

# 基于SSPC模块化小型智能配电器设计研究

潘江江 李海伟 张翔 徐海运 姜爽

(中国运载火箭技术研究院研究发展中心 北京 100076)

**摘要:** 为了解决航天器供电系统重量体积制约、提高有效载荷所占比重,采用以单片机为核心处理器,固态功率控制器(SSPC)为功率输出器件、RS422数据总线进行数据传输的小型化、智能化配电器设计方案,代替航天型号传统的继电器和断路器作为功率输出器件、硬线线缆传递控制指令的设计方案,实现航天器电气负载可靠供电。该方案有效地减少航天器上仪器设备的重量体积,提高供电系统的工作可靠性数据和传输速率,并且在故障隔离、浪涌抑制等电气系统重要功能上取得显著效果,对其他航天型号供电系统设计具有借鉴意义。

**关键词:** 固态功率控制器;小型化;智能化;航天器;供配电

**中图分类号:** TM933 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 509.2020

## Research on the design of small intelligent modularization distributor based on SSPC

Pan Jiangjiang Li Haiwei Zhang Xiang Xu Haiyun Jiang Shuang

(Research and Development Center of China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing 210096, China)

**Abstract:** To solve the problem of spacecraft power supply and distribution system weight and volume constraints, and to increase the proportion of effective load, using a miniaturization intelligent distribution solution which chooses single chip microcomputer (SCM) as the core processor, solid state power controller (SSPC) for power output devices, RS422 data bus to data transmitting. In place of the traditional design using relay and breaker as power output device and cable as Instruction transmission medium, the design realizes reliable power supply and distribution of electric load of spacecraft. It can not only effectively reduce the weight and volume of the instrument and equipment on the spacecraft, but also improve the working reliability and data transmission rate of power supply and distribution system, and achieved remarkable results in fault isolation, surge suppression and other important functions of the power supply and distribution system. It also has a referential significance to other spacecraft electrical system design.

**Keywords:** solid state power controller; miniaturization; intelligent; spacecraft; power supply and distribution

## 1 引言

传统的航天器供电系统设计中,出于可靠性考虑,常常选用重量体积较大的继电器作为功率输出器件。由于继电器不具备过流保护功能,往往需要进行冗余设计,重量体积值还要成倍增加,相对减少了航天器有效载荷所占的空间和重量份额,导致关键载荷无法安装应用,可能直接影响到航天器发射任务的成败。除此之外,传统的配电器使用硬线指令信号进行配电控制,导致配套电缆数量较多,不但航天器上电缆总重量增加,并且使得仪器舱内电缆连接状态复杂,布局困难。本文采用固态功率控制器(SSPC)作为功率输出器件,基于出色的功率质量比,以及故障隔离、

浪涌抑制等功能设计,可以有效的减少航天器供电系统的重量体积,提高了工作可靠性。同时,使用RS422数据总线代替传统的硬线进行配电控制,大大减少了线缆数目,减少了电缆重量和舱内布线难度,提高了信号传输的可靠性和数据传输速率,全面优化了航天器供电系统的设计工作。

## 2 航天器智能配电器设计方案

模块化小型智能配电器硬件主要由电源部分、核心控制部分、功率输出部分、总线通信部分和模拟量采集部分组成<sup>[1]</sup>。电源部分为配电器内部提供28V、±15V、3.3V等工作电压,确保各功能芯片可靠工作。核心控制部分由单

片机构成,通过编程实现配电器供电参数模拟量采集、功率输出器件通断控制、数据总线通信部分进行指令和数据交互。功率输出部分由固态功率控制器组成,拥有良好的功率质量比和功率体积比,并且具有过流保护功能。总线通信和模拟量采集部分器件均由市面上通用的型号构成。配电器硬件组成和功能示意图如图1所示。

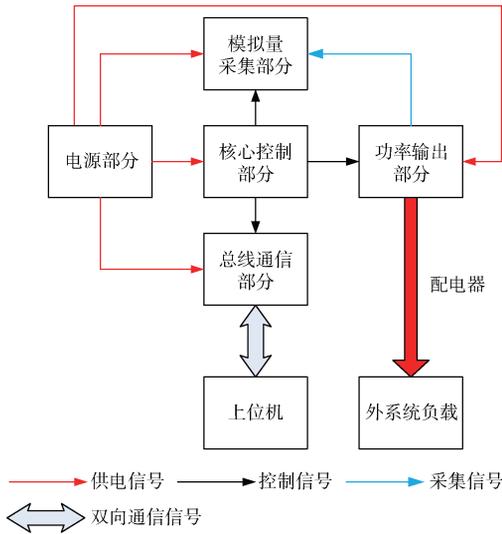


图1 配电器硬件组成与功能

### 3 行业内研究现状

#### 3.1 传统航天器配电器设计

传统航天型号配电器以继电器为核心设计器件,接收地面测发控系统指令实现转电、上电等功能,并将参数传输到地面完成参数和状态监测。配电器接收控制指令,回传状态量信息依靠电缆直传方式实现,简单可靠。

