

单相 UPS 的双半波 PFC 电路分析

Analysis of Dual Half-Wave PFC for Single-Phase UPS

吴钊铭¹, 任开春¹, 王秋虹¹, 张迁², 彭薇¹

1. 重庆通信学院 (重庆, 400035);

2. 总参通信工程设计研究院 (沈阳, 110005)

Wu Zhaoming¹, Ren Kaichun¹, Wang QiuHong¹, Zhang Qian², Peng Wei¹

1. Chongqing communication institute (Chongqing, 400035);

2. communication engineering design institute (Shenyang, 110005)

摘要: 目前, 单相 UPS 的逆变电路主要采用半桥结构。但普通全桥型 PFC 电路难以为其提供电源, 而双半波 PFC 电路适合为半桥逆变电路提供电源。针对单相 UPS 的一种双半波 PFC 电路, 分别使用 UCC28180D 和 TMS320F28027 作为控制芯片, 进行了控制系统设计。结果表明, TMS320F28027 更适合双半波 PFC 控制系统的设计, 为半桥逆变电路的前级 PFC 设计提供了一种思路。

关键词: UPS 双半波 PFC UCC28180D TMS320F28027

Abstract: At present, the half-bridge inverter circuit is used in single-phase UPS. It is difficult to provide appropriate power supply for the half-bridge inverter using ordinary full-bridge PFC, but dual half-wave PFC could do it easily. The control system respectively based on UCC28180D and TMS320F28027 was designed for a dual half-wave PFC in single-phase UPS. The results show that TMS320F28027 is more suitable for dual half-wave PFC control system design. And this paper could help designing of PFC for the half-bridge inverter.

Key words: UPS, Dual half-wave PFC, UCC28180D, TMS320F28027

[中图分类号] TN713 [文献标识码] A 文章编号: 1561-0349 (2015) 02-0021-03

0 引言

不间断电源 (UPS) 具有供电可靠、不间断输出的特点, 能够为数据中心、服务器机房、通信设备等提供高质量的电源, 成为重要的电源供应设备^[1]。

UPS 的主回路, 由功率因数校正 (PFC) 电路、DC-AC 逆变电路、蓄电池充电及升压电路组成。其中, PFC 的功能是提高功率因数、抑制电流谐波^[2], 为后级 DC-AC 逆变电路提供电源。

本文对单相 UPS 的一种 PFC 电路进行分析, 包括功率主回路和控制系统两部分。

1 双半波 PFC 电路

常见 PFC 结构有全桥整流 BoostPFC、并联交错 BoostPFC、无桥 BoostPFC 和半无桥 BoostPFC 等^[3], 如图 1 所示, 其输出端均为单一电压。而单相 UPS 的逆变电路常采用半桥结构, 如图 2 所示。为与半桥逆变电路匹配, 单相 UPS 的

PFC 电路需要有一组正负电压输出。如果使用图 1 中 4 种电路进行设计, 其输出端还要加上一个电压反向电路, 或者使用变压器将单电压转换成双电压。并且控制设计会变得复杂。

为简化电路结构, 一种双 Boost 型电路被应用到单相 UPS 的 PFC 电路设计中, 如图 3 所示。该电路既能输出一组正负电压, 而且其贯通的零线能够与后级逆变器组成共零线结构, 利于输出切换。由于该电路分别对输入电压的正负半周进行功率因数校正, 即每组 Boost 电路只整流半个周波, 并且控制设计上也是针对半周控制, 因此, 本文称之为双半波 PFC。

双半波 PFC 电路的工作原理如下: D_1 、 L_1 、 Q_1 、 D_3 和 C_1 组成正半周 Boost 电路, 而 D_2 、 L_2 、 Q_2 、 D_4 和 C_2 组成负半周 Boost 电路, 在正、负半周期内交替工作。

2 基于 UCC28180D 的双半波 PFC 控制系统

PFC 的工作模式有连续电流模式 (CCM)、断续电流模式 (DCM) 和临界导通模式 (CRM)。PFC 的控制策略有峰

值控制法、滞环控制法、平均电流控制法等^[4]。在小功率场合，PFC 常工作在 DCM 和 CRM 模式下。在中、大功率场合，PFC 的控制设计常采用连续电流模式下的平均电流控制法^[5]。本文采用平均电流控制法，对 PFC 进行控制设计。

