

并联 DC-DC 变换器无线数字通信技术

张 瑞, 汪 健, 陈宗祥, 葛芦生

(安徽工业大学电气与信息工程学院, 马鞍山 243000)

摘要:提出了一种在无线数字通信技术情况下研究并联 DC-DC 变换器的方法。该方法消除了并联变换器系统中传输控制信号的物理连线, 能够屏蔽多种物理连线引入的问题; 同时针对 DC-DC 并联系统的特点, 通过对常用的无线收发模块的分析, 提出 DSP+FPGA 框架方案, 使系统的开关频率达到 200 kHz, 延迟时间缩短到 12 μ s, 并且最终建立了实验平台。通过实验验证了所提并联系统无线控制的有效性。

关键词: 并联 Buck 变换器; 无线通信; DSP+FPGA

Wireless Digital Communication Technology for Parallel DC-DC Converter

ZHANG Rui, WANG Jian, CHEN Zongxiang, GE Lusheng

(School of Electrical and Information Engineering, Anhui University of Technology, Ma'anshan 243000, China)

Abstract: A method with wireless digital communication technology is proposed to study the parallel DC-DC converter. This method eliminates the physical connections that transmit control signals in the parallel converter system, and it can avoid a variety of problems resulting from the physical connections. At the same time, according to the characteristics of DC-DC parallel system, a DSP+FPGA framework scheme is proposed through the analysis of the commonly used wireless 3 module, with which the system switching frequency can reach up to 200 kHz and the delay time can be shortened to 12 μ s. An experimental platform was established, and experimental results verified the validity of the parallel system with wireless control.

Keywords: parallel Buck converter; wireless digital communication; DSP+FPGA

为了满足大功率负载的应用要求, 电源系统广泛采用分布式电源系统结构, 即通过小功率 DC-DC 变换器并联组成电源系统^[1]。其中均流技术是实现 DC-DC 变换器模块并联运行的关键技术之一, 即实现并联系统中各个模块电流均分的控制技术^[2-5]。但是, 功率变换器并联系统的主从模块间需要物理连线来实现信息的传递。复杂的物理连线容易引入噪声与干扰, 从而降低系统性能, 限制变换器的放置地点^[6-8], 以及降低系统的可维护性^[9-10]。而且物理连线作为一种单点失败源, 任何损坏点都会导致整个

系统的崩溃。因此, 需要一种无线技术来传递均流信息。

目前, 已有专家学者对并联变换器无线控制进行了相关研究。文献[11]提出一种基于频域编码的分发均流信息方法来实现并联系统的均流; 文献[6]提出一种信号注入技术来实现强制均流; 文献[7,10]提出一种无线 PWM 技术以实现并联 DC-DC 变换器均流控制。另外, 以无线方式构建分布式电源的研究中, 文献[12-13]分别提出利用 FSK (frequency shift keying) 方式进行电力电子信号的传输, 两者分别采用载波 916 MHz 和 914.5 MHz、开关频率 20 kHz 和 10 kHz 的放大传输模块; 文献[7]进一步提出一种采用射频无线技术来控制使用 SiC 器件的 DC-DC 并联系统。

收稿日期: 2016-05-06; 修回日期: 2018-02-10

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51277003)

Project Supported by National Natural Science Foundation of China (51277003)

本文在文献[1]的基础上进行系统优化,采用微处理器全数字控制,以主从均流法为结构基础,对主模块传输给从模块的电流参考信号进行数字化。无线模块对该数字信号进行二进制相移键控BPSK (binary phase shift keying),保持发射端与接收端的码速率和载波频率同步,实现各模块以同一电流参考值进行调节,并在各自内部微处理器的控制下生成相应的 DPWM,分别调节输出电流,实现系统均流。综合国内外的研究成果,由于无线并联模块存在延时等问题,使得系统开关频率最高在 20 kHz 左右,在上述研究基础上提出了 DSP+FPGA 构架并使开关频率可以达到 200 kHz。

