

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2016.10.013

引用格式:吕焱,邓春健,邹昆.带驻波故障监测功能的 AISG 塔顶放大器控制单元设计[J].电讯技术,2016,56(10):1134-1139. [LYU Yi, DENG Chunjian, ZOU Kun. Design of control unit of AISG tower mounted amplifier with standing wave fault monitoring function[J]. Telecommunication Engineering, 2016, 56(10):1134-1139.]

带驻波故障监测功能的 AISG 塔顶放大器控制单元设计*

吕焱**¹, 邓春健^{1,2}, 邹昆^{1,2}

(1. 电子科技大学 中山学院 计算机学院, 广东 中山 528402; 2. 电子科技大学 计算机科学与工程学院, 成都 611731)

摘要:根据 AISG2.0 协议对带驻波检测功能的塔顶放大器(TMA)中状态监控、故障告警和数据通信的技术要求,提出了 TMA 嵌入式控制单元的设计及实现方法。硬件部分首先概述了总体设计方案,然后阐明了 OOK(On-Off Keying)模块、可配置式电流告警电路、浪涌电流抑制电路和驻波检测功能的设计思路;软件部分详细介绍了 AISG 协议栈的设计方法,并给出了低噪声放大器(LNA)及驻波故障的检测流程。测试证明,本系统的电气性能、监控功能以及协议完整性均满足 AISG2.0 协议的要求,并完成了与主流基站系统厂家的互操作测试。

关键词:基站;塔顶放大器;控制单元设计;AISG 协议;浪涌电流抑制;驻波检测

中图分类号:TN857 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2016)10-1134-06

Design of Control Unit of AISG Tower Mounted Amplifier with Standing Wave Fault Monitoring Function

LYU Yi¹, DENG Chunjian^{1,2}, ZOU Kun^{1,2}

(1. School of Computer Engineering, Zhongshan Institute, University of Electronic Science and Technology of China, Zhongshan 528402, China; 2. School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: According to AISG2.0 technical requirement for Tower Mounted Amplifier(TMA) with standing-wave monitoring function on state detection, fault report and data communication, the design and realization method are presented. In the hardware aspect, system diagram is given first, and then the on-off keying(OOK) module, configurable current alarm circuit, inrush current suppression and standing-wave measurement circuit are investigated. Implementation method of AISG protocol stack and low noise amplifier(LNA) and standing wave fault detection flow are discussed in detail. Test of electrical performance, monitoring function and protocol integrity shows that the present design scheme primely matches the requirement of AISG2.0, and interoperability test with major base station system supplier has been successfully accomplished.

Key words: base station; tower mounted amplifier(TMA); control unit design; AISG protocol; inrush current suppression; standing wave detection

* 收稿日期:2016-02-24;修回日期:2016-05-10 Received date:2016-02-24;Revised date:2016-05-10

基金项目:广东省高等学校优秀青年教师培养计划(Yq2013206);中山市科技计划项目(2014A2FC378);中山市产学研合作项目(2013C2FC0019)

Foundation Item: Cultivation Plan of the Outstanding Young Teachers in Guangdong Province(Yq2013206);The Science and Technology Planning Project of Zhongshan(2014A2FC378);Project on the Integration of Industry, Education and Research of Zhongshan(2013C2FC0019)

** 通信作者:lvyi913001@163.com **Corresponding author:**lvyi913001@163.com

1 引言

随着移动通信网络的不断发展,竞争日益激烈,如何以较低成本有效解决网络覆盖、提高覆盖质量成为网络运营商提高经济效益的主要途径。塔顶放大器(Tower Mounted Amplifier, TMA)位于基站接收系统的最前端,对天线接收到的上行信号进行低噪声放大,可以显著提高基站上行信号的信噪比,改善上行链路接收灵敏度,最终达到降低掉话率、提高通话质量的目的^[1]。在现有基站系统中增加 TMA 是改善上下行不平衡问题、增加有效覆盖半径和提高覆盖质量的最为经济的有效手段之一,受到了系统运营商的青睐^[2]。