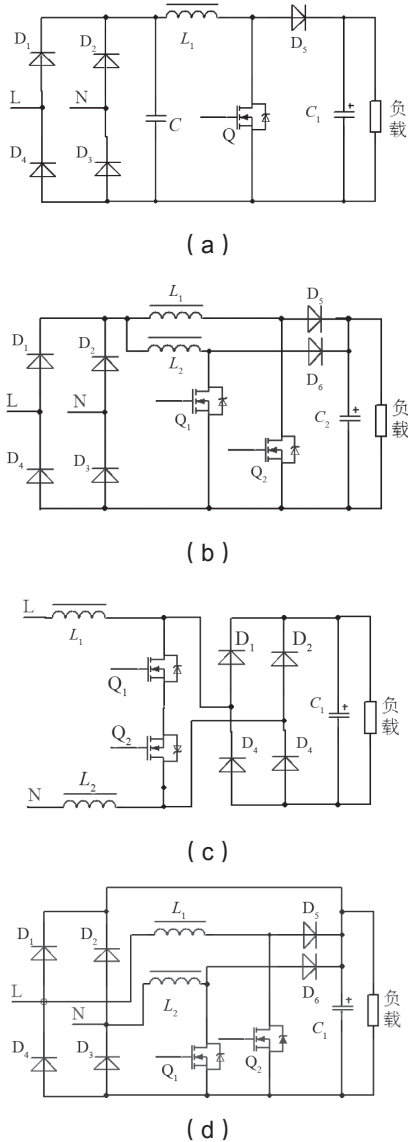


图1 常见 PFC 电路：(a) 全桥整流 BoostPFC 电路；(b) 并联交错 BoostPFC 电路；(c) 无桥 BoostPFC 电路；(d) 半无桥 BoostPFC 电路

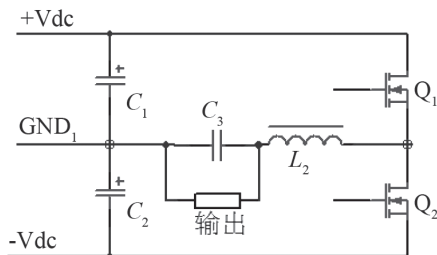


图2 半桥逆变电路

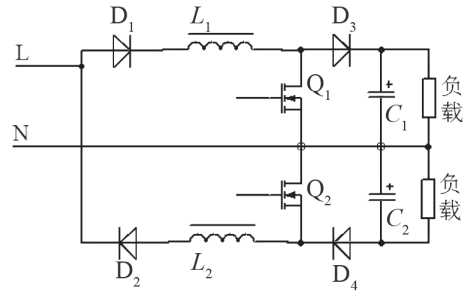


图3 双半波 PFC 电路

PFC 的控制设计，采用集成芯片是比较简单、方便的做法。但是，市场上的集成芯片都没有明确支持双半波 PFC 拓扑，多应用于全桥整流 Boost PFC、交错 Boost PFC 和无桥 Boost PFC。由于集成芯片只采样一组输出电压，双半波 PFC 的每路 Boost 电路都需要配置一组单独的控制系统。本文使用 UCC28180D 对双半波 PFC 进行控制设计。

UCC28180D 是 TI 公司于 2013 年发布的最新型 PFC 集成芯片。该芯片为 8 引脚封装，无需采样输入交流电压，开关频率为 18kHz 到 250kHz，优化后的电流环能够获得较低的电流谐波畸变率，具有输出过电压保护，动态响应快。

文献 [6] 给出了 UCC28180D 的外围电路设计案例。为适用于双半波 PFC，对其进行改进，如图 4 所示。其中，电路的各项参数已经在图中标示，基于 UCC28180D 的控制电路有两个，参数一致。

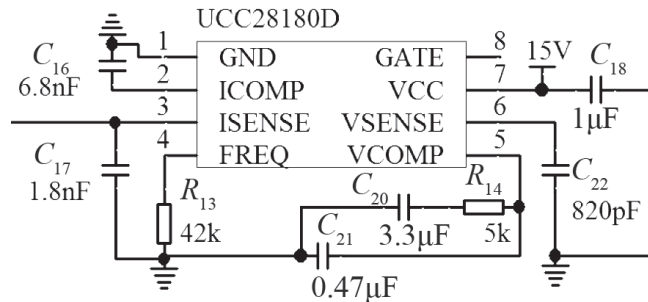


图4 基于 UCC28180D 的控制电路

3 基于 TMS320F28027 的双半波 PFC 控制系统

TMS320F28027 是 TI 公司针对工业控制研发的高速微控制器之一，具有高效的 32 位 CPU，工作频率为 60MHz，还有增强型脉宽调制器、模数转换器等外设，性价比很高。

本文采用常用的平均电流控制法，设计双半波 PFC 控制器，控制流程如图 5 所示。其中， I_{sense1} & I_{sense2} 综合表示对两路 Boost 电路电流的采样， V_{out1} & V_{out2} 表示对正负电压采样， I_{limit} 表示电流限值， V_{olimit} 和 V_{ilimit} 分别表示输入和输出电压的可靠区间。