1 实验装置

本文提出的基于 DSP+FPGA 构架的并联高频 DC-DC 变换器无线通信研究系统结构如图 1 所示,其中图(a)是系统结构框图,图(b)是并联 Buck 变换器系统的电路控制框图。

采用 BPSK 进行实验,其通信平台组成框图如图 2 所示。图 2 中发射端,由信源输出的二进制数据,进入基带信号处理模块,经过组帧处理、BPSK

调制以及成形滤波后以数字量形式经 A/D 模块产生中频模拟信号,最后经射频前端模块发射出去,此方案能有效克服零中频架构射频前端的弊端,最大程度发挥其抗干扰优势。接收端,由射频前端接收到的数据经 D/A 转换处理送入基带信号处理模块,先后经过匹配滤波、BPSK 解调以及解帧处理后产生二进制数据。

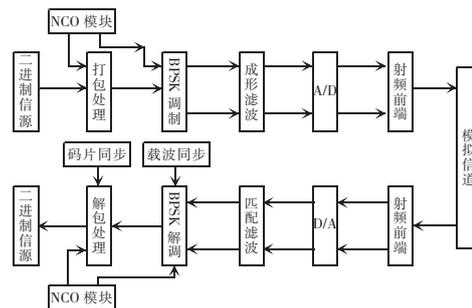
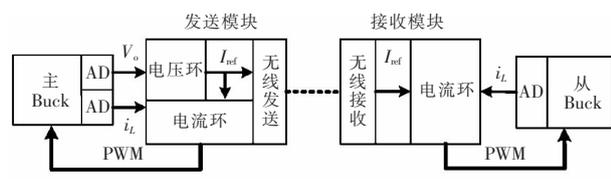


图 2 BPSK 平台组成框图

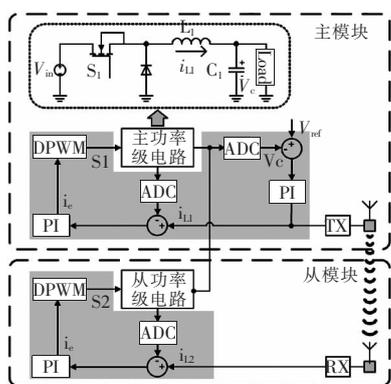
Fig.2 Block diagram of BPSK platform

BPSK 方式一般是键控的载波相位基带脉冲序列的规律而改变的数字调制方式,即二进制的数字基带信号 0 与 1 分别用相关调制载波的 180°与 0° 相位波形来表示。BPSK 调制和解调的原理如图 3 所示。

本文使用 2 个 DC-DC 变换器模块并联进行实验验证。DC-DC 变换器主电路采用 Buck 电路,设定其中一个为主模块,另一个为从模块,如图 1 所示。主模块控制环包括电压环和电流环,电压环输出值



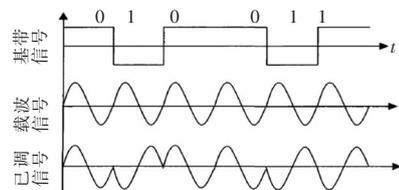
(a)系统结构框图



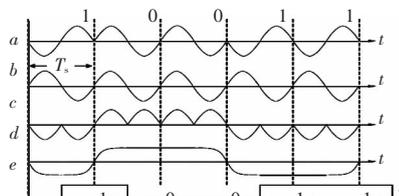
(b)Buck 变换器系统控制框图

图 1 系统结构

Fig.1 System structure



(a)调制原理



(b)解调原理

图 3 BPSK 调制与解调原理

Fig.3 Principles of BPSK modulation and demodulation

作为电流环的参考值;从模块控制环只有电流环,接收主模块发来的电流参考值。主模块中微处理器对输出电压和输出电流进行采样编码。在电压外环中输出电压与给定的电压基准值比较,经过一个数字 PI 调节得到电流内环的基准值。同时,主模块将该电流基准值通过无线模块发送至从模块。两个模块分别采样编码得到其输出电流,并与此基准值比较,再经过数字 PI 调节,得到各自的控制量,以调节各自 DPWM 的占空比,控制开关器件的通断,均匀两个模块的输出电流。

