítě 230V (TOP2xx).

Všechny obvody TOPSwitch jsou přednostně určeny do zapojení s transformátorem a zpětnou vazbou, ať již z výstupu nebo ze samostatného sekundárního zpětnovazebního vinutí. Protože transformátor jako součástku nelze koupit hotový, je nutno jej vždy individuálně vinout. Vlastní návrh transformátoru pak je dán programem v Excelu od firmy Power Integrations, který si lze volně stáhnout ze stránek výrobce.

Všechna schémata zapojení spínaných zdrojů s obvody TOPSwitch jsou si do jisté míry značně podobná. Všechna zapojení jsou galvanicky spojena se sítí, a proto existuje velké nebezpečí úrazu zejména při ožívování obvodů a to jak dotykem na fázový vodič proti zemi, tak dotykem mezi fázovým a nulovým vodičem. Pro ožívování těchto obvodů se doporučuje používat oddělovacího transformátoru 1:1 (230 V/230 V). Takové transformátory nejsou běžně dostupné, ale lze je snadno nahradit dvojicí transformátorů. Nejvhodnější jsou toroidní transformátory 230V/12V, které se vyrábějí pro celou řadu výkonů. Připojíme-li na výstup takového transformátoru stejný další, ale v opačném převodu, dostaneme výsledkem oddělovací transformátor. Při jeho použití již je výstupní

napětí 230 V vzhledem k zemi plovoucí a dotykem na jeden z vodičů již nemůže dojít k úrazu.

Pro měření těchto obvodů se nejčastěji používají osciloskopy. Většina osciloskopů má však svoji zem spojenou se zemí sítě a tím ve všech zapojeních spínaných zdrojů, kde je na vstupu můstkový usměrňovač jsou vlastně tyto osciloskopy nepoužitelné. Řešením je osciloskop se speciálním vstupem, jehož vstupní svorka nižšího potenciálu může „plavat“ na poměrně vysokém napětí, nebo užít dvoukanálový osciloskop v diferenciálním zapojení anebo užít oddělovací transformátor a zemnit osciloskopem právě ten jeden jediný měřený bod zapojení, kam připojujeme zem měřící sondy.

Přestože spínané zdroje s obvody TOPSwitch lze považovat za „horkou“ novinku, existuje kromě firemní literatury velmi málo aplikačních publikací.

5 VYBRANÉ ŘÍDÍCÍ OBVODY SPÍNANÝCH ZDROJŮ FIRMY UNITRODE

Firma UNITRODE [2] je výrobcem nejrozsáhlejšího sortimentu obvodů pro zdroje a to jak lineární, tak spínané. Řadu výrobků této firmy vyrábí i ostatní výrobci a již byly popsány výše. Celkový sortiment nelze detailně obsáhnout (jen katalog integrovaných obvodů čítá 466 stránek).

5.1 Proudově řízené obvody

Řada výrobců rozděluje své obvody pro spínané zdroje podle způsobu, zda je snímán průběh proudu spínacím prvkem, nebo je snímán průběh napětí na spínacím prvku. Tyto obvody lze dále dělit:

- Obvody s PWM (UC1828, UC2828, UC3828)
- Nízko-příkonové obvody (UC1800, UC2800, UC3800)
- Dvojčinné nízko-příkonové obvody (UCC1806, UCC2806)
- Rychlé nízko-příkonové obvody (UC1823, UC2823, UC3823)

5.2 Obvody pro snižování napětí

Řada řídicích obvodů pro spínané zdroje, snižující výstupní napětí oproti napětí vstupnímu, má velmi podobné zapojení jako obvody pro invertující zdroje (tedy výstupní napětí má opačnou polaritu oproti vstupnímu). Jsou to obvody UC1573, UC2573, UC3573.

Rozdílů jsou pouze v zpětnovazební smyčce výstupního napětí na neinvertující vstup. V současné době (1996) firma UNITRODE připravuje vylepšené obvody této řady pod označením UCC1582, UCC2582, UCC3582, které mají již interní dvojčinné zdroje snižující napětí s účinností vyšší než 90 %.

