

doi: 10.7690/bgzd.2021.08.013

# 一种测控系统设计

朱福成<sup>1</sup>, 朱文兵<sup>2</sup>

(1. 绵阳职业技术学院教学指导委员会, 四川 绵阳 621000;  
2. 中国兵器装备集团自动化研究所有限公司, 四川 绵阳 621000)

**摘要:** 针对 M 测控设备具有电压电流测量、数据传输及处理能力的特点, 设计一种测控设备系统。对系统组成、硬件设计、高精度分压、多通道采集、继电器驱动及阵列和机箱结构的电磁屏蔽进行设计研究, 并进行实验测试。结果表明: 该系统安装、维修方便, 能增加机箱整体散热, 提高设备整体电磁兼容性, 各性能和指标均满足要求。

**关键词:** 测控设备; 主板; 采集板; 继电器板

**中图分类号:** TP302 **文献标志码:** A

## Measurement and Control System Design

Zhu Fucheng<sup>1</sup>, Zhu Wenbing<sup>2</sup>

(1. Commission of Teaching Instruction, Mianyang Polytechnic, Mianyang 621000, China;  
2. Automation Research Institute Co., Ltd. of China South Industries Group Corporation, Mianyang 621000, China)

**Abstract:** According to the characteristics of M measurement and control equipment with voltage and current measurement, data transmission and processing capacity, a measurement and control equipment system is designed. Through the system composition, hardware design, high precision partial voltage, multi-channel acquisition, relay drive and array and chassis structure of electromagnetic shielding are studied and tested. The results show that the system is easy to install and maintain, can increase the overall heat dissipation of the chassis, improve the overall electromagnetic compatibility of the equipment, and all the performance and indicators meet the requirements.

**Keywords:** measurement and control equipment; mainboard; acquisition boards; relay board

## 0 引言

测控设备依据被控对象被控参数的检测结果, 按照人们预期的目标对被控对象实施控制。典型的测控系统由 4 部分构成: 1) 传感检测部分: 感知信息(传感技术、检测技术); 2) 信息处理部分: 处理信息(人工智能、模式识别); 3) 信息传输部分: 传输信息(有线、无线通信及网络技术); 4) 信息控制部分: 控制信息(现代控制技术)。

现代测控系统充分利用计算机技术, 广泛集成无线通信、计算机视觉、传感器网络、全球定位、虚拟仪器和智能检测理论方法等新技术, 使得现代测控系统具有测控设备软件化、测控过程智能化、高度的灵活性、实时性强、可视性好、测控管一体化、立体化等特点<sup>[1-3]</sup>。笔者针对 M 测控设备进行系统组成、硬件设计、高精度分压、多通道采集、继电器驱动及阵列和机箱结构的电磁屏蔽设计等研究, 经过实测各性能和技术指标都满足设计要求。

## 1 系统组成

M 测控设备用于为外部系统提供电源输出, 并具有输出和接收周期脉冲信号的功能; 具有 2 路测压功能; 具有 2 路对电信号按固定电阻进行放电测流功能; 具有 1 路测阻功能; 具有软件启动自检、短路插头自检功能。主要由主板、多通道采集板、高精度分压板、大电流继电器板、电源模块、键盘/鼠标、显示器以及开关、指示灯等组成, 采用 CPCI 总线架构。其中液晶显示屏和键盘鼠标构成了标准的计算机处理平台的人机交互界面, 提供 2 种 AC/DC 电源模块。一种提供系统工作所需的+12 V、+5 V 以及+3.3 V 电源, 一种用以供用户被测设备工作所需的 28 V 激励电源。M 测控设备系统组成如图 1 所示。

M 测控设备交流输入 220 V/50 Hz 通过电源模块转换输出 4 路直流电源, 分别是+12 V、+5 V、+3.3 V、+28 V 电源, 其中+12 V、+5 V、+3.3 V 为整机提供稳定的工作电源; 输出 28 V 电源手动可调, 提供设备电源输出功能, M 测试设备工作原理

收稿日期: 2021-04-09; 修回日期: 2021-05-04

作者简介: 朱福成(1969—), 男, 四川人, 教授, 从事电子信息技术、计算机、通信技术、自动化、智能化研究。E-mail: ZFC188@163.com。

