

# 连接器导通绝缘耐压自动测试系统的设计

丁永恒 黄建 郭宏

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院 北京 100191)

**摘要:**为了提高连接器的测试效率和测试可靠性,本文提出了一种连接器导通绝缘耐压自动测试系统的设计方案。介绍了该系统的技术指标、工作原理、硬件组成及软件实现。系统采用上、下位机形式构建,上位机采用可视化强的 Visual Studio 2013 和数据库 SQL server2012 进行数据管理与分析;下位机通过单路程控绝缘耐压测试仪和万用表进行测试所需的电压施加和信号采集,并利用基于 CAN 总线的通道切换模块进行测试通道的选择。该系统具有快速、准确、高可靠性和便于人员操作等优点。

**关键词:**连接器;导通测试;绝缘测试;耐压测试;CAN 总线

**中图分类号:** TN206 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.4030

## Design of automatic test system for turn-on and insulation and resisting voltage about connector

Ding Yongheng Huang Jian Guo Hong

(School of Automatic Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China)

**Abstract:** In order to improve the test efficiency and reliability of the connector, this paper puts forward a kind of automatic test system design scheme which is used for the test of turn-on, insulation and resisting voltage for connector, and introduces the technical index of the system, working principle, hardware composition and software realization. The system is established with supervision PC and slave computers. In supervision PC, software of data management and analysis is designed with Visual Studio 2013 and SQL server2012, the slave computer imposes the testing voltage and collects data with the single channel program-controlled instrument for insulation and resisting voltage and the universal meter, and chooses test channels with the channel switch module based on CAN bus. The system has the advantages of fast test, accurate result, high reliability and easy operation.

**Keywords:** connector; turn-on test; insulation test; resisting voltage test; CAN bus

### 1 引言

随着电子系统集成技术的不断发展,电子系统的电子设备数量和种类越来越多,系统规模、系统间接口的规模、复杂程度也随之不断扩大,系统中连接器的数量也随之不断增加<sup>[1]</sup>。为了避免因连接器接触不良、绝缘不良等影响系统的可靠性,需要对连接器进行导通、绝缘和耐压测试。

目前,许多连接器生产厂商在连接器出厂之前进行导通、耐压和绝缘等可靠性检验时,主要是以人工逐点测试的方式进行,不同的测试需要不同的接线方式,因此需要人工多次接线,这种测试方式占用大量的人力和时间,对通道数少的连接器还可以适用,但是对于多通道数连接器

批次测量来说,依靠传统的人工测量方法,不仅效率低,检测可靠性也差,并且极大的可能存在测试覆盖性不全的情况<sup>[2-7]</sup>。针对这一现状,设计了集导通、绝缘和耐压于一体的自动测试系统,只需把被测连接器连接到基于 CAN 总线的通道切换模块上就能通过矩阵开关板卡切换进行任意通道的导通、绝缘耐压测试,大大提高了测试效率,节省了测试,具有相当重要的现实意义。

### 2 主要技术指标

- 1) 测试系统满足同时进行不少于 1 000 个连接通路的测试;
- 2) 测试系统导通电阻测试:可判定产品有无断路,精

收稿日期:2016-04

准确测量电阻,检测出接电电阻的微小变化,测试范围不少于 0.001~100 Ω;

3)测试系统绝缘电阻测试:可完成多点的绝缘性测试,测试时间,测试电压均可调,最高测试电压 DC 1 000 V,测试结果上限不低于 1 GΩ;

4)测试系统耐压测试:可完成多电的耐压性能测试,可自主设定合格判定值,最高测试范围不低于 AC 1 000 V。

### 3 系统总体结构及工作原理

电连接器导通绝缘耐压自动测试系统主要由上位机、万用表、耐压仪及通道切换模块等组成,其系统总体框图如图 1 所示。其工作时,先由上位机通过 CAN 总线控制通道切换模块将测试通道切换到万用表或者耐压仪,然后上位机分别通过 USB 总线和 RS-232 总线控制万用表和耐压仪对相应的通道进行测试并读取测试结果,最后对测试结果进行记录、分析和显示。

