

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2015.05.10

继电器盒自动测试设备研究

王益, 王彦蕾, 高光波, 曹龙, 巴瑞章

(中国航空工业集团公司北京航空制造工程研究所, 北京 100024)

摘要: 由于某型直升机继电器盒内继电器较多, 且大多数继电器都不是独立供电, 采用人工接线通电检测的方式给该型装备的检测和试验工作带来诸多不便, 为此, 综合集成多项成熟先进的测试软硬件技术, 设计出该型直升机继电器盒的自动测试设备, 实现了对继电器盒各逻辑功能部件的逻辑功能准确无误的测试及故障定位。

关键词: 直升机; 继电器盒; 自动测试

中图分类号: TB97; TP23

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2015)05-0044-05

Research on Auto-test Equipment of Relay Boxes

WANG Yi, WANG Yanlei, GAO Guangbo, CAO Long, BA Ruizhang

(AVIC Beijing Aeronautical Manufacturing Technology Research Institute, Beijing 100024, China)

Abstract: A certain helicopter's relay boxes contain a large number of relays and most of the relays don't use independent power supply. As a consequence, it is inconvenient to do tests and experiments manually. To overcome this, a new automatic test device is designed, which integrates multiple mature and advanced techniques, including software techniques and hardware techniques. Using this new test device, logical functions of each unit of the relay boxes can be accurately tested and faults can be precisely located.

Key words: helicopter; relay box; auto-test

0 引言

FD 型发动机控制继电器盒和 XT 型系统电气控制继电器盒隶属于某型直升机配电系统。前者用于完成发动机启动及控制功能, 后者用于机电控制切换, 完成各系统控制信号转换功能。

在上述两型产品试验、验收等工作中, 需对其通断逻辑功能进行测试。人工测试时, 一般采用手动接线方式对各器件供电, 再用万用表依次测试各触点通断状况, 整个测试过程涉及近 200 对线路搭接, 耗时数小时。当产品在试验箱内进行试验时, 需提前将各器件的供电线路和测试线路接出试验箱外部, 操作起来十分不便。特别是在产品环境应力筛选试验前后 5 分钟振动环节, 采用上述测试方法无法实现。

此外, 产品内部部分器件存在关联关系, 测试时需多个器件同时通电, 这样很容易操作失误, 进而导致器件损坏, 造成经济损失。

显然, 手动测试既浪费时间, 又操作不便, 研制自动测试设备非常必要。为此, 本文采用当前较先进的电子器件搭建硬件平台, 利用 VB 语言编写控制软件, 通过先进电子技术将硬软件有效结合, 设计出两型产品自动测试设备。该设备可对两型产品进行功能检测和故障诊断, 提高了产品验收、试验和维修等环节相关测试工作的效率 and 安全性。

1 测试对象分析

FD 型发动机控制继电器盒由 17 支电磁继电器、2 支开关、2 支指示灯和 9 支相关续流隔离二极管等组成。XT 型系统电气控制继电器盒由 18 支电磁继电器、17 支续流隔离二极管和 3 支稳压二极管组成。对上述两型产品进行逻辑功能测试主要涉及继电器相关逻辑测试。

虽然两型产品内部继电器逻辑状态、连线关系各不相同, 但归纳起来共有以下三种基本连线类型, 即电路切换控制、控制电路接地、控制电路接电源正, 分别如图 1~3 所示^[1]。

