

# 基于 DSP 的空间电源变换器的冗余调压设计

张益齐 徐祯祥 闫丽媛

(中国航天科技集团公司第一研究院十八所 北京 100076)

**摘要:** 阐述传统电源系统在可靠性方面存在的问题。本设计利用 DSP 对电源系统模块进行检测和控制,并通过旁路故障模块接入正常模块提高电源系统整体可靠性,该系统综合利用数字和模拟电路,使传统空间电源智能化从而达到更高可靠性,同时利用数字芯片对各模块电源进行管理,提高了模块的精确度和寿命。通过试验测试,电源系统在模块发生故障情况下,实现了对模块的隔离和冗余设计,对于调压方案,本设计进行逐点采集,实现了数字对模块的调压控制。

**关键词:** 空间电源;冗余电源;电源模块;调压设计

中图分类号: TM133 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.40

## Design of redundancy and voltage regulation for the space power system based on DSP

Zhang Yiqi Xu Zhenxiang Yan Liyuan

(The 18th Institute, China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 100076, China)

**Abstract:** This paper introduced the problem of traditional power system in terms of reliability, this design using DSP to detect and control the power system module, through bypassing fault module and accessing normal module to improve the reliability of the whole power system. The comprehensive utilization of the system of digital and analog circuit, so that the traditional space power intelligent to achieve high reliability, using digital chip for the management of the power supply module, improves the precision and service life of the module. Through the test, the power supply system achieved the isolation and redundancy design of the module, for voltage regulation scheme, making point by point acquisition, realized module regulating control, verified the feasibility and correctness of the design.

**Keywords:** space power system; redundant power; power module; voltage regulation

### 1 引言

空间电源变换器是为在轨或深空探测航天器提供电能的二次电源。由于航天器的工作环境,如果出现故障则很难或不能得到维修,影响到了整个航天器的正常运行<sup>[1]</sup>。为解决这一问题,航天器携带两套或多套电源,虽然保证了可靠性,但该方案造成航天器体积质量较大,造成发射成本较高。本设计主要面向航天器电推进的电源系统,综合利用数字和模拟的冗余电源系统提高空间电源变换器的可靠性,在故障发生时,使得电源模块可以受控地接入或移出电源系统,保证空间电源系统的正常供电,达到小型轻量化及高可靠性的目的<sup>[2]</sup>。同时各电源模块输出电压也受控于电源系统控制单元,使输出电压跟随航天器需求电压,或者对电源模块的输出值进行调整以克服外界因素引起的电压漂移。

### 2 电源变换器的冗余性设计

为了提高电源系统的可靠性,采用电源模块构成空间电源系统,通过电源控制单元的判断与控制,将故障的电源

模块移除,并加入功能正常的模块,使电源系统能够可靠地继续为航天器提供电能,如图1所示。

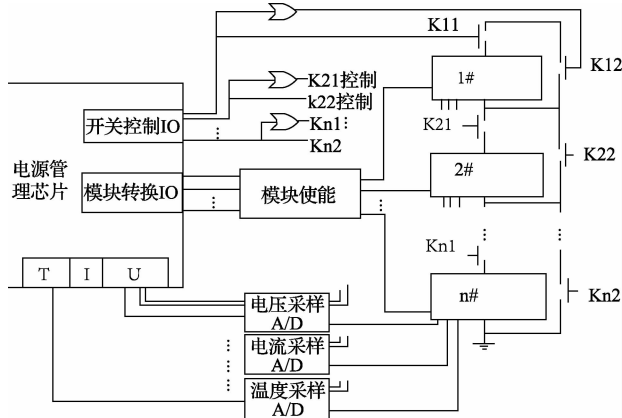


图1 航天电推进器电源系统

#### 2.1 模块的参数采样检测

电源模块参数如图2所示,采用数字芯片构建电源系

统控制单元。数字芯片具有体积小、功耗低、精度高、可靠性高等优点,集成有较多的采样和输入输出端口,可以实现各电源模块的电能质量检测,对电源模块的输出电压 $U$ 、输出电流 $I$ 、电源模块的温度 $T_m$ 等参数进行监视并采样。对采样值与预设值进行综合分析比较,判断模块是否正常工作,将故障模块移除电源系统。

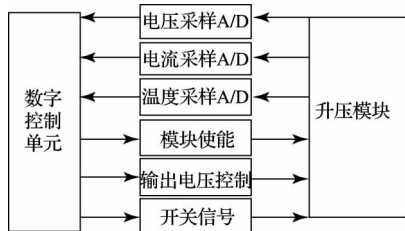


图2 各电源模块参数采样控制

模块的参数采样电路如图2所示,由于模块输出电压值 $U$ 。为数百伏,需采用差分隔离式采样电路,输出电流 $I$ 。采用霍尔元件进行采样,以上电参数采样需要做到滤波、隔离,达到消除电磁干扰产生的高次谐波的目的,实现对电压、电流信号的精确采样,确保数据处理分析的精确度<sup>[3-4]</sup>。温度 $T_m$ 采样采用温度传感器,分别于开关管散热器、整流管散热器处进行温度测量。

