

摘要: 为解决某型导弹平台在测试导通和绝缘性能的过程中操作繁琐且用时较长、测量精度低、自动化程度低等问题, 设计了一种导通绝缘自动测试系统。该系统采用 FPGA 为主控, 继电器矩阵实现多路测试切换的整体架构模式。文中介绍了该系统的工作原理、硬件和软件设计。系统进行了实验验证, 实验数据表明, 该设备能测量多条电缆导通电阻和绝缘电阻, 智能化得出测试结果, 测试操作简单, 能满足测试要求, 提高测试效率。

关键词: 电缆; 导通电阻; 绝缘电阻

中图分类号: TP274 文献标识码: A 文章编号: 1006-883X(2022)03-0011-05

收稿日期: 2022-01-18

某型导弹平台导通绝缘自动测试系统设计

吴克雄 刘刚 邱洪亮 鲁琰

海南省三亚市 91515 部队, 海南 572000

0 前言

目前, 军工方面的大型设备, 比如飞机、舰船、导弹等, 电缆是其中重要的组成部分, 在这些设备的传递数据、控制信号传输等方面起着重要的作用^[1-3]。整个系统能否稳定运行, 电缆的性能好坏起着重要作用^[4]。随着技术的发展, 大型设备越来越复杂, 设备中的电缆越来越多^[5]。电缆关系到设备能否正常运行以及其他的使用环节。对于多芯电缆而言, 其主要测试项目是导通电阻和绝缘电阻的测试, 这两个指标分别反映电缆的通断和绝缘程度^[6]。目前, 检测多芯电缆的导通和绝缘特性时, 依然采用人工逐点测量的方式^[7-8]。这种方法虽然技术成熟, 但存在很多缺点: 工作量大、效率低下、精度较差、容易出现人为因素造成的误判和漏判等, 并且检测结果的评定很大程度上依赖检测人员的技术水平和工作经验。为了解决这些问题, 本文设计了一种导通绝缘自动测试系统, 能够快速完成电缆的导通和绝缘电阻测试, 达到缩短测试时间, 精简测试设备, 减少测试人员, 降低安全风险, 提高测试效率的目的。

1 设计组成

导通绝缘自动化测试系统主要完成导通性和绝缘

性测试。

为提高测试系统可靠性程度, 设计选用便携式拉杆箱作为机箱载体, 方便设备运输。针对自动测试与结果的自动判读输出, 采用工业平板电脑作为整个系统核心, 可以运行 Win7 操作系统和 LabVIEW 软件, 方便扩展外设和实现远程控制。采用多用表完成线缆导通性测试, 工业平板电脑通过 RS485 控制通道选择核心板和节点功能板, 通过 RS232 控制多用表。导通绝缘自动化测试系统结构设计紧凑, 采用铝合金机架支撑, 完成整个设备的组装, 整个设备的产品示意图如图 1 所示。

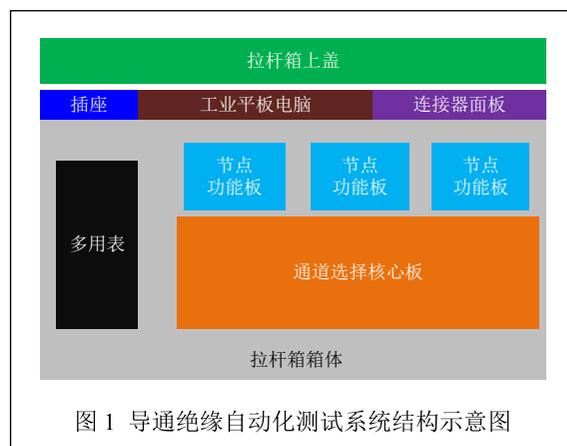
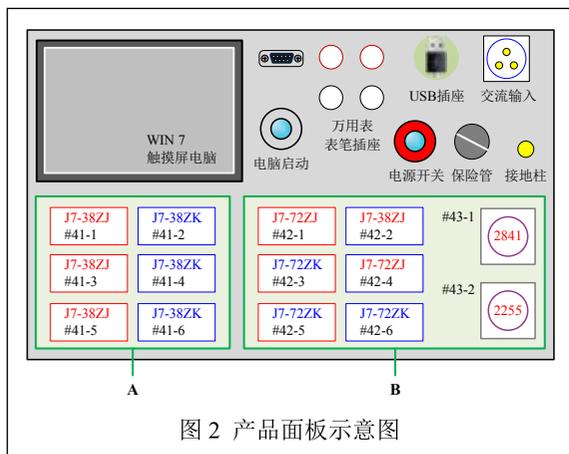