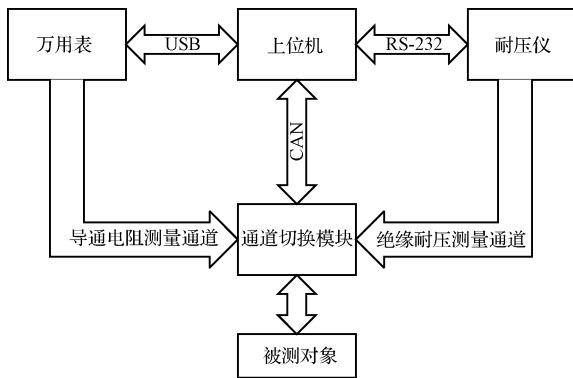


图 1 系统总体结构

#### 3.1 上位机

上位机选用的是研华工控机 610L(i7 处理器,1 T 硬盘,内存 8 G),通过导通绝缘耐压自动测试系统软件与下位机(耐压仪、万用表、路由通道模块)进行数据通信、数据处理和分析、测试结果显示、数据存储、测试报表生成等功能。

#### 3.2 万用表

选用 6 位半数字万用表 Agilent 34461A,具有二线制和四线制测电阻的功能,用来测试连接器各个通道的导通电阻,并将测试结果通过 USB 总线发送至上位机。

#### 3.3 耐压仪

耐压仪选用 Chroma19053 耐压测试器,在耐压测试方面,本测试器的输出功率为 AC:150 VA (5 kV, 30 mA),DC:60 VA(6 kV,10 mA);在绝缘电阻测试方面,本测试器所能测试的范围为 0.1 MΩ~50 GΩ,测试电压为 50~1 000 V可任意设定,并且能够通过 RS-232 总线对其进行

控制,包括设定测试电压、测试时间、读取测量值等。

#### 3.4 通道切换模块

通道切换模块以 STM32F103ZE 为微处理器实现核心控制逻辑,通过 CAN 总线与上位机的通信<sup>[8]</sup>,并根据上位机的算法指令控制继电器的吸合和断开,从而将测试通道切换至万用表和耐压仪进行相应的测试。

通道切换模块由 4 个切换箱组成,而每个切换箱又由 16 块矩阵开关板卡和一块母板组成,如图 2、3 所示。

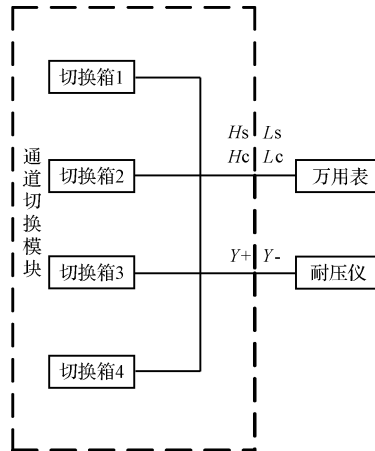


图 2 通道切换模块与万用表耐压仪的连接示意

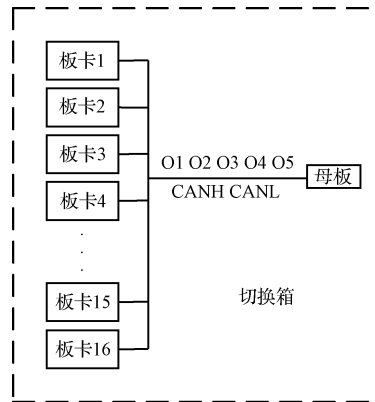


图 3 切换箱结构

每块矩阵开关板卡有 64 路信号输入和 5 路信号输出,其工作时先控制继电器 S1~S64 使输入信号 J1~J64 连接到信号总线 BUS1、BUS2、BUS3、BUS4 上,然后通过控制继电器 S65~S70 控制矩阵开关板卡 O1、O2、O3、O4、O5 输出端信号的输出。母板的信号输入为矩阵开关板卡的信号输出,信号的输出也就是切换箱的输出分别连接到万用表的 Hs、Hc、Ls、Lc 测量端和耐压仪的 Y+、Y- 测量端。矩阵开关板卡原理及板卡与母板连接关系分别如图 4、5 所示。