传统配电器使用继电器的优点如下:

- 1)设计简单;2)导通功耗和控制功耗低;3)可靠性高。

但是,继电器自身存在如下缺点:

- 1)有限的开关使用次数;2)触点在高电压应用时产生拉弧打火;3)触点在力学振动环境下易产生误动作;4)浪涌电流不可控制;5)不利于故障的自主诊断与恢复;6)重量体积大,使得设备难以小型化。

#### 3.2 智能配电器设计

智能配电器选择固态功率控制器(SSPC)作为配电器输出器件,其功能更强大,更适合构建智能自主管理的配电系统。固态功率控制器(SSPC)模块主要实现对负载的开关控制,实现在负载过流、短路保护时瞬间将负载断开,避免故障蔓延。SSPC模块实现对继电器的完全替代,同时SSPC模块具备防止短路和过流的功能,智能配电器有利于实现电源及配电系统故障检测和恢复功能。

此外,智能配电器充分利用计算机技术逻辑性强、不易出错的优势,通过实时获取电源设备和用电负载的状态信

息,利用计算机对各种状态信息进行分析,获取供配电系统的运行状态,及时发现故障,并对故障定位,采取有效隔离措施;根据飞行任务和供配电系统的状态决策能源分配和负载管理。

基于SSPC技术智能配电器的优越性表现在以下几方面:

- 1)提高了自主管理的能力,可以对负载及母线状态进行实时检测,发现故障后自动隔离;2)故障消失后,供电可以恢复;3)精确的保护曲线设计,可以更好的适应负载;4)固态配电无触点的特点可以让智能配电器应用于振动强烈的场合;5)缓开通、慢关断功能可以适用于容性和感性负载;6)能量密度远远大于传统配电器。

## 4 智能配电器功能实现

### 4.1 小型化设计实现

智能配电器功率输出部分采用北京科通电子有限公司生产的固态功率控制器设计实现,单个器件过电流能力为25 A以上,采用4个串联的输出形式。固态功率控制器相比传统继电器+断路器,具有功率质量比、功率体积小等优点,具体内容如表1所示。

表1 重量、体积和功耗对比结果

对比结果	1JT10-1型电磁继电器与DBF-10型断路器	SSPC-10110A1-2D型固态功率控制器
电压/V	28	28
电流/A	10	10
外形尺寸	电磁继电器:21 mm×11 mm×16 mm 断路器:20 mm×15 mm×26 mm	27.5 mm×38 mm×10 mm
重量	电磁继电器:25 g, 断路器:25 g, 共计50 g	25 g
输入	电磁继电器:1.3 W, 断路器:0,共计1.3 W	0.3 W
功耗	电磁继电器:5 W, 断路器:2.8 W, 共计7.8 W	1.5 W

### 4.2 故障保护功能实现

传统配电器普遍采用熔断丝的方式进行故障保护,而且熔断丝具有故障解除后无法恢复的特点,故障解除后该供电支路无法继续工作。而智能配电器采用SSPC的设计方式,具有I<sup>2</sup>T过流保护功能<sup>[2-4]</sup>,可以根据配电支路电流情况设定关断时间,避免误动作,若出现误动作或故障解除后,可以重新发送加电指令,控制SSPC闭合继续工作,提

高配电器的供电可靠性,智能配电器故障保护功能参数设定如图 2 所示。

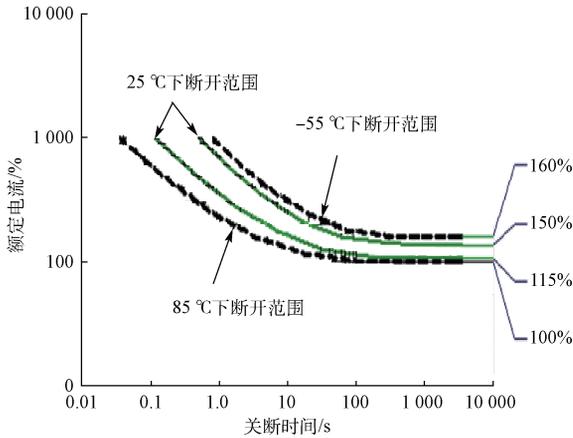


图 2  $I^2T$  过流保护启动时间与额定电流关系

### 4.3 浪涌抑制功能实现

#### 4.3.1 供配电系统浪涌说明

航天器供配电系统工作时,产生典型浪涌如图 3 所示。它有两个尖峰。第一个“浪涌尖端”电流峰值是输入电压电源(input voltage source) 启动时产生的。这个峰值电流流入 EMI 滤波器电容和直流-直流转换器的输入端电容,并被充电至稳态值(steady state value)。第二个电流峰值是直流-直流转换器启动时产生的。这个峰值电流通过直流-直流电源变压器流入到输出端电容器和所有负载电容,充电至稳态值。

