

Control System Research on On-Board Battery Charger Based on Interleaved Buck Circuit

Chengbo Wang

Engineering Department, Bombardier NUG Propulsion System Co. Ltd., Changzhou Jiangsu
Email: cbw_sunshine@163.com

Received: June 2nd, 2019; accepted: June 17th, 2019; published: June 24th, 2019

Abstract

According to the needs of Beijing Pinggu Line subway vehicles, an on-board charger based on an interleaved Buck circuit is developed for battery charging and auxiliary power for the load. The hardware system of the on-board battery charger is proposed in the paper, the basic working principle of the on-board battery charger is analyzed, digital control strategy of the converter is proposed on these bases, and then PSIM simulation mode is constructed. Finally, the validity and reliability of the control system are verified by experiment.

Keywords

Interleaved Buck, Battery Charger, PSIM, Control Strategy, Simulation Mode

基于交错Buck电路的车载充电机控制系统研究

王成波

新誉庞巴迪牵引系统有限公司, 工程部, 江苏 常州
Email: cbw_sunshine@163.com

收稿日期: 2019年6月2日; 录用日期: 2019年6月17日; 发布日期: 2019年6月24日

摘要

基于北京平谷线地铁车辆的需求, 开发了一款基于交错Buck电路的车载充电机用于蓄电池充电和为负载提供辅助电源, 文中提出了车载充电机的硬件系统, 分析了车载充电机的基本工作原理, 提出了该变换器的数字控制策略, 在此基础上建立了PSIM的仿真模型, 最后通过实验验证了所提出控制策略的正确性和合理性。

关键词

交错Buck, 充电机, PSIM, 控制策略, 仿真模型

Copyright © 2019 by author and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

车载充电机对于整个地铁车辆而言有着非常重要的作用, DC110V 的蓄电池需要车载充电机充电, 车辆正常运行情况下通道照明、制动控制、司机室控制需要车载充电机为其提供辅助 110V DC 的电源。基于北京平谷线地铁业主的需求, 开发了一款交错 Buck 电路的车载充电机。硬件上采用三电平降压开关技术[1], 软件上基于 DSP TMS320F28335 实现数字智能化交错控制。

文中给出了车载充电机的硬件拓扑, 分析了其工作原理, 在此基础上, 提出了电压、电流闭环的 PR 数字控制策略, 为了验证所提出控制方法的有效性, 构建了基于电压、电流闭环的数字控制系统。文中基于 PSIM 软件搭建了系统的仿真模型, 最后, 通过实验, 验证其控制方法的有效性和可靠性。

2. 车载充电机的工作原理

基于交错 BUCK 三电平的车载充电机硬件拓扑如图 1 所示, 其中, 输入侧为交流 $380 \pm 10\%V$, 来自车辆上的 ACM 输出(即辅助变流器模块), 由于 ACM 的输出电压含有谐波分量和高频干扰, 为了滤除谐波以及消除高频干扰, 因此在输入侧加入 EMI 滤波器; D1-D6 组成三相全桥整流电路, 为了使直流母线电容 C1, C2, C3, C4 上的电压缓慢上升, 避免大电压对电容的冲击从而影响电容的寿命, 故在电路中加入预充电电路, S1 为充电接触器, R1 为充电电阻, S2 为分离接触器, 这在很大程度上起到对电容保护的功能, 防止电容损坏。

图中, C1, C2, C3, C4 既是直流母线稳压电容, 也是后级三电平直流降压电路的分压电容, 其容量很大并且相等, C1, C2, C3, C4 两端的电压均为直流母线电压的一半, D7 & D8 为续流二极管, L2 为滤波电感, C5 为滤波电容; 图 1 中 IGBT VT1, VT2 交错工作, 即其驱动信号移相 180° , 开关管在一

