

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA APLIKOVANÉ ELEKTRONIKY A TELEKOMUNIKACÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Porovnání synchronních usměrňovačů a usměrňovačů se
Schottkyho diodami**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David KRATINA**
Osobní číslo: **E12N0153P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronika a aplikovaná informatika**
Název tématu: **Porovnání synchronních usměrňovačů a usměrňovačů se Schottkyho diodami**
Zadávací katedra: **Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Vypracujte porovnání vlastností synchronních usměrňovačů a usměrňovačů založených na použití Schottkyho diod.

1. Vyhledejte a detailně prostudujte aplikace synchronních usměrňovačů v elektrotechnice.
2. Porovnejte vlastnosti synchronních usměrňovačů a usměrňovačů založených na použití Schottkyho diod.
3. Vyhledejte a porovnejte parametry, náročnost implementace a vhodnost použití různých řídicích obvodů synchronních usměrňovačů.
4. Navrhněte a realizujte testovací přípravek, na kterém měřením ověříte vybrané parametry minimálně 2 vzorků synchronních usměrňovačů.
5. Diskutujte dosažené výsledky a celou práci podrobně popište.



Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ondřej Pajer**
Katedra aplikované elektroniky a telekomunikací

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2013**
Termín odevzdání diplomové práce: **12. května 2014**



Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan



Doc. Dr. Ing. Vjačeslav Georgiev
vedoucí katedry

V Plzni dne 14. října 2013

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na porovnání synchronních usměrňovačů se Schottkyho diodami. Nejprve jsou stručně popsány základy Schottkyho diod a synchronních usměrňovačů. Poté jsou ukázány aplikace, ve kterých se nacházejí synchronní usměrňovače. Ve třetí kapitole jsou porovnány synchronní usměrňovače a Schottkyho diody. Následující část se věnuje řídicím obvodům. V závěru práce jsou shrnuty poznatky.

Klíčová slova

Synchronní usměrňovač, Schottkyho dioda, MOSFET tranzistor, řídicí obvody MOSFET tranzistorů

Abstract

This study is focused on comparing the synchronous rectifiers Schottky diodes. First briefly describe the basics of the Schottky diode and synchronous rectifiers. After application are shown, they are located in the synchronous rectifiers. In the third chapter compares the synchronous rectifiers and Schottky diodes. The following section is devoted to the control circuits. The conclusion summarizes the findings.

Key words

Synchronous rectifier, Schottky diode, MOSFET tranzistor, MOSFET tranzistor control circuits

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 12.5.2014

David Kratina

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Ondřejovi Pajerovi za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

OBSAH	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 USMĚRŇOVAČE	11
1.1 SCHOTTKYHO DIODA	12
1.2 SYNCHRONNÍ USMĚRŇOVAČ	13
1.2.1 Tranzistory MOSFET.....	14
2 APLIKACE SYNCHRONNÍCH USMĚRŇOVAČŮ	15
2.1 FEBFAN6754WAMR_CP450v1	15
2.2 FEBFAN6920MR_T02U120A	17
2.3 DC/DC SBĚRNICOVÝ MĚNIČ	18
2.4 EVL90WADP-LLCSR	19
2.5 PMP5967	20
3 POROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ	22
3.1 ZTRÁTY	22
3.2 ZAHŘÍVÁNÍ	24
3.3 FREKVENCE	25
3.4 ROZMĚRY	26
3.5 SLOŽITOST ZAPOJENÍ	26
3.6 CENA	26
4 ŘÍDÍCÍ OBVODY SYNCHRONNÍCH USMĚRŇOVAČŮ	27
4.1 TYPY ŘÍDÍCÍCH OBVODŮ	27
4.1.1 FAN6208.....	27
4.1.2 IR11672ASPBF	28
4.1.3 IR11682SPBF	28
4.1.4 LTC3900	29
4.1.5 NCP4304A	30
4.1.6 SiP11203.....	30
4.1.7 SP6018.....	31
4.1.8 STSR30.....	32
4.1.9 SRK2000A.....	32
4.1.10 UCC24610.....	33
4.2 POROVNÁNÍ ŘÍDÍCÍCH OBVODŮ	34
4.2.1 Obvody pro jednocestné usměrňovače	34
4.2.2 Obvody pro dvoucestné usměrňovače	35
ZÁVĚR	37
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	1

Seznam symbolů a zkratk

C_{DS}	[nF]	Kapacita mezi elektrodami Drain a Source
C_{GS}	[nF]	Vstupní kapacita řídicí elektrody
D		Poměr mezi dobou sepnutí tranzistoru na primární straně měniče a periodou
f	[kHz]	Pracovní kmitočet měniče
ΔI_{SEC}	[A]	Rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou proudu ISEC
I_D	[A]	Jmenovitý proud
I_{DM}	[A]	Špičkový neopakovatelný proud
I_{OD}	[A]	Proud protékající ochrannou diodou
I_{out}	[A]	Výstupní proud
I_{outfal}	[A]	Odebíraný proud z Gate
I_{outris}	[A]	Dodávaný proud do Gate
I_{rr}	[A]	Špičková hodnota zotavovacího proudu
I_{sec}	[A]	Proud sekundárním vyunutím
n		převodní poměr transformátoru
P_{CAP}	[W]	Ztráty vznikající vlivem parazitních kapacit
P_{COND}	[W]	Vodivostní ztráty
P_D	[W]	Ztrátový výkon
$P_{D MAX}$	[W]	Maximální ztrátový výkon
P_{SD}	[W]	Ztráta na Schottkyho diodovém usměrňovači
P_{SW}	[W]	Spínací ztráty
Q_{rr}	[C]	Zotavovací náboj nulové diody
$R_{DS(on)}$	[Ω]	Odpor v sepnutém stavu
t_{fal}	[s]	Doba doběžné hrany
t_{off}	[S]	Celková vypínací doba
t_{on}	[S]	Zapínací doba
t_{ris}	[S]	Doba náběžné hrany
t_{rr}	[S]	Zotavovací doba nulové diody
t_S	[S]	Perioda
T_{SR}	[S]	Doba kdy je aktivní synchronní usměrňovač
$U_{(BN)DSS}$	[V]	Závěrné průrazné napětí Drain Source
U_{CC}	[V]	Napájecí napětí
U_d	[V]	Úbytek napětí na ochranné diodě
U_{GS}	[V]	Napětí Gate Source
$U_{GS MAX}$	[V]	Maximální průrazné napětí řídicí elektrody
U_{IN}	[V]	Vstupní napětí blokujícího měniče
$U_{in TH}$	[mV]	Vstupní prahové napětí řídicích obvodů
VSD	[V]	Úbytek napětí na Schottkyho diodě

Úvod

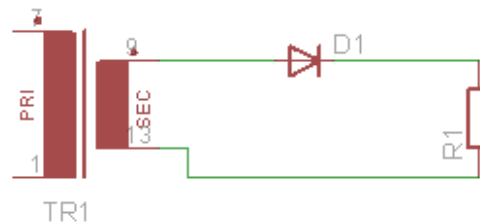
Předkládaná diplomová práce se zabývá porovnáním synchronních usměrňovačů a usměrňovačů se Schottkyho diodami. V dnešní době jsme obklopeni elektronikou na každém kroku. S rostoucím počtem elektronických zařízení roste i spotřeba elektrické energie. Veškerá elektronika se stává výkonnější, proto je potřeba mít výkonné zdroje elektrické energie s vysokou účinností. Při zvyšování účinnosti a výkonu se zavádějí aplikace se synchronními usměrňovači. Aplikace synchronních počítačů jsou popsány v druhé kapitole. Jelikož náhrada Schottkyho diod synchronním usměrňovačem není vždy to nejlepší řešení, je ve třetí kapitole rozebráno porovnání těchto usměrňovačů. Synchronní usměrňovače potřebují oproti Schottkyho diodám řízení spínání. Toto řízení spínání musí být dostatečně přesné a rychlé, proto je vhodné zvolit pro řízení řídicí obvod pro synchronní usměrňovače. Ve čtvrté kapitole jsou popsány základní parametry řídicích obvodů synchronních usměrňovačů. V závěru práce jsou porovnány parametry jednotlivých řídicích obvodů.

1 Usměrňovače

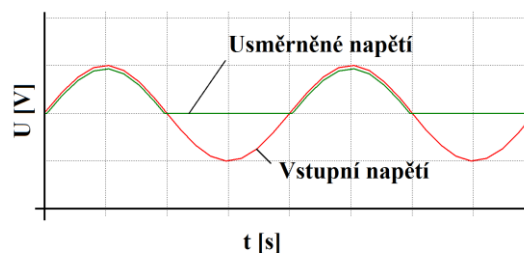
Základním principem usměrňovačů je přeměna střídavého napětí na stejnosměrné (pulzující). Usměrňovací obvody lze rozdělit do dvou hlavních skupin - jednofázové a třífázové (v této práci se budu zabývat výhradně jednofázovými usměrňovači). Jednofázové usměrňovače lze dále dělit na jednocestné, dvoucestné a můstkové.

