

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2012.03.015

有源箝位正激式单级功率因数校正 变换器的仿真实现

朱永祥

(湖南工业大学 电气与信息工程学院, 湖南 株洲 412007)

摘要: 将 PFC 变换器和有源箝位 DC/DC 变换器相结合, 设计了一种新型有源箝位正激式单级功率因数校正变换器。介绍该电路的工作原理, 定义了一个开关周期的 4 个工作阶段; 借助 Saber 软件对该电路进行了仿真分析。仿真结果表明: 该电路能够实现主开关管、辅开关管的零电压开关, 额定条件下功率因数可达 0.98 以上, 提高了变换器的功率密度与效率。

关键词: 功率因数校正; 有源箝位; 正激式; 单级; Saber 软件

中图分类号: TM46

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2012)03-0068-04

Simulation Realization of Active Clamp Forward Single-Stage PFC Converter

Zhu Yongxiang

(School of Electrical and Information Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: A new kind of active clamp single-stage PFC converter is presented which is combined by a PFC converter and an active clamp DC/DC converter. Its circuit operation principle was analyzed and the four working stages of the switch were defined. The circuit was simulated with Saber software, and the result shows that the circuit achieves zero voltage switch for principal and assistant switches and over 0.98 high power factor under rated conditions and improves the efficiency and power density of the converter.

Keywords: power factor correction (PFC); active clamp; forward; single-stage; Saber software

0 引言

正激式变换器具有结构简单、工作可靠、输入输出电气隔离、易于多路输出等优点, 因而被广泛应用于中小功率变换场合^[1-2]。对称结构变换器能够在每个开关周期内进行自动复位, 但正激变换器需要使用复位机制进行磁复位。复位机制主要有 RCD 箝位电路、无损 LCD 缓冲器、有源箝位电路等, 有

源箝位电路与其它复位机制相比优点较多。传统有源箝位正激式变换器输出级采用半波整流, 励磁能量和漏感能量可回馈至电网, 但由于其主开关管为硬导通, 损耗较高。笔者提出一种有源箝位正激式单级功率因数校正 (power factor correction, PFC) 变换器, 能够实现主开关管、辅开关管的零电压开关 (zero voltage switch, ZVS), 额定条件下功率因数达 0.98 以上, 可以提高变换器的功率密度与效率^[3]。

收稿日期: 2012-02-25

基金项目: 湖南省教育厅高等学校科学研究基金资助项目 (09C334)

作者简介: 朱永祥 (1979-), 男, 江苏扬州人, 湖南工业大学讲师, 硕士, 主要研究方向为电力电子变流技术,

E-mail: zyx1998@sina.com

1 工作原理介绍

1.1 变换器拓扑结构

有源箝位正激式单级 PFC 变换器的拓扑结构^[4]如图 1 所示。 L_1 为储能电感, Q_1 为主开关管, 箝位电容 C_c 和箝位开关管 Q_2 串联构成有源箝位支路, C 为中间储能电容, L_m 为励磁电感, L_r 为变压器漏感和外加电感之和, C_r 是主开关管 Q_1 、箝位开关管 Q_2 的输出电容和变压器绕组的寄生电容之和, 变压器 T 为正激式变压器。该结构将 PFC 级和 DC/DC 级结合, 共用开关管 Q_1 及控制电路, 可以实现对输入电流的整形和输出电压的调节。