5.3 Rezonanční obvody

Tyto obvody lze podle jejich funkce rozdělit do dvou skupin. Do první skupiny patří obvody UC1860, UC2860, UC1861, UC2861, UC1868 a UC2868, od kterých se odlišují obvody UCx860, které pracují až do kmitočtu 300 MHz. Do druhé skupiny možno řadit obvody UC1875, UC2875, UC3875, které jsou řízeny fázovým posuvem. Tyto

obvody mají čtyřnásobné výstupy pro buzení externích prvků a lze je užít např. pro buzení plného mostu s tranzistory MOS.

5.4 Obvody pro preregulátory

Za preregulátory (předregulátory) se považují takové spínané zdroje, které ze síťového napětí vytvářejí jednu hlavní hladinu výstupního stejnosměrného napětí, ze které jsou případně odvozovány další pomocí dalších spínaných zdrojů menšího výkonu. Nejjednodušší jsou řídicí obvody řady UC1852, UC2852 a UC3852.

Složitějšími jsou obvody UC1854, UC2854, UC3854. Nejdokonalejšími a také nejsložitějšími z hlediska vnitřního zapojení jsou obvody UC1855A, UC2855A, UC3855A. Jejich aplikace jsou obvodově složité a vyplatí se je užít při vyšších výkonech okolo 500 W.

5.5 Výkonové obvody

Jedná se o regulační obvody s konstantním výstupním napětím +12 V nebo +15 V (UC2577-12 nebo UC2577-15), případně s nastavitelnou hodnotou výstupního napětí (UC2577-ADJ). Obsahují kromě řídicích obvodů též výkonový tranzistor.

Jsou určeny především pro zvyšování vstupního napětí (STEP UP), ale lze je použít i pro snižování napětí (STEP DOWN).

5.6 Obvody pro nabíječe akumulátorů

Firma UNITRODE vyrábí několik různých obvodů pro nabíjení různých typů akumulátorů. Pro nabíjení NiCd akumulátorů jsou určeny inteligentní obvody UCC1905, UCC2905 a UCC3905, určené pro rychlé, ale bezpečné nabíjení těchto akumulátorů. Umožňují nabíjení dvou až dvanácti článků.

Další obvody (UC2906 a UC3906) jsou určeny pro nabíjení olověných akumulátorů.

5.7 Obvody pro řízení světelných zdrojů

Nejdokonalejšími obvody specializovanými pro řízení světelných zdrojů jsou obvody řady UCC2305 a UCC3305. Tyto obvody však vyžadují podrobné studium při jejich návrhu a vyplatí se je využít pouze ve zvláštních případech.

Mnohem častěji se užívají obvody řady UC1871, UC2871 a UC3871, případně jejich ještě jednodušší verze UC1872, UC2872 a UC3872 pro fluorescenční svítidla (zářivky), napájená zejména z baterií.

5.8 Izolovaný zpětnovazební generátor

V celé řadě aplikací je nutno oddělit výstupní generované napětí od napětí vstupního, zejména tehdy, je-li získáváno přímým usměrněním sítě. Proto je někdy užitečné užít speciálního obvodu, určeného pro předzpracování zpětnovazebních veličin na sekundární straně a informaci přenést na stranu primární izolovaně.

Takové podmínky činnosti splňuje řada obvodů UC1901, UC2901 a UC3901.

6 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ K VÝROBĚ JÁDRA

6.1 Železoprachová jádra

U železoprachových jader [6] jsou uvedeny vlastnosti výchozí slitiny a vlastnosti jejich prachů. U amorfních magnetických materiálů se jejich termomagnetickým zpracováním dosáhne z původní, téměř ideálně pravoúhlé hysterezní smyčky, smyčka ležatá s nízkou permeabilitou a téměř s nulovou remanencí, aniž by se do obvodu zaváděla mezera. Pro vysokou hodnotu magnetické indukce nasycení jsou z amorfních magnetických materiálů pro filtrační tlumivky výhodné magnetické amorfní materiály základu Fe.

Železoprachová jádra jsou výhodná pro filtrační tlumivky. Zvláště jsou výhodné takové materiály, které mají vysokou hodnotu magnetické indukce nasycení.

Vratná permeabilita při přemagnetování s rostoucím přemagnetováním klesá. Přípustná hodnota intenzity přemagnetování je určena přípustnou hodnotou poklesu počáteční permeability. Hraniční hodnota intenzity přemagnetování je dohodnutá hodnota poklesu počáteční permeability. Obvykle do 10 %.

