

一种基于 VITA 标准的多路输出 VPX 电源设计

崔梦宇, 尹庆隆, 郭旭东, 吕托, 胡麒峰, 刘峥岩

(北京航天万源科技有限公司, 北京 100084)

摘要: VPX 电源标准是目前国际上兼容性最好的军用嵌入式计算机规范, 其模块可为机箱中的多个不同功能模块稳定供电。因此设计了一种基于 VITA46 以及 VITA62 标准的 VPX 电源板卡。主要介绍了 6U 结构电源板卡的设计架构、思路以及所实现的功能, 分析了硬件保护、缓启、采集以及 DCDC 模块电源的电路特性, 阐述了软件工作模式、管理流程以及外部结构的设计方式, 并通过 Maxwell 热仿真分析了高温环境下板卡的工作状态, 最后通过试验测试了板卡上电时序的稳定性与可靠性, 以及带载下负载稳定度与电压稳定度。通过软硬件的研发, 所提设计在自主化硬件设计、软件适配等方面积累了一定的经验。

关键词: VITA 标准; VPX 电源; 6U 结构; DCDC 变换; 热仿真

中图分类号: TM29 **文献标识码:** A **DOI:** 10.19457/j.1001-2095.dqcd25259

Design of a Multiple Output VPX Power Supply Based on VITA Standard

CUI Mengyu, YIN Qinglong, GUO Xudong, LÜ Tuo, HU Qifeng, LIU Zhengyan

(Beijing Aerospace Wanyuan Technology Co., Ltd., Beijing 100084, China)

Abstract: The VPX power standard is currently the most compatible military embedded computer standard internationally, and its modules can stably power multiple different functional modules in the chassis. A VPX power board based on VITA46 and VITA62 standards was designed. The design architecture, ideas, and functions of the 6U structure power supply board were mainly introduced. The circuit characteristics of hardware protection, slow start, acquisition, and DCDC module power supply were analyzed. The software working mode, management process, and external structure design were described. Maxwell thermal simulation was used to analyze the working status of the board in high temperature environments. Finally, the stability and reliability of the board's power on timing were tested through experiments, and load stability and voltage stability under load. Through the research and development of software and hardware, the proposed design has accumulated some experience in terms of autonomous hardware design, software adaptation, and other aspects.

Key words: VITA standard; VPX power supply; 6U structure; DCDC transform; thermal simulation

VPX 标准是 2007 年在 VME 总线基础上提出的新一代高速串行总线标准, 具有模块化、通用化、扩展化、开放性以及高可靠性等特点^[1], 采用高速差分信号传输技术, 并且在机械结构和导冷抗震方面具有优势^[2]。随着电子信息技术和计算机技术的发展, VPX 标准总线已经成为新一代的工业标准总线, VPX 主要优势是能够在恶劣的环境下保持系统之间的互连高速和性能稳定, 并且增加了背板的带宽, 继承了更多的 IO, 扩展了格局布局^[3]。其它文献欠缺 VPX 板卡的整体化、工程化流程的设计思路及实物验证。

结合实际工程, 本文设计了一种 6U 的 VPX 电源板卡, 采用隔离式 DCDC 电源模块, 按需输出多路大电流, 为后级设备供电; 并且设计上电时序, 提高稳定性; 同时板卡能够监测自身健康状况, 经 IIC 总线与上位机进行通信, 实时监测状态; 此外, 板卡具有良好的散热结构, 可保证其可靠工作, 以满足复杂的工作环境需求^[4]。

1 模块总体架构

VPX 电源模块为其它板卡供电^[5]。总体架构图如图 1 所示, 在硬件方面, 电源模块包含 EMI 滤

作者简介: 崔梦宇 (1982—), 男, 本科, 高级工程师, 主要研究方向为开关电源技术, Email: analog2010@163.com

通讯作者: 刘峥岩 (1998—), 男, 硕士, 助理工程师, 主要研究方向为开关电源技术, Email: lzy696644@163.com

波、输入防反接、辅助电源、隔离电源、滤波电路、控制器等多种电路。首先外部会提供28~36 V供电电压,经过滤波,防反接为隔离电源模块供电。在软件方面,上电控制由MCU发出信号,经过所设计的时序电路,3.3 V~5 V会先于12 V电压50 ms上电。其次,模块能够智能监控采集自身输出电压、电流及温度状态,并通过总线接口与机箱管理单元进行通信。下面分别对软硬件、结构设计及实验进行分析。

