

文章编号:1671-251X(2007)01-0027-03

一种单级 PFC 半桥变换器的研究

刘文彦¹, 阚全夫²

(1. 大同煤矿集团, 山西 大同 037003; 2. 徐州发电厂, 江苏 徐州 221166)

摘要:文章讨论了一种带有 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器。通过合适的参数选择, 这种变换器可以软开关方式高效率地工作, 同时保持简单的拓扑结构。详细分析了这种变换器的工作原理, 并给出了相关设计参数。通过 Matlab 仿真实验, 验证了该变换器工作原理的正确性。

关键词:零电压零电流开关; 半桥变换器; 单级 PFC; 软开关

中图分类号: TM564 **文献标识码:** A

Study of a Half-bridge Converter of Single-stage PFC

LIU Wen-yan¹, KAN Quan-fu²

(1. Datong Coal Mine Group, Datong 037003, China. 2. Xuzhou Power Plant, Xuzhou 221166, China)

Abstract: The paper discussed a half-bridge converter of single-stage PFC with ZVZCS. By the application of suitable selection of the circuit parameters, this converter could work as the operation mode of soft switch in a very high efficiency, and keep the simple topology as well. The working principle was explained and analyzed in detail, and the correlative design parameters were provided too. The simulation experiment by Matlab showed that the working principle of the converter is feasible.

Key words: ZVZCS, half-bridge converter, single-stage PFC, soft switch

0 引言

随着电力电子技术的发展, 对电能变换装置的要求越来越高, 特别是对输入功率因数的要求也越来越高。目前应用较多的是两级功率因素校正 (Power Factor Correction, PFC) 电路^[1], 它采用 PFC 与 DC/DC 变换电路相串联的形式。尽管其能够获得很好的性能, 但是体积大、成本高, 电路比较复杂^[2]。因此, 单级 PFC 成为近年来的研究热门, 出现了很多拓扑结构。本文针对一种新型的带有零电压零电流开关 (Zero Voltage Zero Current Switch, ZVZCS) 的单级 PFC 半桥变换器进行理论分析和 Matlab 仿真分析, 通过实验验证了设计的合理性, 也为电源的进一步设计提供了科学依据。

1 电路组成和工作原理

带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的拓扑结构

图如图 1 所示。

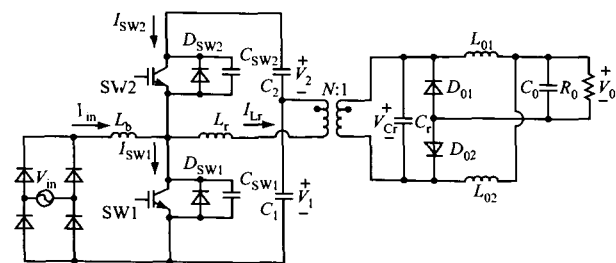


图 1 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的拓扑结构图

为了分析上述变换器的工作情况, 半个输入周期被分为 6 个工作模式, 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器主要波形如图 2 所示。为了便于分析, 作了如下假设: 整流后的电压为恒定值 V_{in} ; 所有的二极管和开关管都是理想的; C_1 和 C_2 上的电压分别为 V_1 和 V_2 ; C_1 和 C_2 完全一样; 输出电压近似为常数 V_0 。

(1) 开关模式 1 时段 $[t_0, t_1]$

如图 3 所示, 在 t_0 时刻, 输入电感 L_b 的电流为零, C_{sw1} 的电压为零, D_{sw1} 续流。从 t_0 开始, 输入电流 I_{in} 流经谐振电感 L_r 给 C_1 充电。变压器次级

收稿日期: 2006-11-10

作者简介: 刘文彦 (1965-), 男, 高级工程师, 现任大同煤矿集团副总工程师, 长期从事煤矿生产机电管理工作, 已发表论文多篇。

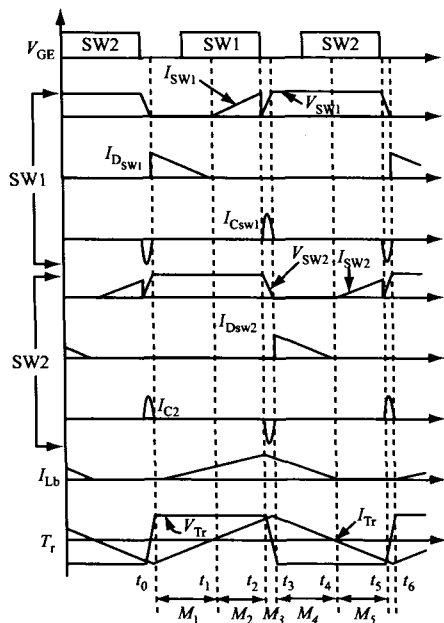


图2 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的主要波形
给负载提供能量。由于谐振电感电流 I_{Lr} 小于 I_2/n (I_2 为变压器次级电流, n 为变压器变比), 故整流二极管 D_{01} 仍然导通。这时, C_r 的电压被钳位到输出电压。 I_{Lr} 和输入电流 I_{in} 线性增长。