6.2 Ferity

V elektronice je při konstrukci spínaných zdrojů v současné době velká poptávka po magnetických materiálech, které jsou použitelné pro cívky nebo transformátory. V rozsahu nízkých frekvencí se přednostně používají kovové magnetické materiály z důvodu jejich vysoké permeability a saturační magnetizace. V rozsahu vysokých frekvencí spínaných zdrojů se naopak převážně používají oxidokeramické ferity [3] díky svému vysokému měrnému odporu (až do $10^5 \Omega\text{m}$). V tomto rozsahu měrných odporů vykazují ferity zanedbatelné ztráty svodovým proudem ve střídavém magnetickém poli, to je jejich velká výhoda oproti kovům.

Nejpoužívanější ferity jsou sloučeniny oxidu železa se spinelovou strukturou jako MgAl_2O_4 . Lze použít krystaly Mn, Zn, Ni, Co, Cu, Mg, Cd, atd. Dále existují i ferity s hexagonální strukturou, která tvoří velkou výhodu pro magneticky tvrdé materiály, permanentní magnety, stejně tak i ferity pro mikrovláknové inženýrství.

Ferimagnetismus je jako feromagnetismus jev, který závisí na konkrétní struktuře. V základní mřížce feritů se formují dvě rozdílné podmřížky s opačnou magnetizací vlivem rozdílných magnetizačních vektorů (krystalická oblast oktahedronu a tetrahedronu).

Ferimagnetismus je zapříčiněn pouze částečnou kompenzací dvou podmřížek (antiparalelně orientovaných vektorů magnetizace), tato vlastnost se též nazývá nekompenzovaný antiferomagnetismus. Ve ferimagnetickém materiálu je (analogicky jako ve feromagnetickém) samovolná magnetizace na malých krystalických oblastech.

Mezera se u feritových jader [6] vyrábí v takové velikosti, aby se dosáhlo určitých hodnot efektivní permeability. Obvykle jsou efektivní permeability vyráběných jader odstupňovány v řadě doporučených hodnot E_6 : 47, 68, 100, 150, 220, 330, 470, 680, 1000, 1500.

U filtračních tlumivek s C-jádry se vhodné poměry nastavují určitou délkou izolační vložky, která působí jako mezera v magnetickém obvodu.

6.3 Jádra z amorfních magnetických materiálů

Amorfni magnetické materiály se vyrábějí v drátech a páscích od podmikronových tloušťek několik desítek mikronů. Technologií výroby se dosahuje, že materiál nemá krystalickou strukturu. Nekrystalická struktura způsobuje jejich mimořádné vlastnosti, odlišující se od kovových látek krystalických, stejného složení. Odchyly jsou hlavně v jejich elektrické a magnetické vodivosti. Zpracováním se dosahuje dvojí tvar hysterezních smyček buď maximálně pravoúhlá s maximální permeabilitou několik set tisíc, nebo ležatá s nízkou remanencí s permeabilitou několik desítek, až několik set. Je k dispozici dvojí složení (amorfni materiály na základě železa a na základě kobaltu). Prvé složení dosahuje vyšší hodnoty magnetické indukce nasycení, avšak nižší pravoúhlosti vzhledem ke složení druhému.

Z amorfni magnetických materiálů se vyrábějí toroidy a C-jádra. Jsou výhodná pro jádra tlumivek s přemagnetováním. Kmitočet spínání se používá pod 100 kHz.

6.4 Jádra složená nebo vinutá z magnetických plechů s krystalickou strukturou

Do této skupiny náleží elektrotechnické plechy o složení Fe-Si a permalloye o složení Fe-Ni s dalšími složkami. Význam těchto materiálů pro spínané zdroje je omezen

pro permalloye nejmenší tloušťkou plechů 0,03 mm, z kterých se vinou toroidy, a tloušťkou 0,05 mm, z kterých se vyrábějí plechy tvaru M. Pro elektrotechnické plechy Fe-Si je minimální tloušťka 0,1 mm. Další omezení je kmitočtová závislost permeability, kterou lze odhadnout z hraničního kmitočtu plechu.