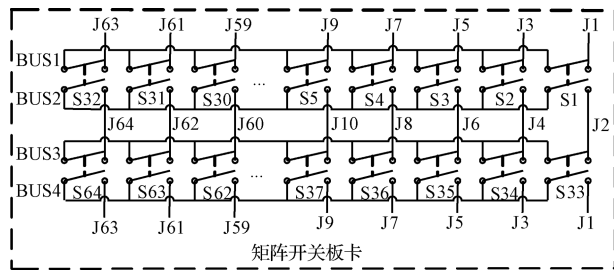


图4 矩阵开关板卡原理

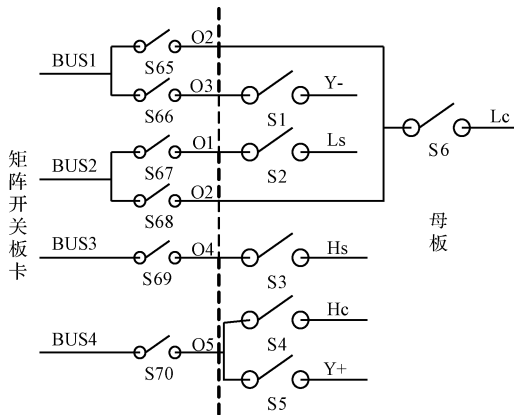


图5 一块矩阵开关板卡与母板连接关系

### 3.5 测试工作原理

每个切换箱由一路 CAN 总线控制,母板的通信地址码为 0,矩阵开关板卡地址依次为 1~16。根据不同的测试项目(导通、绝缘、耐压),由上位机通过算法控制切换模块的继电器使被测对象的测试通道切换到对应的测试仪(万用表、耐压仪)的测试通道上进行测量,下面分别对导通、绝缘耐压测试时,通道切换模块的工作原理进行说明。

#### 3.5.1 导通测试

本系统的导通电阻测试采用万用表的四线制测量方式,所以切换子板的设计思想就是先把测试通道的两个点(每个点引出两根线)接到子板上的 INPUT 接插件上,然后通过子板的矩阵开关阵列把被测测试通道引出的 4 条线分别接在矩阵开关阵列的 BUS1、BUS2、BUS3、BUS4 4 条总线上,最后再通过继电器控制 4 条总线分别与万用表的测试通道 Hs、Hc、Ls、Lc 接通,即可完成导通电阻的四线制测量。

对一个具有 5 个通道的连接器进行导通电阻测试时,其接线关系如图 6 所示,对电连接器的通道 1 进行四线制测导通电阻时,先将点 1-1 引出的两根线连接到子板 INPUT 接插件的 J1、J2 上,点 1-2 引出两根线连接到 J3、J4 上,然后闭合子板继电器 S1、S34 或者继电器 S2、S33,这样就把电连接器通道 1 的一端点接到了总线 BUS1、BUS2 另一端连接到了总线 BUS3、BUS4 上,其次闭合子板继电器 S65、S67、S69、S70 以及母板上的继电器 S2、S3、S4、S6,这样就把通道 1 的一端接到了万用表的 Hs、Hc 上,另一

端接到万用表的 Ls、Lc 上,即可控制万用表对通道进行四线制的电阻测试。

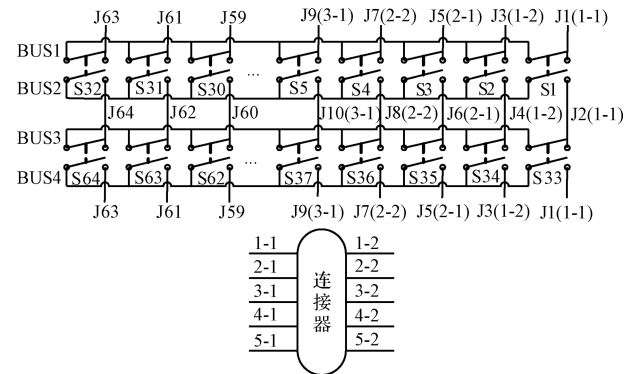


图6 被测连接器与矩阵开关板卡连接关系

#### 3.5.2 绝缘耐压测试

母板中的 Y+ 连接到耐压仪的高压输出端, Y- 耐压仪的地端,在对连接器进行绝缘耐压测试时,需要把耐压仪的高压输出端连接到连接器的一个通道,而耐压仪的地端连接到连接器除了接高压输出端通道的所有其他通道上,然后再设置耐压仪输出进行绝缘耐压测试。