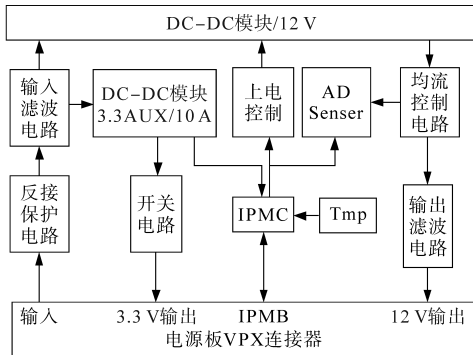


图1 电源模块总体架构图

Fig.1 Overall architecture diagram of power module

2 硬件电路原理

2.1 供电及保护电路

输入端滤波采用共模电感和Y电容进行EMI滤波,降低输入纹波,选用两共模电感并联均流的方式进行设计。同时输入端电路具有反接保护、过压、欠压保护及缓启功能。

受限于体积、降额等影响因素,经计算输入电流为33~62 A,可得到每个电感电流 $I_e=36$ A。缓启及防反接路图如图2所示,采用两路并联且每路并联3个MOS管的方式来实现均流,同时也采用前3个MOS管进行防反接,MOS管驱动电压 V_{GS} 为8~20 V,临界值为20 V。采用稳压管将电压稳定在10 V,RC缓启电路能够减小上电时冲击电流对电路的影响。

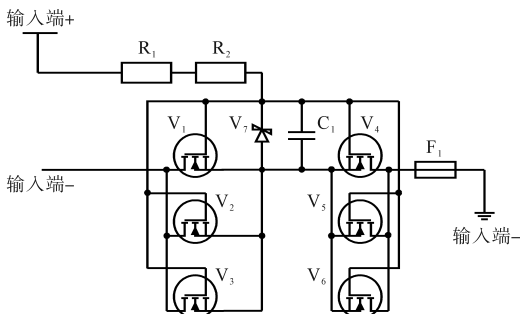


图2 缓启及防反接路图

Fig.2 Slow start and anti reverse connection diagram

为了防止输入过压过流,本文设计了保护电路,通过分压原理,所设置的过压点为40 V,欠压点为17 V,采用基准电压设置2.5 V,通过双差分比较器检测输入电压,当发生过压或者欠压时,MCU会收到报警信号,同时进行动作,关断工作设备。

2.2 DC/DC电路分析

主回路主要包括12 V和3.3 V~5 V的DC/DC隔离电源,采用单路12 V输出的DC/DC变换器,输入电压范围为16~40 V,具备并联均流功能;单路3.3 V~5 V输出的DC/DC变换器,输入电压范围为18~36 V。为了保证电源工作的时序性,同时设计了启停控制电路,使得小电压电路先于大电压电路上电。

图3为12 V电源模块的转换电路,该电路采用两个半砖模块并联实现,并联控制优先选用模块自带Share信号引脚进行并联均流控制,因此最大输出电流能达到80 A,在每个模块输出端会并联3个MOS管进行均流。3.3 V~5V电源模块转换电路输出端采用LC二阶滤波电路(模块中含电感),两个模块的输出端最后连接到一起冗余设计,共同提供输出。两个转换电路均采用MOS管防倒灌来保护电路,通过比较器比较MOS管漏源两端的电压,当漏极电压小于源极电压时,栅极电压将会被拉高至大于源极,即 $V_{GS}=12$ V导通,电源正常工作。