Při svíjení plechů do toroidů nebo C-jader vznikají mezizávitové zkraty, které tento hraniční kmitočet několikanásobně snižují.

7 PŘEHLED VÝROBCŮ V SOUČASNOSTI NABÍZENÝCH ZDROJŮ

7.1 AMiT

Tabulka č. 2: AMiT spínané zdroje pro montáž na 35mm DIN lištu

Parametry	Označení zdroje			
	AZ1	AZ1	AZ1	AZ3
Vstupní napětí [V AC]	180 až 260	180 až 260	230	230
Výstupní napětí / max. proud	24V/0,6A	24V/1,2A	5,9,12,15,18, 24V/2,5A	24V/800mA 24V/340mA
Krytí	IP20	IP20	IP20	IP20
Zařízení třídy ochrany	II	II	I	I
Pracovní teplota [°C]	0 až 50	0 až 50	-40 až 70	-40 až 70
Hmotnost [kg]	0,19	0,14	2	1
Rozměry (š x v x h) [mm]	53x90x58	53x90x58	190x75x95	190x105x90
Cena [Kč]	1600	1800	3470	3600

Firma AMiT [8] vyrábí jen spínané zdroje, které lze montovat na 35 mm DIN lištu.

Vysvětlení pojmů [14]:

- 1) **Krytí** je konstrukční opatření, které je součástí el. předmětu. Poskytuje ochranu před dotykem s živými a pohybujícími se částmi a dosahuje se jím ochrana před poškozením vniknutím cizích předmětů, prachu, vody, plynů apod.

IP20 – zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 12,5mm a větších a před dotykem prstem, proti vniknutí vody nechráněno

IP30 – zařízení je chráněno před vniknutím pevných cizích těles o průměru 2,5mm a větších a před dotykem nástrojem, proti vniknutí vody nechráněno

IP50 – zařízení je chráněno před prachem a dotykem drátem, proti vniknutí vody nechráněno

- 2) **Zařízení třídy ochrany I** má ochrannou svorku pro připojení ochranného vodiče k neživým částem. Ochrana před úrazem elektrickým proudem je zajištěna samočinným odpojením od zdroje.

Zařízení třídy ochrany II nemá ochrannou svorku. Ochrana před úrazem elektrickým proudem je zajištěna dvojitou nebo zesílenou izolací.

7.2 AXIMA

Tabulka č. 3: AXIMA stabilizované spínané zdroje

Parametry	Označení zdroje			
	AXSP3P01	AXSP3P06	AXSP3V03	AXSP2W20
Vstupní napětí [V AC]	195 až 265	195 až 265	360 až 460	230 až 400
Výstupní napětí / max. proud	24V/1,3A	24V/6A	24V/3A	24V/20A
Krytí	IP20	IP20	IP20	IP20
Zařízení třídy ochrany	II	I	I	I
Pracovní teplota [°C]	0 až 50	0 až 50	0 až 50	0 až 50
Hmotnost [kg]	0,15	0,9	0,6	2,5
Rozměry (š x v x h) [mm]	28,5x60x90	53x118x158	53x92x124	178x275x90
Cena [Kč]	1416	2927	2570	8258

Spínané zdroje firmy AXIMA [9] se používají pro napájení systémů měření, řízení a regulace a montují se na 35mm DIN lištu. Výrobce uvádí pod stejným označením, akorát s písmenem N (případně NE) na konci značení, zdroje pro nabíjení baterií. Tyto zdroje jsou určeny pro trvalé připojení k bateriím a umožňují vytváření zálohovaných systémů napájení.

U firmy BKE [10] (viz dále) obdobné typy zdrojů označují písmenem CH na konci značení.

7.3 BKE

Firma BKE [10] vyrábí mnoho typů napájecích zdrojů. Od klasických adaptérů pro napájení kancelářské, komunikační a spotřební elektroniky, přes měniče AC/DC nebo DC/DC pro montáž na DIN lištu až po napájecí systémy pro velké výkony do 1800 W.

