

基于SSPC的多路航天器智能配电系统设计

王露 冯月婷 余重阳 屈毅 岳喜峰

上海航天电子技术研究所

DOI:10.12238/acair.v2i3.8624

[摘要] 随着航天事业的快速发展,新的宇航产品,特别是载人载物飞船上电子设备数量随之增加,且设备的用电需求也愈加复杂,基于继电器、断路器的传统配电系统已无法满足轻量化、自动化、智能化的发展要求,正逐步被固态配电系统取代。本文介绍了配电技术的发展过程及固态功率控制器的工作原理,并基于固态配电技术,探讨了用于航天领域的多通道智能配电系统,具有通道开关、过载保护、短路保护及状态检测等功能,可满足航天器智能配电的需求。

[关键词] 固态功率控制器; 智能配电; 短路保护; 状态检测

中图分类号: U224.3+1 **文献标识码:** A

Design of Multi channel Spacecraft Intelligent Power Distribution System Based on SSPC

Lu Wang Yueting Feng Chongyang Yu Yi Qu Xifeng Yue

Shanghai Institute of Aerospace Electronics Technology

[Abstract] With the rapid development of the aerospace industry, the number of new aerospace products, especially electronic devices on manned and loaded spacecraft, has increased, and the electricity demand for equipment has become increasingly complex. Traditional distribution systems based on relays and circuit breakers can no longer meet the development requirements of lightweight, automation, and intelligence, and are gradually being replaced by solid-state distribution systems. This article introduces the development process of power distribution technology and the working principle of solid-state power controllers. Based on solid-state power distribution technology, it explores a multi-channel intelligent power distribution system used in the aerospace field, which has functions such as channel switch, overload protection, short circuit protection, and status detection, and can meet the needs of intelligent power distribution in spacecraft.

[Key words] solid-state power controller; Intelligent distribution; Short circuit protection; Status detection

引言

随着新一代航天器向多电、全电方向发展,用电设备数量大幅增加,对配电系统的要求也越来越高^[1]。传统的配电系统是采用断路器和继电器等器件对负载进行控制,具有操作简单、稳定性强等优点,但其效率低下、体积较大、可扩展性低、可维护性差,已经不能适用新一代航天器对配电系统的要求,而以功率MOS管为核心的固态配电技术是当前的发展趋势,其具有无触点、无电弧、重量轻及方便计算机控制等优点,广泛应用于航空航天等领域。本文介绍了固态功率控制器的工作原理,并基于固态配电技术,设计了用于航天领域的多通道智能配电系统,具有通道开关、过载保护、短路保护及状态检测等功能,可满足航天器智能配电的需求。

1 配电技术分类

航天器供电系统主要历经四次迭代发展^[2],第一代是传统遥控式管理阶段,需要人工下发指令进行供配电管理,具备一

些简单保护功能,属于“硬件”处理阶段;第二代是初级供配电智能管理阶段,采用软、硬件相结合的方式,具有供配电分系统故障隔离及蓄电池充放电、再调整的自主管理功能;第三代是智能管理阶段,引入了专家系统,真正意义上实现了自主故障检测、系统状态监测及管理;第四代是在智能管理基础上提出的模块化、小型化、智能化概念,能够根据工作状态自主进行能源动态管理,从而提高能源利用率来延长航天器的工作寿命。

航天器智能配电技术充分利用了计算机和数据总线的优势,相比传统遥控管理方式,可大幅降低配电系统的体积、重量,优化空间资源,提高配电系统的可靠性。

2 固态功率控制器

固态功率控制器(Solid State Power Controller, SSPC)是智能配电系统的关键组成部分,它将各种保护、状态监控和复位等功能集成于一体,是一种具有控制功率通断能力的无触点