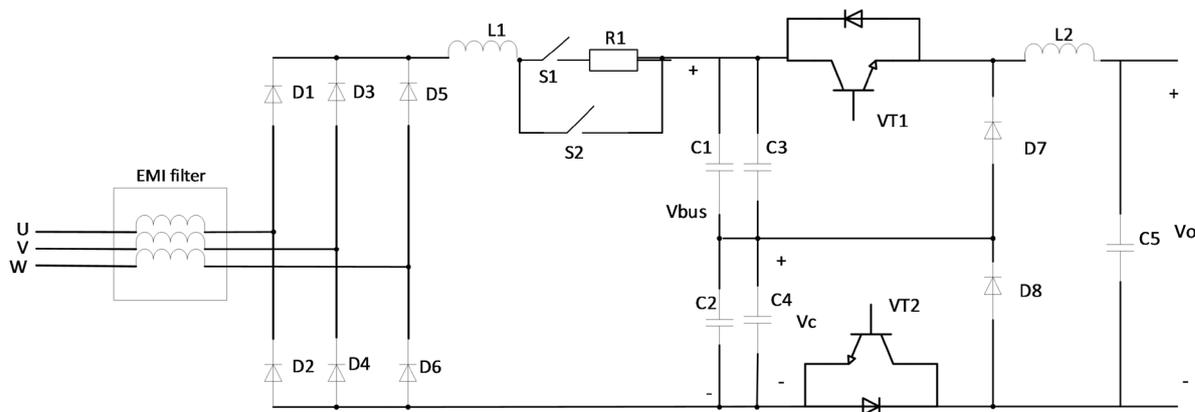


Figure 1. Topology structure of on-board battery charger

图 1. 车载充电机拓扑结构

个工作周期内的工作模态在此不作详细的分析,可参考文献[2]。

接触网正常时,地铁车辆受电弓升弓,升弓后当 ACM 工作正常时,即车载充电机输入侧有交流 380 V \pm 10% 电压,整流后转换为 DC450V-564V 的直流电压信号,经直流降压三电平变换器后输出电压的范围为 DC78V-130V,经过滤波电路后,使输出电压、电流稳定输出。

3. 车载充电机数字控制策略

针对车载充电机的特点,设计了基于 TMS320F28335 DSP (即数字信号处理器)的双闭环控制系统,如图 2 所示。

图中,PT 为电压传感器,CT 为电流传感器。由图 2 可以看出,根据蓄电池不同的充电阶段,此控制系统由双电压 PR 控制器或者外环为电流 PR 控制器,内环为母线电压 PR 控制器相互作用,用来控制开关管 VT1 和 VT2 的导通与关断,输出电压或输出电流经 PR 调节器作用后,作为飞跨电容电压环的反馈量,与载波信号调制后生成 PWM 信号用于驱动下管 VT2;飞跨电容电压环经 PR 调节器作用后用于输出电压环或者输出电流环的反馈量,与载波信号调制后生成 PWM 信号用于驱动上管 VT1,(其中 VT1 的驱动信号与 VT2 的驱动信号交错导通,相位移相 180°)。

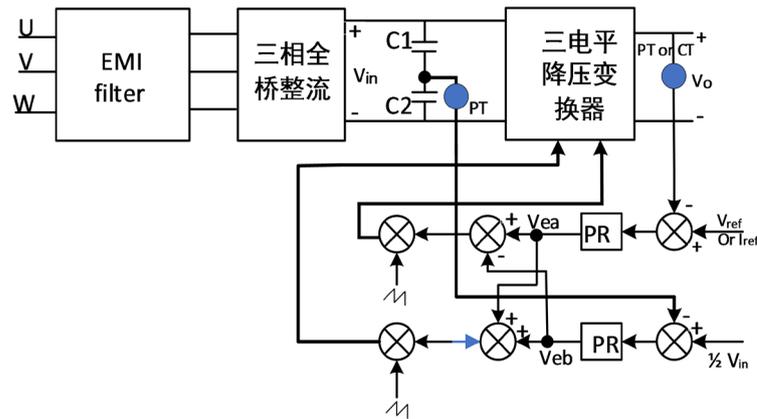


Figure 2. Digital control system of on-board battery charger

图 2. 车载充电机数字控制系统

若变换器工作在稳定状态,若飞跨电容(即 C1 & C3 或 C2 & C4)两端的电压受到扰动而上升,如图 2 所示, $V_c > 1/2 V_{bus}$, 此时,电容电压 PI 调节器输出的结果为负(即 $V_{eb} < 0$),因此 $V_{ea} - V_{eb}$ 结果增大,使得 VT1 的占空比增大, V_c 则减小, V_c 减小会导致 $V_{eb} + V_{ea}$ 减小,进而 Q2 占空比减小,从而使电容电压稳定在 $1/2 V_{bus}$ [3] [4],输出电压、输出电流按照蓄电池的充电曲线,稳定输出。