Tabulka č. 4: BKE standardní AC/DC adaptéry do zásuvky (7W až 40W)

Parametry	Označení zdroje			
	JS-7-XXX	JS-11-XXX	JS-25-XXX	JS-40-XXX
Vstupní napětí [V AC]	180 až 260	180 až 260	180 až 260	100 až 260
Výstupní napětí / max. proud	5 až 24V/1A	5 až 24V/2A	5 až 24V/3A	5 až 48V/4A
Krytí	IP50	IP50	IP50	IP30
Zařízení třídy ochrany	II	II	II	II
Pracovní teplota [°C]	0 až 40	0 až 40	0 až 40	0 až 40
Hmotnost [kg]	0,13	0,13	0,2	0,4
Rozměry (š x v x h) [mm]	72x52x35	72x52x35	99x57x48	155x85x50
Cena [Kč]	400	598	668	1398

Tabulka č. 5: BKE AC/DC zdroje na 35 mm DIN lištu (6W až 300W)

Parametry	Označení zdroje			
	JS-6-XXX/DIN	JS-30-XXX/DIN	JS-75-XXX/DIN	JS-300-XXX/DIN
Vstupní napětí [V AC]	180 až 260	180 až 260	180 až 260	100 až 260
Výstupní napětí / max. proud	5 až 24V/1,2A	5 až 24V/3,5A	12 až 60V/4A	12 až 60V/20A
Krytí	IP20	IP20	IP20	IP20
Zařízení třídy ochrany	II	II	II	II
Pracovní teplota [°C]	0 až 50	0 až 50	0 až 50	0 až 50
Hmotnost [kg]	0,14	0,19	0,4	2,1
Rozměry (š x v x h) [mm]	90x36x58	90x53x58	86x107x47	100x150x165
Cena [Kč]	848	1290	1990	5400

Tabulka č. 6: BKE DC/DC zdroje na 35 mm DIN lištu (15W až 150W)

Parametry	Označení zdroje			
	SS-15- XXX/DIN	SS-30- XXX/DIN	SS-75- XXX/DIN	SS-150- XXX/DIN
Vstupní napětí [V DC]	10 až 32	10 až 32	10 až 32	10 až 32
Výstupní napětí / max. proud	5 až 24V/2,5A	5 až 24V/4A	12 až 24V/6A	5 až 24V/20A
Krytí	IP20	IP20	IP20	IP20
Zařízení třídy ochrany	II	II	II	II
Pracovní teplota [°C]	0 až 50	0 až 50	0 až 50	0 až 50
Hmotnost [kg]	0,18	0,2	0,4	0,6
Rozměry (š x v x h) [mm]	90x53x58	90x53x58	85x106x45	125x125x55
Cena [Kč]	912	1030	1590	2640

Tabulka č. 7: BKE napájecí systémy (600W až 1800W)

Parametry	Označení zdroje			
	NS-600-XXX	NS-1000- XXX	NS-1200- XXX	NSD-1800- XXX
Vstupní napětí [V AC]	200 až 265	230	200 až 266	100 až 256
Výstupní napětí / max. proud	48 a 60VDC/12A	48 a 60VDC/20A	48 a 60VDC/25A	48VDC až 54,5V/36A
Krytí	IP20	IP20	IP20	IP20
Zařízení třídy ochrany	II	II	II	II
Pracovní teplota [°C]	0 až 40	0 až 40	0 až 40	0 až 50
Hmotnost [kg]	8	8	12	9
Rozměry (š x v x h) [mm]	133x425x235	133x425x235	133x425x235	132x425x300
Cena [Kč]	19000	23000	27000	71000

7.4 Omron

Tabulka č. 8: Omron průmyslové zdroje

Parametry	Označení zdroje			
	S8VS-24024	S8VM-10024	S8TS-02505	S8VT-F96024E
Vstupní napětí [V AC]	100 až 240	100 až 240	100 až 240	340 až 576
Výstupní napětí / max. proud	5 až 24V/10A	5 až 24V/10A	5 až 24V/3A	24V/40A
Krytí	IP20	IP20	IP20	IP20
Zařízení třídy ochrany	I	I	I	I
Pracovní teplota [°C]	-10 až 55	-10 až 55	-10 až 55	-10 až 70
Hmotnost [kg]	1,15	0,53	0,45	3,3
Rozměry (š x v x h) [mm]	100x115x125	44x84x164	43x120x120	195x170x130
Cena [Kč]*	12066	4712	4700	9700

*ceny jsou přepočteny z GBP, kurz ze dne 4.4.2008 1GBP=31,00 Kč

Průmyslové zdroje firmy Omron [11] se používají převážně tam, kde by zastavení výroby mohlo mít kritické následky. Například v automobilovém a polovodičovém průmyslu.