无线接口标准组织(Antenna Interface Standards Group, AISG)协议是由世界主流的移动通信系统厂商和微波天线相关厂家联合制定的天线智能化设备与基站之间的通信规范^[3],TMA 是第一批纳入 AISG 协议的微波设备。遵循 AISG 协议的智能型 TMA 主要功能包括:实时监控低噪声放大器(Low Noise Amplifier, LNA)的工作状态并通过 AISG 协议将其状态报告给基站;当发生 LNA 过流、过热等异常情况下自动关闭 LNA,切换到旁路状态;检测天线射频端口驻波比,若发生驻波(Standing Wave, SW)故障则向基站上报告警;接收并处理基站的 AISG 命令,实现 TMA 的状态设定和增益调节等功能^[4]。研发遵循 AISG 协议的智能型 TMA 有助于基站对 LNA 运行状态进行全面实时监控,大大提高故障检测和处理的效率,具有很高应用价值。

本设计中采用了射频部分与嵌入式控制单元分离的设计方案,射频部分主要包括 LNA、PIN 二极管构成增益微调电路、旁路电路以及环形器等微波器件组成。嵌入式控制单元主要包括 LNA 状态监控、驻波故障监控、告警电路以及 AISG 通信等部分。本文将从硬件和软件等方面详细介绍 TMA 嵌入式控制单元的设计思路。

2 硬件设计

2.1 系统总体方案

该系统选用 Cortex-M3 内核的 STM32F103VBT6 作为控制核心,其系统结构如图 1 所示,硬件电路包括嵌入式最小系统、OOK 调制解调电路、防雷保护及浪涌电流抑制、LNA 状态检测电路、驻波监控和电流告警电路等。其中 OOK 调制解调电路实现了满足 AISG 性能要求的 OOK 通信;LNA 状态检测电路通过检测 LNA 的工作电流来判别其工作是否异

常;驻波检测模块通过检测射频发射功率和反射功率来检测驻波异常;电流告警电路可以通过工作电流的突变来向基站报告 TMA 的故障信息;防雷保护电路采用了防雷管和两级 TVS 构成的三级防雷结构;浪涌电流抑制电路保证了 TMA 在接入系统的瞬间浪涌电流符合 AISG 协议要求。