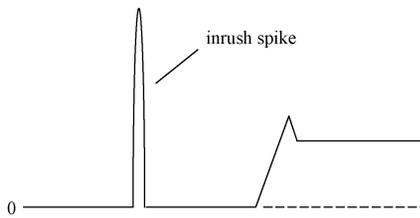


图 3 典型供配电系统浪涌示意

#### 4.3.2 浪涌电流影响分析

在航天系统工程实践中,浪涌电流带来的危害是非常严重的,其主要体现在:

1) 给各支路中的熔断丝选择造成了麻烦,熔断丝一方面要保证在过载时熔断,起到保护作用,又必须在浪涌电流时不能熔断,避免误动作;

2) 浪涌电流可能损坏配电器中继电器触点,甚至导致继电器触点粘连;

3) 浪涌电流会导致输入电压波形塌陷,使供电质量变差,进而影响其他用电设备的工作。

#### 4.3.3 智能配电器浪涌抑制设计

与传统继电器方案相比,智能配电器中 SSPC 通过设置软启动电路实现对浪涌电流的抑制做事,对后端供电负

载进行保护<sup>[5]</sup>。目前应用的软启动电路主要有两种:一种是采用电容和电阻,利用电容充电时电压指数的上升特性来控制电压上升过程<sup>[6]</sup>。这种软启动电路需要加入充电用的恒流电流和外部电容,而且需要的电容值较大,不容易集成到芯片内部;另一种是采用微控制器来控制启动过程的纯数字控制<sup>[7-8]</sup>。虽然这种软启动电路能够集成到芯片内部,但是由于需要另外的微控制器控制且需要在电源电路部分上电前就已经开始工作,对于一般用途的 SSPC,此类软启动电路过于复杂,且成本也太高。因此智能配电器中 SSPC 模块内部通过 RC 充电的方式实现负载的软启动,如图 4 所示。

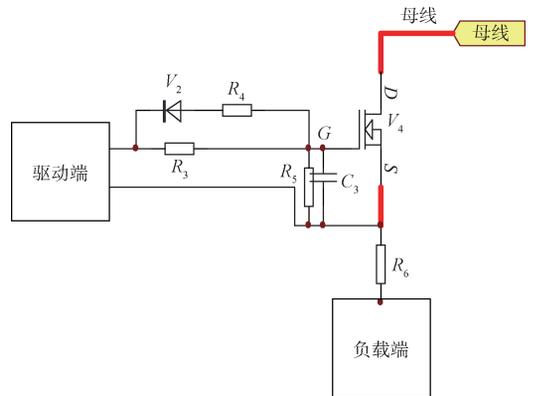
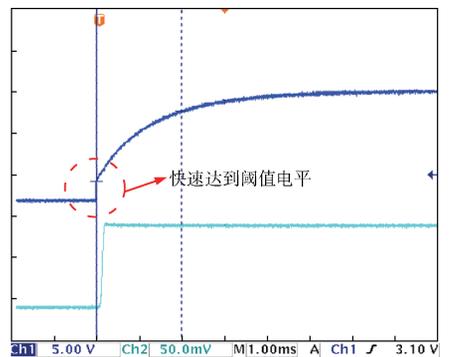
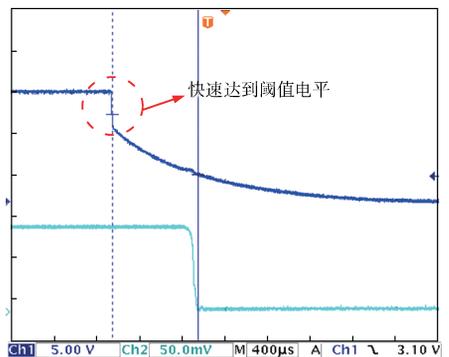