4. 基于 PSIM 软件的车载充电机控制系统仿真研究

为了验证数字控制策略的合理性,以输出双电压闭环 PR 控制器为例建立系统仿真模型,如图 3 所示:

图 3 中,开关频率设为 15K,直流输入电压(即图 1 中三相全桥不可控整流后的电压)设为 520VDC, $C2 = C3 = 100 \mu\text{F}$, $L1$ 为 0.5 mH, $C1$ 为 500 μF ,负载 R 设为 500 Ω 。

从图 4 可以看出,开关管 VT1&VT2 交错导通,互相移相 180°角度,与理论分析完全吻合。

图 5 为车载充电机输出电压波形,从图中可以看出,输出电压波形没有出现震荡或纹波过大的现象,输出电压稳定可靠。

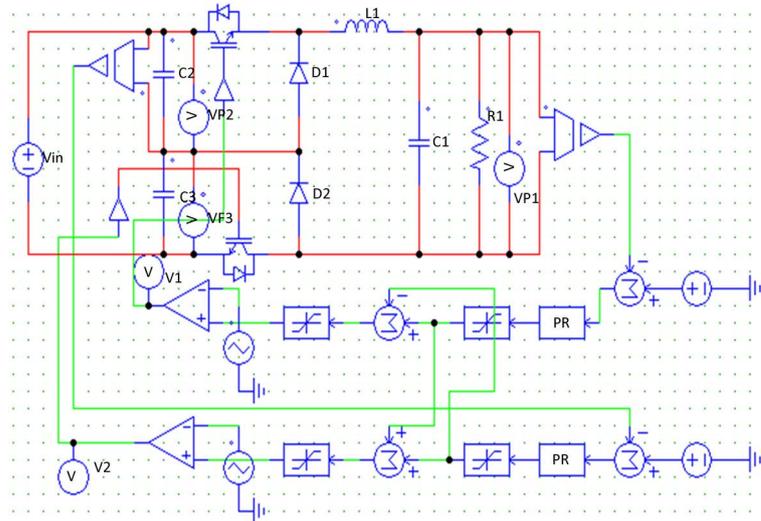


Figure 3. Simulation model of on-board battery charger control system
图 3. 车载充电机控制系统仿真模型