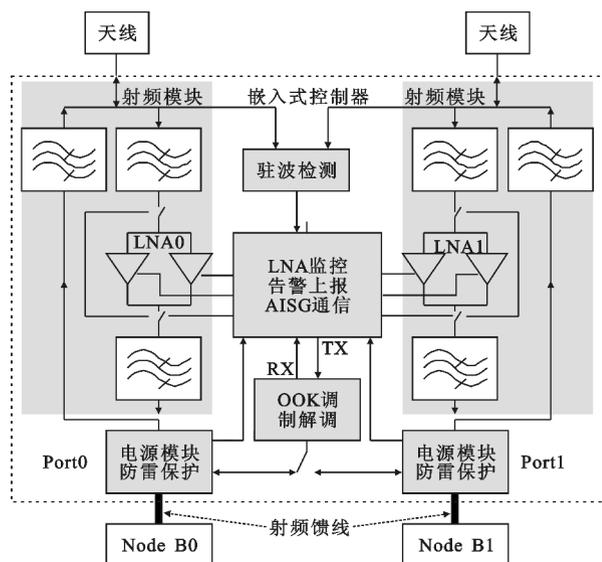


图 1 带驻波故障监控功能 TMA 系统结构图

Fig. 1 System structure of TMA with SW fault monitoring function

2.2 通信模块

AISG 协议规定物理层为 485 通信和载波频率为 2.176 MHz 的 OOK 通信两种方式,TMA 中采用 OOK 通信方式,OOK 调制解调电路如图 2 所示,采用了 Maxim 公司的集成 OOK Modem 芯片 MAX9947,外接 8.704 MHz 无源晶振,内部 4 分频得到载波信号。图中 BIAS 端输出 1.5 V 参考信号,R153 和 R151 分压后接 RES 端,其电压决定了 OOK 信号输出功率。MAX9947 支持 AISG 协议要求的 3 种通信波特率,通过配置 DIRMD1 和 DIRMD2 来优化在不同波特率下的检波延迟,本系统中单片机通过 DM1 和 DM2 来选择。图中 C19、C25 和 L7 构成了 OOK 信号的低通滤波器,截止频率 3 MHz。C10 为耐压 2 kV 的耦合电容,L2 为 47 μ H 的功率电感,隔离直流供电和 OOK 信号。由于 STM32 单片机采用 3.3 V 供电,而 MAX9947 为 5 V 供电,因而本设计中将单片机的 DM1、DM2 和 TXIN 等输出管脚配置为开漏输出模式,外接 4.7 k Ω 上拉电阻到 5 V,实现电平的转换。STM32 单片机的 IO 口可以耐受 5 V 输入,因而 RXOUT 可以直接和单片机 UART 的 RXD 相连。

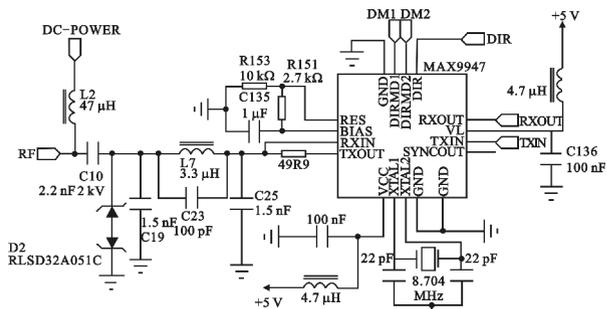


图2 OOK调制解调电路
Fig. 2 OOK modem circuit

2.3 可配置式电流告警电路

当TMA和基站无法进行AISG通信的情况下，TMA工作在电流告警模式。所谓电流告警就是当TMA检测到故障时，在正常工作电流的基础上额外增加电流消耗，基站通过TMA工作电流的突变来感知TMA是否发生故障，不同的电流值代表不同的故障状态。AISG协议规定TMA的供电电压范围为10~30V，因而要求电流告警电路能够在整个工作电压范围内准确控制电流消耗。

本系统的可配置式电流告警电路由两部分组成，如图3所示，由二阶Butterworth低通滤波器电路和受模拟电压控制的负反馈式电流告警电路组成。图中POWER为电源输入端，PWM_A为微控制器的PWM信号输出，频率为10kHz，DISABLE信号用于关闭电流告警功能。二阶Butterworth低通滤波器由电阻R102、R103，电容C137、C138和运算放大器U10-B组成，其传递函数为 $1/(RCS+1)^2$ ，其中R为10kΩ，C为0.1μF，通带内增益为1，截至频率为160Hz，远低于PWM信号的频率，实现了将PWM信号转换为相应的模拟电压信号，其关系为 $V_{pwm} = 5 \times Q$ ，其中Q为PWM信号占空比。电压控制的负反馈式电流告警电路由电阻R111、R113、R121，运算放大器U10-A和达林顿管Q8组成，其中R111和R113先将 V_{pwm} 电压衰减为原信号的0.55倍，R121为大功率电阻，阻值11Ω，流过R121的电流为I，由运放构成的电流负反馈电路关系可得 $V_{pwm} \times 0.55 = I \times 11$ ，化简得 $I = 0.05 \times V_{pwm} = 0.25 \times Q$ ，即该电路的电流消耗由PWM信号的占空比决定，不受系统供电电压变化的影响。该电流池电流消耗可调节的范围为0~250mA，微控制器通过控制PWM信号的占空比便可设置不同的告警电流。当TMA工作在AISG模式下，需要关闭电流告警电路时，将DISABLE引脚置为高电平，彻底关闭达林顿管，从