2 实验验证

图 4 为本文设计的实验验证平台。无线发送和接收模块采用上海宇志通信技术有限公司的双通道一体化及待处理射频发送板 MSS1832 和接收板 MSR1842。Buck 电路、控制器和无线收发装置的相关参数如表 1 所示,主、从模块的参数完全一致。

并联 Buck 变换器系统的稳态性能波形如图 5 所示。由图可以看出,系统的输出电压稳定在系统要求的 2.4 V,且主、从模块的电感电流平均值基本相同,实现了均流。主从模块的门极信号(由主模块 PWM 通道采集)与其对应的电感电流即输出电流的变化保持一致,且从模块跟随主模块变化。

图 6 所示是并联 Buck 变换器在负载变化时的暂态性能波形。其中,图(a)是双闭环 PI 调节下负载从 1 A 加载到 5 A 时的性能,图(b)是双闭环 PI 调节下负载从 5 A 减载到 1 A 时的性能。为了满足负载变化的要求,本文使用 MOSFET 对变量负载支路进行投切。由图 6 中波形可以看出,从模块的电

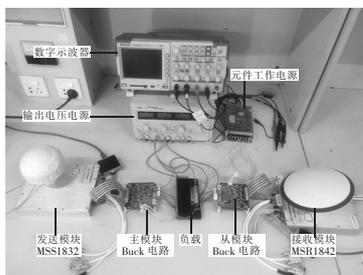


图 4 实验平台

Fig.4 Experimental platform

感电流跟随主模块的电感电流的变化;输出电压的波动均在 0.8 V 左右,在要求范围内,能够稳定在系统要求的电压,瞬态性能良好。

由于系统采用的优化策略,不但使系统开关频率达到 200 kHz,而且使得由于无线传输存在的系统延时缩短为 12 μ s,在精度要求不甚高的情况下

表 1 并联变换器的实验参数

Tab.1 Experimental parameters of parallel converter

参数	数值	参数	数值
开关频率/kHz	200	最大负载电流/A	5
输出电感/ μ H	15	最小负载电流/A	1
输出电容/ μ F	200	无线传输延时/ μ s	12
输入电压/V	12	无线传输距离/m	1
输出电压/V	2.4		

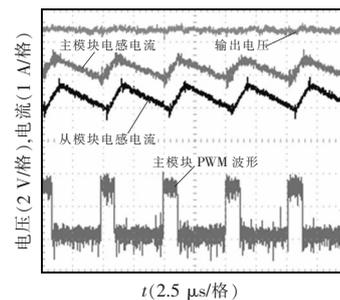
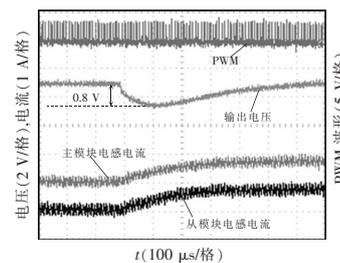
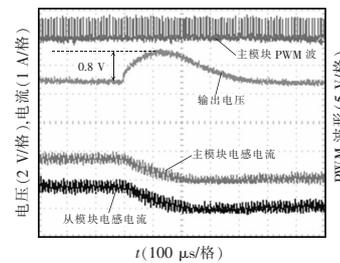


图 5 并联 Buck 变换器的稳态性能波形

Fig.5 Steady state performance of parallel Buck converter



(a)加载性能



(b)减载性能

图 6 并联 Buck 变换器双环 PI 负载变化性能

Fig.6 Load change performance of double loop PI in parallel Buck converter

延时可以忽略。

3 结语

针对现有相关研究资料结果中,系统开关频率只能达到 20 kHz 或无线延迟时间太长的不足,本文提出了基于 DSP+FPGA 构架的无线通信控制的高频 DC-DC 变换器的并联系统,使得系统开关频率达到 200 kHz,并采用 BPSK 通信平台进行实验,提出的方法能够保证并联系统有良好的均流效果,并且使无线传输过程出现的延时减小到 12 μs ,对系统的稳定性影响很小。在实验过程中,当负载变化时延时效果对系统影响可以忽略。本文提出的方法虽然在实验中只采用了两个 Buck 变换器并联,但是具有良好的通用性,对于更多变换器并联同样适用。