Nejjednodušším zapojením je jednocestný jednofázový usměrňovač, který má jen jeden usměrňovací prvek, jak je znázorněno na *Obr.1.1*. Proud může tímto obvodem protékat jen, je-li dioda polarizovaná v propustném směru. Je-li dioda polarizovaná v závěrném směru, protéká obvodem jen zanedbatelný proud. Toto zapojení je sice velmi jednoduché, ale sekundárním vinutím transformátoru prochází jen stejnosměrná složka. To způsobuje přesycení jádra transformátu, které se má za následek zvýšení teploty transformátoru, zkreslení průběhu napětí a také snížení účinnosti takového zdroje [1, s. 62].

Jeho výhodou je v jednoduchosti.



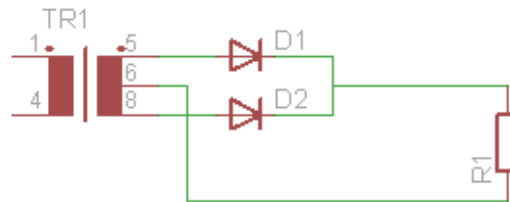
Obr. 1.1 Základní zapojení jednocestného usměrňovače



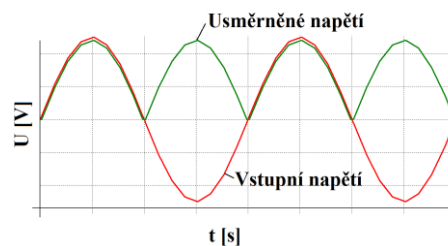
Obr. 1.2 Průběhy vstupního a výstupního napětí jednocestným usměrňovačem

Častěji se používá dvoucestný usměrňovač nebo můstkový usměrňovač. Zátěž u dvoucestného usměrňovače je připojena mezi spojené konce usměrňovacích prvků a vyvedený střed výstupního vinutí transformátoru, viz *Obr. 1.3*. Vzhledem ke středu vinutí

jsou napětí na začátku a na konci sekundárního vinutí opačná. Velikost obou těchto napětí je stejná. V první polovině periody, když je polarita střídavého napětí na začátku vinutí kladná, je dioda D_1 polarizována v propustném směru a propouští proud. Dioda D_2 je polarizována v závěrném směru a je uzavřená. V druhé polovině periody je tomu naopak. Během celé periody bude napětí na zátěži kladné. Nevýhodou tohoto zapojení je, že se vždy využívá jen polovina vinutí.



Obr. 1.3 Základní zapojení dvoucestného usměrňovače



Obr. 1.4 Průběhy vstupního a výstupního napětí dvoucestným usměrňovačem

1.1 Schottkyho dioda

Schottkyho dioda je součástka, která má přechod MN (kov-polovodič). Využívá se k usměrnění signálů s vysokými frekvencemi. Výhodou této diody je, že u ní nedochází k injekci minoritních nosičů náboje a proto je vedení proudu realizováno pouze majoritními nosiči. V přímém směru mají Schottkyho diody menší úbytky napětí než diody s PN přechodem. Elektrony přecházejí z polovodiče typu N do kovu, kde ztrácejí přebytek své energie. Jedná se o elektrony z vrcholu elektronické bariéry.

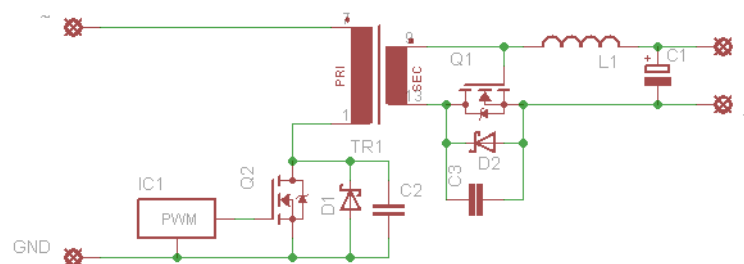
Jako materiál pro výrobu Schottkyho diod se nejčastěji používá křemík nebo GaAs. Diodu tvoří destička, která je ze silně dotovaného polovodiče typu N^+ . Dále je na tuto

destičku nanese pomocí expitace vrstva typu N. Nakonec je realizován kontakt kov-polovodič, který se vytváří napařováním. Dobré závěrné vlastnosti diodě zajišťuje expitační slabě dotovaná vrstva. Malý sériový odpor a dobrý ohmický kontakt zajišťuje silně dotovaná vrstva.

Schottkyho diody nacházejí nejčastěji uplatnění v aplikacích pro velmi vysoké frekvence, zde nahrazují hrotové diody, proti nimž mají lepší reprodukovatelnost při výrobě, mechanickou pevnost, vyšší závěrné napětí a menší šum. Vzhledem k malému napětí a k rychlým spínacím časům jsou Schottkyho diody užívány jako ochranné prvky ve spínačích s dobou sepnutí jednotky ns i menší a jako součástky rychlých logických integrovaných obvodů. Schottkyho diody se díky malému napětí v přímém směru využívají také ve výkonové technice jako usměrňovače a spínače s větší energetickou účinností, menší hmotností a rozměry než klasické diody. Za nedostatek lze u Schottkyho diod považovat menší závěrné napětí.[2]

1.2 Synchronní usměrňovač

Synchronní usměrňovače je usměrňovač, který se používá jako usměrňovač ve spínaných zdrojích, pro usměrnění pulzního napětí na sekundární straně transformátoru. Usměrňovací prvek zde tvoří tranzistor MOSFET, který nahrazuje Schottkyho diody. Tranzistor je nutné řídit pomocným obvodem, tak aby spínal ve stejný okamžik jako by se otevíraly usměrňovací diody. Oproti diodám, které se většinou dávají do kladné větve, se synchronní usměrňovač zásadně umísťuje do záporné větve. To může činit potíže při přestavbě zdroje s usměrňovačem se Schottkyho diodami na zdroj se synchronním usměrňovačem. Především má-li tento zdroj trafo s vyvedeným středem a více vinutí pro různá napětí (ATX zdroj).



Obr. 1.2.1 Principiální schéma blokovacího měniče se synchronním usměrňovačem

1.2.1 Tranzistory MOSFET

Tranzistory MOSFET se používají u synchronních usměrňovačů jako usměrňovací prvek. Pro vhodné usměrnění je třeba je řídit, to znamená, že musíme ve správný čas sepnout tranzistor a ve správný čas rozepnout tranzistor. Tyto časy by se neměly lišit od časů „spínání“ běžnými Schottkyho diodami. Při tomto rychlém otevírání a zavírání teče řídicí elektrodou značně velký proud, který je závislý na frekvenci spínání. V ustáleném stavu tento proud neteče, protože řídicí elektroda je galvanicky oddělena od substrátu. Toto spojení vytváří parazitní kapacitu.

Mezními parametry se označuje $U_{(BR)DSS}$, což je závěrné (průrazné) napětí (BR [Break], DS [Drain - Source, kolektor - emitor], S [short] značí, že při měření je řídicí elektroda zkratována s emitorem), $U_{GS\ MAX}$ je maximální (průrazné) napětí řídicí elektrody (bývá obvykle $U_{GS\ MAX} = \pm 20V$), I_D značí jmenovitý proud, I_{DM} je špičkový neopakovatelný proud a maximální ztrátový výkon $P_{D\ MAX}$ (při teplotě $T_C = 25^\circ C$). Mezi statické parametry spadá $R_{DS\ (on)}$, což značí odpor v sepnutém stavu (obvykle pro $U_{GS} = +15V$), U_{GS} označuje prahové napětí řídicí elektrody. Dynamické parametry tvoří pro tranzistor t_{off} - celková vypínací doba, C_{GS} je vstupní kapacita řídicí elektrody, mezi G-S a t_{on} je zapínací doba. Pro nulovou diodu spolupracující s tranzistorem jsou dynamické parametry t_{rr} (zotavovací doba), Q_{rr} (zotavovací náboj), I_{rr} (špičková hodnota zotavovacího proudu). [3, s. 128-129]

Každý MOS-FET obsahuje vždy substrátovou diodu, zapojenou antiparalelně k tranzistoru. Tato dioda je napětově a proudově vždy kompatibilní s tranzistorem. Ve větvi je tato dioda nevyužitelná jako nulová dioda, protože u běžných vysokonapětových tranzistorů je velmi pomalá (přibližně $t_{rr} = 1\mu s$). Její činnost se v tomto případě eliminuje diodou, která je sériově řazená k tranzistoru a teprve tato dvojice se překlene rychlou externí nulovou diodou (přibližně $t_{rr} = 0,3\mu s$). Existují však tranzistory se substrátovou diodou, která je vhodně fyzikálně upravená tak, že se její zotavovací doba pohybuje v oblasti $0,3\mu s$. V tomto případě je taková substrátová dioda plně využitelná. Tranzistory (pod 100V) mají substrátovou diodu vždy dostatečně rychlou z přirozených fyzikálních důvodů. Její rychlost se pohybuje v rozmezí $0,3$ až $0,5\mu s$. [3]

2 Aplikace synchronních usměrňovačů

Synchronní usměrňovače se používají ve spínaných zdrojích pro usměrnění vysokofrekvenčních signálů ($50 \text{ Hz} \ll f \leq 600 \text{ kHz}$). Svoje uplatnění nacházejí zejména ve zdrojích s nízkým výstupním napětím a vysokými proudy, kde nahrazují Schottkyho diody. Ve spínaných zdrojích s vysokou frekvencí se nepoužívají běžné usměrňovací diody z důvodu velkých ztrát na těchto diodách. Upřednostnění synchronních usměrňovačů před Schottkyho diodami není samozřejmostí, ale záleží na několika parametrech, jako jsou účinnost, počet součástek na DPS (desce plošných spojů), místo na DPS, celkové náklady, množství vyzářeného tepla a pracovní frekvence.

