

MULTIPHASE SERIES PARALLEL LLC RESONANT CONVERTER

Václav Drda

Master Degree Programme (2), FEEC BUT

E-mail: xdrdav00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Roman Štuler

E-mail: Roman.Stuler@onsemi.com

ABSTRACT

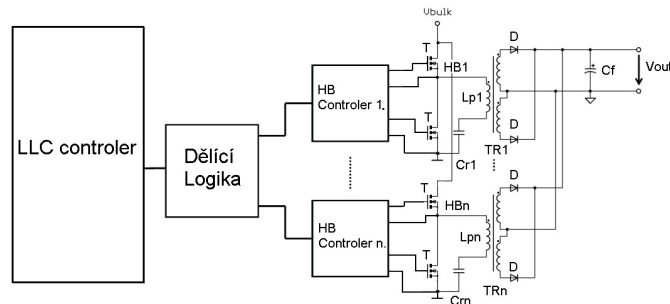
The project deals with the design of a switch-mode power supply (SMPS) for a medium and high power output. The power supply uses multiphase control switching. Electric energy of the power supply is converted through a series parallel LLC resonant circuit to reach the maximum efficiency with a small size and cost efficiency of the designed power supply. The semiconductor switches use ZVS (Zero Voltage Switching) on the primary side and ZCS (Zero Current Switching) on the secondary side of the converter. The design of the converter is based on the knowledge of the high power output converters (types of switching, art topologies) and resonant topologies (series resonant circuit – SRC, parallel resonant circuit – PRC and series parallel circuit –SPRC). The design of the converter was tested by a simulation program. The simulation and partial tests served to fabricate the Interleaves Converter (ILLC). The function of the converter was tested in laboratory. The laboratory results have been compared with the theoretic and the simulator results.

1. ÚVOD

Článek se zabývá AC/DC měniči s vyššími výkony. V této oblasti se začaly upřednostňovat tzv. *rezonanční* měniče. Takovéto zdroje vycházejí z obecných topologií (většinou z půl-mostové topologie) s modifikovaným výkonovým stupněm, který využívá sériovou, paralelní nebo sério-paralelní kombinaci LC prvků, jejichž sériová rezonanční frekvence je shodná s pracovní spínací frekvencí. Dané uskupení rezonančních prvků se nazývá *rezonanční tank*. Tank je umístěn mezi spínacími prvky (tranzistory) a primárním vinutím transformátoru. Rezonanční obvod způsobí, že při spínaném napětí s časovým průběhem ve tvaru obdélníku teče primárním vinutím transformátoru harmonicky proud. Přidá-li se k tomu velká spínací frekvence a možnost spínání, v době kdy napětí na spínacím prvku je nulové, lze získat výkonný zdroj s minimálními ztrátami. U většiny elektronických zařízení (u spínaných zdrojů zvláště) se každý návrhář potýká s problémem odstranění parazitních jevů, jako jsou nechtěné indukčnosti a kapacity jednotlivých součástek, ale hlavně parazity vyskytující se u vodivého propojení součástek (deska plošného spoje). U rezonančních měničů jsou zmíněné parazitní jevy naopak využívány. V těchto zapojeních se jindy nechtěné parazitní prvky připočítávají do celkového rezonančního tanku. Zahrnutí parazit má za následek nutnost mírně změnit pracovní frekvenci. Změna je však výrazně méně složitá a určitě i méně nákladná než odstraňování již zmíněných škodlivých jevů.

2. PRINCIP VÍCEFÁZOVÉHO SPÍNÁNÍ

Princip je založen na využití dvou a více spínaných zdrojů zapojených do společné zátěže, jak je vidět na obr. 1, tak aby příslušný zdroj dodával proud do zátěže v době, kdy proud dodávaný předchozím zdrojem začne klesat. To znamená, že průběhy proudu jednotlivých zdrojů musejí být vzájemně fázově posunuty. Vzájemný fázový posun je dán podílem periody, vyjádřené pomocí polárních souřadnic, a počtu použitých zdrojů n .



Obrázek 1: Princip Vícefázového měniče

Popisovaný princip dále velmi výrazně ovlivňuje velikost proudu tekoucí přes filtrační kapacitor. U základního měniče dochází ke změně výstupního proudu od nulové po špičkovou hodnotu a naopak (velká střídavá složka usměrněného proudu), tím však dochází ke střídavému nabíjení a vybíjení kapacitoru. Díky prokládání proudu z jednotlivých fázově posunutých zdrojů, nedochází k poklesu výstupního proudu na nulovou hodnotu, ale je udržován na průměrné hodnotě s definovaným zvlněním. Velikost průměrné hodnoty proudu a velikost zvlnění je dáno počtem zdrojů (průběhu proudů fázově posunutých v době jedné periody), které se vzájemně sčítají. Z uvedených zákonitostí dochází k nabíjení a vybíjení filtračního kapacitoru jen díky zvlnění (střídavé složky hodnoty proudu), které je však zanedbatelné oproti zvlnění jednoduchého měniče. Tím lze omezit proudové namáhání filtračního kapacitoru.