图 4 SSPC 内部软启动示意

软启动电路具有“缓开通”、“慢关断”特性(波形如图 5 所示),使开关信号缓慢地上升或下降。在软启动电路中增



(a) “缓开通”波形



(b) “慢关断”波形

图 5 软启动电路的波形

加了辅助功能,使SSPC中MOS管在开通时,快速达到开通阈值(一般在4V左右),然后“缓开通”电路起作用;同样,MOS管在关断时,快速达到阈值电平,然后“慢关断”电路起作用。

“缓开通”电路对容性负载具有很强的适应能力,通过适当的延长开通时间,能够抑制电容在充电瞬间所产生的电流尖峰。接触器线包是一种感性负载,“慢关断”电路能够抑制SSPC在关断瞬间抑制感性负载所带来的瞬时高压,起到抑制瞬态电压尖峰,即浪涌抑制的效果。

#### 4.4 测试数据高速可靠传输功能实现

传统配电器通过硬线连接接收地面遥控指令,并回传状态量数据,采用这种实现方式,具有电连接器数目多、与地面连接电缆数量大、地面测试现场状态复杂,数据传递速度慢、可靠性低等特点。智能配电器采用高速总线传输技术,可以选用422、1553B、CAN等成熟总线技术,具有传输速度快、节省测试接口和电缆数量、简化地面测试现场、有校验机制可以提高数据传输可靠性<sup>[9]</sup>。本文选用RS422数据传输总线设计实现,有效的克服了硬线传输的上述缺陷。

### 5 智能配电器功能验证

#### 5.1 故障保护功能验证

经试验测试,故障保护启动时间与负载电流关系情况如表2所示。

表2 I<sup>2</sup>t反时限过流保护时间测试表

负载电流 (%额定电流)	负载电 流/A	保护时间 min/ms	保护时间 max/ms
160%	1.6	1 512	3 508
200%	2	412	764
240%	2.4	233	432
280%	2.8	159	295
320%	3.2	119	220
360%	3.6	93	173
400%	4	76	141
440%	4.4	63	117
480%	4.8	53	99
520%	5.2	46	85
560%	5.6	40	73
600%	6	35	64

测试结论如下:

- 1)负载电流小于额定电流的150%,开关不会跳闸;
- 2)负载电流在额定电流的150%~400%时,开关会按照反时限保护曲线跳闸,且保证器件功能不受损;
- 3)当负载电流大于额定电流的800%时,短路立即跳

闸,跳闸时间:100 μs;

- 4)各通道单独设置保护电路,各通道保护功能不相互影响。

#### 5.2 浪涌抑制功能验证

智能配电器中未增加软启动电路浪涌电流情况如图6所示,增加软启动电路后电流情况如图7所示。

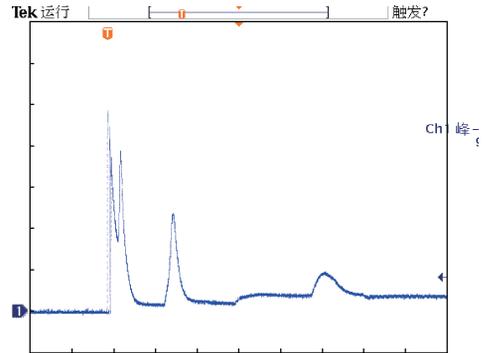


图6 未增加软启动电路时负载电流情况

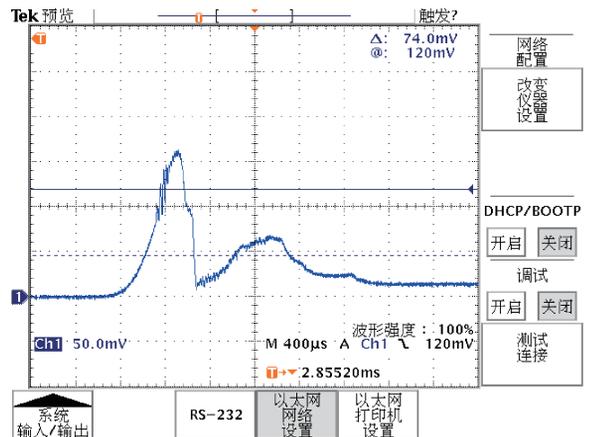


图7 增加软启动电路后负载电流情况

通过对比可以看出,配电器在未使用软启动SSPC开启时浪涌电流为2.5A,持续时间小于1ms,通过增加SSPC软启动电路后,设备的浪涌电流为1.6A,启动时间为2.2ms,设备的浪涌电流有所减小,软启动电路起到了较好的负载浪涌抑制作用。