参考文献:

- [1] 徐璐,陈宗祥,葛芦生. 基于无线数字控制的并联 DC-DC 变换器主从均流策略的研究[C]. 第七届中国高校电力电子与电力传动学术年会,上海,2013: 174-178.
- [2] 张胜发,向龙,姚国顺. 模块化直流电源并联均流控制方法[J]. 模块电源,2007(8): 12-15.
Zhang Shengfa, Xiang Long, Yao Guoshun. Controlling means of parallel current sharing in blocking DC power supply[J]. Module Power Supply, 2007(8): 12-15(in Chinese).
- [3] 胡雪莲,王雷,陈新. 基于 CAN 总线的并联 DC/DC 变换器数字均流技术[J]. 电力电子技术,2007,41(3): 67-70.
Hu Xuelian, Wang Lei, Chen Xin. Digital current-sharing technique in paralleled DC/DC converters based on CAN Bus[J]. Power Electronics, 2007, 41(3): 67-70(in Chinese).
- [4] Huang Yuehui, Tse C K. Circuit theoretic classification of parallel connected DC-DC converters[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I, 2007, 54(5): 1099 -1108.
- [5] 吴恒亮,谢伟. 一种基于交错控制的串联输入并联输出高效双全桥 DC/DC 变换器[J]. 大功率变流技术,2010(6): 1-3.
Wu Hengliang, Xie Wei. Input-series-output-parallel dual full-bridge DC/DC converter based on interleaving control method[J]. High Power Converter Technology, 2010(6): 1-3.
- [6] Tuladhara A, Jin H. A novel control technique to operate DC/DC converters in parallel with no control interconnections[C]. 29th Annual IEEE Power Electronics Specialists Conference, 1998(1): 892-898.
- [7] Mazumder S K, Acharya K, Tahir M. "Wireless" control of spatially distributed power electronics[C]. Twentieth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference & Exposition, 2005, 2005(1): 75-81.
- [8] Tahir M, Mazumder S K. Improving throughput-delay performance by merged packet routing in wirelessly controlled interactive power network[J]. 21st International Conference on Advanced Information Networking & Applications, 2007: 274-280.
- [9] Perreault D J, Sato K, Selders R L, et al. Switching-ripple-based current sharing for paralleled power converters[J]. IEEE Transactions on Circuits and System I: Fundamental Theory and Applications, 1999, 46(10): 1264-1274.
- [10] Mazumder S K, Tahir M, Kamisetty S L. Wireless PWM control of a parallel DC/DC buck converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2005, 20(6): 1280-1286.
- [11] Perreault D J, Selders R L, Kassakian J G. Frequency-based current-sharing techniques for paralleled power converters[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 1998, 13(4): 626-634.
- [12] Mazumder S K, Tahir M, Acharya K. Master-slave current-sharing control of a parallel DC-DC converter system over an RF communication interface[J]. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 2008, 55(1): 59-66.
- [13] Lai Y M, Tan S C, Tsang Y M. Wireless control of load current sharing information for parallel-connected DC/DC power converter[J]. IET Power Electronics, 2009, 2(1): 14-21.



张瑞

作者简介:

张瑞(1992-),女,通信作者,硕士研究生,研究方向:电力电子功率变换,E-mail: 578868700@qq.com。

汪健(1992-),男,硕士研究生,研究方向:电力电子功率变换,E-mail: 290445658@qq.com。

陈宗祥(1975-),男,博士,副教授,研究方向:电力电子技术,E-mail: chenzongxiang@ahut.edu.cn。

葛芦生(1962-),男,博士,教授,研究方向:电力电子系统及其控制技术,E-mail: lsge@ahut.edu.cn。