3. NÁVRH MĚNIČE

Při teoretickém návrhu bylo zapotřebí zvolit správnou spínací a usměrňovací topologii měniče. Za nejvhodnější topologii bylo zvoleno použití půl-můstkové topologie (asymetrický půl-můstek) v zapojení LLC rezonančního měniče, která umožňuje spínání při nulovém napětí na spínači (ZVS). Jako usměrňovací topologie byl vybrán dvoucestný usměrňovač pro možnou záměnu za synchronní usměrňovač. Pro zvolené topologie bylo nejprve nutné provést matematickou analýzu ověřenou simulacemi měniče, aby se ukázaly výhody navrhovaného měniče. Na základě matematické analýzy navrhovaného měniče je nutné navrhnout a sestavit řídicí část. Celý návrh prakticky zrealizovat a dosažené výsledky porovnat s teoretickými výsledky.

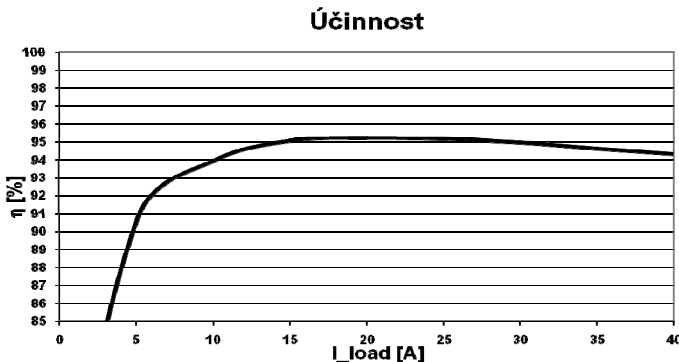
4. REALIZACE ZAŘÍZENÍ

Měnič je realizován formou hlavní desky plošných spojů (motherboard), jenž slučuje výkonové části zdroje, k níž jsou připojeny zásuvným principem další funkční celky (daughterboard) zajišťující řídicí část s rozčleněním na jeden Řídicí modul (Control_Module) a dva Budící moduly (Drive_Module).

Pro návrh desky plošných spojů (DPS) byl použit stejný program jako pro tvorbu schémat, tedy Eagle 4.16. Na obr. 3 je vyfocena podoba zkonstruovaného měniče.

5. LABORATORNÍ MĚŘENÍ

U zkonstruovaného Vícefázového rezonančního měniče byly provedeny řady testů na ověření nejen jeho funkčnosti, ale hlavně k zjištění jeho parametrů k porovnání s teoretickým návrhem. Účinnost znázorněna na obr. 2 je vyšší než 90% a v polovině nominální zátěže překračuje hodnotu 95%. Při vysokých proudech, se kterými měnič pracuje, je dosažena účinnost velmi dobrá.



Obrázek 2: Účinnost zkonstruovaného měniče



Obrázek 3: Konečná podoba zařízení

6. ZÁVĚR

Po teoretickém rozboru zvoleného LLC rezonančního měniče jsem provedl matematickou analýzu jednotlivých obvodových veličin v obvodu. Při využití matematické analýzy pro konkrétní případ výstupních veličin (12V/40A) je patrné, že vysoký výstupní proud měniče neúměrně proudově namáhá sekundární část měniče nevyjímaje výstupní filtrační kapacitory. Jedinou možností jak minimalizovat proudové namáhání sekundární části měniče a zároveň maximalizovat účinnost měniče je využití principu vícefázového řízení spínání daného měniče. Pro ověření mého tvrzení jsem zkonstruoval Dvoufázový LLC rezonanční měnič s výstupními parametry 12V/40A při účinnosti dosahující 95%. Na tomto prototypu jsem měřeními potvrdil teoretické výhody dvoufázového rezonančního měniče. Po úspěšném ověření požadovaných vlastností dvoufázového rezonančního měniče, jsem navrhnul řízení spínání pro třífázový rezonanční měnič.

LITERATURA

- [1] JOVANOVIĆ, M. M. :*Principles of resonant power conversion*, in-house seminar, Toulouse 2004
- [2] ANDREYČAK, B. - *Zero Voltage Switching Resonant Power Conversion*, Application note from UNITRODE [online]. Duben 2009 [cit. 15. dubna 2009]. Dostupné na WWW: < <http://www.ti.com> >.
- [3] BO YANG, “*Topology Investigation for Front-End dc-dc Power Conversion for Distributed Power System*”, Virginia Tech Dissertation, 2003” [on-line]. Duben 2009 [cit. 15. dubna 2009]. Dostupné na WWW: < <http://scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-09152003-180228/unrestricted> >.