$$I_{Lr}(t) = I_{D_{sw1}}(t) = \frac{V_1 - nV_{Cr}}{L_r}(t - t_0) \quad (1)$$

$$V_{C_{sw1}}(t) = 0 \quad (2)$$

$$I_{in}(t) = \frac{V_{in} - V_1 + nV_{Cr}}{L}(t - t_0) \quad (3)$$

$$L = L_b + L \quad (4)$$

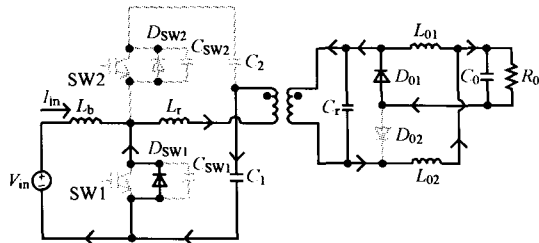


图3 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的
开关模式 1 示意图

(2) 开关模式 2 时段 $[t_1, t_2]$

如图 4 所示: 在 t_1 时刻, 由于 C_1 和 L_r 谐振, I_{Lr} 开始反向, 即 C_1 开始放电。 D_{sw1} 反向偏置, 输入电流开始流过 SW1。在这种模式下, $I_{in}(t)$ 线性增长。在变压器的次级, 由于原边电流反向, D_{02} 导通, D_{01} 截止。因此, 输出功率主要来自变压器原边经过二极管 D_{02} 。这个模式在 SW1 截止时结束。

$$I_{sw1}(t) = (I_{in} + I_{Lr})(t - t_0) \quad (5)$$

$$I_{in}(t) = \frac{V_{in}}{L_b}[t - t_1 + T(t - t_0)] \quad (6)$$

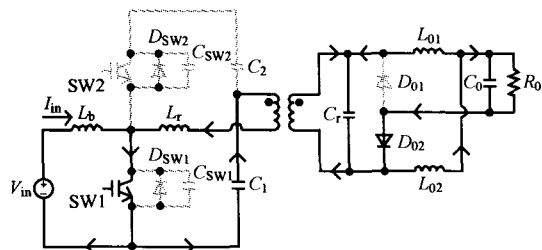


图4 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的
开关模式 2 示意图

(3) 开关模式 3 时段 $[t_2, t_3]$

如图 5 所示: 在 t_2 时刻, SW1 截止, 输入电流 I_{in} 开始减小。同时, C_{sw1} 、 C_{sw2} 、 C_1 和 C_2 与 L_r 发生谐振。在这个模式中, 寄生电容 C_{sw1} 和 C_{sw2} 由于谐振而反复充放电。正是由于寄生电容的低阻抗, SW1 可以在零电流的时候被关断, 因此大大地减小了关断损耗。

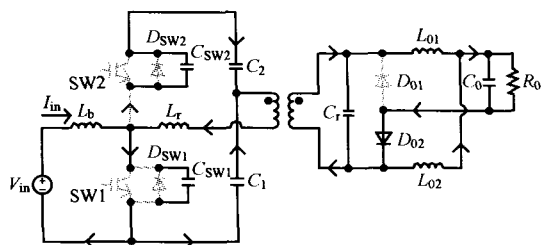


图5 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的
开关模式 3 示意图

(4) 开关模式 4 时段 $[t_3, t_4]$

如图 6 所示: 在 t_3 时刻, C_{sw2} 的电压为零, 与之反并联的 D_{sw2} 和开关 SW2 导通。在这个模式中, C_2 和 L_r 继续谐振, 输入电感电流线性减小。

$$I_{Lr}(t) = \frac{V_2 - nV_{Cr}}{L_r}(t - t_3) \quad (7)$$

$$I_{in}(t) = \frac{V_{in} - (V_1 + V_2)}{L_b}(t - t_3) \quad (8)$$

$$I_{D_{sw2}}(t) = \frac{[V_{in} - (V_1 + V_2)] \cdot L_r + (V_2 - nV_{Cr}) \cdot L_b}{L_b \cdot L_r}(t - t_3) \quad (9)$$

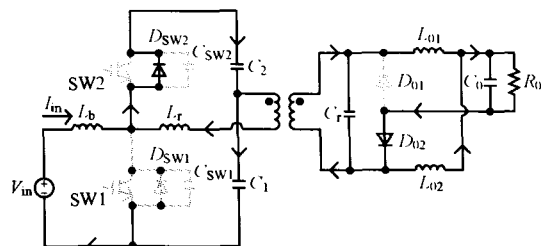


图6 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的
开关模式 4 示意图

(5) 开关模式 5 时段 $[t_4, t_5]$

如图 7 所示:在 t_4 时刻,由于 C_2 和 L_r 的谐振, I_{Lr} 开始改变它的方向,结果 D_{Sw2} 关断, SW2 导通,漏感电流 I_{Lr} 线性减小。在变压器副边,由于原边电流反向, D_{01} 导通, D_{02} 关断。这里需要注意的是,在这个模式中,输入电流 I_{in} 必须为 0,以保证下一个周期中的 ZVS。