7.5 REM-Technik

Tabulka č. 9: REM-Technik spínané napájecí zdroje (do 300W)

Parametry	Označení zdroje			
	PS5R-SG24 240W	PS5R-F24 120W	PS3L-F24 150W	PS3L-G24 300W
Vstupní napětí [V AC]	85 až 264	85 až 264	85 až 264	85 až 264
Výstupní napětí / max. proud	24V/10A	24V/5A	12 a 24V/7A	24V/12,5A
Krytí	IP20	IP20	IP20	IP20
Zařízení třídy ochrany	I	I	I	I
Pracovní teplota [°C]	-10 až 60	-10 až 60	-10 až 70	-10 až 70
Hmotnost [kg]	1	1,2	0,73	1,55
Rozměry (š x v x h) [mm]	80x125x150	115x120x140	62x97x200	63x158x230
Cena [Kč]	3490	990	1500	3999

Firma REM-Technik [12] vyrábí cenově dostupné zdroje pro různé výkony do 300W.

7.6 Siemens

Tabulka č. 10: Siemens napájecí zdroje

Parametry	Označení zdroje			
	SITOP PSA 100E	LOGO! Power	SITOP smart	SITOP modular
Vstupní napětí [V AC]	187 až 264	100 až 240V	170 až 264V	176 až 550V
Výstupní napětí / max. proud	24V/12A	24V/4A	24V/10A	24V/10A
Krytí	IP20	IP20	IP20	IP20
Zařízení třídy ochrany	II	II	II	II
Pracovní teplota [°C]	-10 až 70	-20 až 55	0 až 60	-10 až 60
Hmotnost [kg]	1,7	0,3	0,5	2,4
Rozměry (š x v x h) [mm]	52x174x113	90x90x55	70x125x125	90x125x125
Cena [Kč] *	3276	2574	3042	4420

*ceny jsou přepočteny z EUR, kurz ze dne 4.4.2008 1EURO=26,00 Kč

Firma Siemens [13] vyrábí mnoho variant zdrojů.

7.7 Zhodnocení

Firmy AMiT, AXIMA, BKE, REM-Technik vyrábí napájecí zdroje umožňující montáž na 35 mm DIN lištu. Pouze firma BKE vyrábí zdroje v podobě klasických adaptérů s výkonem do 40 W pro napájení domácích spotřebičů. BKE stejně jako Omron vyrábí i napájecí systémy pro mnohem vyšší výkony, které slouží k napájení a řízení strojů při výrobě, tam kde by selhání napájení mohlo mít trvalé následky. Firmy AXIMA a BKE vyrábí ještě také zdroje pro nabíjení baterií.

Firma AMiT vyrábí zdroje do 40 W. Firmy AXIMA, REM-Technik vyrábí zdroje pro výkony do 300 W. Na rozdíl od předchozích firem vyrábí firma BKE zdroje v širokém výkonovém rozsahu, a to od adaptérů pro výkony do 40 W, přes zdroje pro montáž na DIN lištu pro výkony do 300 W až po napájecí systémy do 1800 W. Firma Omron vyrábí jednofázové zdroje pro výkony do 240 W a třífázové až do 1000 W. Firma Siemens vyrábí zdroje do 300 W.

Všechny firmy mají bezpečnostní krytí IP20. Pouze adaptéry firmy BKE mají zvýšené krytí IP30 a IP50. Z toho vyplývá, že žádný z uvedených zdrojů není chráněn proti vniknutí vody. Proto je není vhodné používat v prostředí, kde by mohlo dojít ke kontaktu s vodou.

Ceny zdrojů různých firem s podobnými parametry se příliš neliší, pohybují se v rozsahu od šesti set do patnácti set korun. Napájecí systémy jsou samozřejmě o poznání dražší než obyčejné adaptéry, pohybují se řádově v jednotkách desetitisíců korun.