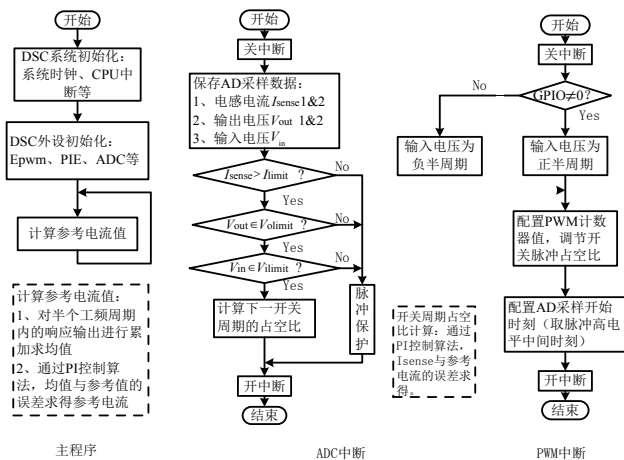


图5 基于TMS320F28027控制流程

基于图3所示电路结构，图4中输出电压可通过霍尔电压传感器、差分放大电路等采样；电感电流可通过电流互感器、霍尔传感器等采样；PWM输出需隔离，方便整个控制电路零电位设计。开关频率为50kHz，采用后沿调制，在脉冲上升沿产生PWM中断，在脉冲高电平中间时刻产生AD采样开始信号。GPIO采集锁相电路的信号对输入正负半波进行辨识。

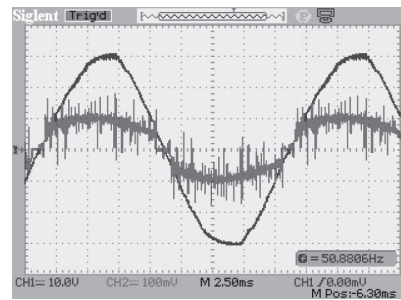
4 系统实现

本文使用鼎阳SDS1102CM示波器、远方电量测量仪PF9811对两种控制器设计方案的运行效果进行对比。其中，双半波PFC输出功率设定为1300W，输入波形如图6所示。

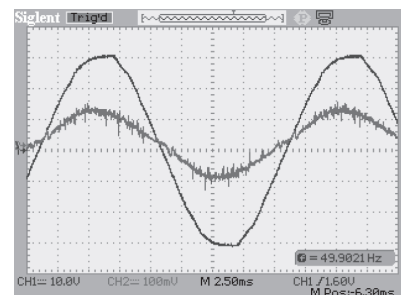
由图6(a)波形可知，基于UCC28180D设计的控制器控制效果不太理想，输入电流逼近正弦的程度不高，导致输入电流THD达到14%，其中三次谐波畸变率略高，达到10%。而图6(b)电流波形近似正弦，此时THD值为6.2%，三次谐波畸变率为5%。两种控制方式都具有较高的功率因数，达到0.9以上。基于UCC28180D和基于TMS320F28027控制的PFC电路，其功率因数分别为0.94和0.99。因此，基于高速微控制器对双半波PFC电路设计的控制方案更优。

5 结论

本文从电路结构和控制系统设计两方面分析了双半波PFC电路，对UCC28180D和TMS320F28027的控制效果进行了分析。结果表明使用TMS320F28027进行控制设计具有一定优势。并且使用TMS320F28027有利于系统维护和控制程序的后续升级，还有利于对UPS各模块进行整合。



(a)



(b)

图6 输入电压和输入电流波形：(a)基于UCC28180D控制器；(b)基于TMS320F28027控制器

参考文献

- [1] 徐珊珊. UPS面临技术变革 [N]. 通信产业报, 2013-11-18(23).
- [2] 李娅妮. 单周期临界导通PFC转换器控制模式及关键技术研究 [D]. 西安电子科技大学, 2010.
- [3] Yun-Sung Kim, Won-Yong Sung, Byoung-Kuk Lee. Comparative Performance Analysis of High Density and Efficiency PFC Topologies [J]. IEEE TRANSACTION ON POWER ELECTRONICS, 2014, 29(6): 2666-2679.
- [4] 周志敏. 开关电源功率因数校正电路设计与应用 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2004.
- [5] 陈勇, 代文平, 周俊. 一种基于新型无桥BoostPFC通信电源AC/DC变换器设计 [J]. 电力系统保护与控制, 2013, 41(12): 123-130.
- [6] TEXAS INSTRUMENTS. SLUSBQ5A [Z]. 2013, 11.

作者简介

吴钊铭(1990-), 男, 四川乐山人, 硕士研究生, 研究方向: 嵌入式系统控制理论及其应用。

(上接第39页)

[7] 李顺康. 论电涌保护器(SPD)的正确选用. 2004全国建筑行业高峰论坛文集, 55-65页. <http://wenku.baidu.com/176e0c2e0066f5335a8121b2.html>

[8] 陈绍东, 王孝波, 李斌, 杨少杰. 标准雷电波形的频谱分析及其应用. 气象. 第32卷第10期, 11-19页, 2006年10月 一壶浊酒喜相逢, 古今多少事, 都付笑谈中。