示意图如图 2 所示。

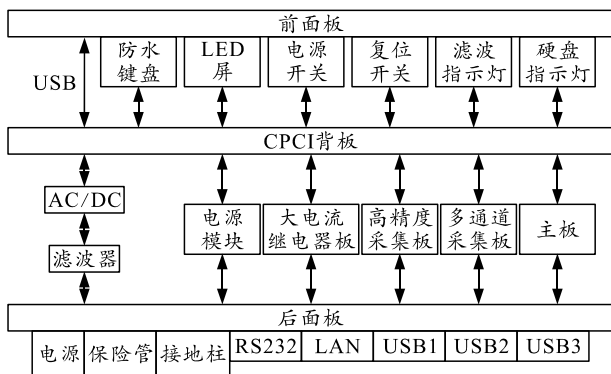


图 1 M 测控设备系统组成

CPU 主板运行应用程序，下发指令和配置参数，大电流继电器板接收到指令后控制信号输入或输出，部分输入信号通过继电器控制输入至高精度分压板上进行分压，分压后送至多通道采集板进行数据采集，将测试结果上传至 CPU 主板进行计算、处理、显示，完成信号的测压、测阻、测流功能。

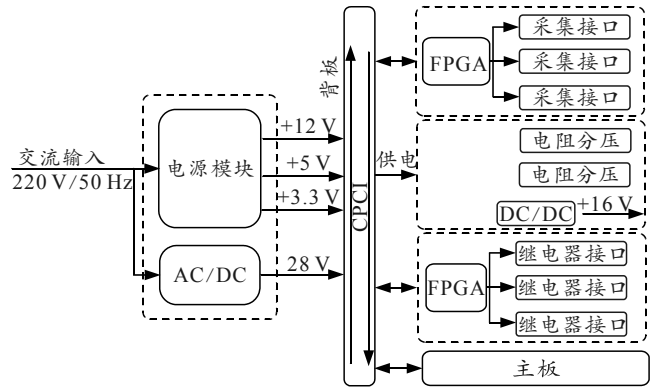


图 2 M 测试设备工作原理

## 2 硬件设计

### 2.1 主板

主板采用标准 6U CPCI 结构设计，对外提供了 LVDS 显示接口、以太网、串口以及 4 个 USB2.0 接口，同时将对对外接口引到后 I/O 口上，方便规范机箱内部走线。主板原理框图如图 3 所示。

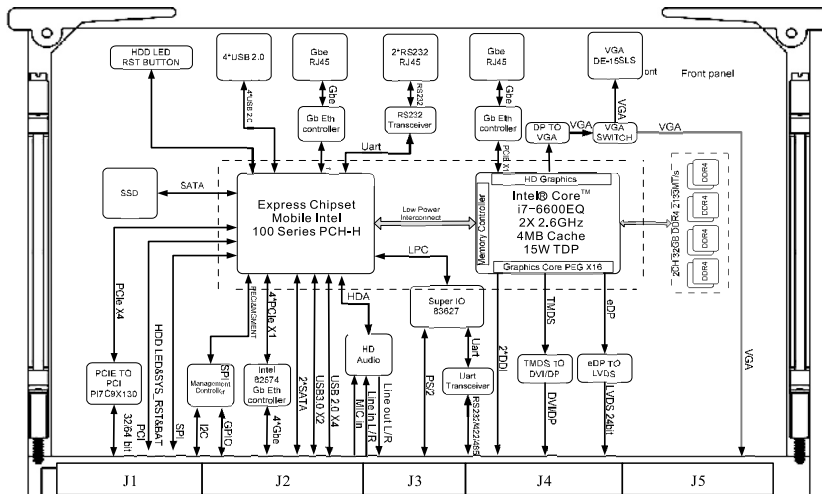


图 3 主板原理框图

主板处理器为 Intel@Core@I7-6600 处理器，搭配 4 GB 内存和 256 GB 硬盘。该处理器为 i7 系列最新第六代处理器，双核 2.6 GHz，可睿频至 3.4 GHz，低功耗芯片，功耗仅为 15 W，能够保障 10 年持续供货的能力。操作系统为 Windows7 操作系统，主板集成了图形显示控制器，支持 2D/3D 加速功能，最高分辨率可达 1 600×1 200，为控制系统的图形化用户界面实现提供完美支持<sup>[4-6]</sup>。