ZÁVĚR

Na základě zpracovaných materiálů lze říci, že přestože spínané zdroje jsou relativně novou záležitostí, mají v současnosti již zcela nezastupitelné místo a postupně nahrazují dřívější klasické lineární zdroje.

Jejich nesporné výhody, jako je např. malá hmotnost, vzhledem k rozměrům a hmotnosti velký výkon a účinnost a tudíž i menší zátěž životního prostředí z hlediska případné budoucí likvidace, je předurčují ke stále širšímu využití.

K hlubšímu pochopení principu a základních zapojení používaných spínaných zdrojů by měla přispět i tato práce. K pochopení základních souvislostí byl vypracován průřez historií a vývojem spínaných zdrojů, dále popis jejich základních vlastností, výhody a případné nevýhody jednotlivých druhů zapojení.

Dále byla provedena studie v současnosti nabízených spínaných zdrojů včetně srovnání jejich parametrů a cenového rozpětí. Nebyla opomenuta ani problematika materiálů používaných při výrobě těchto zařízení.

Většina informací byla čerpána ze starších publikací, přehled parametrů a cen v současnosti nabízených zdrojů je ale sestaven aktuálně na základě informací získaných od firem zabývajících se prodejem těchto zařízení.

Závěrem bych chtěl říct, že zpracování této práce mi přineslo mnoho poznatků a byl bych rád, kdyby posloužila i někomu dalšímu pro získání základních informací o spínaných zdrojích.

CONCLUSION

The bachelor thesis deals with a theory of switched mode power supplies. Switched mode power supplies are stable part of market and gradually replace linear power supplies. Their advantages are e.g. low weight and high effectivity and also less load of environment.

The thesis should assist for better understanding principle and elementary schemes. Also the thesis includes historical development, description of their basic features and advantages or disadvantages of switched mode power supplies.

The last part provides review of the power supplies actual market prices and parameters. Furthermore are mentioned materials for cores production. The major part of information stems from the older publication.

I would like to say in fine that the elaboration of this paper brought me a lot of knowledge and I hope that it help everyone else gain basic information about switch mode power supplies.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KREJČÍŘÍK A. *Napájecí zdroje I.*, nakladatelství BEN, Praha, 1997, 2. vydání, 341 str., ISBN: 80-86056-02-3
- [2] KREJČÍŘÍK A. *Napájecí zdroje II.*, nakladatelství BEN, Praha, 1997, 2. vydání, 343 str., ISBN: 80-86056-03-1
- [3] KREJČÍŘÍK A. *Napájecí zdroje III.*, nakladatelství BEN, Praha, 1999, 1. vydání, 349 str., ISBN: 80-86056-56-2
- [4] KREJČÍŘÍK A. *Navrhněte si moderní spínané zdroje*, nakladatelství BEN, Praha, 1999, 1. vydání, 111 str., ISBN: 80-86056-78-3
- [5] KREJČÍŘÍK A. *Spínané napájecí zdroje s obvody TOPSwitch*, nakladatelství BEN, Praha, 2002, 1. vydání, 397 str., ISBN: 80-7300-031-8
- [6] FAKTOR Z. *Transformátory a tlumivky*, nakladatelství BEN, Praha, 2002, 1. vydání, 243 str., ISBN: 80-86056-91-0
- [7] WATKINS S. *History of Switched Mode Power Supplies*
URL: <<http://www.steve-w.dircon.co.uk/fleadh/mphil/history.htm>>
[cit. 2008-01-17]
- [8] AMiT společnost s r.o. URL: <<http://www.amit.cz>> [cit. 2008-04-04]
- [9] AXIMA společnost s r.o. URL: <<http://www.axima.cz>> [cit. 2008-04-04]
- [10] BKE a.s. URL: <<http://www.bke.cz>> [cit. 2008-04-04]
- [11] Omron URL:<<http://industrial.omron.cz/cs/products>> [cit. 2008-04-04]
- [12] REM-Technik s r.o. URL: < <http://www.rem-technik.cz> > [cit. 2008-04-04]
- [13] Siemens URL: <<http://www1.siemens.cz>> [cit. 2008-04-04]
- [14] Elektrotechnický portál URL: < <http://elektrika.cz> > [cit. 2008-04-04]