## 2.2 冗余系统主电路的设计

空间电源系统模块冗余如图3所示,鉴于空间电池母线电压为80~120 V,而电推进系统需要1 000 V高压,故电源系统采用并联输入串联输出(IPOS)结构。冗余电路的设计通过隔离故障模块,加入正常模块从而提高了整个电源系统的可靠性。电源控制单元各电源模块的电压、电流、温度信号进行分析故障判断,同时根据航天器所需要的电压值进行电源模块的数量及各模块的输出电压配置,满足航天器所需电能也要保持各输出电压模块的均压控制<sup>[5]</sup>。

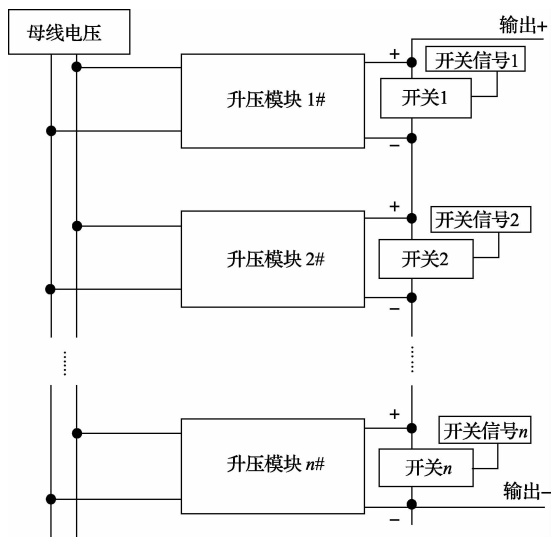


图3 空间电源系统冗余设计

该系统采用电源模块的串联使用来达到航天推进器的高电压需求,每个模块的正负极之间并联受控开关,如果某模块工作正常,需要接入电源系统,则该开关断开该电源模块的电能将传递到电源系统,即电源系统电流将通过该模块的正负极。如果某模块故障或者不需要接入电源系统,则该模块将不被使能,且该模块输出端并联的开关的驱动信号处于高电平,将该电源模块旁路出整个电源系统,电源系统电流将通过导通开关流过,而不过该模块。

## 3 电源模块调压设计

本设计采用数字控制单元对各电源模块进行调压控制,使输出电压满足航天器需求电压,或者对电源模块的输出值进行调整以克服外界因素引起的电压漂移<sup>[6]</sup>。

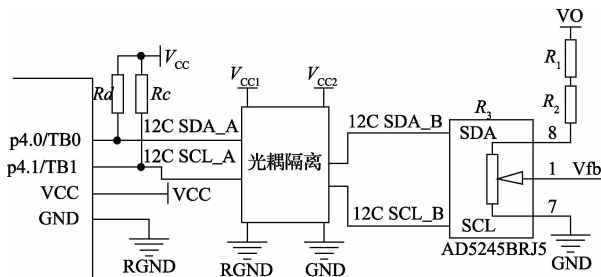


图4 采用数字电位器调压原理

搭建电路如原理图4所示,通过调整电源模块的采样电阻阻值,使反馈电压改变达到电压调整的目的。即调节图示中电源模块输出电压反馈电阻 $R_3$ 上的分压, $R_3$ 分得的电压通过隔离芯片或者光耦送到电源模块的IC误差放大器反相端,从而改变电源模块的IC发出PWM波的占空比,使得输出电压随之调整。图中 $R_3$ 采用数字电位器AD5245BRJ5实现,该电位器体积小,采用SOT-23-8封装,内部有256个抽头,满量程为5 k $\Omega$ ,适用于I<sup>2</sup>C串行总线,可用2.7~5.5 V的电源供电,较低的温度系数损耗低<sup>[7-8]</sup>。

本设计中数字电位器与数字芯片的通讯采用I<sup>2</sup>C两线式穿行的多主机总线方式,该总线具有接口少,控制方式简洁,通信速度较高,器件小等优点,I<sup>2</sup>C总线通过串行数据线(SDA)和串行时钟线(SCL)在连接到总线的器件之间传递信息。由于数字芯片使用弱电,而变换器的采样电阻连接强电,故两者中间采用光耦进行隔离<sup>[9-10]</sup>。

## 4 实验

### 4.1 电源系统故障模拟实验

在电源系统正常工作中,人为干预电源系统中的某一电源模块,降低其输出电压,使其满足数字控制单元对该模块的判故条件,由图5可见,被判故的模块被切断并移出电源系统,为了确保正常输出,如图6所示,电源系统自动加入并使能正常电源模块,继续为航天器供电,保证了整个电源系统的可靠性。