$$I_{Lr}(t) = \frac{V_2 - nV_{Cr}}{L_r}(t - t_3) \quad (10)$$

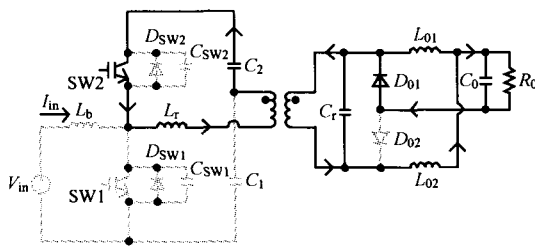


图 7 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的
开关模式 5 示意图

(6) 开关模式 6 时段 $[t_5, t_6]$

如图 8 所示:在 t_5 时刻, SW2 在零电流的时候关断,和模式 3 一样, C_{sw1} 、 C_{sw2} 、 C_1 、 C_2 再次和 L_r 发生谐振。 C_1 充电, C_2 放电。在 t_6 时刻 C_{sw1} 的电压变为 0。在这个模式中,输入电流始终为 0。

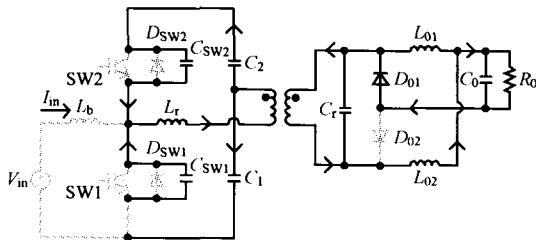


图 8 带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器的
开关模式 6 示意图

2 仿真实验与结果说明

为了验证本文所讨论的电路拓扑及控制方式的可行性以及上述分析的正确性,对图 1 所示电路进行了计算机仿真分析。电路主要参数如下:

$V_{in} = 120 \text{ V AC}$; $L_b = 192.6 \mu\text{H}$; $L_r = 6.9 \mu\text{H}$;
 $C_1 = C_2 = 500 \mu\text{F}$; $C_{sw1} = C_{sw2} = C_r = 20 \text{ nF}$; $C_0 = 2 \text{ 200} \mu\text{F}$;
 $L_{01} = L_{02} = 20 \mu\text{H}$; 开关频率 = 5 kHz; 变

压器 T_r 变比为 1.6 : 1

图 9 为图 1 所示电路中二极管 D_{Sw2} 的电流波形、开关管 SW2 的电流波形、开关管 SW2 的管压降和寄生电容 C_{Sw2} 上的电流波形。IGBT 门极信号是在时间为 7.5、7.7、7.9 时刻给出的,可以看出,IGBT 管是零电压开通的。由于寄生电容 C_{Sw2} 的存在,使得 IGBT 管在零电流时关断。因此,该拓扑结构中的 IGBT 管的开通与关断都是软的,从而大大地降低了开关损耗。

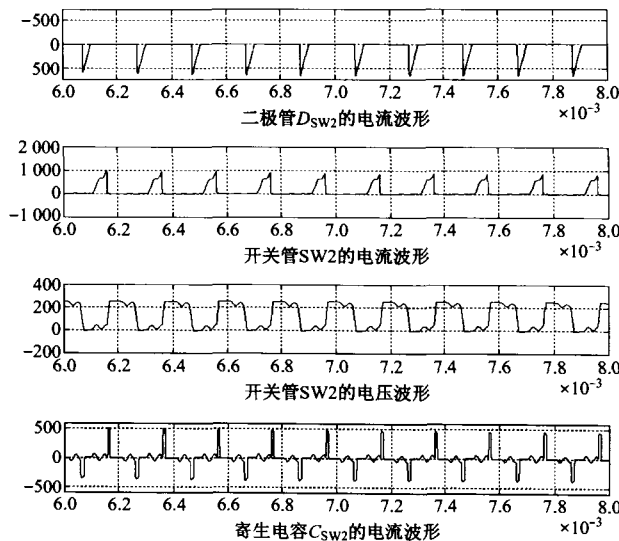


图 9 IGBT 管上的电流、电压波形

3 结论

本文讨论的带 ZVZCS 的单级 PFC 半桥变换器,其电路结构非常简单、效率高。值得注意的是,理论上该拓扑结构具有良好的性能,但是实际操作未必能实现它的所有优点,因为参数的选择很关键,尤其是谐振电感 L_b 和寄生电容 C_{sw1} 、 C_{sw2} ,它们的参数选择将直接影响到 IGBT 管能否实现软开关功能。

参考文献:

[1] 张占松,蔡宣三. 开关电源的原理与设计[M]. 北京:机械工业出版社,2004.
[2] 黄盛磊,夏东伟,李永臣. 一种新型的单相三电平功率因数校正电路[J]. 科技情报开发与经济,2005(24).