Existuje mnoho zapojení řídicích obvodů s diskrétními součástkami, ty však ve většině případů nedosahují takových vlastností jako příslušné řídicí obvody. Proto jsem se zaměřil na synchronní usměrňovače řízené řídicími obvody.

Svoje uplatnění nacházejí synchronní usměrňovače především v napájecích zdrojích pro stolní počítače, servery, notebooky, herní konzole, napájení FPGA procesorů v telekomunikacích, v DC/DC měničích v elektromobilech, u vesmírných družic a v neposlední řadě u specializovaných AC/DC a DC/DC měničích.

2.1 FEBFAN6754WAMR_CP450v1

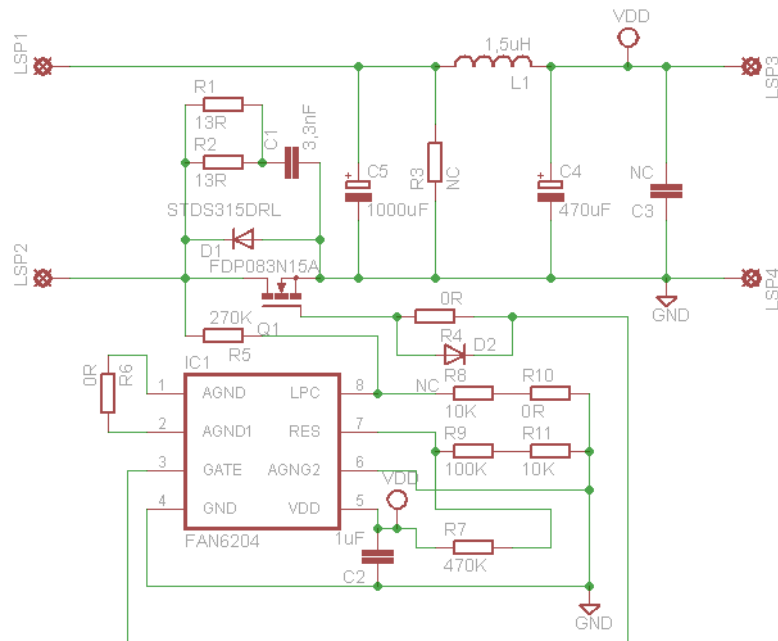
Tento zdroj od firmy Fairchild semiconductor s výkonem 65W slouží jako napájecí adaptér pro LCD monitory, LCD televize a jako adaptér k notebookům. Řízení tohoto zdroje obstarává FAN6754WAMR. Řídicí obvod synchronního usměrňovače FAN6204MY umožňuje snížení ztrát, když je výstup jen málo zatížen tím, že omezí spínání tranzistorů.

[4]

Tab. 2.1.1 Obecné specifikace[4]

	Minimum	Maximum	Jednotky
Vstupní napětí (stř)	90	264	V
Vstupní frekvence	47	63	Hz
Výstupní napětí (ss)		19	V
Výstupní proud		3,42	A
Výkon		65	W

Synchronní usměrňovač je zde realizován jako jednocestný usměrňovač pro blokující měnič. Usměrňovač je doplněn o výstupní filtr. Řídicí obvod je napájen z výstupního napětí zdroje. Usměrňovací prvek je zde tvořen tranzistorem FDP083N15A. Jedná se o tranzistor MOSFET s kanálem typu N. Odpor v propustném směru $R_{DS(on)}$ je 6,85 m Ω a vstupní kapacita C_{GS} je 4,645 nF. [5]



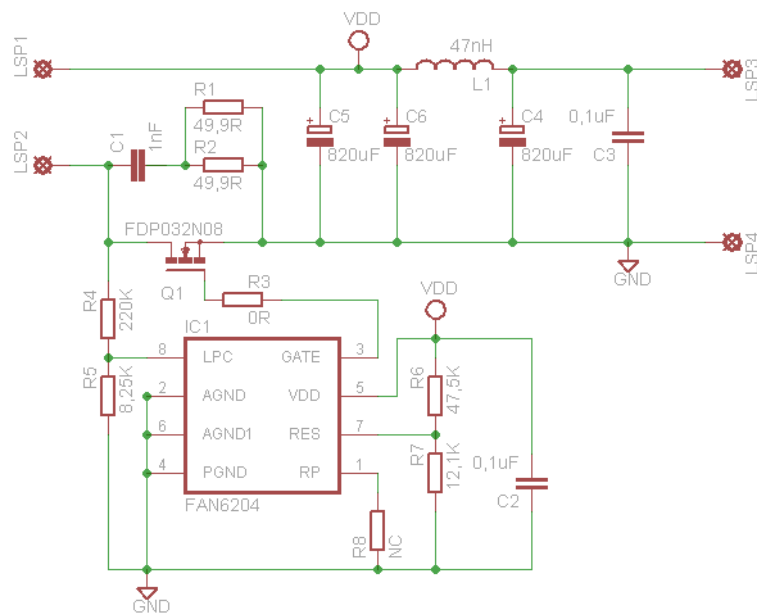
Obr. 2.1.1 Aplikace synchronního usměrňovače ve zdroji pro monitory LCD FEBFAN6754WAMR_CP450v1[4]

2.2 FEBFAN6920MR_T02U120A

Tento zdroj je podobný jako předchozí, jen má dvojnásobný výstupní výkon. Tomu je přizpůsobeno i vnitřní zapojení. Usměrňovací prvek je zde tvořen tranzistorem FDP032N08. Jedná se o tranzistor MOSFET s kanálem typu N. Odpor v propustném směru $R_{DS(on)}$ je 2,5 m Ω a vstupní kapacita C_{GS} je 11,4 nF. [6]

Tab. 2.2.1 Obecné specifikace[7]

	Minimum	Maximum	Jednotky
Vstupní napětí (stř)	90	264	V
Vstupní frekvence	50	60	Hz
Výstupní napětí (ss)		19	V
Výstupní proud		6,3	A
Výkon		120	W



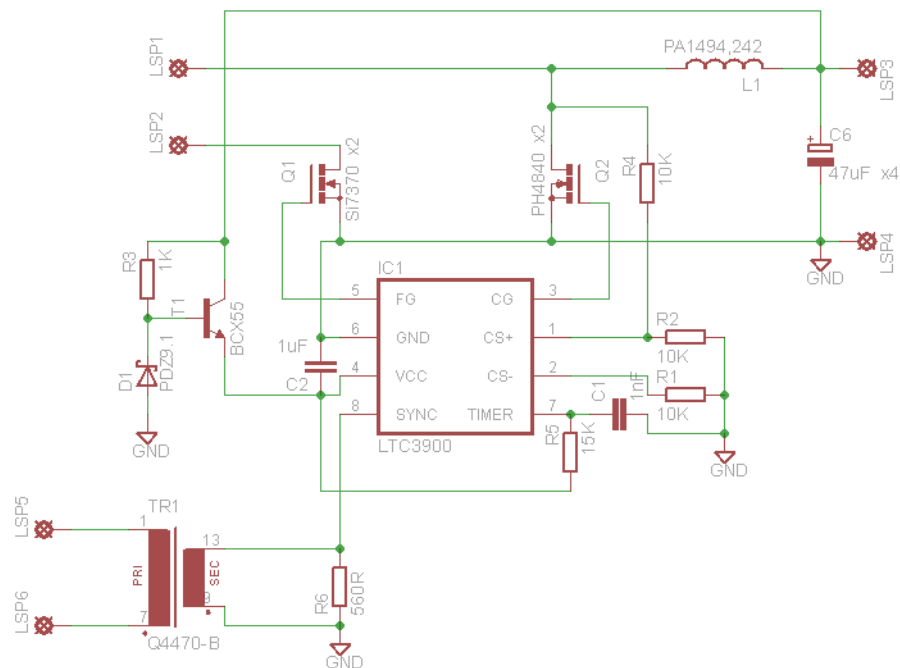
Obr. 2.2.1 Aplikace synchronního usměrňovače ve zdroji pro monitory LCD FEBFAN6754WAMR_CP450v1[7]

2.3 DC/DC sběrníkový měnič

Mnoho telekomunikačních a průmyslových aplikací vyžaduje při nízkém napětí vysokou účinnost měniče. Typické výstupní napětí v těchto aplikacích se pohybuje mezi 1.8V a 12V.[8] Jako usměrňovací prvky jsou u tohoto zapojení použity dvě dvojice tranzistorů. První dvojici tvoří tranzistory Si7370, z nichž každý má odpor v propustném směru $R_{DS(on)} = 9 \text{ m}\Omega$. [9] Druhá dvojice tranzistorů se skládá z PH4840, který má $R_{DS(on)} = 4,1 \text{ m}\Omega$ a vstupní kapacitu $C_{GS} 3,66 \text{ nF}$. [10] Synchronizační pulzy jsou zde přivedeny přes druhý oddělovací transformátor.