### 2.2 高精度分压板

高精度分压板主要完成输入输出信号线电压的转换，电源模块为 V28C24T100BG，输出功率为 100 W，输出电压范围为 10~24 V 可调，可提供 15~18 V（默认 16 V）可调电源。

### 2.3 多通道采集板

多通道采集板原理框图如图 4 所示。

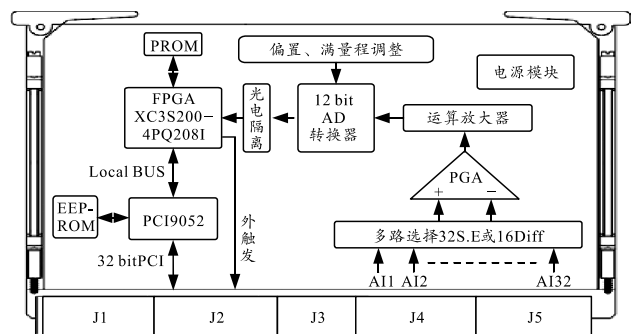


图 4 多通道采集板原理框图

多通道采集板主要性能指标有：

- 1) 标准 6U CPCI 规格。

- 2) 32 通道单端/16 通道差分模拟量隔离输入, 隔离电压  $\geq 2\ 500\text{VDC}$ 。
- 3) 输入阻抗  $\geq 1\ \text{G}\Omega$ 。
- 4) 采样率  $\geq 100\ \text{kSPS}$ 。
- 5) AD 转换位数  $\geq 12\ \text{bit}$ 。
- 6) 软件可编程多量程控制: 单端输入  $0\sim 10\ \text{V}$ ,  $0\sim 5\ \text{V}$ ,  $0\sim 2.5\ \text{V}$ ,  $0\sim 1.25\ \text{V}$ ; 差分输入  $\pm 10\ \text{V}$ ,  $\pm 5\ \text{V}$ ,  $\pm 2.5\ \text{V}$ ,  $\pm 1.25\ \text{V}$ ,  $\pm 0.625\ \text{V}$ 。
- 7) 采集模式支持: 软件触发, 在板可编程步进触发和外部触发(TTL 上升沿/下降沿), 数据 FIFO 深度  $\geq 4\ 096$ , 数据读取能提供 DMA 方式。

### 2.4 大电流继电器板

大电流继电器板主要实现信号输入输出工作状态切换, 电压、电流测量, 以及产生可编程控制的控制信号、时钟信号, 并能按照通信协议自动完成数据线上通信解析等功能。主要由 PCI 总线接口、FPGA 逻辑、电平转换、继电器驱动及阵列组成<sup>[7-9]</sup>。大电流继电器板原理框图如图 5 所示。

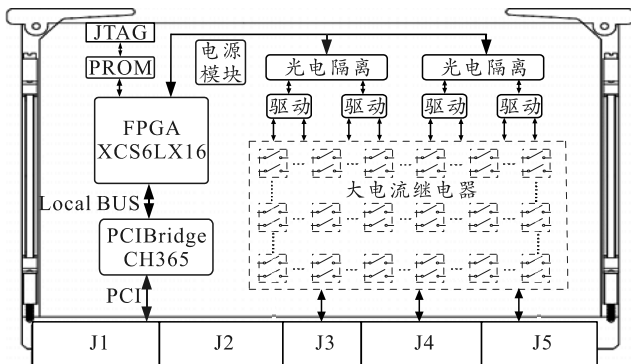


图 5 大电流继电器板原理框图

#### 1) PCI 总线。

PCI 部分电路保持不变, 仍由 CH365 芯片完成 32 位 PCI 总线到 LocalBus 总线的转换, LocalBus 实现为 8 位内存访问模式, 地址空间不小于 16 KB, 满足板卡寻址空间要求。南京沁恒公司提供的 CH365 芯片目前供货稳定, 能够提供 8~10 年持续供货。