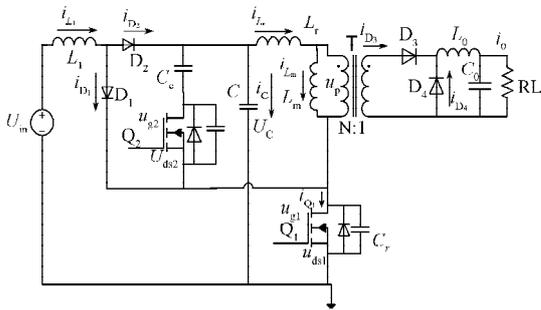


图 1 电路原理图

Fig. 1 The schematic diagram of the circuit

1.2 变换器工作模式

加入死区时间后, 各个开关管的驱动信号以及电路稳态时原理波形如图 2 所示。该变换器在一个开关周期内, 大致可分为 4 个工作模式^[5]。

1) 模式 1 ($t_0 < t \leq t_1$)。主开关管 Q_1 开通, 箝位开关管 Q_2 关断, 充电回路二极管 D_1 导通, 电源给电感 L_1 充电, 电感电流 i_{L1} 线性增加, 储能电容 C 放电给电感 L_1 和变压器原边; 变压器次边整流二极管 D_3 导通, 能量通过变压器传输给负载。当 $t=t_1$ 时, Q_1 关断, 该模式结束。

2) 模式 2 ($t_1 < t \leq t_2$)。该模式主开关管 Q_1 和箝位开关管 Q_2 均关断, 电感 L_1 释放能量为储能电容 C 充电; 当主开关管 Q_1 关断后, L_m, L_r, C_r 开始谐振, U_{C_r} 谐振升高。当 $U_{C_r}=U_C$ 时, 变压器短路, 次边二极管 D_3, D_4 换流, 输出端的电感 L_o 和电容 C_o 可以为负载提供能量。

3) 模式 3 ($t_2 < t \leq t_3$)。当 $U_r=U_c+U_{C_r}$ 时, 箝位开关管 Q_2 的体二极管导通, 对 U_{C_r} 箝位。储存在励磁电感和漏感中的能量开始通过 Q_2 的体二极管给箝位电容 C_c 充电, 变压器磁化电流 i_{L_m} 在箝位电容 C_c 的作用下线性降低, 变压器进入磁复位过程。箝位开关管 Q_2 两端电压接近零, 箝位开关管 Q_2 的导通过程为 ZVS 导通。当箝位开关管 Q_2 关断, 该模式结束。

4) 模式 4 ($t_3 < t \leq t_4$)。 t_3 时刻, 箝位开关管 Q_2 关

断, 变压器次边 D_3 关断, D_4 导通, 谐振电容放电, L_m, L_r, C_r 参与谐振。当 $U_{C_r}=U_C$ 时, 变压器次边开始换流, D_3 的电流从零开始增加, D_4 的电流逐渐减小, L_r, C_r 参与谐振。开关管 Q_1, Q_2 继续保持关断, 当 $U_{C_r}=0$, 变压器次边 D_3, D_4 都导通, 因此变压器原边电压为零, $U_{L1}=U_C$, i_{L1} 线性增加。为了实现 Q_1 的零电压开通, 在 Q_1 导通前, C_r 必须充分放电, 这样使 $U_{C_r}=0$, 这是实现辅开关管 ZVS 的条件, Q_1 开通时, 该模式结束, 进入下一周期。

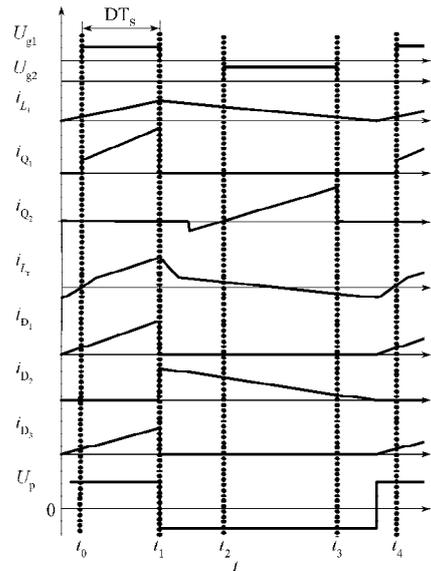


图 2 稳态时箝位电路工作波形图

Fig. 2 The waveform of steady-state clamping circuit

2 仿真实现

利用美国 Synopsys 公司开发的 Saber 仿真软件仿真实现该变换器, 并对其进行分析。该变换器具有过流保护、短路保护、过压保护功能^[1], 其性能指标有: 输入电压为 AC 165~265 V/50 Hz; 输出电压为 DC $48 \times (1 \pm 5\%)$ V; 额定输出功率为 60 W; 功率因数为 $PF \geq 0.98$ 。闭环反馈控制仿真电路如图 3 所示。