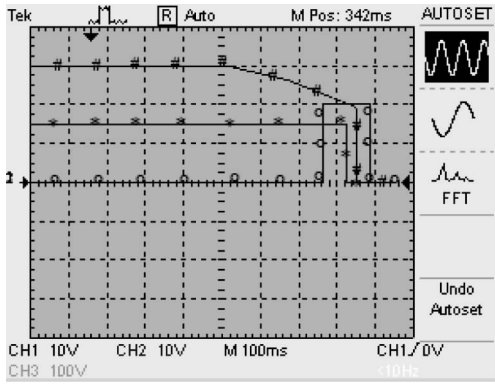


图5 切断并隔离故障模块

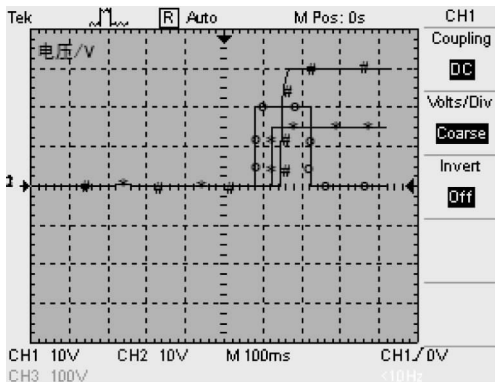


图6 加入并使能正常模块

同时设计了接入开关的零电压导通、关断功能,利用半导体器件保护接入开关,减少拉弧,提高开关寿命。图5、6中#线表示模块输出电压,\*线表示模块使能信号,o线表示接入开关零电压开关保护信号。

可见,当某模块输出电压过低(设定值为220 V)时,控制系统认定该模块发生故障,电源系统实现了对故障模块的关断及隔离,加入正常模块,使电源系统继续工作,同时在接入开关两端并联了钳位电路,保证了开关在零电压状态下导通或关断。

#### 4.2 电源模块调压实验

图7给出闭环情况下,电源模块的采样电阻由数字单

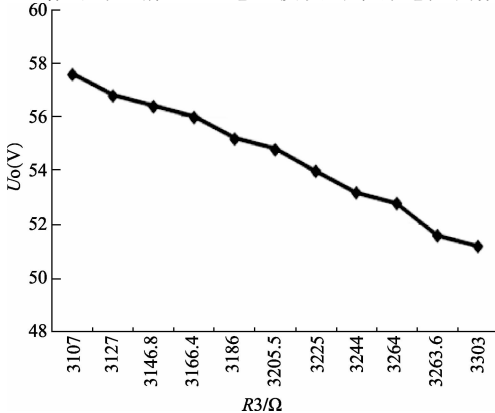


图7 采样电阻阻值与变换器输出的折线图

元控制从3.1~3.3 k  $\Omega$  逐点增加,电源模块输出电压值  $U_o$  随之发生变化,横轴为采样电阻阻值( $\Omega$ ),纵轴为电源模块的输出电压(V),可见变换器输出电压与采样电阻的阻值呈一定线性关系,验证本设计中调压方案的正确性与可行性。

## 5 结 论

本文介绍了空间电源的冗余及调压设计,采用数字芯片对各冗余电源模块进行控制和调压,满足在空间环境下电源系统的使用需求,可以进行电源模块的隔离与切换,构建了小型化、轻量化的冗余系统,提高电源系统的可靠性。同时对调压方案进行试验验证,证明方法的原理的正确性与可实现性,达到了本设计的预期目的。

## 参考文献

- [1] 谷雨,张东来,朱洪宇,等.新一代构架空间电源双向DC/DC变换器研究[J].电力电子技术,2013,27(4):85-91.
- [2] 吴小华,袁野,李伟明.新型空间电源控制器的设计与实现[J].电源技术,2011,35(10):1259-1261.
- [3] 关静.DC-DC变换器新型数字控制方式的研究[J].电子测试技术,2013,36(3):42-45.
- [4] 孙志强,田铭兴.基于DPS28335的电能质量监测系统[J].水电能源科学,2013,31(6):232-235.
- [5] 周德海.基于线性光耦实现精密程控高压源[J].电子测试技术,2013,36(6):35-40.
- [6] 陈杰.开关电源的单片机调压控制[J].电源技术应用,2012,15(3):40-43.
- [7] 熊雕,陈庭勋.基于太阳能的可调压直流电源[J].现代电子技术,2013,36(4):115-118.
- [8] 杜时光,阮卫华,马涛.直流电源系统中自动调压装置的应用及保护[J].装备应用与研究,2011,18(300):65-67.
- [9] 王能,严宝发,张京,等.一种基于I<sup>2</sup>C接口传感器的高速板卡状态监控系统[J].电子测试技术,2013,36(3):94-97.
- [10] 孙延辉.基于I<sup>2</sup>C总线的多点温度采集系统[J].电子设计工程,2010,18(5):69-71.

## 作者简介

张益齐,1985年出生,在读硕士研究生。主要研究方向为空间电源、DC/DC电源变换器。

E-mail: 062007. happy@163.com

徐祯祥,1970年出生,博士,高级工程师。主要研究方向为空间电源、电源管理系统。

闫丽媛,1984,硕士研究生,工程师。主要研究方向为空间电源、电源管理系统。