图 1 是继电器盒中最常用的连线方式。J1 不通电, 公共端与电路 1 相连; J1 通电, 公共端与电路 1 断开

收稿日期: 2015-08-25

作者简介: 王益(1981-), 男, 湖北洪湖人, 高级工程师, 主要从事光电系统测试技术以及机载电子设备开发和相关测试技术等方面的研究。

而与电路2 相连，实现电路切换功能。

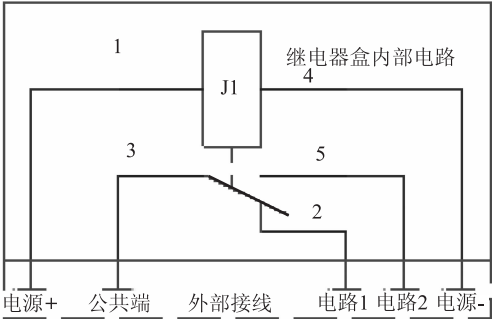


图1 电路切换控制

在图2 中，J1 不通电时，公共端与电路1 相连；J1 通电时，公共端与电路1 断开并接地。

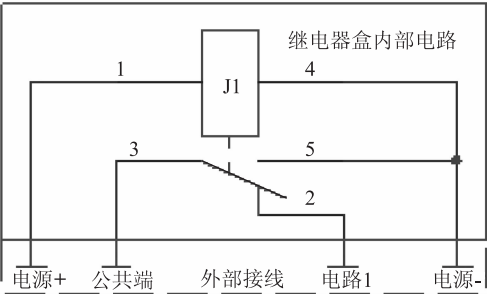


图2 电路接地控制

在图3 中，J1 不通电时，公共端与电路1 相连；当J1 通电时，公共端与电路1 断开并接电源正。

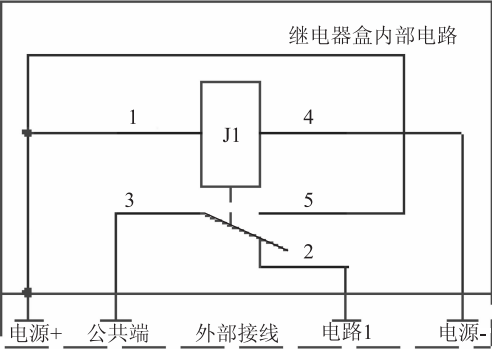


图3 电路接电源正控制

其他连线形式均以此三类电路为基本原形演变或组合而来。实际测试时，只需解决好此三类电路继电器供电电路和触点通断测试电路的匹配关系即可。

2 自动测试设备总体方案

依据以上分析，两型产品逻辑功能测试过程主要涉及被测器件供电、触点通断测试等工作。

本测试设备采用人机界面友好的便携式计算机，按预设的程序自动发送相应指令，控制测试终端为相应器件通断电，同时接收测试终端的测试结果，并将测试结果进行显示、记录和故障诊断。测试设备系统组成如图4 所示。

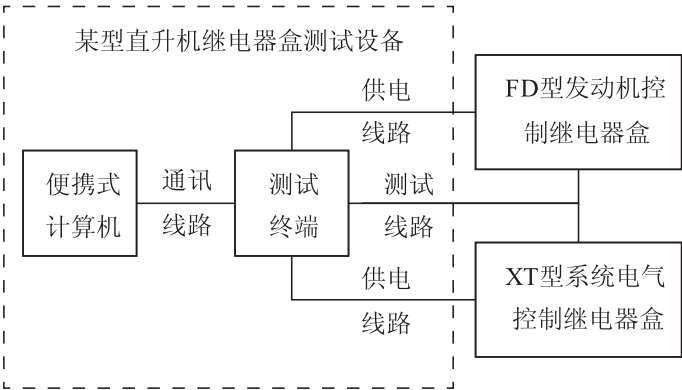


图4 继电器盒自动测试设备系统组成图

其中，测试终端是本测试设备的核心部件。其主控芯片接收上位机指令后，将其I/O 口电平置为“1”或“0”来控制相关器件供电线路通断，并通过其I/O 接口监测逻辑功能测试结果。

本文选用单片机(MCU)作为主控芯片。由于MCU 通用I/O 口数量较少，为满足两型产品共58 组供电和136 组测试线路需求，本设计采用FPGA 来扩展MCU 的I/O 口完成测试工作。测试终端功能模块组成如图5 所示。