智能开关部件,具有开关速度快、无电弧、无触点、电磁干扰小、可靠性高等特点^[3,4,5]。

SSPC通常由主控电路、隔离驱动电路、状态采集电路和电源转换电路等组成,主要功能是实现对各个负载的开通关断控制,实时监控负载电压/电流状态及过流保护。

3 智能配电系统设计

3.1 总体设计

本智能配电系统通过功率接口从一次配电系统获取28V直流电,并将28V直流电分成多路给设备供电,系统主要包括主控电路、通信接口电路、隔离驱动电路、功率开关电路及电压/电流采样电路,其功能原理如图1所示。

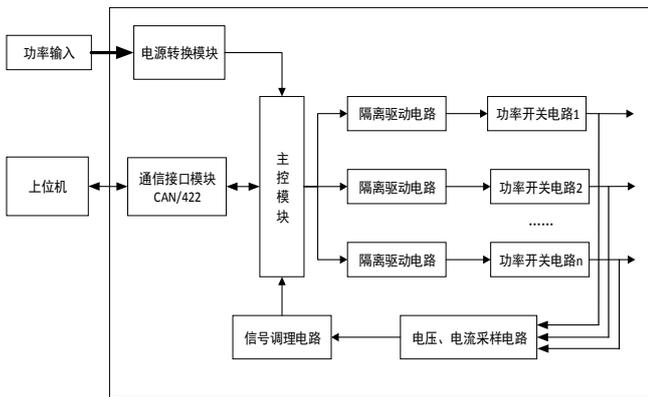


图1 配电系统总体设计框图

3.2 主要功能模块设计

3.2.1 主控模块

主控模块是整个系统的信号处理中心,主要完成SSPC通道的开通/关断信号的控制、各个通道电流与电压采样值的分析与处理及系统其他状态的健康自主监控。主控模块通过通信接口模块与外部计算机通信,接收并处理控制指令,根据控制命令开通或关断相应通道,同时监测各个通道的状态,当通道的电压或电流异常时,作出相应的保护动作。

3.2.2 通信接口模块

本系统设计了1路CAN和1路485通信接口电路,两种通信接口电路均具有隔离防护功能,避免了浪涌电压、雷电等恶劣条件对系统的损害,具有更强的抗干扰性和稳定性。正常模式下上位机通过CAN总线与配电系统通信,实现指令传递与状态信息上传,另一路485总线作为冗余设计。

3.2.3 功率开关及电流采样电路

主控电路发出电压驱动信号,经数字隔离芯片隔离后,再经过MOS管驱动电路,信号输入至功率MOS管的栅极,选择N沟道MOSFET作为功率开关,当信号为高电平时,MOS场效应管导通,当信号为低电平时,通道关断。

电流采样电路的原理图如图2在N型MOS管源级与28V输出线路之间接入一个高精度采样电阻,电流流过采样电阻转变为采样电压,经过运放放大后输入至AD转换芯片处理,实现通道负载电流的采集与保护。

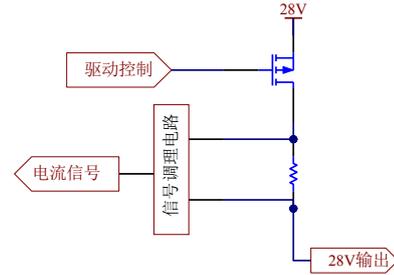


图2 电流采样电路原理图

4 关键技术

4.1 反时限过流保护

反时限过流保护是一种模拟熔断器的故障隔离技术^[6,7],是实现过载或短路自动保护的关键技术。可通过国际电工委员会(IEC255-3)规定的反时限保护曲线来建立跳闸时间与线路电流的模型,标准反时限保护曲线方程为:

$$t = \frac{A}{(I/I_e)^2 - B^2}$$

其中,A、B为整定系数,t为短路保护延迟时间,I为电流实际采样值,I_e为额定电流。由方程可知,反时限跳闸保护时间是负载电流与通道额定电流比值的二次函数,负载电流越大,保护时间越短,跳闸的速度越快。