#### 2) FPGA 逻辑。

可编程逻辑 (FPGA/CPLD) 部分由原来的 CPLD

更换为 FPGA, 可实现更复杂的逻辑和功能。FPGA 采用 Xilinx 公司的 Spartan6 系列中的 XCS6LX16 芯片, 采用 BGA256 封装, 拥有 2 000 多个 slices 资源, 芯片外部只需要 +1.2 V 及 +3.3 V 2 种电源即可工作。FPGA 内部逻辑主要实现如下功能: 桥芯片 CH365 总线接口逻辑, 16 路继电器控制, 控制信号输出, 输出宽度可编程, 由时钟信号、同步线、数据线组成的通讯总线的解析与控制。

FPGA 外部使用 50 MHz、50 ppm 晶振作为工作时钟, 周期信号输出内部逻辑电路产生, 完全可以实现  $0.2\ \text{ms}\pm 20\ \mu\text{s}$  的要求。另外, 同步信号的侦测, 数据线上的信号发送与读入均由内部时序逻辑电路实现, 既保证了时序控制精度, 又减少了对系统处理器的占用时间。

#### 3) 电平转换。

电平转换电路主要实现将 FPGA 的 LVTTTL 电平信号转换为 16 V 电平信号, 包括 T 信号、TBX 线、Data 线。其中 T 和 TBX 为单向信号线, Data 为双向信号线。电平转换电路采用光电隔离芯片 PC844, 最大电压可达 35 V, 提供 50 mA 输出驱动电流。

#### 4) 继电器驱动及阵列。

继电器驱动采用光隔+驱动芯片的方式实现, 将数字电路控制部分与继电器进行适当隔离, 采用超小型密封电磁继电器, 双刀双掷开关, 触点最大电流可达到 5 A。

### 2.5 电源模块

电源模块为模块化的军品电源, 电源输入交流  $220\ \text{V}\pm 10\%$ , 输出直流 +12 V、+5 V、+3.3 V 3 路独立电源, 为整个设备提供所需的电源, 保障设备正常工作; 同时提供 1 路 25~30 V 手动可调的电源 (默认 28 V), 提供外部所需的电源激励信号。

如图 6 所示, 电源模块主要由高可靠、高性能的模块电源搭建而成, 保障了设备宽温工作环境, 同时电源模块采用输入输出电源完全隔离方式, 并提供过热保护、过流保护、过载保护、过压保护和热拔插功能, 增大了该电源模块的可靠性。

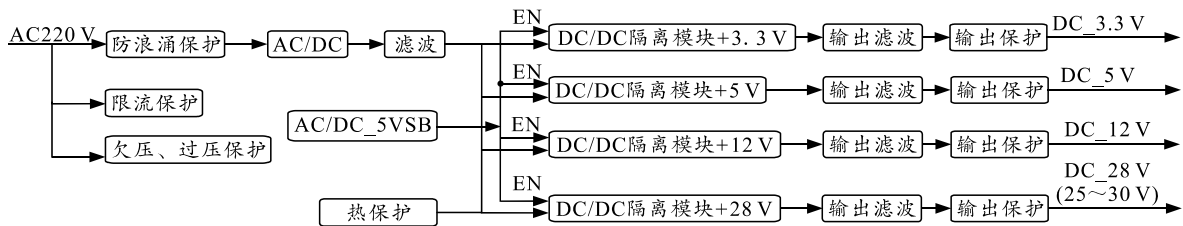


图 6 电源模块原理框图

电源模块为标准 6U 导冷设计，输入输出接口采用型号为 PCIH47M400A1 连接器，接口符合 PICMG 2.11 CompactPCI 规范，提供最大输出功率 440 W，每路输出电压指标如下：

- 5 V：输出电流不小于 20 A，纹波 $\leq 50$  mV；
- 3.3 V：输出电流不小于 30 A，纹波 $\leq 50$  mV；
- 12 V：输出电流不小于 6 A，纹波 $\leq 100$  mV；
- 28 V：输出电流不小于 8 A，纹波 $\leq 100$  mV。

### 3 机箱结构设计

机箱材质采用铝件，后面板连接器采用直接安装方式，连接器与箱体安装之间涂覆有导电胶，有效防止电磁干扰，增大整机电磁屏蔽性能。机箱键盘为防水键盘，采用下翻方式，前面板设计有 15 寸液晶显示屏及电源指示灯、状态指示灯、开关等。