而关闭电流告警功能。

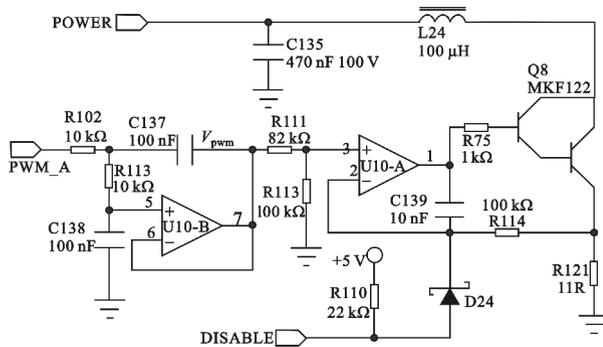


图3 可配置式电流告警电路
Fig. 3 Configurable current-alarm circuit

2.4 浪涌电流抑制电路

在TMA中电源输入端、LNA供电端有较大的储能电容，当与基站系统连接时会产生很大的浪涌电流^[5-6]，远远超过AISG协议所规定的400mA的上限值，基站检测到浪涌电流过大会切断TMA的供电，导致系统功能失效。本项目中设计了如图4所示的浪涌电流抑制电路，上电瞬间，PMOS管Q2为调整管，T1、R7构成电流负反馈电路，R7阻值为2Ω，当电流达到320mA后，T1导通，Q2的门极电压升高，限制输入电流的进一步增加，从而实现了浪涌电流的抑制，满足AISG的最大400mA的限制。由于R7阻值较大，在TMA正常工作期间，R7上会形成较大的压降，发热严重，且当多路LNA所需工作电流超过320mA时，该限流电路会影响LNA正常工作，因而本项目中在限流电路的基础上增加了R7旁路功能。上电瞬间U1输入高电平，T2截至，Q1不导通；然后电源对C1充电，当U1输入端为低电平时，T2导通，Q1导通，将R7旁路，实现了上电瞬间抑制浪涌电流，且在上电后正常工作期间，该限流电路不起作用。

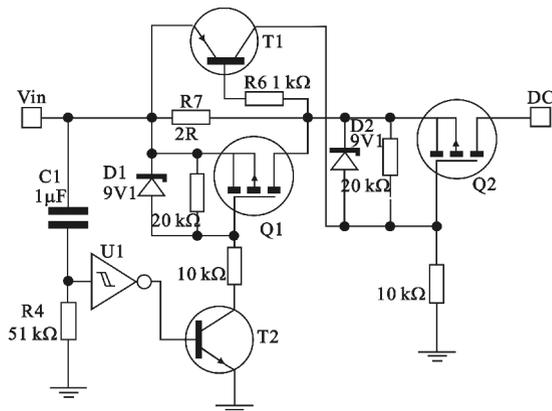


图4 浪涌电流抑制电路
Fig. 4 Inrush current suppression circuit

2.5 驻波检测电路

驻波检测功能用于检测 TMA 与天线相连的端口的功率反射情况,驻波较大时会影响 TMA 的下行匹配,当检测到驻波异常时 TMA 控制单元需要向基站上报驻波告警。射频功率检波电路如图 5 所示,采用 ADI 公司的对数检波器 AD8313 完成大动态范围内的功率检波。大功率下行信号通过衰减 40 dB 的定向耦合器后接入到图 5 中的 RFIN, C5 为耦合电容, R6、R7、R8 构成了 -12 dB 的 PI 型衰减器,从而使 AD8313 的输入信号满足其输入功率上限为 25 dBm 的要求。AD8313 内部输入电阻为 900 Ω , R9 与其并联构成了约 50 Ω 的输入阻抗, AD8313 的输出电压经过由 U2 构成的同相放大电路放大两倍,最终单片机通过 ADC 检测电压 VOUT 可以判别射频功率。