系统对SSPC通道的负载电流进行周期性采样,微处理器将该值与通道的额定电流进行比较,如果负载电流大于额定电流的1.2倍,则认为出现了过载情况,此时系统通过软件算法计算线缆发热情况并进行热量累积计算,若负载电流不大于额定电流1.2倍,则不进行热量累积,一旦系统计算出线缆热量值超出阈值,则发送通道断开指令,并将SSPC通道锁定在“过载”状态,直至复位。

短路是过流的极端情况,短路时SSPC通道电流非常大,线缆在电流的作用下温度快速升高到保护阈值以上。为了保护线缆,SSPC通道应在极短时间内关断SSPC通道,由于主控芯片是周期性读取通道采样电流,具有一定延迟,故当硬件检测到电流采样值超过额定电流9倍时,则判断通道发生短路故障,此时将MOS管栅极电平拉低,从而直接断开通道。此外,每个SSPC通道都设置了保险丝作为短路保护的最后一道防线,保险丝保护响应时间应大于短路保护响应时间,小于线缆损坏响应时间。

4.2 浪涌抑制电路

为了满足EMC指标要求,配电系统在电源输入端会并联多个电容,所以在设备启动瞬间,电容瞬时短路产生浪涌电流,其值可达到稳态时的几倍甚至几十倍,需设计浪涌抑制电路,起到软启动的效果,防止产生的浪涌电流损害配电系统。

图3为系统浪涌抑制电路的原理图,其本质是利用MOS管的电流放大特性,当28V电源接通瞬间,电容C1相当于短路,场效应管Q1的栅源电压V_{gs}为零,不导通,在C1充电过程中,V_{gs}逐渐上升,当达到MOS管门限电压V_{th}时,MOS管导通,导通电流缓慢增加,从而减小浪涌电流,起到软启动的效果。

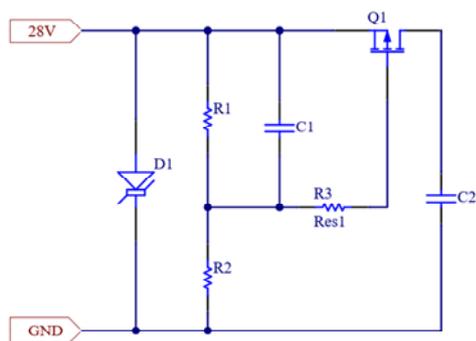


图3 浪涌抑制电路原理图

5 总结

本文先介绍了配电技术的发展历程,然后详细阐述了基于固态功率控制器(SSPC)的多通道智能配电系统的主要功能模块原理设计及关键技术。系统设计了1路CAN总线和1路485总线通信接口,具有一定的冗余度,能够实现通道独立开关通断、过载保护、短路保护及系统健康状态检测等功能。虽然固态配电技术还有很大的进步空间,但随着半导体技术及计算机技术的进一步发展,基于SSPC的配电器将是航空航天及其他工业领域的必然发展趋势。

[参考文献]

[1]叶雪荣,郑志洪,陈哲,等.固态功率控制器国内外发展现状[J].电器与能效管理技术,2015(02):1-5.
 [2]姜东升,陈琦,张冲,等.航天器供配电智能管理技术研究[J].航天器工程,2012,21(04):100-105.
 [3]郑先成,张晓斌,高朝晖,等.航天器新型固态配电技术研究[J].宇航学报,2008(04):1430-1434+1450.
 [4]潘江江,李海伟,张翔,等.基于SSPC模块化小型智能配电器设计研究[J].电子测量技术,2016,39(10):140-144.
 [5]吴燕茹,张佳宁,张金刚,等.固态配电技术在航天器中的工程应用[J].计算机测量与控制,2018,26(01):213-215+225.
 [6]陈菲力,郑梁.基于反时限特性的控制与保护开关电器的设计[J].机电工程,2012,29(04):447-449+468.
 [7]张雄林,张黎,王亨勇.反时限过流保护算法在固态功率控制器中的运用[J].兵工自动化,2014,33(06):63-66.

作者简介:

王露(1995-),女,汉族,吉林长春人,本科,助理工程师,从事宇航产品调试测试研究。