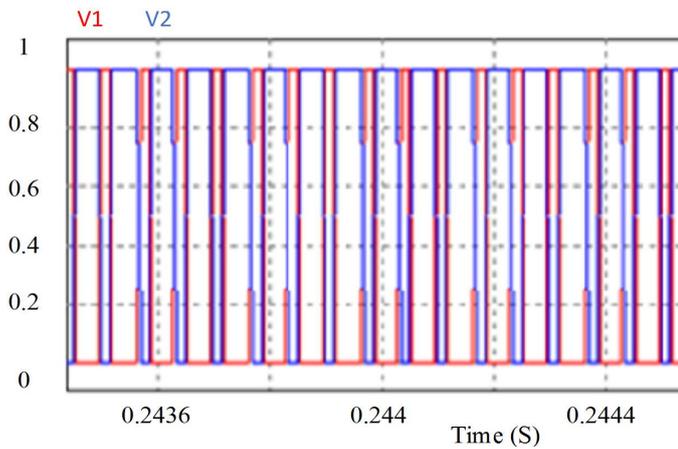


Figure 4. PWM drive wave
图 4. 驱动 PWM 波形

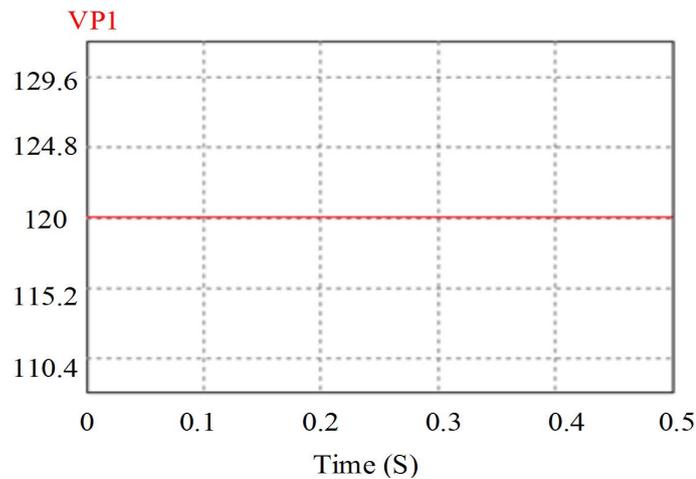


Figure 5. Output voltage wave
图 5. 输出电压波形

5. 实验分析

为了验证基于 Buck 交错三电平车载充电机的控制策略上，在实验样机上进行试验研究，调节交流输入端的电压，使直流母线电压稳定输出 DC520V，图 6 所示为 VT1 和 VT2 的驱动信号，从图中可以看出两驱动 PWM 信号幅值相同，相位相差 180°，为了防止两个管子出现同时导通或者同时关断的现象在驱动波形的上升沿和下降沿均设有死区。

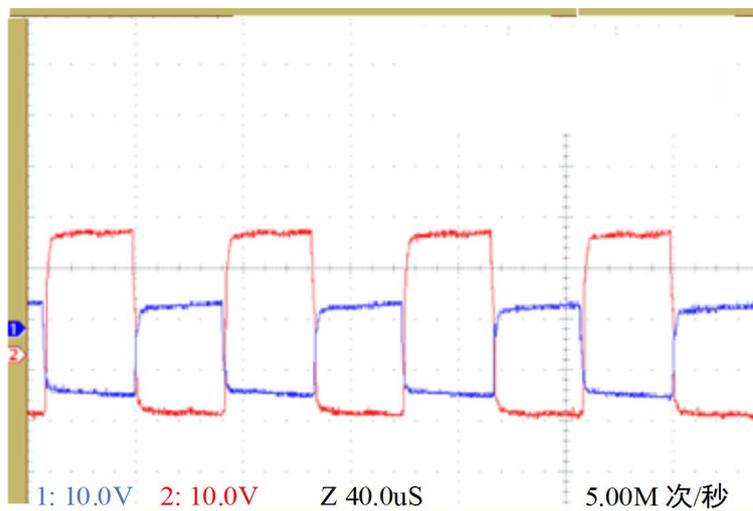


Figure 6. Drive signal of switch VT1 & VT2
图 6. 开关管 VT1 & VT2 的驱动信号

图 7 中，通道 3 为充电机的充电电流波形，从图中可以看出，在充电初始阶段，有一软启动过程，时间持续为 12 S，12 S 软启动完成后输出电流稳定在 30 A，没有出现输出电流震荡现象，纹波也在±5%以内，满足要求。

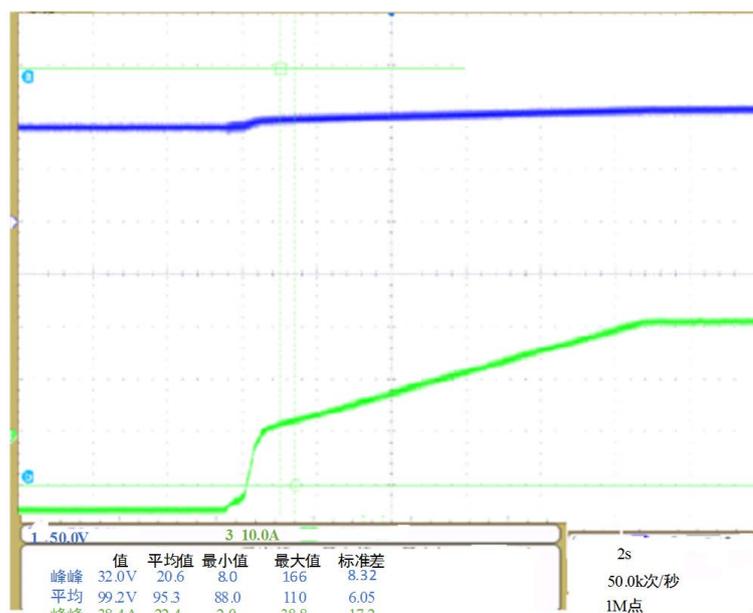


Figure 7. Battery charger wave during the constant current charging mode
图 7. 蓄电池恒流模式充电机波形