机箱选用铝件 2A12-T4-4-GB，通过铝板焊接形成主体框架，四周设计有加强筋，整机加固性能优于常规便携式机箱；采用导冷散热的方式，将板卡的热量通过机箱表面辐射到空气中；采用一体化设计，便于外场测试；机箱内部喷涂三防清漆，防止“霉变”，有效提高三防性能；所有板卡采用模块化设计，提高了机箱可靠性和维修性。

### 4 结束语

笔者充分利用现代计算机技术，集成具有电压

\*\*\*\*\*

(上接第 37 页)

仿飞结果表明，5 架靶机编队整体态势按照任务规划实现。纵向高度的间距保持较好，侧向距离差收敛速度相对缓慢，稳态误差在 5 m 以内，飞行过程中 2 架靶机前向距离基本保持在 100 m 以内的距离区间，呈逐步收敛趋势。

### 4 结束语

空中靶机作为防空武器系统的试金石，由于其特殊的任务需求，多无人靶机集群协同飞行近 2 年发展迅猛。地面集中式编队控制的研究及工程化的步伐发展迅速，编队系统的可控数量及控制精度是目前研究突破的主要方向。在后续进一步研发设计中，需重点关注：空中靶标集群协同编队系统的自主化、智能化，编队控制精度的进一步提升，体系级的信息融合，任务规划及辅助决策技术。

### 参考文献：

[1] 王道波, 任景光, 蒋婉玥, 等. 无人靶机及其自主控制

电流测量、数据传输及处理能力一体，并采用标准 CPCI 总线架构。机箱采用铝制材质，既增加了机箱整体散热，又提高设备整体电磁兼容性，经过实测各性能和技术指标都满足设计要求。

### 参考文献：

- [1] 王心海. 基于无线传感网的嵌入式远程测控系统研究[J]. 科学技术创新, 2018(9): 69-70.
- [2] 刘强, 周连俊, 何贞志, 等. 大型链条磨损跑合试验台及其测控系统的研制[J]. 机械传动, 2020, 44(3): 160-165.
- [3] 陈章哲, 刘亚斌. 基于 FPGA 的某型飞控组件分时测控系统设计与实现[J]. 电子设计工程, 2018, 26(8): 75-78.
- [4] 张祖强. 专为 Core i7-X 定制微星 X299 SLI PLUS 主板[J]. 微型计算机, 2017(25): 77.
- [5] 黄斌. 基于 Core i7 处理器的高性能计算机主模块设计[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(10): 2763-2765.
- [6] 张平峰. 基于六代 Core i7 处理器的加固计算机设计技术研究[J]. 工业控制计算机, 2019, 32(4): 46-48.
- [7] 刘淘. 支持 DDR4 Skylake-U 处理器型号登场[J]. 计算机与网络, 2015(16): 28-28.
- [8] 高艳芳, 刘举平. 铁路信号连锁控制动态继电器检测仪的开发[J]. 现代计算机, 2018, 621(21): 83-85, 93.
- [9] 李涪帆, 张立伟, 王栋. 动车组总配电箱和控制继电器盘线路板防松动优化设计[J]. 电力系统装备, 2018(9): 218-219.
- [10] 技术发展[J]. 科技导报, 2017, 35(7): 49-57.
- [2] 吴森堂. 飞行控制系统[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013: 265-268.
- [3] 万婧, 艾剑良. 无人机编队飞行模糊控制系统设计与仿真[J]. 系统仿真学报, 2009, 21(13): 4183-4185.
- [4] 沈佩璐. 小型高速无人机及其协同编队控制技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015: 7.
- [5] 欧超杰. 多无人机编队控制技术研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015: 2.
- [6] 宗群, 王丹丹, 邵士凯, 等. 多无人机协同编队飞行控制研究现状及发展[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2017, 49(3): 1-14.
- [7] 李文皓, 张珩. 无人机编队飞行技术的研究现状与展望[J]. 飞行力学, 2007, 25(1): 9-11.
- [8] 朱战霞, 袁建平. 无人机编队飞行问题初探[J]. 飞行力学, 2003, 21(2): 5-7.
- [9] 程潇, 董超, 陈贵海, 等. 面向无人机自组网编队控制的通信组网技术[J]. 计算机科学, 2018, 45(11): 1-12.
- [10] 陈侠, 鹿振宇. 风场干扰下基于一致性卡尔曼滤波的 UAV 编队控制算法[J]. 兵工自动化, 2013, 32(10): 28-32.