图 1 导通绝缘自动化测试系统结构示意图



整个设备共分为 A、B 两部分区域端口，A 航插区 6 个连接器，B 航插区 8 个连接器，分别对应设备的正负两端接口连接器。产品面板示意图如图 2 所示。

2 系统设计

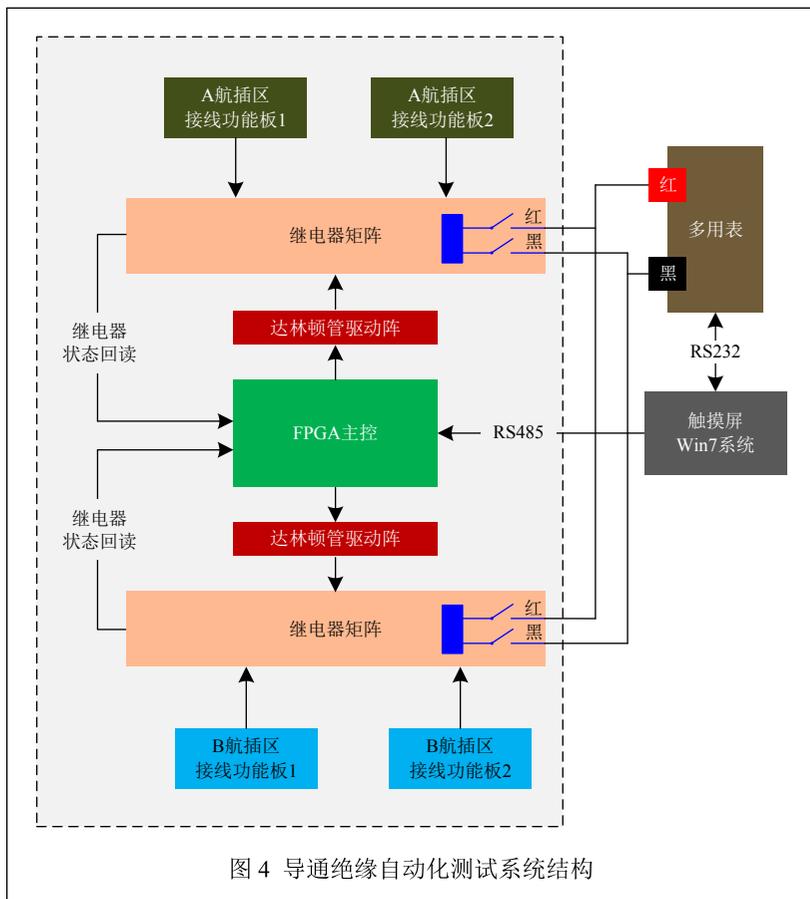
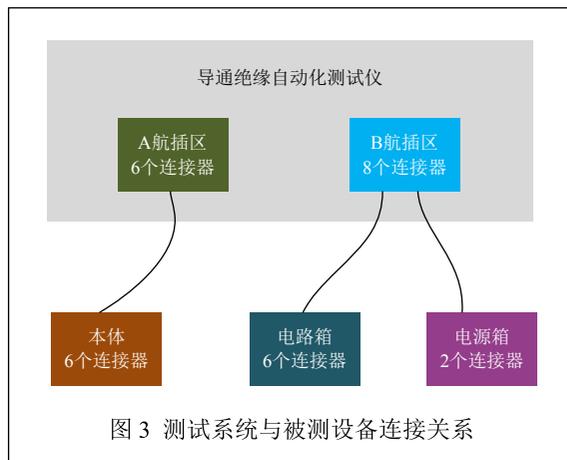
2.1 系统结构

导通绝缘自动化测试系统主要完成 2 个测量任务：导通阻值测试和绝缘阻值测试。

测试系统和被测设备间连接关系如图 3 所示。导通绝缘自动化测试系统面板安装 14 个连接器，分为 A/B 航插区：A 航插区 6 个连接器对应设备本体的 6 个连接器，B 航插区 8 个连接器对应电路箱的 6 个连接器和电源箱的 2 个连接器。通过测试系统提供的线缆能够将 3 台被测设备的所有被测节点与测试系统连接，信号引入测试系统内部进行测试。