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

AC/DC		Střídavé napětí (proud) na stejnosměrné napětí (proud)
C	[F]	Kondenzátor.
C_C	[F]	Kompenzační kondenzátor.
D		Dioda také D_1, D_2 atd.
D_R		Rekuperační dioda.
JFET		Tranzistor FET s řídicí elektrodou.
L	[H]	Indukčnost cívky.
LC		LC článek.
MOS		Struktura tranzistoru FET.
N_i		Vinutí transformátoru i .
OZ		Operační zesilovač.
PWM		Pulzně šířková modulace.
RC		RC článek.
S		Spínač.
T		Tranzistor také T_1, T_2 atd.
Tr		Transformátor.
U_1, U_2, U_3	[V]	Napětí na vinutí transformátoru 1, 2, 3
$U_{IN} (v_{in})$	[V]	Vstupní napětí.
$U_{OUT} (v_o)$	[V]	Výstupní napětí.
U_{PWM}	[V]	Napětí pulzně šířkové modulace.
U_{REF}	[V]	Referenční napětí.
v_{oAC}	[V]	Výstupní střídavé napětí.
v_{oDC}	[V]	Výstupní stejnosměrné napětí.
ZD		Zenerova dioda.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Jednoduchý-koncový obvod.....	11
Obrázek č. 2: Auto-oscilační souměrný konvertor	11
Obrázek č. 3: Auto-oscilační souměrný měnič	12
Obrázek č. 4: Řídící souměrný obvod	12
Obrázek č. 5: Náhradní zapojení lineárního sériového regulátoru	14
Obrázek č. 6: Praktický obvod lineárního sériového regulátoru	15
Obrázek č. 7: Náhradní obvod spínaného regulátoru	15
Obrázek č. 8: Blokové schéma spínaného zdroje	17
Obrázek č. 9: Propustné zapojení - tranzistor sepnut.....	18
Obrázek č. 10: Propustné zapojení - rozeprnutý tranzistor	18
Obrázek č. 11: Akumulační zapojení.....	20
Obrázek č. 12: Rekuperační vinutí	20
Obrázek č. 13: Kombinované zapojení - sepnuté	21
Obrázek č. 14: Kombinované zapojení - rozeprnuté.....	21
Obrázek č. 15: Dvojčinné zapojení.....	22
Obrázek č. 16: Celkové schéma zapojení spínaného zdroje typu PUSH-PULL	22
Obrázek č. 17: Dvoucestný polomost	23
Obrázek č. 18: Polomost s jedním primárním vinutím	23
Obrázek č. 19: Polomost - sepnut T_1 / sepnut T_2	24
Obrázek č. 20: Kompletní zapojení polomostu s NMOS tranzistory	24
Obrázek č. 21: Plný most.....	25
Obrázek č. 22: Zapojení zdroje s pulzně šířkovou modulací.....	25
Obrázek č. 23: Průběhy napětí na zdroji s PWM.....	26
Obrázek č. 24: Proudová zpětná vazba	27
Obrázek č. 25: Princip rezonančního zdroje	28

SEZNAM TABULEK

Tabulka č. 1: Porovnání lineárních a spínaných zdrojů.....	16
Tabulka č. 2: AMiT spínané zdroje pro montáž na 35mm DIN lištu	42
Tabulka č. 3: AXIMA stabilizované spínané zdroje.....	43
Tabulka č. 4: BKE standardní AC/DC adaptéry do zásuvky (7W až 40W).....	44
Tabulka č. 5: BKE AC/DC zdroje na 35 mm DIN lištu (6W až 300W)	44
Tabulka č. 6: BKE DC/DC zdroje na 35 mm DIN lištu (15W až 150W)	45
Tabulka č. 7: BKE napájecí systémy (600W až 1800W)	45
Tabulka č. 8: Omron průmyslové zdroje	46
Tabulka č. 9: REM-Technik spínané napájecí zdroje (do 300W)	46
Tabulka č. 10: Siemens napájecí zdroje.....	47

SEZNAM PŘÍLOH

CD-ROM obsahující elektronickou verzi bakalářské práce a prezentaci v programu Power Point, kterou lze využít při výuce problematiky spínaných zdrojů.