Tab. 2.3.1 Obecné specifikace[8]

	Minimum	Maximum	Jednotky
Vstupní napětí (ss)	36	63	V
Výstupní napětí (ss)		12	V
Výstupní proud		20	A
Výkon		240	W



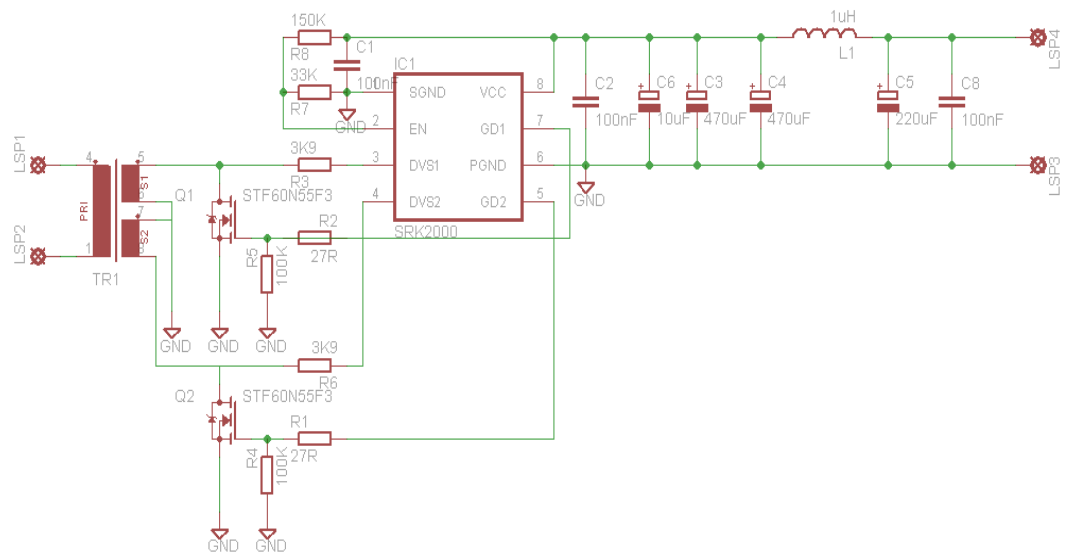
Obr. 2.3.1 DC/DC měnič určený pro sběrnice[8]

2.4 EVL90WADP-LLCSR

Jako další příklad použití jsem vybral EVL90WADP-LLCSR. Jedná se o 90W zdroj pro laptop. Tento zdroj využívá rezonančního dvojčinného měniče. Synchronní usměrňovač na výstupu tohoto zdroje je dvoucestný. K řízení využívá jen jeden řídicí obvod SRK2000.[11] V zapojení jsou i dva tranzistory MOSFET STF60N55F3 s oporem v sepnutém stavu $R_{DS(on)} = 6,5 \text{ m}\Omega$ a vstupní kapacitou $C_{GS} = 2,2 \text{ nF}$. [12]

Tab. 2.4.1 Obecné specifikace[11]

	Minimum	Maximum	Jednotky
Vstupní napětí (stř)	90	264	V
Vstupní frekvence	45	65	
Výstupní napětí (ss)		19	V
Výstupní proud		4,75	A
Výkon		90	W
Účinnost		92	%



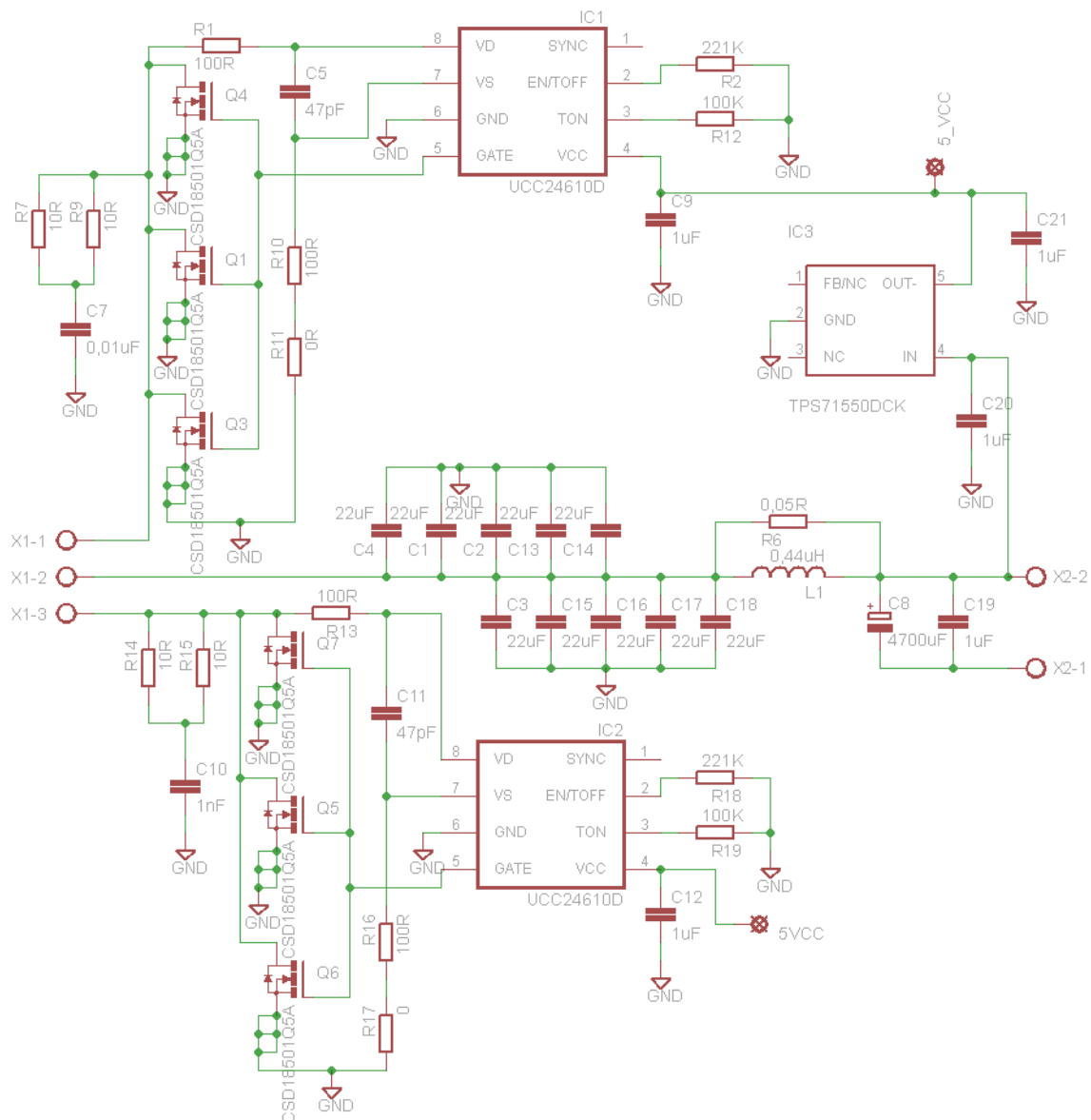
Obr. 2.4.1 Aplikace synchronního usměrňovače v napájecím zdroji pro notebooky EVL90WADP-LLCSR [11]

2.5 PMP5967

Tento zdroj je navržen firmou Texas Instruments. Účinnost tohoto zdroje dosahuje 94 %. [13] Jedná se o rezonanční dvojčinný měnič. Synchronní usměrňovač na výstupu tohoto zdroje je dvoucestný. Oproti předchozímu využívá k řízení dva řídicí obvody UCC24610D, díky tomu je schéma o poznání složitější. Jelikož výstupní napětí je mimo rozsah napájecího napětí, je v zapojení třeba pomocný stabilizátor TPS71550DCK, který dodává na výstupu napětí 5 V. Pro každou větev sekundárního vinutí jsou použity tři paralelně zapojené tranzistory CSD18501Q5A. [14] Jedná se o tranzistory s kanálem typu N s odporem v sepnutém stavu $R_{DS(on)} = 2,5 \text{ m}\Omega$ a vstupní kapacitou $C_{GS} = 3,2 \text{ nF}$. [15]