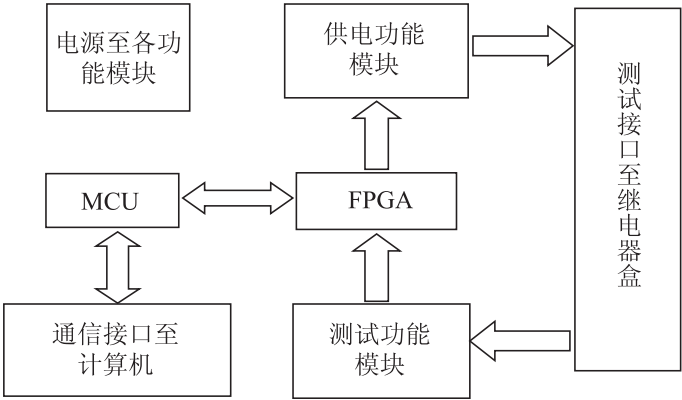


图5 测试终端功能模块组成图

其中，电源模块将220V 交流电转换为28，5，14，3.3 V 等直流电为供电功能模块、测试功能模块、MCU 和FPGA 等供电。

本设备具备单点、多点及自动测试等测试策略，以适应多场景应用。测试流程如图6 所示。

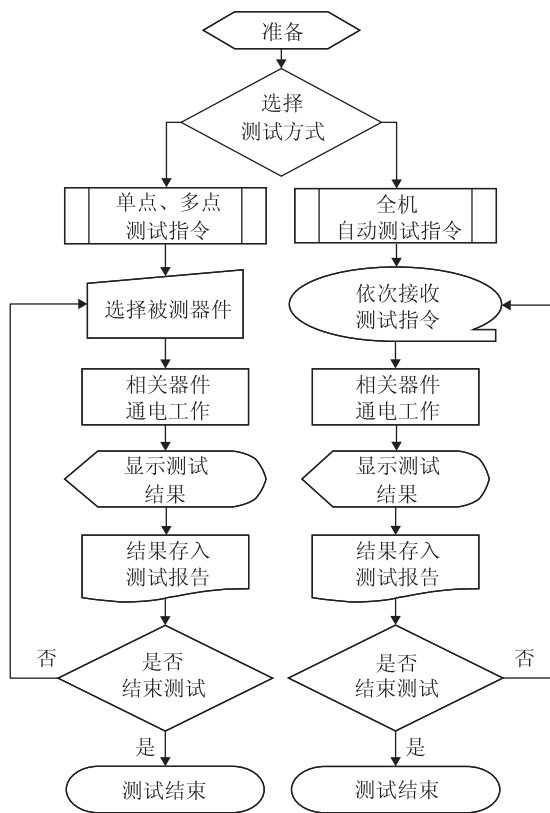


图6 测试仪测试工作流程图

3 测试终端硬件设计

测试终端采用通用化和模块化设计,能同时满足前述三类继电器测试时的供电和测试需求。其主要完成通信、供电、测试三大功能。

3.1 供电功能实现

本测试终端供电功能模块通过 FPGA 的 I/O 口电平高低,控制光耦驱动 MOSFET 通断电源。

实际测试中,有些器件的供电端点的某一端共线,还有些器件供电端点是其他器件测试端点,为避免相互影响,本供电电路输出两端分别用一个 N 沟道和 P 沟道 COMSFET 同时控制供电电路通断。如图 7 所示, FPGA 通用 I/O 口通过图 7 中的 IO1 连接至光耦控制 Q1 \ Q2 通断。当 I/O 口电平为“1”时, Q1 \ Q2 导通,连接在 J1 上的被测器件电源接通。反之,器件电源断开。

采用这种方案,可使连入电路器件不通电时供电引线与电源和地之间的连接彻底切断,使得供电端点某一端共路的多个器件单独测试时不会相互影响,同时也避免供电端点作为测试端点时发生短路危险。本测试设备 58 组供电线路均采用此电路实现。

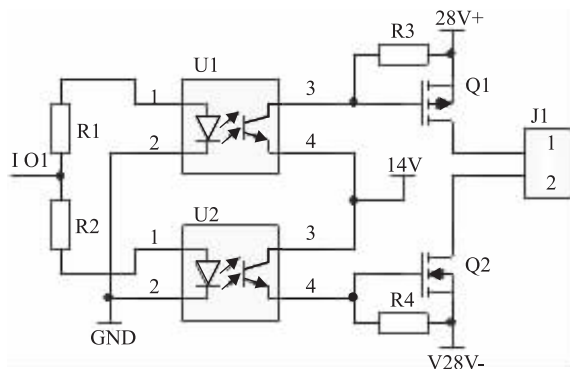


图7 测试器件供电电路原理图

3.2 测试功能实现

两型继电器盒逻辑功能测试主要涉及继电器触点通断测试。本设计将光耦与被测端点组串联,采用小电流测试被测端点组通断状态,避免了测试过程对产品寿命和性能的影响。图 8 即为一组测试电路。

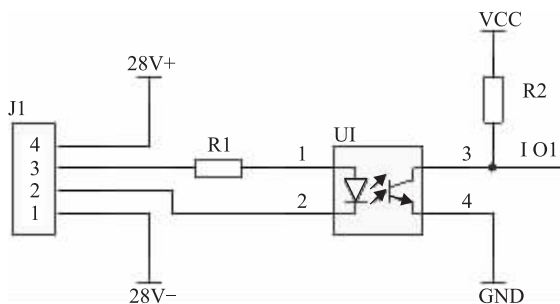


图8 测试器件测试电路原理图

从图 8 中可以看出,当 J1 的 1 和 2 接通,且 3 和 4 接通,光耦将工作,IO1 将为低电平,即逻辑“0”。当 J1 的 1 和 2 及 3 和 4 有一组不导通时,光耦不工作,IO1 将为高电平,即逻辑“1”。只需将待测触点对与 J1 的 1 和 2 或 3 和 4 接通,即可对待测触点的通断进行检测。