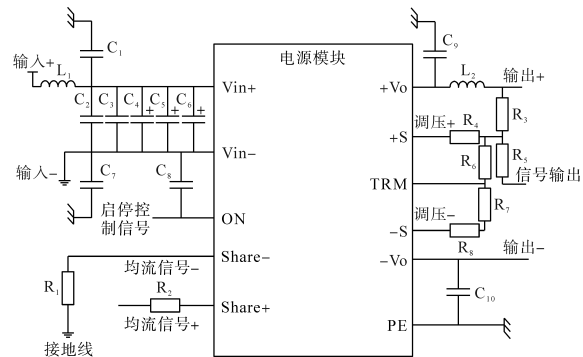


图3 12 V DC/DC转换电路

Fig.3 12 V DC/DC conversion circuit

2.3 AD采集电路分析

电流采样电路采用差分电路,经过运放将电流信号转换为ADC可以采样的低电压范围,保证了采样的精确性。电压采样电路,直接采用电阻分压形式将电压转换为ADC可采样的范围。具体电路图如图4所示。

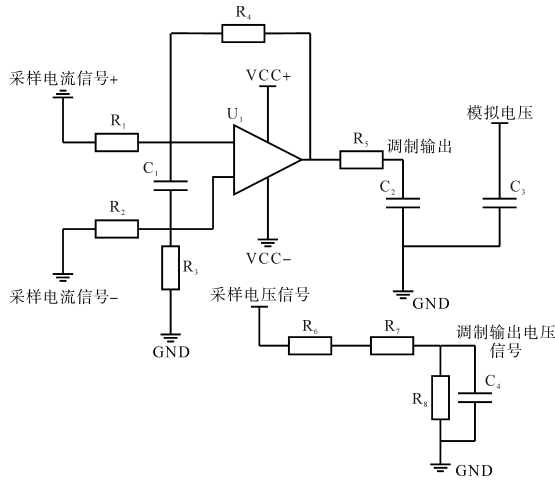


图4 AD采集电路

Fig.4 AD acquisition circuit

2.4 MCU电路分析

电源模块中MCU选用ARM芯片来实现检测和控制功能,芯片接收输入过欠压检测信号、各路输出电压电流信号以及温度信号,实现对电源模块的监测和控制,并以I2C通信方式和外部板卡进行数据传输。MCU控制电路采用最小系统配置,并配置有8路ADC采样通道,分别采集两路12V电压、电流和两路3.3V-5V电压、电流。配置有调试参数存储用Flash芯片,另配置有温度采样电路,芯片采用外部传感芯片用以监控系统温度。

3 软件设计

3.1 软件流程分析

具体的软件控制平台流程图如图5所示。电源模块软件按照VITA46.11标准的规定和要求^[6],开展软件的需求分析、概要设计等工作。电源模块由IPMC提供机箱管理访问本地FRU的接口,功能包括:响应系统IPMB总线命令及错误处理;温度及电压、电流等传感器监测;实现机箱管理访问控制的FRU的信息;产生告警信息并向机箱管理软件上报。上位机对实际机箱进行了数据模拟,使得上传的数据在距离较远处能够更加方便观察与监测。