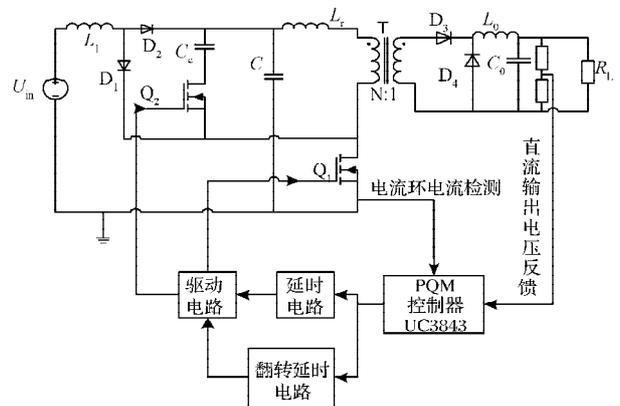


图 3 仿真电路图

Fig. 3 The circuit diagram of simulation

闭环反馈控制仿真电路主要由PWM控制器、延时电路、驱动电路等组成^[6-7],可以实现校正输入功率因数和稳定输出电压的功能。单级PFC变换器是PFC级和DC/DC级共用一个开关管 Q_1 ,且只有一套控制电路,实现对输入电流整形和输出电压调节^[8-9]。

3 仿真结果及分析

3.1 仿真参数设置

设计了60W的有源箝位正激式单级PFC变换器仿真电路。其具体参数如下:

变比 $k=2$;输入端电感 $L_1=24\text{mH}$;开关管 Q_1, Q_2 选用MOSFET驱动芯片IRF840;开关频率 $f_s=40\text{kHz}$;二极管 $D_1\sim D_4$ 选用快恢复二极管BYV26C;输出端滤波电感 $L_0=2\text{mH}$;输出端滤波电容 $C_0=33\mu\text{F}/100\text{V}$;储能电容 $C=64\mu\text{F}$;谐振电容 $C_r\approx 300\text{PF}$,谐振电感 $L_r=70\mu\text{H}$;箝位电容 $C_c=0.67\mu\text{F}$;控制电路采用PWM控制器UC3843;开关管驱动电路采用IR2110驱动芯片。