由于测试点是继电器一对无阻触点,故两端点间只存在一端接电源正一端浮空、一端接地一端浮空、两端均浮空三种情况。当被测点一端已连接电源正时,直接将该端点接至 J1 - 3,另一端接至 J1 - 2,同时将 J1 - 2 与 J1 - 1 短接, J1 - 4 浮空;当被测端点一端已连接地时,直接将该端点接至 J1 - 2,另一端接至 J1 - 3,同时将 J1 - 3 与 J1 - 4 短接, J1 - 1 浮空;当被测点两端均浮空时,直接将被测两端点分别接至 J1 - 2 和 J1 - 3,同时将 J1 - 3 与 J1 - 4 短接, J1 - 1 至 J1 - 2 短接。

3.3 通信功能实现

在本测试设备中,选用的是 Microchip 公司的

PIC18F4550 型单片机与计算机进行通信。该 MCU 内置符合 USB 2.0 规范的通用串行总线通信模块,支持控制、中断、同步和批量数据传输^[2]。此外,该 MCU 还有一个增强型可寻址 USART 串行通信模块,可进行标准 RS-232 通信并支持 LIN 总线协议。因此,本测试终端与上位机可实现 USB 和 RS-232 两种通信方式。

本设计采用 FPGA 扩展 I/O 口,MCU 和 FPGA 采用并行通信协议进行通信。

4 测试软件设计

本测试设备共涉及两类软件,即上位机软件和测试终端软件。

4.1 上位机软件

上位机测试软件是整个测试过程的组织者,它负责发送测试指令和接收、显示并记录测试结果。根据前述总体方案,该软件应具备测试策略管理、通信、测试过程组织等功能。

Visual Basic 是一种面向对象的程序设计语言,其可视化编程环境为开发人员提供了极大方便。利用 ActiveX 控件和 Windows 动态链接库,可十分方便地实现串口、以太网和 USB 等通信协议,其 ADO 控件还可实现数据保存、查询等功能^[3]。此外,还可调用 Windows 标准库函数扩展功能^[4]。本测试设备上位机软件采用 VB 编写,其界面如图 9 所示。

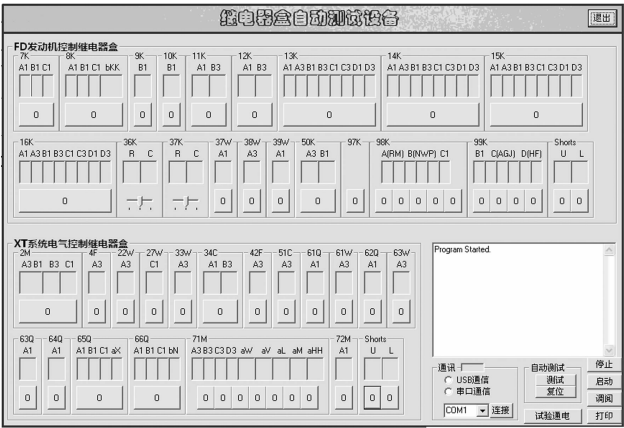


图 9 继电器盒测试设备测试界面

4.2 测试终端软件

测试终端软件主要涉及 MCU 上运行的程序和 FPGA 中运行的逻辑代码。

MCU 主要完成与上位机和 FPGA 之间通信,即实现串口、USB、并口通信功能。程序代码通过 Microchip 公司的 MPLAB IDE 开发平台采用 C 语言编写完成。

FPGA 的逻辑代码主要完成与 MCU 间的通信和 I/O 口逻辑状态的变换、监测功能,并对逻辑关系进行比较。本设计采用 Xilinx 公司 Spartan3 系列 XC3S400 型 FPGA,其代码利用 Xilinx ISE Design Suite 开发套件使用 VHDL 语言编写完成。

5 实测符合性分析

本设备可对单一器件进行单点测试,也可对多个器件进行多点测试,还可对全机进行自动测试。后两种测试功能实际是以第一种测试功能为基础,按照一定的顺序进行组合实现。下面以 FD 型发动机控制继电器盒内 37W“Ng 差延时告警”继电器和 38W“联响切除”继电器的组合测试为例,对自动测试仪的测试原理符合性和实测结果进行分析。

5.1 符合性分析

FD 型发动机控制继电器盒内 37W“Ng 差延时告警”继电器和 38W“联响切除”继电器的连线关系如图 10 所示。两器件的连线关系可以分解为图 1 所示的电路切换电路(有一路电路悬空)。