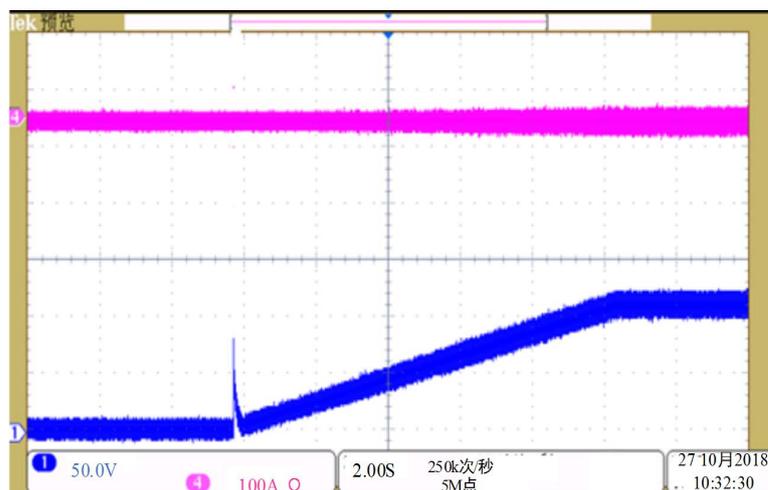


Figure 8. Battery charger wave during the constant voltage charging mode
图 8. 蓄电池恒压模式充电机波形

图 8 中, 通道 1 为充电机的充电电压波形, 从图中可以看出, 在充电初始阶段, 有一软启动过程, 时间持续为 12 S, 12 S 软启动完成后输出电压稳定在 120 V, 没有出现输出电压震荡现象, 纹波也在 $\pm 5\%$ 以内, 满足要求。

总之, 基于 Buck 交错电路的车载充电机, 能根据蓄电池充电的特性曲线满足蓄电池充电的需要, 由于采用交错控制技术, 使开关管的电压应力减半, 减小了开关管的开关损耗, 从而能提高整个系统的转换效率, 试验结果表明输出电压、电流波形稳定可靠, 从而验证所提出的数字控制策略的正确性。

6. 结论

针对北京平谷线地铁业主的需求, 开发了一款基于 Buck 交错电路的车载充电机, 提出了车载充电机的硬件拓扑, 在分析其工作原理的基础上, 设计了变换器的数字件控制系统, 为了验证其控制系统构建了 PSIM 的仿真模型, 为了进一步验证数字控制策略的合理性, 进行了实验研究, 仿真和实验结果表明, 输出电压、电流波形稳定, 纹波含量均在标准范围以内, 开关管的电压应力较单 Buck 电路减小了一半, 从而极大地减小了开关损耗, 提高车载充电机的工作效率。

参考文献

- [1] Renes Pinheiro, J. and Barbi, I. (1992) The Three Level ZVS PWM Converter: A New Concept in High Voltage Dc-to-Dc Conversion. *Proceedings of the 1992 International Conference on Industrial Electronics, Control, Instrumentation, and Automation*, San Diego, CA, 13-13 November 1992, 173-178.
- [2] 李斌. 三电平变换器的研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2002.
- [3] 薛雅丽, 阮新波. 输入/输出共地的 BUCK 三电平变换器[J]. *南京航空航天大学学报*, 2004, 36(3): 364-368.
- [4] Fang, Z.P., Zhang, F. and Qian, Z.M. (2003) A Magreticless DC-DC Converter for Dual-Voltage Automotive System. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 39, 511-518. <https://doi.org/10.1109/TIA.2003.808945>

知网检索的两种方式：

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2333-5394，即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入，输入文章标题，即可查询

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jee@hanspub.org