Tab. 2.5.1 Obecné specifikace [14]

	Minimum	Maximum	Jednotky
Vstupní napětí (ss)	295	400	V
Výstupní napětí (ss)		12	V
Výstupní proud		38	A
Výkon		450	W
Účinnost		94	%



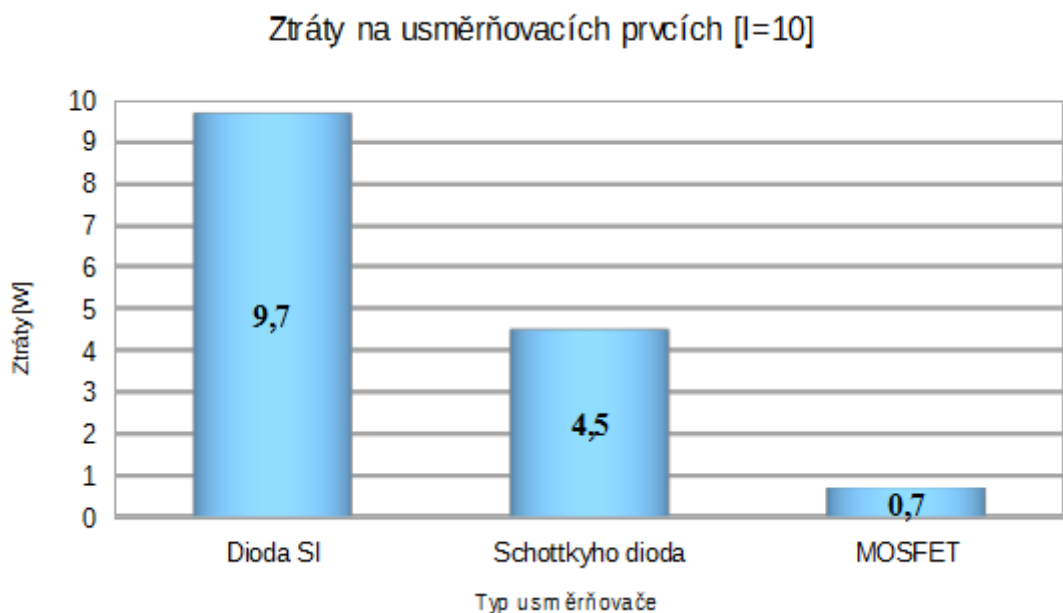
Obr. 2.5.1 Aplikace synchronního usměrňovače v napájecím DC/DC měnič PMP5967 [14]

3 Porovnání vlastností

V dnešní době mají Schottkyho diody stále početní převahu nad synchronními usměrňovači. Synchronní usměrňovače se používají jako náhrada za Schottkyho diody v aplikacích, kde je třeba zvýšit účinnost zdroje. Vzhledem k vývoji MOSFET tranzistorů a ke snižování odporu v propustném směru $R_{DS(on)}$ je na synchronním usměrňovači menší úbytek napětí a tím i menší ztrátový výkon. Volba, kdy použít synchronní usměrňovač a kdy použít Schottkyho diody, závisí na několika parametrech, jako jsou výstupní napětí, výstupní proud, úbytek napětí na usměrňovači v propustném směru, typ měniče, účinnost, počet součástek na DPS (desce plošných spojů), místo na DPS, celkové náklady, množství vyzářeného tepla a pracovní frekvence.

3.1 Ztráty

Rozdíl výkonových ztrát na usměrňovacích prvcích je celkem veliký, při průchodu proudem 10 A je úbytek napětí na křemíkové diodě 970 mV, na Schottkyho diodě (MBR4060) činný úbytek napětí 450 mV a na tranzistoru MOSFET (IRF3205) je úbytek pouhých 70 mV. Toto porovnání bylo měřeno v propustném směru (plně otevřený tranzistor) a je znázorněno na Obr. 3.1.1. [16, s. 11]



Obr. 3.1.1 Graf porovnání ztrát na usměrňovacích prvcích [16, s. 11]

Ztráta na Schottkyho diodovém usměřovači se vypočte jako:

$$P_{SD} = V_{SD} \cdot I_O \quad (3.1.1)$$

Na synchronním usměřovači vznikají 3 typy ztrát:

- Ztráty vodivostní P_{COND}
- Ztráty spínací P_{SW}
- Ztráty vznikající vlivem parazitních kapacit P_{CAP}

Celkové vodivostní ztráty synchronního usměřovače jsou především tvořeny úbytkem napětí na tranzistoru a ochranné diodě DSR . Pro celkové vodivostní ztráty platí následující vztah [17]:

$$P_{COND} = R_{DS(on)} \cdot \left[\frac{I_{out}^2}{1-D} + \frac{\Delta I_{SEC}^2 (1-D)}{12} \right] + U_D \cdot I_{OD} \cdot (t_{D(on)} + t_{D(off)}) \cdot f \quad (3.1.2)$$

kde, I_{out} je výstupní proud, $D = t_{on}/t_s$ je poměr mezi dobou sepnutí tranzistoru na primární straně transformátoru a periodou, ΔI_{SEC} je rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou proudu I_{SEC} , U_D úbytek napětí na ochranné diodě, I_{OD} proud protékající ochrannou diodou, f pracovní kmitočet měniče.

Ztráty, které vznikají vlivem doby závěrného zotavení interní diody lze popsat vztahem [17]:

$$P_{SW} = Q_{rr} \left(U_{out} + \frac{U_{IN}}{n} \right) \cdot f \quad (3.1.3)$$

kde Q_{rr} je zotavovací náboj, U_{out} je velikost výstupního napětí, U_{IN} zde značí vstupní napětí blokujícího měniče, n je převodní poměr transformátoru.

Dalším typem výkonových ztrát vznikajícím v blokujícím měniči se synchronním usměrňovačem jsou ztráty způsobené tzv. parazitní rezonancí. Tento jev vzniká díky kapacitě kanálu a rozptylové indukčnosti transformátoru. Parazitní zákmity vznikají po ukončení činnosti synchronního usměrňovače v době, kdy je tranzistor na primární straně měniče sepnut, tj. doba T_{ON} . Zánik tohoto nežádoucího jevu nastane ve chvíli, kdy je synchronní usměrňovač aktivní, tj. doba T_{SR} . Ztráty vznikající výše zmíněným jevem lze popsat pomocí vztahu [17]:

$$P_{CAP} = \frac{1}{2} C_{DS} \cdot \left(U_O + \frac{U_{IN}}{n} \right)^2 \cdot f \quad (3.1.4)$$

C_{DS} je kapacita mezi elektrodami Drain a Source.

Při porovnání účinnosti dvou zdrojů febfan6756mr_t03u065a, který má usměrňovač se Schottkyho diodami a zdroje febfan6754wamr_cp450v1, který má synchronní usměrňovač, má větší účinnost při plném zatížení a maximálním vstupním napětí zdroj febfan6754wamr_cp450v1. Při minimálním zatížení a maximálním vstupním napětí naopak zdroj febfan6756mr_t03u065a. Oba zdroje mají podobnou účinnost, která se pohybuje okolo 88 %. [18]

3.2 Zahřívání

Ztrátový výkon na usměrňovači je převeden na teplo, které je třeba odvést pryč. U malých ztrátových výkonů postačí pasivní chlazení. U velkých ztrátových výkonů je třeba přidat i aktivní chlazení. Velikost chladiče je přímo úměrná ztrátovému výkonu. S rostoucí velikostí stoupá i pořizovací cena. Při aktivním chlazení dochází k dalšímu úbytku účinnosti zdroje, protože musíme započítat spotřebu ventilátoru. Aktivní chlazení není vždy možné použít, proto musíme volit usměrňovač s co nejmenšími ztrátami.



Obr. 1.2.1 Teplotní snímek zdroje PMP5967 [13]

Na Obr. 3.2.1 je teplotní snímek plně zatíženého zdroje PMP5967. Při pořízení tohoto snímku byla okolní teplota 25 °C, vstupní stejnosměrné napětí bylo 380V. Rychlost proudění byla 988,5 l/min. Měřený bod Sp1 znázorňuje teplotu na transformátoru, bod Sp2 znázorňuje teplotu cívky na primární straně měniče. Body Sp3 a Sp4 ukazují teplotu na tranzistorech MOSFET synchronního usměrňovače. Zde je vidět, že největší ztráta je na transformátoru.

