

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。

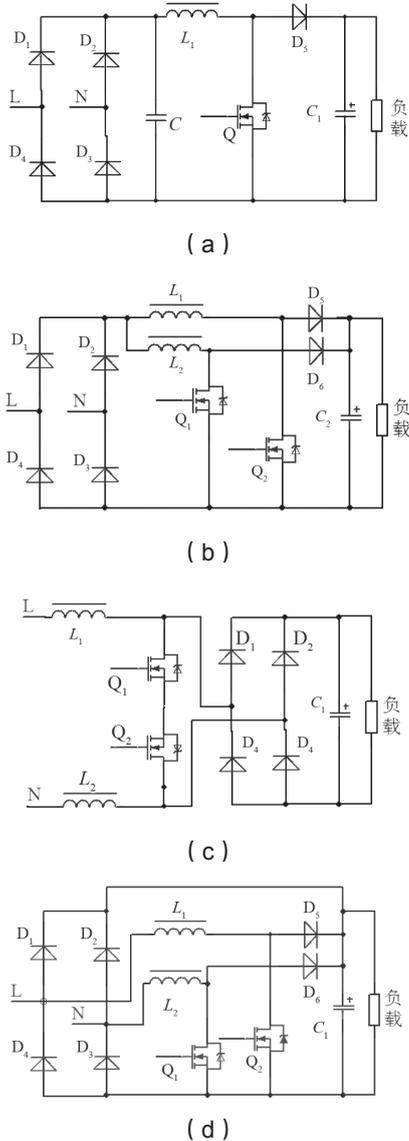


图 1 常见 PFC 电路：(a) 全桥整流 BoostPFC 电路；(b) 并联交错 BoostPFC 电路；(c) 无桥 BoostPFC 电路；(d) 半无桥 BoostPFC 电路

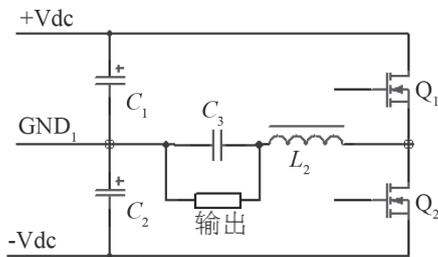


图 2 半桥逆变电路

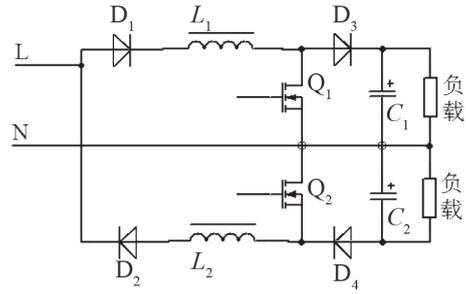


图 3 双半波 PFC 电路

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。

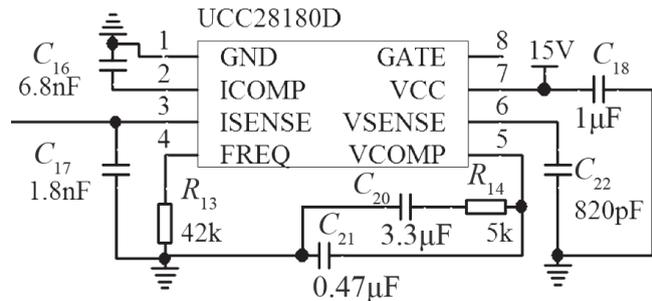


图 4 基于 UCC28180D 的控制电路

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。

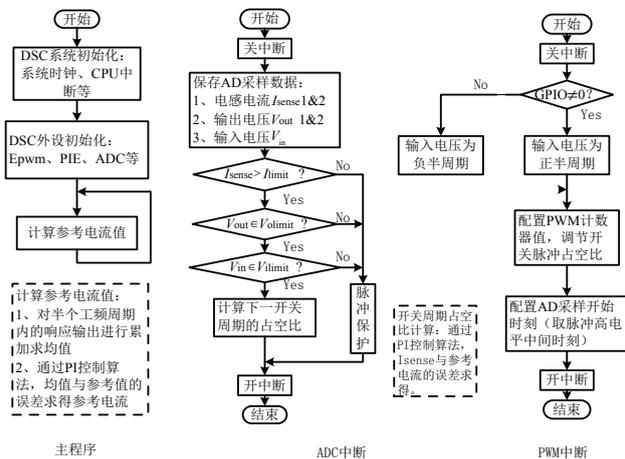


图5 基于TMS320F28027控制流程

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。

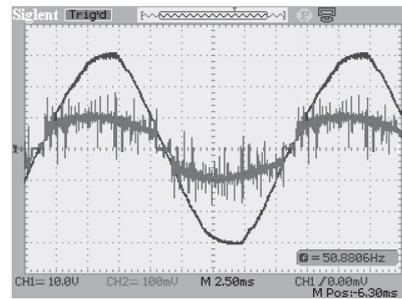
4 系统实现

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。

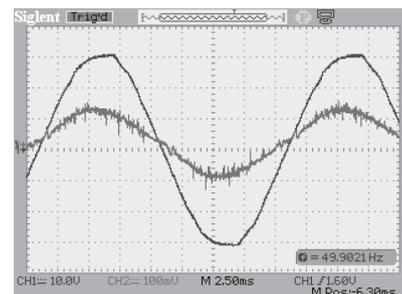
由图6(a)波形可知，基于UCC28180D设计的控制器控制效果不太理想，输入电流逼近正弦的程度不高，导致输入电流THD达到14%，其中三次谐波畸变率略高，达到10%。而图6(b)电流波形近似正弦，此时THD值为6.2%，三次谐波畸变率为5%。两种控制方式都具有较高的功率因数，达到0.9以上。基于UCC28180D和基于TMS320F28027控制的PFC电路，其功率因数分别为0.94和0.99。因此，基于高速微控制器对双半波PFC电路设计的控制方案更优。

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。