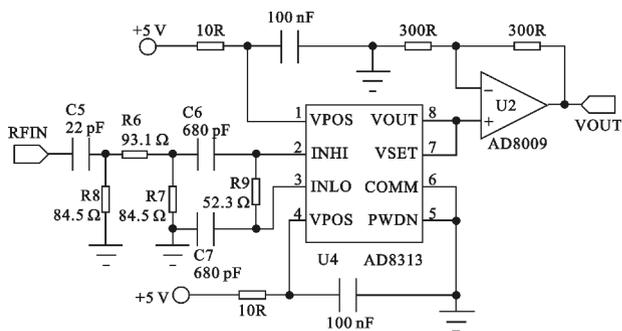


图 5 射频功率检测电路
Fig. 5 RF power detection circuit

每一路驻波检测需要两路图 5 所示的功率检波电路,一路用于检测下行发射功率,得到模拟电压 V_d ,另一路检测反射功率,相应的检波电压为 V_r 。下行信号发射过程中,如果检波电压超过某一阈值,即认为发生驻波异常, V_d 和 V_r 的阈值电压通过实际测试来标定,本系统中当 $V_d > 1.2 \text{ V}$ 且 $V_d - V_r < 0.5 \text{ V}$ 时,便认为反射功率过高,发生了驻波异常,需要控制单元向基站报告驻波告警信息。

3 软件设计

TMA 嵌入式控制单元的软件主要包括三大功能模块,分别是 AISG 协议栈、TMA 状态检测与告警模块和固件更新功能。AISG 协议栈包括了数据收发、AISG 命令与参数的解析以及 AISG 回应命令的封装等功能。TMA 状态监控与告警功能主要负责

对 LNA 工作状态、驻波状态的实时监控,如果发生异常自动切换 TMA 工作状态并向基站上报告警信息。固件更新模块实现了固件的下载、存储,最后在系统引导程序中实现固件更新。

3.1 AISG 协议栈

AISG2.0 协议定义了 TMA 与基站通信的物理层、数据链路层和应用层,其协议结构如图 6 所示。

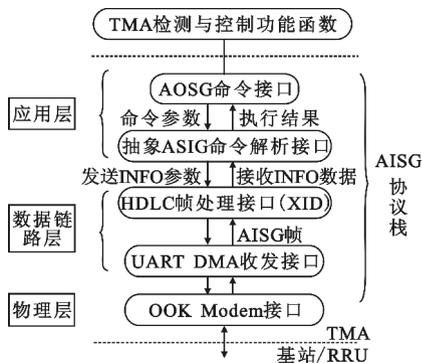


图 6 AISG 协议栈结构

Fig. 6 AISG protocol design structure

AISG2.0 协议物理层支持 OOK Modem 和 485 两种方式,均为半双工通信方式,TMA 中只保留了 OOK 通信。数据链路层遵循 HDLC 协议,按照 HDLC 协议非平衡通信方式设计,实现了 HDLC 协议,数据的收发通过单片机 UART 完成。AISG 协议规定数据帧字节之间的延迟需小于 3 B 传输时间,以 115 200 b/s 为例,字节之间的时间间隔需小于 260 μs ,为了防止因更高优先级中断而导致字节之间间隔过长,本系统中采用 DMA 发送方式,封装好 AISG 数据帧之后直接启动 DMA 发送即可。数据接收也由 DMA 完成,UART 收到数据后自动由 DMA 存储,单片机定时查询接收数据,这样既保证了不会丢失接收数据也避免了大量数据通信过程中频繁中断 CPU。在 HDLC 帧处理接口除了负责应用层数据帧的中继转发,还实现了设备扫描、赋地址、建立连接、断开连接、链路复位等 XID 帧接口功能。应用层主要由两部分组成:第一部分是 AISG 命令接口,实现 TMA 状态检测、控制以及告警等命令与 AISG 命令、参数之间的转换;第二部分为抽象 AISG 命令接口,完成 AISG 帧中 INFO 域的封装和解析。