导通绝缘自动化测试系统内部结构如图 4 所示。导通绝缘自动化测试系统由面板触摸屏、A/B 航插区连接器、继电器矩阵板卡和内部的多用表组成。面板触摸屏安装主控软件为客户提供人机接口；A/B 航插区连接器为被测设备提供连

接的物理接口，14 个连接器与装备本体、电路箱和电源箱的连接器一一对应；FPGA 主控为系统主控制器，为硬件控制核心部分；达林顿驱动阵为继电器驱动电路；继电器矩阵板卡起到多路测试切换开关的作用；所有待测节点与 A/B 航插区矩阵板卡的继电器一一对



应；节点随导线同时接入矩阵开关的红、黑表笔继电器，测量时将需要使用的继电器吸合，其他的继电器处于默认断开状态；多用表为测量核心，测量每一路电阻值，然后通过串口上传到触摸平板电脑，数据供软件进行分析、判断、显示等处理。

2.2 测试原理

2.2.1 导通阻值测试原理

测试系统需要完成设备本体导通阻值测量，原理如图 5 所示。图中 A 航插区部分对应设备本体的连接器和节点，设备本体的每一个待测节点对应 A 航插区继电器矩阵中的不同继电器开关，按照设备本体待测节点要求配置测试表，软件加载配置表单控制相应的 A 航插区的 2 个继电器开关吸合，将待测的正负节点与测试系统内部的多用表红、黑表笔接通，软件控制多用表读取电阻测量值。

2.2.2 绝缘阻值测试原理

测试系统需要完成设备本体、电路箱和电源箱的

绝缘阻值测试。与特征阻值一对一对点测量不同，绝缘阻值可以采用一点为正，其他点为负的多点同时测量，实现快速测试的目的，其原理如图 6 所示。绝缘阻值测试步骤如下：

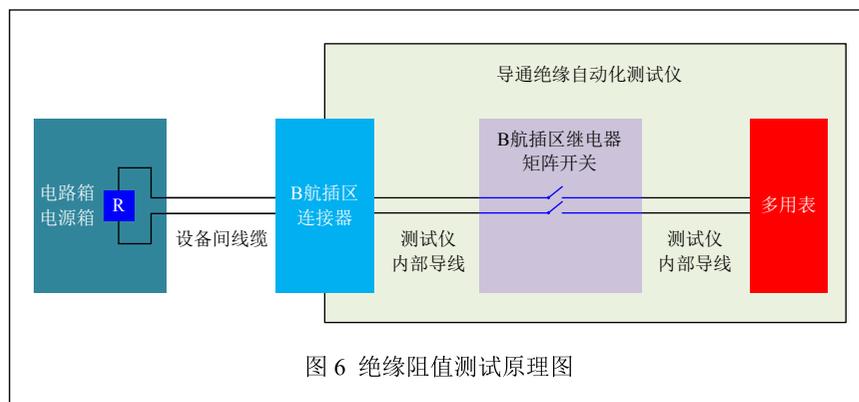
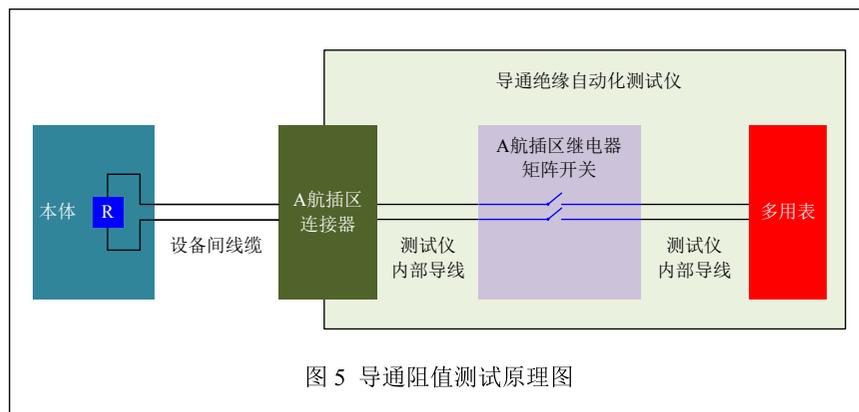
(1) 通过线缆将测试系统与本体、电路箱和电源箱连接；

(2) 软件读取配置表单，开始绝缘阻值测量；

(3) 以本体测试为例，连接器 41-1 的 6 点对应 A 航插区继电器接入万用表红表笔，需要进行绝缘测试的连接器 41-1 的 12\19\25\29\33\37 和 41-2、41-3……41-6 的共 28 个点分别接入万用表黑表笔；