对仿真电路进行瞬态分析(transient analysis),仿真时间设置为5ms,步长为100ns,截断误差为0.005,采样密度取1。

3.2 主电路稳态工作时的仿真分析

对设计电路进行仿真实验^[10],主电路仿真波形如图4所示。

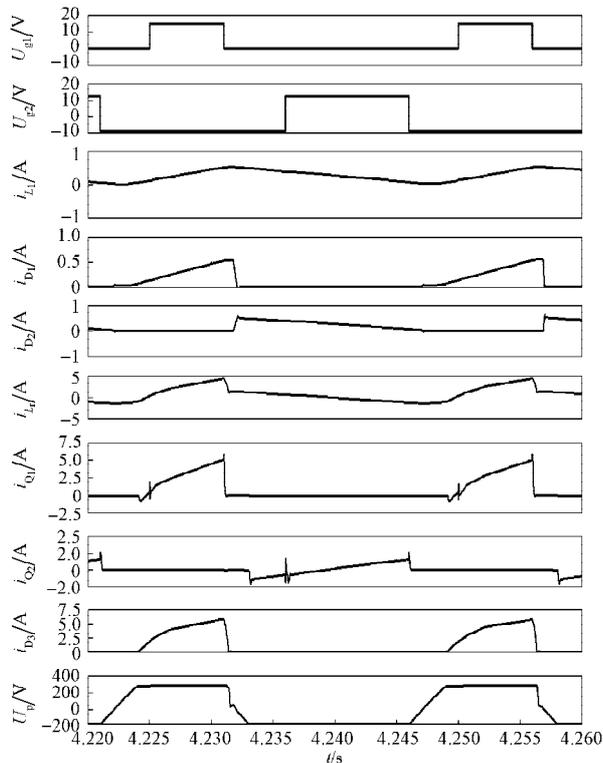


图4 主电路仿真波形图

Fig. 4 The main circuit simulation waveform diagram

从图4可以看出,有源箝位正激式单级PFC变压器的工作过程与本文所给出的理论分析一致,且证明了理论分析的正确性。开关管 Q_1, Q_2 驱动信号与开关管D级-S级两端电压仿真波形如图5所示。

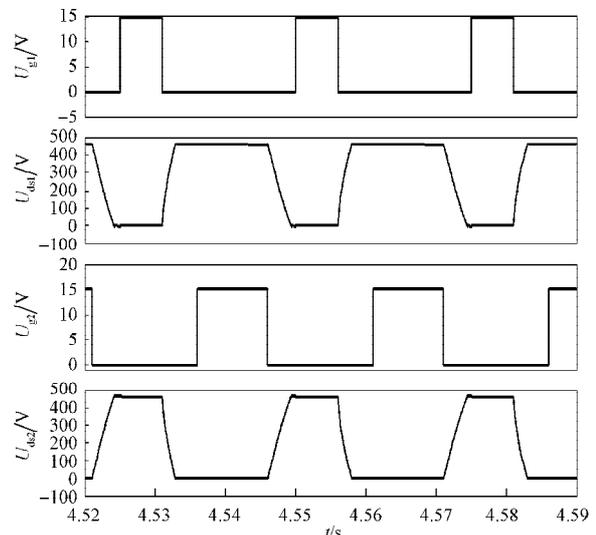


图5 开关管 Q_1, Q_2 驱动信号与端电压 U_{ds} 仿真波形图

Fig. 5 The MOSFET waveform figure of simulation

从图5可以看出,该变换器能实现主开关管、辅开关管的ZVS导通。

3.3 输入电压和输入电流的仿真波形

输入电压和输入电流的仿真波形见图6。从图6可以看出,由于输入电流没有进行滤波,所以包含了丰富的电流谐波包络,输入电流与输入电压同频同相,较好地实现了PFC功能,交流输入侧的功率因数可达到0.98以上。

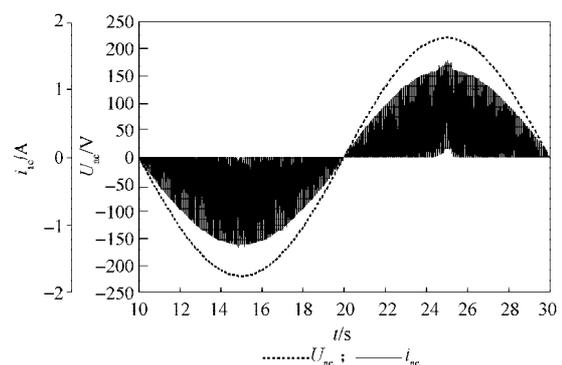


图6 输入电压和输入电流的仿真波形图

Fig. 6 The simulation waveform diagram for input voltage and current

4 结语

本文将PFC变换器和有源箝位DC/DC变换器相结合,设计了一种有源箝位正激式单级PFC变换器。仿真结果表明,该电路可实现主开关管、辅开关管

ZVS 导通, 额定条件下功率因数可以达到 0.98 以上, 能够实现高输入功率因数和高变换效率, 该变换器具有结构简单、成本较低等优点, 可广泛应用于多种高质量电源领域。

参考文献:

- [1] 陈德锋, 肖强晖, 廖无限. 一种 BUCK 型恒流源的输入特性研究[J]. 湖南工业大学学报, 2009, 23(6): 49-51.
Chen Defeng, Xiao Qianghui, Liao Wuxian. Research on the Input Characteristics of a BUCK-Type Constant-Current Power[J]. Journal of Hunan University of Technology, 2009, 23(6): 49-51.
- [2] 杨诗佳, 钱照明, 欧阳茜, 等. 改进型有源箝位正激电路的研究[J]. 电力电子技术, 2008, 42(5): 29-31.
Yang Shijia, Qian Zhaoming, Ouyang Qian, et al. Study of Improved Active-Clamp Forward Converter[J]. Power Electronics, 2008, 42(5): 29-31.
- [3] 刘青移, 王大庆, 贲洪奇. 新型有源箝位 ZVS 单级 PFC 变换器[J]. 电力自动化设备, 2011, 31(2): 62-67.
Liu Qingyi, Wang Daqing, Ben Hongqi. Active-Clamping ZVS Single-Stage PFC Converter[J]. Electric Power Automation Equipment, 2011, 31(2): 62-67.
- [4] 刘克承, 李 斌. 一种新颖的同步整流有源箝位正激变换器电路[J]. 电力电子技术, 2011, 45(4): 30-32.
Liu Kecheng, Li Bin. A Novel Circuit of the Active Clamp Forward Converter with Secondary Side Synchronous Rectification[J]. Power Electronics, 2011, 45(4): 30-32.
- [5] 严伟加, 谢运祥. 一种新颖有源箝位 ZVS 正激变换器的研究[J]. 通信电源技术, 2007, 24(3): 8-11.
Yan Weijia, Xie Yunxiang. Research on a Novel Active Clamp ZVS Forward Converter[J]. Telecom Power Technologies, 2007, 24(3): 8-11.
- [6] 夏泽中, 王 彬, 李 军. 基于 UC3842 的单端反激式开关电源的设计与分析[J]. 电源技术应用, 2008, 11(6): 6-9.
Xia Zezhong, Wang Bin, Li Jun. Design and Analysis of a Single Flyback Switching Power Supply Based on UC3842 [J]. Power Supply Technologies and Applications, 2008, 11(6): 6-9.
- [7] 李 冉, 茆美琴, 苏建微, 等. 基于 UC3844 控制的双管正激式变换器在电动自行车充电器中的应用[J]. 电源世界, 2007(1): 56-58.
Li Ran, Mao Meiqin, Su Jianhui, et al. Application of a Dual-Transistor Forward Switching Power Supply in Electric Bicycle Charger Based on UC3844[J]. The World of Power Supply, 2007(1): 56-58.
- [8] 陈亚爱, 张卫平, 张东彦, 等. 带有谐振 PFC 的单级 AC/DC 变换器研究[J]. 电力电子技术, 2009, 43(1): 3-4.
Chen Yaai, Zhang Weiping, Zhang Dongyan, et al. Study of a Single Stage AC/DC Converter with Resonant Model PFC[J]. Power Electronics, 2009, 43(1): 3-4.
- [9] 董晓伟, 裴云庆, 曹建安, 等. 一种新型单级 PFC 变换器的研究[J]. 电力电子技术, 2004, 38(4): 17-19.
Dong Xiaowei, Pei Yunqing, Cao Jian'an, et al. Research on A Novel Single-Stage PFC Converter[J]. Power Electronics, 2004, 38(4): 17-19.
- [10] 王建生, 刘文生. Saber 仿真在移相全桥开关电源研发中的应用[J]. 电力电子, 2009(4): 30-33.
Wang Jiansheng, Liu Wensheng. Application of Saber in Designing Phase-Shifted ZVS Full Bridge Converter[J]. Power Electronics, 2009(4): 30-33.

(责任编辑: 邓 彬)