3.2 软件功能模块

电源软件模块整体划分为:CPU初始化模块、定时器任务模块、电源AD数据采集和处理模块、电源I/O量采集处理任务模块、I2C通信协议解析并执行回令任务模块。

其中,电源AD数据采集和处理模块对电压

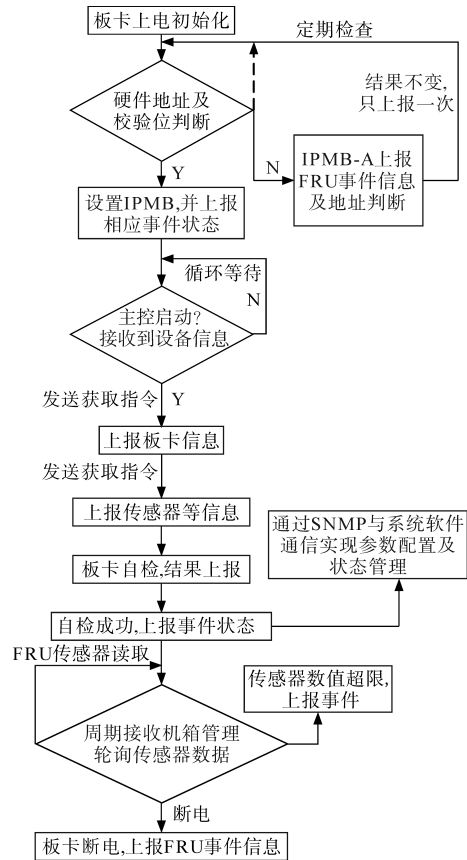


图5 板卡软件管理流程图

Fig.5 Board software management flow chart

电流及温度进行采样,同时将检测到的信号进行判断,根据需求设置高温告警值和过欠压告警值,并将电源的状态向机箱管理单元进行数据上报;I2C通信任务模块是电源模块通过I2C通信方式与主控计算机进行信息交互,通信标准满足VITA46.11。电源模块会向主控计算机上报电源状态信息,包括电源模块自身的FRU信息、电源输出电压电流和电源模块的温度信息以及故障信息。同时,电源模块也会根据主控计算机的指令进行相应的动作。

4 结构设计及实验

4.1 结构热设计

电源模块的结构设计采用导冷结构。模块采用铝板整铣结构,分上、下盖板两部分,导冷设计体现在主板上,其主要散热器件通过导热垫与模块散热器进行接触,将热量传导到模块的表面,通过与机箱壁和导轨贴合把热量带出到机箱外部。导冷电源模块的三维图如图6所示。

为了确保在高温环境下板卡的工作状态正常,对板卡进行热设计仿真时考虑电源模块在整

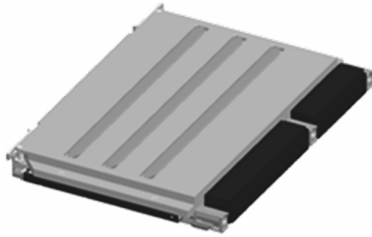


图6 电源模块三维图

Fig.6 Three-dimensional diagram of power module

机内的散热情况,按壳温考核时,可将电源模块内部结构简化为单一实体模型,通过Maxwell建模,仿真求解后,温度分布如图7所示,60℃环境温度时,模块壳温为96.2℃。模块壳温未超过模块的最高工作壳温100℃,即电源模块在此种工况下,可以长期工作。

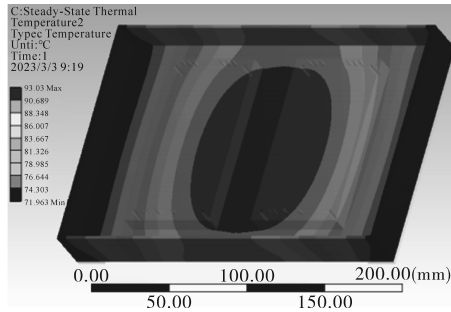


图7 热仿真结果

Fig.7 Thermal simulation results

4.2 上电试验测试

本文设计出样机实物图如图8所示。

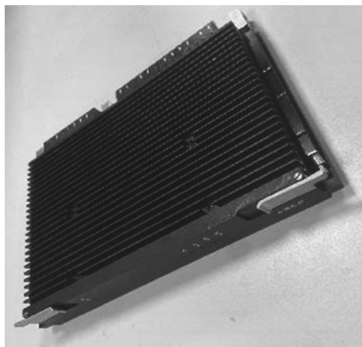


图8 VPX样机实物图

Fig.8 VPX prototype physical image

为了保证设备可靠上电,本文设计了上电缓启,包括输入端电路缓启以及电源模块缓启,通过四输入与非门进行电路设计,最后通过波形采集对上电动作进行分析研究。

输入端电路缓启时间 t 可以根据下式进行计算:

$$V_t = 28V_{cc} (1 - e^{-t/RC}) \quad (1)$$

电源模块缓启电路采用四输入与非门, $V_{DD} = 3.3V$,触发电压为2.2V,根据式(1)进行计算可

得 $t = 29ms$,由于模块自身有24ms的启动时间,因此小模块先于大模块53ms启动。具体波形如图9所示,与计算结果一致。

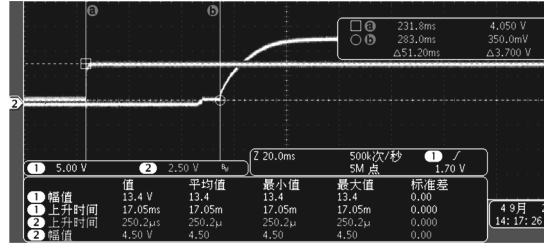


图9 模块缓启波形

Fig.9 Module slow start waveform

4.3 带载实验测试

为了验证模块带载状态下的输出稳定性,需要对其在18V,28V,36V 3种输入电压下进行负载稳定度测试,并且加负载电流额定值80A/10A 时进行电压稳定度测试。最终测试结果应满足负载稳定度 $S_L \leq 0.5\%$,电压稳定度 $S_V \leq 0.5\%$ 。

负载稳定度计算公式为

$$S_L = \frac{|V_o - V_{o1}|}{V_o} \times 100\% \quad (2)$$

式中: V_o 为空载输出电压; V_{o1} 为额定负载时输出电压。

电压稳定度计算公式为

$$S_V = \frac{\Delta V_o}{V_o} \times 100\% \quad (3)$$

其中

$$\Delta V_o = \begin{cases} |V_{oL} - V_{oM}| & \text{输入电压28V} \\ |V_{oL} - V_{oH}| & \text{输入电压36V} \end{cases} \quad (4)$$

式中: ΔV_o 为输出电压偏差值; V_{oL} 为输入18V时的输出电压; V_{oM} 为输入28V时的输出电压; V_{oH} 为输入36V时的输出电压。

对12V及3.3V模块进行负载稳定度和电压稳定度测试,具体测试结果如表1和表2所示。

表1 12V负载稳定度及电压稳定度测试结果

Tab.1 12V load stability and voltage stability test results

	V_{oL}/V	V_{oM}/V	V_{oH}/V	S_V	S_L
空载	12.00	12.00	12.00	0	0
半载	11.98	11.98	11.98	0	0.17
满载	11.96	11.97	11.96	0.08	0.33

表2 3.3V负载稳定度及电压稳定度测试结果

Tab.2 3.3V load stability and voltage stability test results

	V_{oL}/V	V_{oM}/V	V_{oH}/V	S_V	S_L
空载	3.31	3.31	3.31	0	0
半载	3.30	3.30	3.30	0	0.3
满载	3.30	3.30	3.30	0	0.3

经测试,12 V输出及3.3 V输出的负载稳定性和电压稳定度均满足稳定性要求。

5 结论

本文基于VITA46及VITA62标准,设计了6U的DCDC电源板卡,包括硬件保护、缓启,软件采集控制及上位机交互设计,通过热仿真验证工况下的工作状态,最后设计出实物,并对带载状态下模块的波形、数据进行分析,验证了其适用性。该模块具有较强的通用性,结构紧凑,集成度高,有较高的可靠性等优势,能够满足当前重要工业应用场景的高性能和高可靠性要求。

参考文献

- [1] 焦耀华. 基于VPX的嵌入式信息处理设备的研制[D]. 北京: 北京工业大学, 2018.
JIAO Yaohua. Development of VPX based embedded information processing equipment[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2018.
- [2] 张连营. 基于VPX总线的系统控制器的设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
ZHANG Lianying. Design and implementation of a system controller based on VPX bus[D]. Chengdu: University of Electronic