(4) 软件程控万用表进行电阻测量，测量值无穷即为绝缘测试合格；测量值若不是无穷，以 41-1 的 6 点为正，分别与这 28 个点进行绝缘测试，定位非绝缘节点；

(5) 电路箱和电源箱的节点与 B 航插区的继电器一一对应，切换不同的继电器可以实现电路箱和电源箱的绝缘阻值测试。

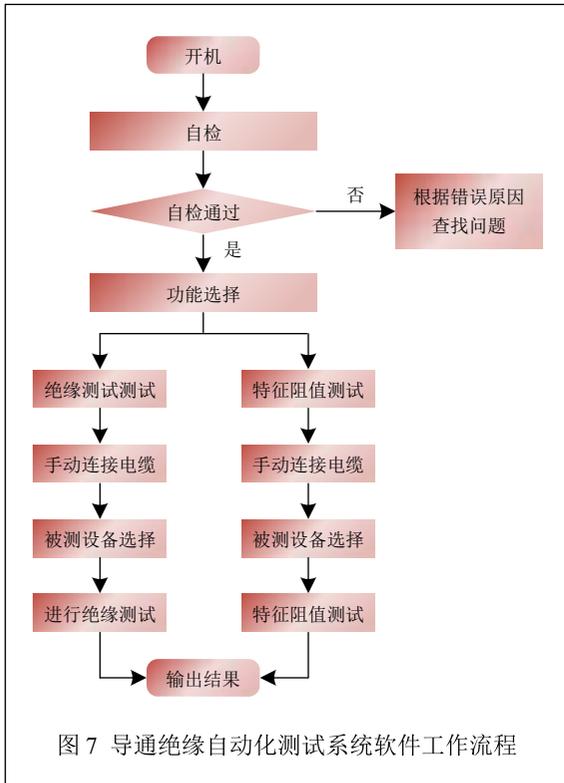


3 软件系统设计

本次设计工业平板电脑中采用 Win7_64 位系统，内装开发软件 LabWindows/CVI。导通绝缘自动化测试系统软件工作流程如图 7 所示。

3.1 软件平台

开发软件选用 NI 公司推出的交互式 C 语言开发平台 LabWindows/CVI。其将功能强大、使用灵活的 C 语言平台与用于数据采集分析和显示的测控专业工具有机地结合起来，极大地提高了工程师和科学家们的生产效率，多用来开发高性能、可靠的应用程序。LabWindows/CVI 具有开放的开发平台，提供广泛的软件集



成工具、运行库和文件格式，可以方便地与第三方设计和仿真连接；同时具有强大的图形化分析、处理能力，例如高级信号处理工具包、数字滤波器设计工具包、调制工具包等。开发环境的编程效率极高，可以减少编程时间，缩短开发周期，降低开发成本。

3.2 软件设计

控制软件采用 LabWindows/CVI 开发环境，通过 TCP 的方式与继电器板卡通信控制，通过 RS232 与源表进行数据采集，通过软件代码编写实现对测量节点的阻值测量，然后对测量的数据进行处理，生成报表，存储数据。

软件主要分为 3 个部分：自检功能、测试功能，结果分析功能。自检功能分为两部分：第一，对连接设备的通信检查，确保开机通信正常；第二，校准功能，确保电缆的连接无误。测试功能部分较为灵活，用户可以采用任意节点测试功能来实现任意一对节点测量（任意节点为硬件所支持的连接节点）；用户也可以直接测试默认配置节点表中的数据，这个功能已经直接封装好；用户还可以建立自己的测试表进行测试，

可以修改最大值和最小值来判断自己测试表的数据是否合格。结果分析功能包括表格显示数据和扇形图显示，用户可以随意切换查看测试结果。测试完成后，所有数据都会默认保存。

4 检测结果分析及性能验证

本研究对多组连接关系进行自动测试和手动测试，所测结果如表 1、表 2 所示。从测试数据可以看出，自动测试系统测试的数据与参考值数据吻合程度很好，而且自动测试系统可以避免手动测试带来的人为误差，为测试提供更加精准的数据。从完成测试所需的时间来看，自动测试能明显缩短测试时间，提高测试效率。