3.3 Frekvence

U Schottkyho diod má rostoucí frekvence menší vliv než u synchronních usměrňovačů. Synchronní usměrňovače jsou navíc omezeny maximální frekvencí řídicích obvodů, která se pohybuje maximálně do 600 kHz. Rostoucí frekvence zvyšuje ztráty, protože je třeba neustále přebíjet vstupní kapacitu tranzistorů mezi Gate a Source. Frekvenčním omezením Schottkyho diody je kapacita přechodu v závěrném směru, například u diody S50D40C je tato kapacita 1 nF při 5 V.[19]

3.4 Rozměry

Rozměry zapojení jsou větší u synchronních usměrňovačů z důvodu většího počtu součástek. K rozměrům celého usměrňovače je nutno započítat chladič, zde už není jednoznačné, který z usměrňovačů má menší rozměry. V tomto ohledu vše závisí na přenášeném výkonu, u malých výkonů je výhodnější usměrňovač složený ze Schottkyho diod. Naopak u velkých výkonů, především u vysokých proudů je výhodnější synchronní usměrňovač, protože u něj nedochází k tak velkým ztrátám, proto není potřeba tolik chladit. U Schottkyho diod bychom museli navíc použít ventilátor, o který se zvětší celkové rozměry. Do rozměrů je nutno započítat i prostor pro proudění vzduchu.

3.5 Složitost zapojení

Složitost zapojení je prokazatelně vyšší u synchronních usměrňovačů, oproti jedné, maximálně dvěma součástkám je zde zapotřebí více součástek, například u synchronního usměrňovače řízeného obvodem SRK2000 je jich zapotřebí 12. S počtem součástek roste i složitost zapojení. Navíc je nutné dodržet veškeré specifikace pro jednotlivé součástky. To zabere mnohonásobně více času při návrhu. Synchronní usměrňovač se proto využívá především u aplikací s vyšším výkonem, kde je lepší návratnost vynaložených zdrojů.

3.6 Cena

Cena základního zapojení je vyšší u synchronních usměrňovačů, protože jen samotné řídicí jednotky se pohybují v ceně od 50 Kč, k tomu je zapotřebí připočítat cenu tranzistorů a cenu ostatních součástek. Na výsledné ceně se negativně projeví i vyšší cena návrhu.

4 Řídící obvody synchronních usměrňovačů

4.1 Typy řídicích obvodů

4.1.1 FAN6208

FAN6208 je řídicí obvod dvoucestného synchronního usměrňovače od firmy Fairchild Semiconductor pro dvojitý LLC rezonanční měnič. Je schopen řídit dva tranzistory a tím emulovat chování diodového usměrňovače. Měřením napětí U_{DS} na jednotlivých tranzistorech při každém spínacím cyklu je určováno optimální spínání usměrňovacích tranzistorů. Díky zpětné vazbě je možné řídit délku sepnutí tranzistorů při přechodových jevech, aby se zabránilo sepnutí obou tranzistorů ve stejnou dobu. Pomocí přepnutí do úsporného režimu (Green-Mode) lze snížit spotřebu, protože v tomto modu nejsou spínány usměrňovací tranzistory. Podmínkou pro tento mód je nezatížení zdroje.[20]

Tab. 4.1.1.1 Základní údaje obvodu FAN6208 [20]

FAN6208	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	8,8		28
U_{inTH} [V]	1,7	2,0	2,3
U_{out} [V]	10	12	14
$I_{outtris}$ [A]		0,1	
I_{outfal} [A]		0,1	
f [kHz]	50		240
P_d [mW]	350		1000
t_{ris} [μs]	30	70	120
t_{fal} [μs]	30	50	70

4.1.2 IR11672ASPBF

Řídicí obvod IR11672ASPBF od firmy International Rectifier je navržen pro jednocestné synchronní usměrňovače v zapojení pro blokující měnič a rezonanční dvojčinný měnič. Tímto obvodem lze ovládat jeden nebo více paralelně uspořádaných MOSFET tranzistorů s kanálem typu N. Obvodem je měřeno napětí U_{DS} pro určení správného spínání tranzistoru. IR11672ASPBF obsahuje ochranný obvod pro zamezení průchodu proudu závěrným směrem, který zajistí vypnutí tranzistoru. [21]

Tab. 4.1.2.1 Základní údaje obvodu IR11672ASPBF [21]

IR11672ASPBF	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	11,4		18
U_{inTH} [mV]	50		150
U_{out} [V]	9	10,7	12,5
I_{outris} [A]		2	
I_{outfal} [A]		7	
f [kHz]			500
P_d [mW]		970	
t_{ris} [ns]	18		125
t_{fal} [ns]	10		30

4.1.3 IR11682SPBF

Oproti předchozímu je určen řídicí obvod IR11682SPBF pro řízení dvoucestného usměrňovače pro rezonanční dvojčinný měnič. Obvod má ochranu proti sepnutí tranzistorů ve stejnou dobu. Ochranný obvod obsažený v IR11682SPBF zamezuje průchodu závěrným směrem skrz tranzistor. [22]

Tab. 4.1.3.1 Základní údaje obvodu IR11682S [22]

IR11682S	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	8,6		18
U_{inTH} [mV]	80	140	220
U_{out} [V]	8,5	10,7	13,5
I_{out} [A]		1	
I_{out} [A]		4	
f [kHz]			400
P_d [mW]		970	
t_{ris} [ns]	10		80
t_{fal} [ns]	5		25

4.1.4 LTC3900

LTC3900 je řídicí obvod pro řízení jednocestného synchronního usměrňovače pro propustný měnič. Tento řídicí obvod pochází od firmy Linear Technology. Řízení spínání je zde odvozeno od synchronizačních pulzů od řídicího obvodu primární strany zdroje. Snímání napětí U_{DS} se využívá pro řízení vypnutí tranzistoru. Ochranné obvody v LTC3900 zablokují spínání tranzistorů, když chybí synchronizační signál nebo je příliš nízké napájecí napětí. [23]

Tab. 4.1.4.1 Základní údaje obvodu LTC3900 [23]

LTC3900	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	4,5	5	11
U_{inTH} [mV]	7,5	10,5	13,5
I_{outris} [A]		2	
I_{outfal} [A]		2	
f [kHz]			100
t_{ris} [ns]		15	
t_{fal} [ns]		15	

4.1.5 NCP4304A

NCP4304A od firmy ON Semiconductor složí jako ovládací prvek pro jednocestný synchronní usměrňovač pro topologii blokující měnič a dvojčinný LLC rezonanční měnič. Externími součástkami lze nastavit spínací časy a tím omezit rušení vyvolané nedokonalým návrhem PCB nebo dalšími parazitními prvky. Díky tomu je zvýšena spolehlivost a odolnost proti rušení. Díky schopnosti obvodu dodat velký řídicí proud a parazitní indukčnost kompenzačního systému lze dosáhnout extrémně nízkého zpoždění vypnutí tranzistoru a tím zvýšení účinnosti. [24]

Tab. 4.1.5.1 Základní údaje obvodu NCP4304A [24]

NCP4304A	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	8,9		30
U_{inTH} [mV]	50	85	120
U_{out} [V]	10	12	14,3
I_{outRis} [A]		2,5	
I_{outFal} [A]		5	
f [kHz]			500
P_d [mW]			800
t_{ris} [ns]		120	
t_{fal} [ns]		50	

4.1.6 SiP11203

Pro dvojčinný měnič lze použít i SiP11203 od firmy Vishay Siliconix, který v tomto zdroji zastoupí funkci řídicího obvodu pro dvoucestný usměrňovač. Obvod je napájen pomocí pomocného transformátoru, který slouží i pro přenos synchronizačních pulzů. Při náběhu napájení je u SiP11203 pozdrženo řízení tranzistorů do doby, než bude napájecí napětí dostatečné pro správnou funkci celého synchronního usměrňovače. [25]

Tab. 4.1.6.1 Základní údaje obvodu SiP11203 [25]

SiP11203	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	5,5		13
U_{inTH} [V]		2,5	
U_{out} [V]	4,75	5	5,25
I_{outRis} [A]		2,2	
I_{outfal} [A]		4	
f [kHz]	100		500
P_d [mW]			745
t_{ris} [ns]		42	
t_{fal} [ns]		32	

4.1.7 SP6018

SP6018 je řídicí obvod pro jednocestný usměrňovač od firmy SYNC Power Corporation. Tento obvod lze využít ve všech rezonančních měničích. Pro optimalizaci spínacího času využívá systém prediktivní algoritmus, který na základě údajů získaných z předchozího cyklu upraví spínací čas. To má za následek zvýšení účinnosti a zabránění současného sepnutí dvou tranzistorů ve dvou větvích. [26]

Tab. 4.1.7.1 Základní údaje obvodu SP6018 [26]

SP6018	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	9,4		16
U_{inTH} [V]	3,5	3,9	
U_{out} [V]	10,5	11	
I_{outRis} [A]		2	
I_{outfal} [A]		2	
f [kHz]			400
P_d [mW]			250
t_{ris} [ns]		10	25
t_{fal} [ns]		10	25