#### 5.3 测试数据高速可靠传输功能验证

智能配电器采用422总线传输技术,数据传输速率为9600 bps。使用新华龙公司RS422-USB数据转换器与上位机进行RS422数据收发测试,通过上位机发送控制指令,实现智能配电器测试数据完整回传<sup>[10]</sup>。通过上位机上串口调试助手软件进行调试。经检验,测试结果与原发送数据一致,即测试数据高速可靠传输功能正常。

### 6 结 论

以单片机为核心控制器件,SSPC为功率输出器件、高

速总线作为数据传输方式的航天器智能配电器,与传统航天配电器相比,具有体积小、重量轻、输出功率大等特点。同时在故障隔离、浪涌抑制和高速可靠数据传输等航天器供电系统重要功能上具有明显技术优势,体现了未来航天配电器的主流发展方向。此外,采用一体化小型智能配电器开展航天型号地面测试工作,还能有效减少操作人员数量和地面电缆数目、简化测试现场杂乱程度和操作程序、提高系统工作可靠性、节约设计经费和、缩短试验周期,对其他航天型号供电系统的研制起到借鉴作用。

## 参考文献

- [1] 程政,邱智,郝世勇,等.一种飞机输配电实验平台测控系统设计与实现[J].电子测量技术,2015,38(5):72-74.
- [2] 谈恩民,何正岭.模拟电路故障重叠诊断方法研究[J].国外电子测量技术,2015,34(6):33-36.
- [3] 胡梅,樊敏.一种模拟电路功能模块故障诊断的方法[J].电子测量与仪器学报,2015,29(5):676-684.
- [4] 冯建朝,任仁良.飞机供配电系统保护器件的研究[J].测控技术,2013,32(11):151-158.
- [5] 李国柱,董进武,马建毅,等.电源自动管理系统中固

态功率控制器(SSPC)的设计与实现[J].海军航空工程学院学报,2010,25(3):329-332.

- [6] 金鑫,施宏.固态功率控制器带容能力分析研究方法[J].航空科学技术,2015,26(15):32-36.
- [7] 关海鹏.基于 Intel80C196 单片机的配电路故障监测系统[J].山西师范大学学报:自然科学版,2014,28(2):40-42.
- [8] 徐志坚,刘映杰,王新,等.一种基于单片的自供电过电流继电器的设计[J].电力系统保护与控制,2010,38(11):117-120.
- [9] 范建英,李杰.弹载惯导配电器实时监测系统设计与实现[J].计算机测量与控制,2013,21(11):3023-3025.
- [10] 李敏,唐杰,杨晓辉,等.基于单片机与 PC 机的电气量采集系统设计[J].仪表技术,2015(3):11-17.

## 作者简介

潘江江,工学硕士,工程师,主要研究方向为航天飞行器电气系统设计技术、电气地面测试系统设计技术等。

E-mail:fan728@sohu.com

# NI 进一步优化了 TestStand 测试执行软件

TestStand 2016 可帮助全球的测试序列开发人员和架构工程师大幅提高效率

新闻发布-14.10.21-NI(美国国家仪器, National Instruments, 简称 NI) 作为致力于为工程师和科学家提供基于平台系统的解决方案来帮助他们应对全球最严峻的工程挑战的供应商,NI(美国国家仪器公司, National Instruments, 简称 NI) 近日宣布推出了 TestStand 2016。这一最新版的业界领先测试管理软件旨在帮助 1 万多名现有用户进一步提高效率,同时确保新初学者能够快速上手。

TestStand 2016 通过以下特性进一步提高自动化测试系统的开发、部署和维护效率:

- 1)重新设计的属性加载器,用于导入/导出测试序列变量、限制值、属性等
- 2)新增的右键击选项和本地枚举数据类型有助于提高在 TestStand 序列编辑器中开发和修改测试序列的效率
- 3)支持在 TestStand 环境中同步开发和执行多个独立的应用程序

由于来自产品质量、上市时间和成本的压力不断上升,领先企业要求其测试部门必须提高测试覆盖率,以确保用更少的资源提高产品的可靠性。相较于公司内部开发测试执行程序的开发和维护成本,商用现成的测试管理软件可以帮助用户极大地缩短整体上市时间。开发人员可以利用测序、并行测试执行、报表生成、数据库日志、操作界面和系统部署等常见任务的现成功能,也可以根据他们的需求自定义每个功能。

来自 TestStand 观点交流平台的客户反馈是 TestStand 2016 最新功能的源动力。NI 对客户观点非常重视,因为他们任何测试系统中最智慧的一部分。结合 LabVIEW 系统设计软件和高性能的模块化 PXI 仪器,TestStand 不仅大大增强了 NI 平台方法构建自动化测试系统的智能性,同时还拥有一个由开发者和合作伙伴组成的不断壮大的生态系统。