- Science and Technology, 2017.
- [3] 陈昌明. 基于VPX的高速信号采集处理卡的设计与应用研究[D]. 郑州: 解放军信息工程大学, 2016.
CHEN Changming. Design and application research of high speed signal acquisition and processing card based on VPX [D]. Zhengzhou: PLA University of Information Engineering, 2016.
- [4] 吴林印, 周品臣, 蒋剑伟, 等. 基于VPX架构的多元化综合业务采集系统设计[J]. 广东通信技术, 2023, 43(2): 48-53.
WU Linyin, ZHOU Pinchen, JIANG Jianwei, et al. Design of a diversified comprehensive business acquisition system based on VPX architecture[J]. Guangdong Communication Technology, 2023, 43(2): 48-53.
- [5] 鲁超, 米文龙, 胡丁锐. 基于VPX开放式架构的无线电监测平台设计[J]. 电子技术应用, 2022, 48(6): 50-53.
LU Chao, MI Wenlong, HU Dingrui. Design of radio monitoring platform based on VPX open architecture[J]. Application of Electronic Technique, 2022, 48(6): 50-53.
- [6] 王锡志. 基于国产化通用VPX的信号处理板设计[J]. 计算机与网络, 2022, 48(1): 52-55.
WANG Xizhi. Design of signal processing board based on autonomous and controllable general VPX[J]. Computer & Network, 2022, 48(1): 52-55.

收稿日期: 2023-07-18

修改稿日期: 2023-09-13

(上接第14页)

- efficiency single-phase full-bridge zero-current switching resonant pole inverter[J]. Acta Electronica Sinica, 2021, 49(4): 788-791.
- [11] 陈丹江, 柳玉甜, 张少中. 三电平T型逆变器开关控制策略研究[J]. 控制工程, 2022, 29(5): 927-934.
CHEN Danjiang, LIU Yutian, ZHANG Shaozhong. Switch control strategies of three-level T-type inverter[J]. Control Engineering of China, 2022, 29(5): 927-934.
- [12] 苏锦智, 张继鹏, 安群涛, 等. 基于T型逆变器的高速永磁同步电机无位置传感器控制系统[J]. 微电机, 2021, 54(8): 98-101, 118.
SU Jinzhi, ZHANG Jipeng, AN Quntao, et al. Discrete current control loop design of permanent synchronous motor drives[J]. Micromotors, 2021, 54(8): 98-101, 118.
- [13] XIAO S, SHI T, LI X, et al. Single-current-sensor control for PMSM driven by quasi-Z-source inverter[J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2019, 34(7): 7013-7024.
- [14] 李新旻, 夏长亮, 陈炜, 等. Z源逆变器驱动的位置传感器无刷直流电机反电势过零点检测方法[J]. 中国电机工程学报, 2017, 37(17): 5153-5161, 5235.
LI Xinmin, XIA Changliang, CHEN Wei, et al. Zero-crossing point detection of back EMF for Z-source inverter fed sensorless brushless DC motor[J]. Proceedings of the CSEE, 2017, 37(17): 5153-5161, 5235.

- [15] 曾礼, 杜强, 陈阳琦. 双向准Z源逆变器驱动永磁同步电机的快速有限集模型预测控制[J]. 电机与控制应用, 2021, 48(8): 28-35, 43.
ZENG Li, DU Qiang, CHEN Yangqi. Fast finite control set-model predictive control for PMSM driven by bidirectional quasi-Z-source inverter[J]. Electric Machines & Control Application, 2021, 48(8): 28-35, 43.
- [16] BAKHOVTSEV I A, PANFILOV D V. Comparison of three-phase three-level Z-source inverter and quasi-Z-source inverter characteristics[C]//International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices, Novosibirsk, Russia: EDM, 2014: 365-369.
- [17] ANTIVACHIS M, BORTIS D, SCHRITTWIESER L, et al. Three-phase Y-inverter with wide DC input voltage range[C]//2018 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, San Antonio, TX, USA: APEC, 2018: 1492-1499.
- [18] 胡辉, 余岳, 刘建华, 等. 超高速BLDC无速度传感器控制研究[J]. 电力电子技术, 2022, 56(11): 24-26, 32.
HU Hui, YU Yue, LIU Jianhua, et al. Study of speed sensorless control of ultra-high speed BLDC[J]. Power Electronics, 2022, 56(11): 24-26, 32.

收稿日期: 2023-07-21

修改稿日期: 2023-08-31