4.1.8 STSR30

STSR30 od firmy STMicroelectronics je inteligentní řídicí obvod jednocestného usměrňovače pro blokující měnič. Poskytuje vysoké výstupní proudy a tím umožňuje řízení MOSFET tranzistorů při nízkém napětí. Pomocí měření napětí U_{DS} na tranzistoru jsou určeny spínací časy. Zabudovanými ochrannými obvody je zamezeno sepnutí závěrného proudu. Díky zabudovanému oscilátoru a výpočetní logice je zajištěna dvojitá kontrola spínacích časů a nemůže tedy dojít k sepnutí opačného směru proudu. Při nezatíženém stavu dojde k vypnutí řízení a tím ke snížení ztrát. Také při vyhodnocení poruch je zablokováno řízení usměrňovače. [27]

Tab. 4.1.8.1 Základní údaje obvodu STSR30 [27]

STSR30	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	3,6		6
U_{inTH} [V]	1	1,2	
U_{out} [V]	4,3	4,65	
$I_{outtris}$ [A]		1,5	
I_{outfal} [A]		1,5	
f [kHz]	20		500
P_d [mW]			275
t_{ris} [ns]		40	
t_{fal} [ns]		40	

4.1.9 SRK2000A

Stejně jako předchozí i tento obvod pochází od firmy STMicroelectronics, ale je určen pro dvoucestné usměrňovače pro LLC rezonanční měnič. Obvod čítá dvě výstupní brány, každá může ovládat jeden nebo více tranzistorů MOSFET s kanálem typu N. Obě brány jsou řízeny samostatně, blokovací logický obvod zajišťuje, aby nedošlo k současnému sepnutí obou tranzistorů. Unikátní vlastností tohoto obvodu je jeho inteligentní automatický režim spánku, kdy při detekování nezatíženého výstupu se obvod přepne do klidového režimu, ve kterém je vypnuto řízení tranzistorů. Tímto způsobem je zvýšena účinnost usměrňovače. Při opětovném připojení zátěže to obvod automaticky vyhodnotí a obnoví řízení. [28]

Tab. 4.1.9.1 Základní údaje obvodu SRK2000A [28]

SRK2000A	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	4,5		32
U_{inTH} [mV]	180	200	250
U_{out} [V]	4,75		11,9
$I_{outtris}$ [A]		1	
I_{outfal} [A]		3,5	
f [kHz]			500
P_d [mW]			650
t_{ris} [ns]		40	
t_{fal} [ns]		18	

4.1.10 UCC24610

Tento řídicí obvod od firmy Texas Instruments je určen pro řízení jednocestného usměrňovače pro blokuující měnič a pro LLC rezonanční měnič. UCC24610 nabízí programovatelné spouštění spínání, programovatelný časovač automaticky přepne zařízení do režimu Light-Load Mode při malém zatížení zdroje a SYNC vstup pro volitelné vnější řízení spínání. Ochranné prvky zabraňují otevření tranzistorů při opačném směru proudu. [29]

Tab. 4.1.10.1 Základní údaje obvodu UCC24610 [29]

UCC24610	Min	Typ	Max
U_{CC} [V]	4,5		5,5
U_{inTH} [mV]	80	150	220
U_{out} [V]	4,64	4,8	
$I_{outtris}$ [A]		3	
I_{outfal} [A]		3	
f [kHz]	20		600
P_d [mW]			650
t_{ris} [ns]		14	30
t_{fal} [ns]		9	25

4.2 Porovnání řídicích obvodů

Všechny řídicí obvody mají podobné parametry. Je nutné rozdělit obvody do dvou skupin, podle toho zdali jde o řídicí obvody pro jednocestné nebo dvoucestné usměrňovače. Řídicí obvody pro jednocestné usměrňovače lze použít i v zapojení pro dvoucestné usměrňovače, jen budeme muset zapojit do každé větve jeden. Obvod LTC3900 má řízení založené na získávání informací z primární strany zdroje přes pulzní transformátor proto by i tento transformátor by musel být s vyvedeným středem. Díky tomu výrazně vzroste náročnost implementace, počet součástek a cena.

4.2.1 Obvody pro jednocestné usměrňovače

Z obvodů pro jednocestné usměrňovače má nejnáročnější implementaci obvod LTC3900, protože ke své správné funkci potřebuje pro řízení navíc pulzní transformátor. I celkový počet součástek je pro tento obvod nevyšší. Naopak nejmenší počet součástek potřebuje pro svou správnou funkci obvod UCC24610. Druhý obvod s nejnižším počtem součástek je IR11672ASPBF a třetí je NCP4304. STSR30 a SP6018 jsou na tom podobně.

Další rozdělení lze provést podle napájecího napětí na pětivoltové a to jsou LTC3900, STSR30 a UCC24610. Ostatní tři jsou optimalizovány na napájecí napětí $U_{CC} = 12 \text{ V}$. Obvod NCP4304 lze připojit na U_{CC} až 30 V. Nejmenší rozhodovací úroveň napětí má obvod LTC3900 a to $U_{in TH} = 10,5 \text{ mV}$. Nejhůře je na tom obvod SP6018, který má $U_{in TH} = 3,9 \text{ V}$. Maximální spínací frekvence se u všech uvedených pohybuje okolo 500 kHz, kromě obvodu LTC3900, který má uvedenou maximální spínací frekvenci 100 kHz. Nejlépe je na tom obvod UCC24610, který má maximální spínací frekvenci 600 kHz. Vliv na účinnost celého synchronního usměrňovače má v neposlední řadě i ztrátový výkon řídicích obvodů. Nejmenší ztrátový výkon má obvod SP6018 $P_d = 250 \text{ mW}$. Největší ztrátový výkon $P_d = 970 \text{ mW}$ je uveden u IR1167ASPBF.

Jedním z nejdůležitějších parametrů je maximální výstupní napětí pro řízení MOSFET tranzistorů. Z obvodů, které jsou napájeny 5 V, je schopen mít na výstupu nevyšší napětí obvod UCC24610 $U_{out} = 4,8 \text{ V}$ (obvod LTC3900 nemá toto napětí uvedeno). Z ostatních má nejvyšší U_{out} NCP4304 s hodnotou $U_{out} = 12 \text{ V}$. Pro rychlé otevření tranzistorů je důležitým

parametrem proud do řídicí elektrody (je potřeba nabít kapacitu na vstupu). Největší dodávaný proud do řídicí elektrody má UCC24610 $I_{\text{outris}} = 3$ A. Naopak nejmenší má obvod STSR30 $I_{\text{outris}} = 1,5$ A. Odebíraný proud z řídicí elektrody bývá obvykle větší, u IR1167ASPBF je tato hodnota $I_{\text{outfal}} = 7$ A. Nejmenším odebíraným proudem disponuje obvod STSR30 $I_{\text{outfal}} = 1,5$ A.

Tab. 4.2.1.1 Porovnání základních údajů

Obvod	LTC3900	STSR30	UCC24610	IR11672ASPBF	NCP4304A	SP6018
U_{CC} [V]	4,5 - 11	3,6 - 6	4,5 - 5,5	11,4 - 18	8,9 - 30	9,4 - 16
U_{inTH} [mV]	10,5	1200	150	100	85	3900
U_{out} [V]		4,65	4,8	10,7	12	11
I_{outris} [A]	2	1,5	3	2	2,5	2
I_{outfal} [A]	2	1,5	3	7	5	2
f [kHz]	do 100	20 - 500	20 - 600	do 500	do 500	do 400
P_d [mW]		275	650	970	800	250
t_{ris} [ns]	15	40	14	18 - 125	120	10
t_{fal} [ns]	60	40	9	10 - 30	50	10

4.2.2 Obvody pro dvoucestné usměrňovače

U dvoucestných usměrňovačů je složitost zapojení vyšší z důvodu většího počtu větví. Nejnáročnější implementací disponuje obvod SiP11203, což je dáno nejen nutností dalšího transformátoru pro synchronizaci, ale i počtem vývodů pouzdra, který je dvojnásobný oproti ostatním obvodům. Oproti tomu nejjednodušší implementaci má obvod SRK2000A a obvod IR11682SPBF. Středně složitou implementaci má obvod FAN6208.

Největší rozsah napájecího napětí U_{CC} má SRK2000A od 4,5 V do 32 V. Naopak nejmenší rozsah napájecího napětí má obvod SiP11203 od 5,5 V do 13 V. Druhý nejmenší rozsah napájecího napětí má IR11682SPBF od 8,6 V do 18 V. Druhý největší rozsah má obvod FAN6208 od 8,8 V do 28 V. Nejmenší rozhodovací úroveň napětí má obvod

IR11682SPBF a to $U_{in\ TH} = 140\ mV$. Nejhuře je na tom obvod SiP11203, který má $U_{in\ TH} = 2,8\ V$. Maximální spínací frekvence se u všech uvedených pohybuje okolo 500 kHz, kromě obvodu FAN6208, který má uvedenou maximální spínací frekvenci 240 kHz. Obvod FAN6208 má největší ztrátový výkon 1W. Naproti tomu obvod SRK2000 má ztrátový výkon 650 mW.