本协议栈的设计参考 TCP/IP 协议的设计模式,严格执行分层设计的理念,同时层间数据采用零拷贝技术,保证了协议的执行效率^[4]。

3.2 TMA 状态监测与告警上报

TMA 状态监测主要包含对 LNA 工作电压和驻波电压的监测,程序流程如图 7 所示。

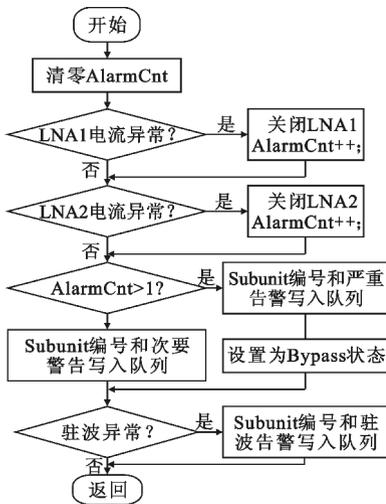


图 7 TMA 状态监测流程图

Fig. 7 Flow chart of TMA status inspection procedure

对 LNA 状态的监测主要通过其工作电流来判断,在 LNA 供电端串联 $2.2\ \Omega$ 电阻,通过电阻压降来计算其工作电流。LNA 正常工作电流为 $60\ \text{mA}$,当检测到电流高于 $80\ \text{mA}$ 或是低于 $40\ \text{mA}$ 认为 LNA 工作异常。

本设计中的 TMA 为双通道塔放,每个通道由两个 LNA 构成平衡式放大电路,当检测到 LNA 异常后,首先关闭其供电,然后记录该通道故障 LNA 的个数,当只有一个 LNA 因故障而关闭时,上报次要告警;当两个 LNA 都发生异常时,则上报严重告警,并通过 PIN 二极管将该通道设置为旁路 (Bypass) 状态。最后检测驻波电压是否正常,如果存在驻波异常则还需上报驻波告警。由于 AISG 协议采用的是 HDLC 中的非平衡传输模式,所上报的告警信息并不会立即发送给基站,而只是进入 TMA 的告警信息队列,等待基站通过 RR 帧来查询告警状态。

4 系统测试

带驻波检测 TMA 嵌入式控制单元的测试主要包括电气性能和协议互操作测试两部分。

电气性能测试包括射频端口的雷击、EMC 和浪涌电流测试。测试结果如表 1 所示,可见各电气性

能均满足 AISG 协议相关要求。

表 1 TMA 控制单元电气性能测试结果
Tab. 1 Electrical test result of TMA control unit

测试项目		测试结果
射频端口	共模	$5\ \text{kA}-10/350\ \mu\text{s}$ (IEC 62305-1)
雷击测试	差模	$3\ \text{kA}-10/350\ \mu\text{s}$ (IEC 62305-1)
EMC 测试	电源口 传导干扰	符合 EN55022 标准 B 类设备要求,满足 AISG 协议规定频段内噪声幅值小于 $20\ \text{mV}$ 的要求
	射频口 传导干扰	符合 EN55022 标准 B 类设备要求,满足 AISG 协议规定频段内噪声幅值小于 $15\ \text{mV}$ 的要求
	ESD	空气放电 $15\ \text{kV}$,接触放电 $8\ \text{kV}$
浪涌电流	浪涌电流	整个供电电压范围内 $320\ \text{mA}$ 以内
	等效电容	$470\ \text{nF}$,满足 AISG 要求

TMA 的互操作 (Interoperability Test, IOT) 测试主要包括两部分内容:首先是协议符合度测试,通过与基站系统或是 RRU 的 AISG 通信测试检验协议实现的完整性;其次是完成 TMA 功能测试,主要包括 LNA 状态监测与控制、驻波异常监测和 AISG 告警上报功能。本项目研发的 TMA 已经完成了与华为、中兴、爱立信等主流基站厂家的 RRU 以及凯瑟琳、捷盟等厂家的集中控制单元 (Central Control Unit, CCU) 的 IOT 测试和 TMA 功能测试,能正常监测、控制 LNA 工作状态,并能及时上报 LNA 和驻波告警。