表 1 测试数据对比

开始点	终止点	参考值 (Ω)	自动 (Ω)	要求
1,2A 相	3,4B 相	14	14.554	11 < R < 17
3,4B 相	5,6C 相	14	14.5	11 < R < 17
5,6C 相	1,2A 相	14	14.511	11 < R < 17
7,8A 相	9,10B 相	13	13.273	10 < R < 13
9,10B 相	11,12C 相	13	13.356	10 < R < 13
11,12C 相	7,8A 相	13	13.38	10 < R < 13
14,15A 相	16,17B 相	26	27.49	21 < R < 31
14,15A 相	18,19O 相	13	14.424	10 < R < 13
16,17B 相	18,19O 相	13	14.184	10 < R < 13
20,21A 相	22,23B 相	210	198.885	190 < R < 230
20,21A 相	24,25O 相	105	99.805	85 < R < 125
22,23B 相	24,25O 相	105	99.836	85 < R < 125
26,27	28,29 地	8	7.66	6 < R < 10
30,31	32,33 地	14	13.84	11 < R < 17

表 2 完成测试所需时间对比表

测试对象	手动测试 (min)	自动测试 (min)	缩短时间 (min)
本体箱	50	12	38
电路箱	25	5	20
电源箱	21	4	17

5 结束语

某型导弹平台导通绝缘自动测试系统采用 FPGA 为主控, 继电器矩阵实现多路测试切换的整体架构模式。系统基于 FPGA 的设计, 硬件结构简单, 工作稳定, 速度快, 能够缩短测试时间, 精简测试设备, 减少测试人员, 降低安全风险, 提高测试效率。同时基于 FPGA 的可重构特性, 系统具备进一步扩展优化升级空间。在实际使用中, 该系统能够准确、快速地对某型号导弹平台内部的电缆和节点进行导通、绝缘检测, 还可以将相应的检测数据、检测结果保存至数据库, 便于后续故障排查和产品分析、改进,

参考文献

- [1] 陈鸣瑶, 梁萍. 军用电子设备多芯电缆束保护研究 [J]. 新技术新工艺, 2014(8): 108-111.
- [2] 罗孝兵, 赵转萍. 航空电缆故障自动检测集成系统 [J]. 工业控制计算机, 2003, 16(3): 5-7.
- [3] 李苹慧, 林辉. 航空整机电缆自动测试系统的设计 [J]. 计算机测量与控制, 2010, 18(4): 789-791.
- [4] 谷玉海, 冀欣, 王吉芳, 等. 多芯线缆自动测试系统系统研制 [J]. 仪表技术与传感器, 2014(11): 47-49.
- [5] 韩琦文, 赵转萍, 梁爽. 某型导弹电缆网导通绝缘性能检测系统设计 [J]. 机电工程, 2016, 33(4): 442-447.
- [6] 田建宙, 李虹. 基于 LPC2378 的导通电阻及绝缘电阻测试系统的设计 [J]. 工业控制计算机, 2016, 29(5): 142-143.
- [7] 权赫, 杨岫婷, 肖龙. 运载火箭电气系统箭上电缆网自动导通绝缘测试系统的设计 [J]. 电子测量技术, 2014, 37(10): 37-40.
- [8] 韩琦文, 赵转萍, 梁爽. 某型导弹电缆网导通绝缘性能检测系统设计 [J]. 机电工程, 2016, 33(4): 442-447.

Design of an Automatic Test System for Conduction and Insulation of a Certain Missile Platform

WU Kexiong, LIU Gang, QIU Hongliang, LU Yan
(Unit No.91515, Sanya 572000, China)

Abstract: In order to solve the problems in testing the conductivity and insulation performance of a certain missile platform, such as complicated operation, long time, low measurement accuracy and low degree of automation, an automatic testing system for conductivity and insulation is designed. The system uses FPGA as the main control

and relay matrix to realize the overall architecture mode of multi-channel test switch. The working principle, hardware and software design of the system are introduced in the paper. The experimental data show that the equipment can measure the conduction resistance and insulation resistance of multiple cables, and obtain the test results intelligently. The test operation is simple, and it can meet the test requirements and improve the test efficiency.

Key words: cable; on-resistance; insulation resistance

作者简介

吴克雄: 91515 部队, 高级工程师, 主要从事控制与测试。

通信地址: 海南省三亚市 91515 部队

邮编: 572000

邮箱: 45270448@qq.com

刘刚: 91515 部队, 工程师, 主要从事控制与测试。

邱洪亮: 91515 部队, 高级工程师, 主要从事控制与测试。

鲁琰: 91515 部队, 高级工程师, 主要从事控制与测试。