以测试通道 1 与通道 2、3、4、5 的绝缘耐压为例,首先闭合矩阵开关板卡继电器 S1、S34、S36、S38、S40,使通道 1 连接到总线 BUS1、BUS2 上,通道 2、3、4、5 连接到总线 BUS3、BUS4 上,然后控制矩阵开关板卡继电器 S66、S70 以及母板继电器 S1、S5,使得通道 1 与耐压仪的高压输出端连接,通道 2、3、4、5 与耐压仪的地端连接,控制耐压仪输出即可完成通道 1 对通道 2、3、4、5 的绝缘耐压测试。

## 4 系统软件设计

测试系统的软件主要包括通道切换模块的 STM32 单片机下位机软件 and 上位机测试与数据分析记录软件。

### 4.1 下位机软件

下位机软件主要是用来实现通道切换模块与上位机之间的通信,接收上位机的控制指令,并根据指令控制相应继电器的吸合和断开。其程序流程如图 7 所示,首先配置单片机的系统时钟、中断控制器和 GPIO 等,然后对通信总线 CAN 进行配置,配置完单片机后,如果接收到单片机的控制指令,则根据控制指令,单片机控制相应的继电器动作,以达到测试时测试通道切换的目的。

### 4.2 上位机软件

上位机系统软件采用模块化设计,主要由设备管理模块、用户管理模块、测试数据管理模块、自动测试模块等组成,如图 8 所示。设备管理模块主要实现耐压仪、万用表的自检、设备通信接口的配置,实现上位机与耐压仪、万用表、通道切换模块之间的通信控制等;用户管理模块主要实现系统操作人员的管理功能,包括添加用户、删除用户、修改密码等功能;测试数据管理模块包括测试数据的查

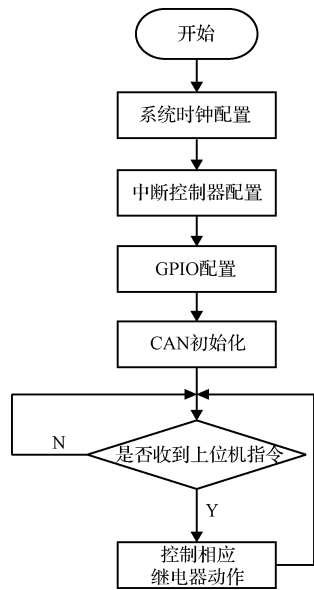


图7 下位机软件流程

询、测试数据的删除、测试数据的导出以及测试报表的打印等功能;自动测试模块是整个测试系统的核心模块,主要有测试工程的建立、测试参数设置、测试实时进度显示及测试结果的显示。测试工程的建立主要添加工程的名称、电连接器个数、每个电连接器的通道数等信息;测试参数的设置包括绝缘测试施加的电压,绝缘电阻阈值,加电时间,耐压测试施加的电压,漏电流阈值,加电时间等参数的设置;测试实时进度及测试结果显示模块主要是显示测试的进度以及当前测试通道的测试结果等。

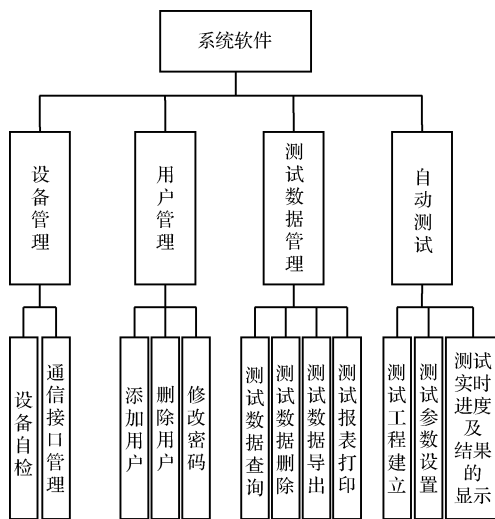


图8 上位机软件功能

## 5 调试及结果

### 1) 导通测试

测试电阻:0.001~100 Ω,取不同阻值的标准电阻,连接到测试端口用测试系统进行测量,并记录测试结果。不

同阻值测试结果与标准阻值对比如表1所示,由测试结果知导通电阻测试的绝对误差小于3 mΩ。

表1 测试导通电阻值与标准值比较

标准值	测试值	绝对误差
10 mΩ	12.407 mΩ	2.407 mΩ
20 mΩ	22.035 mΩ	2.035 mΩ
50 mΩ	51.679 mΩ	1.679 mΩ
100 mΩ	101.481 mΩ	1.481 mΩ
200 mΩ	201.711 mΩ	1.711 mΩ
500 mΩ	501.609 mΩ	1.609 mΩ
1 Ω	1.001 Ω	0.001 Ω
2 Ω	2.000 Ω	0 Ω
5 Ω	5.001 Ω	0.001 Ω
10 Ω	10.001 Ω	0.001 Ω
20 Ω	20.001 Ω	0.001 Ω
50 Ω	49.999 Ω	0.001 Ω
100 Ω	99.997 Ω	0.003 Ω