5 结束语

本文以实际项目为基础,详细介绍了带有驻波检测功能的 TMA 系统设计过程。硬件设计部分给出了系统总体结构图,详细介绍了 OOK 调制解调电路,阐述了浪涌电流抑制电路和可配置式电流告警电路的设计思路,给出了驻波检测电路。软件设计部分详细介绍了 AISG 协议栈和固件更新功能的设计思路,给出了 TMA 状态监测和告警上报功能的实现方法。本设计前期已经完成了 AISG 协议规定的 EMC、雷击等电气性能测试、基站系统厂家的 IOT 测试和 TMA 功能测试,已经进入批量生产阶段。实际应用表明,本设计完全符合 AISG2.0 规范要求,协议实现完整,保护功能完善,得到了市场的充分肯定。

参考文献:

[1] 连蓉蓉,李洪波,李磊. LTE FDD 网络上行覆盖增强技

- 术分析[J]. 邮电设计技术,2014(8):57-61.
LIAN Rongrong, LI Hongbo, LI Lei. Analysis of the uplink coverage enhancement techniques for LTE FDD[J]. Designing Techniques of Posts and Telecommunications, 2014(8):57-61. (in Chinese)
- [2] 杨大全. 基站内置多通道 AISG 控制单元的应用与设计[J]. 电讯技术,2012,52(9):1518-1521.
YANG Daquan. Application and design of base station built-in multi-port AISG control unit[J]. Telecommunication Engineering,2012,52(9):1518-1521. (in Chinese)
- [3] 吴松,葛海平,缪金迪. 遥控电调倾角天线及其在网络优化中的应用[J]. 电信科学,2007(4):91-94.
WU Song, GE Haiping, MIU Jindi. Remote electrical tilting antenna and its application in network optimization [J]. Telecommunication Science, 2007(4):91-94. (in Chinese)
- [4] 李文生,罗仁泽,吕焱,等. 电调天线设备控制系统的设计与实现[J]. 电讯技术,2011,51(1):68-73.
LI Wensheng, LUO Renze, LYU Yi, et al. Design an implementation of an antenna line device control system [J]. Telecommunication Engineering,2011,51(1):68-73. (in Chinese)
- [5] 赵雷,王磊,董仲博,等. 星载电子设备浪涌电流抑制以及浪涌电流的测试方法[J]. 计算机测量与控制,2014(9):2730-2732.
ZHAO Lei, WANG Lei, DONG Zhongbo, et al. Methods of inrush current restraining and measure for space electronic devices [J]. Computer Measurement and Control, 2014(9):2730-2732. (in Chinese)

- [6] 荣焱,王其岗. 高可靠性 DC-DC 开关电源的浪涌电流抑制电路设计[J]. 电源技术应用,2011(7):43-50.
RONG Yan, WANG Qigang. Design of inrush current limit for DC-DC switch power with high reliability [J]. Power Supply Technologies and Applications, 2011(7):43-50. (in Chinese)

作者简介:



吕焱(1981—),男,山西大同人,2006年于广东工业大学获工学硕士学位,现为副教授,主要研究方向为智能控制技术、可靠性建模与维修;

LYU Yi was born in Datong, Shanxi Province, in 1981. He received the M. S. degree from Guangdong University of Technology in 2006. He is now an associate professor. His research concerns intelligent control technology, reliability modeling and maintenance.

Email:lvyyi913001@163.com

邓春健(1980—),男,广东韶关人,2007年获博士学位,现为教授,主要研究方向为信息显示技术、通信技术;

DENG Chunjian was born in Shaoguan, Guangdong Province, in 1980. He received the Ph. D. degree in 2007. He is now a professor. His research concerns information communication and display.

邹昆(1980—),男,湖北郧西人,2008年获博士学位,现为副教授,主要研究方向为图形图像处理。

ZOU Kun was born in Yunxi, Hubei Province, in 1980. He received the Ph. D. degree in 2008. He is now an associate professor. His research concerns computer graphics and digital image processing.