Výstupní řídicí napětí je největší u obvodu FAN6208, kde dosahuje typicky 12 V. Nejmenší je u obvodu SiP11203 z důvodu nižšího napájecího napětí, typická hodnota tohoto napětí je 5 V. U obvodu FAN6208 je uveden nejmenší výstupní řídicí proud, který je stejný pro oba směry $I_{out\ tris} = I_{out\ fal} = 0,1\ A$. V tomto ohledu je na tom nejlépe obvod SiP11203, který je schopen dodat proud $I_{out\ tris} = 2,2\ A$ a odebrat $I_{out\ fal} = 4\ A$.

Tab. 4.2.2.1 Porovnání základních údajů

Obvod	FAN6208	IR11682SPBF	SiP11203	SRK2000A
$U_{CC}\ [V]$	8,8 - 28	8,6 - 18	5,5 - 13	4,5 - 32
$U_{in\ TH}\ [mV]$	2000	140	2500	200
$U_{out}\ [V]$	12	10,7	5	4,75 - 11,9
$I_{out\ tris}\ [A]$	0,1	1	2,2	1
$I_{out\ fal}\ [A]$	0,1	4	4	3,5
$f\ [kHz]$	50 - 240	do 400	100 - 500	do 500
$P_d\ [mW]$	350 - 1000	970	745	650
$t_{ris}\ [ns]$	70	10 - 80	42	40
$t_{fal}\ [ns]$	50	5 - 25	32	18

Závěr

Cílem této práce bylo porovnat synchronní usměrňovače s usměrňovači se Schottkyho diodami. Problematika spočívá ve výhodnosti použití synchronních usměrňovačů. Zdali se vyplatí za ceny vyšší náročnosti implementace snížení ztrát na usměrňovači.

V teoretickém úvodu jsem objasnil principy usměrňování a základních typů usměrňovačů. V další kapitole jsem popsal několik aplikací synchronních usměrňovačů. Zaměřil jsem se na aplikace, kde se k řízení spínání tranzistorů používají řídicí obvody, protože při řízení tranzistorů pomocí zapojení s diskrétními součástkami není dosahováno takové účinnosti.

V následující kapitole jsem porovnával vhodnost použití synchronních usměrňovačů oproti usměrňovačům se Schottkyho diodami. Rozhodujícím faktorem pro výběr usměrňovače je ztrátový výkon, který ovlivňuje všechny ostatní parametry. S rostoucím výkonem zdroje je vhodnější použít synchronní usměrňovač. Především pro napětí do 5 V je vhodnější použít synchronní usměrňovač, protože s klesajícím napětím rostou ztráty na usměrňovači se Schottkyho diodami.

V poslední kapitole jsem se věnoval jednotlivým řídicím obvodům a porovnával jsem jejich vlastnosti. Při výběru řídicího obvodu je nutné volit mezi řídicím obvodem pro jednocestné usměrňovače a obvodem pro dvoucestné usměrňovače. Implementace řídicích obvodů pro jednocestné usměrňovače je náročnější. Pro jednocestné usměrňovače je pro pětivoltové aplikace nejvhodnější řídicí obvod UCC24610, i za cenu vyššího ztrátového výkonu. Pro dvanáctivoltové aplikace je nevhodnější NCP4304A, jeho výhodou je velký rozsah napájecího napětí. U obvodů pro dvoucestné usměrňovače je nevýhodnější obvod SRK2000A. Pro složitost je nejméně vhodný obvod SiP11203.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] HAMMERBAUER, Jiří. *Elektronické napájecí zdroje a akumulátory*. Plzeň: Vydavatelství Západočeské univerzity, 1998. 181 s. ISBN 55-087-98
- [2] TRUHLÁŘ, Michal, ŠVELA, Ondřej. *Schottkyho dioda* [online]. 2010. [Cit. 5.5.2014]. Dostupné z: <http://mealtiner.net/Publikace/SchottkyhoDioda.pdf>
- [3] NOVOTNÝ, Vlastislav, PATOČKA, Miroslav, VOREL, Pavel. *Napájení elektronických zařízení*. Ústav radioelektroniky FEI VUT, 1999. 129 s.
- [4] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION, FEBFAN6754WAMR_CP450v1 [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: http://www.fairchildsemi.com/evb/febfan6754wamr_cp450v1.pdf
- [5] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION, FDP083N15A [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <https://www.fairchildsemi.com/ds/FD/FDP083N15A.pdf>
- [6] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION, FDP032N08 [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/FD/FDP032N08.pdf>
- [7] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION, FEBFAN6920MR_T02U120A [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: http://www.fairchildsemi.com/evb/febfan6920mr_t02u120a.pdf
- [8] PERICA, Goran. Efficient and Reliable Drive for Synchronous MOSFET Rectifiers [online]. Linear Technology Magazine, ©2005. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: http://cds.linear.com/docs/en/lt-journal/05_03-11-LTC3900-Perica.pdf
- [9] VISHAY SILICONIX, Si7370DP [online]. Vishay Siliconix, ©2009. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/71874/71874.pdf>
- [10] NXP SEMICONDUCTORS, PH4840S [online]. NXP Semiconductors, ©2006. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PH4840S.pdf
- [11] STMICROELECTRONICS, AN3014 [online]. STMicroelectronics, ©2010, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/application_note/CD00242940.pdf
- [12] STMICROELECTRONICS, STB60N55F3, STD60N55F3, STF60N55F3, STI60N55F3, STP60N55F3, STU60N55F3 [online]. STMicroelectronics, ©2009. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00152203.pdf>
- [13] TEXAS INSTRUMENTS, PMP5967 Rev C Test Results [online]. Texas Instruments Incorporated, ©2012. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/sl00613/sl00613.pdf>
- [14] TEXAS INSTRUMENTS, slur470 [online]. Texas Instruments Incorporated, ©2012. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/df/slur470/slur470.pdf>
- [15] TEXAS INSTRUMENTS, CSD18501Q5A [online]. Texas Instruments Incorporated, ©2012. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/csd18501q5a.pdf>
- [16] BARTOŇ, Karel. *Aktivní výkonové usměrňovače s MOSFET*. AMARO spol. s.r.o., 10.2011. 92 s. ISSN 1804-7173
- [17] TAO, M. *Electrical, Thermal, and EMI Designs of High-Density, Low-Profile Power Supplies* [online], Virginia: Virginia Polytechnic Institute and State University, 1999 [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-173510281975580/unrestricted/chapter2.pdf>

-
- [18] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION, FEBFAN6756MR_T03U065A [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, ©2012. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: https://www.fairchildsemi.com/evb/febfan6756mr_t03u065a.pdf
- [19] MOSPEC, S50D30-S50D60 [online]. MOSPEC Semiconductor Corporation. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.mospec.com.tw/pdf/schottky/S50D30-S50D60.pdf>
- [20] FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION, FAN6208 [online]. Fairchild Semiconductor Corporation, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.fairchildsemi.com/ds/FA/FAN6208.pdf>
- [21] INTERNATIONAL RECTIFIER, IR11672AS [online]. International rectifier, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir11672as.pdf>
- [22] INTERNATIONAL RECTIFIER, IR11682S [online]. International rectifier, ©2011. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/ir11682s.pdf>
- [23] LINEAR TECHNOLOGY, LTC3900fb [online]. USA: Linear Technology Corporation, ©2003. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://cds.linear.com/docs/en/datasheet/3900fb.pdf>
- [24] ON SEMICONDUCTOR, NCP4304A, NCP4304B [online]. Semiconductor Components Industries, ©2014. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NCP4304-D.PDF
- [25] VISHAY SILICONIX, SiP11203, SiP11204 [online]. Vishay Siliconix, ©2011. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.vishay.com/docs/73868/sip11203.pdf>
- [26] SYNC POWER CORPORATION, SP6018 Synchronous Rectifier Driver [online]. SYNC Power Corporation, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.syncpower.com/datasheet/SP6018.pdf>
- [27] STMICROELECTRONICS, STSR30 [online]. STMicroelectronics, ©2014. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/CD00003557.pdf>
- [28] STMICROELECTRONICS, SRK2000A [online]. STMicroelectronics, ©2013. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.st.com/st-web-ui/static/active/en/resource/technical/document/datasheet/DM00097737.pdf>
- [29] TEXAS INSTRUMENTS, UCC24610 [online]. Texas Instruments Incorporated, ©2010. [Cit. 8.5.2014]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/slusa87b/slusa87b.pdf>