### 2) 绝缘电阻测试

绝缘电阻测试是测量一个通道对连接器其他通道之间的绝缘,在调试时,用不同阻值的标准电阻模拟连接器通道间的绝缘电阻进行测试,测试时施加 DC 1 000 V 电压,测试时间 30 s,其测试结果与标准值的对比如表2所示,由测试数据可知系统相对误差在2.4%以内。

表2 测试绝缘电阻值与标准值比较

标准值/MΩ	测试值/MΩ	相对误差(%)
10	9.8	2.0
50	48.9	2.2
100	97.7	2.3
500	511	2.2
1 000	976	2.4

### 3) 耐压测试

耐压测试时,要求输出交流电压,系统设置不同的输出电压,用数字万用表直接测量系统电压输出端,其测量值与设置输出值对比如表3所示,由测试数据可知,输出电压与设定输出电压之间的相对误差在1%以内。

表3 测试电压输出值与设定值比较

设定值/V	测试值/V	相对误差(%)
50	50.5	1
100	100.0	0
200	200.3	0.15
500	502	0.4
1 000	1 001	0.1

## 6 结 论

该自动测试系统,有效地解决了连接器导通、绝缘和耐压测试时,效率低、人工接线强度大、可靠性差等问题。经测试表明:系统进行导通电阻测试的绝对误差小于 $3\text{ m}\Omega$ ,绝缘电阻测试精度在 $2.4\%$ 以内,耐电压输出精度在 $1\%$ 以内。设计的导通绝缘耐压测试系统性能稳定、精度高、测试方法简单,易于操作,不仅能应用于连接器的导通绝缘耐压测试,也能应用于汽车、航空航天等领域的电缆导通绝缘耐压测试。

### 参 考 文 献

- [1] 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仪的设计[J]. 电子测量技术, 2014,37(10):37-40.
- [2] 杨奋为. 连接器电缆组件常规电性能自动检测[J]. 机电元件,2011(6):71-37.
- [3] 谢君,李德才,邢延思. 新型磁性液体微压差传感器的设计及耐压分析[J]. 仪器仪表学报. 2015,36(9): 2005-2012.
- [4] 王福忠,董鹏飞,董秋生,等. 煤矿 $6\text{ kV}$ 动力电缆绝缘在线检测系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2015,29(9):1398-1405.
- [5] 任谊,沙立民,姜雨,等. 单回路直流系统绝缘电阻检测装置技术研究[J]. 电子测量技术,2014,37(3): 10-14.
- [6] 李安国,曹文智,马晓波,等. 整机绝缘耐压测试中绝缘电阻和耐压漏电流问题[J]. 电工技术,2011, 10(6):63-64.
- [7] 李慧萍,林辉. 航空整机电缆自动化测试系统的设计[J]. 计算机测量与控制,2010,18(4):789-791.
- [8] 王旭东,朱蕴璞. 基于 ARM 多处理器的 CAN 总线分布式控制系统设计[J]. 国外电子测量技术,2015, 34(5):52-55.
- [9] 项学智,开湘龙,张振宇. 基于 PXI 总线的矩阵开关模块设计[J]. 国外电子测量技术,2013,32(12): 76-79.
- [10] 张刚毅,杜威达,刘兆庆,等. 一种矩阵开关 MA 模块的设计[J]. 国外电子测量技术,2011,30(6):44-46.
- [11] 张明珠,王艳红. 继电器矩阵在 PCB 功能检测中的应用[J]. 煤炭工程,2011(1):114-116.

### 作 者 简 介

丁永恒,1991 年出生,工程硕士,主要研究方向为电机与电器。

E-mail:dingyongheng\_buaa@163.com

黄建,1953 年出生,研究员,主要研究方向为电机与电器。