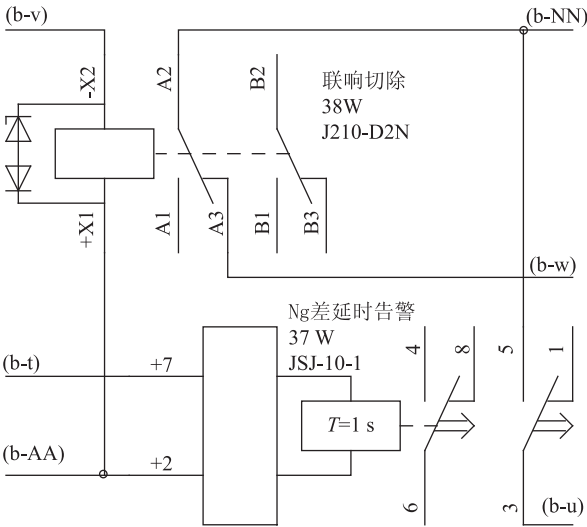


图 10 FD 发动机控制继电器盒 37 W 和 38 W 原理图

从图 10 中可以看出,37 W 继电器和 38 W 继电器的供电正端与 b-AA(FD 继电器盒插座 b 的 AA 插针,下同)相连,其供电负端分别与 b-t 和 b-v 相连,采用两组如图 7 所示的供电电路就能实现 37 W 和 38 W 的单独供电,当对其中一个器件通断电操作时,不会影响另一器件。

37 W 一组触点的公共端点与 b-u 连接,其常开闭点和 38 W 一组触点公共端点一起与 b-NN 相连,38 W 的常闭触点与 b-w 相连。此三端点均未

与继电器的电源正或电源负相连，属于本文第 3.2 节中所列的第三类情况，依据上文分析，测试电路可对 37 W 和 38 W 的两组触点的通断情况进行检测。

5.2 实测结果分析

将 37 W 继电器电源端的通断电状态标记为 A，38 W 继电器电源端通断电状态标记为 B，37 W 一对常开触点 3-5 的通断状态标记为 C，38 W 的常闭触点 A2-A3 的通断状态标记为 D，用“0”代表断路，用“1”代表通路。可以看出 37 W 和 38 W 工作正常时，其组合状态下存在表 1 所示的逻辑关系。

表 1 37 W 和 38 W 正常通断逻辑

A	B	C	D
0	0	0	1
1	0	1	1
0	1	0	0
1	1	1	0

使用自动测试设备对 37 W 和 38 W 的四种组合状态进行测试，测试软件显示的测试结果分别如图 11 中 (a)，(b)，(c)，(d) 所示。图 11 中下框的数值表示继电器通电状态，“0”表示断电，“1”表示通电。上框中的数值表示测试点的通断状态，“0”表示断路，“1”表示导通，框底色表示测试结果，绿色(图中显示为浅灰色)表示“正常”，红色(图中显示为深灰色)表示“故障”。

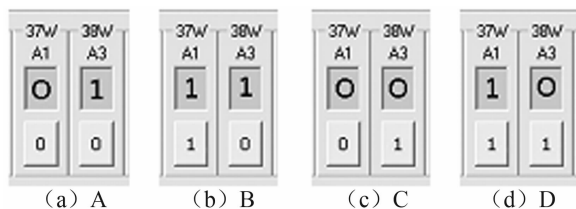


图 11 继电器正常工作时测试设备实测结果

从图 11 中可以看出，37 W 和 38 W 正常工作时，使用测试设备测试的结果与表 1 所示的通断逻辑一致，触点状态框底色也均为绿色(浅灰色)，表明 37 W 和 38 W 逻辑功能正常。为验证测试设备的故障诊断能力，将 b-NN 与 37 W 的常开触点“5”断开，此时，37 W 和 38 W 组合状态下存在表 2 所示的逻辑关系。

再次使用自动测试仪对 37 W 和 38 W 的四种组合状态进行测试，测试软件显示的测试结果分别如图

12 中(a)，(b)，(c)，(d)所示。从图 12 中可以看出，37 W 的常闭触点“5”在 37 W 通电时“无法闭合”。测试结果与表 2 所示通断逻辑一致，37 W 触点状态底色在器件通电时为红色(深灰色)，表明 37 W 逻辑功能不正常，测试设备对 37 W 的故障部位进行了定位。

表 2 37 W 和 38 W 故障通断逻辑

A	B	C	D
0	0	0	1
1	0	0	1
0	1	0	0
1	1	0	0

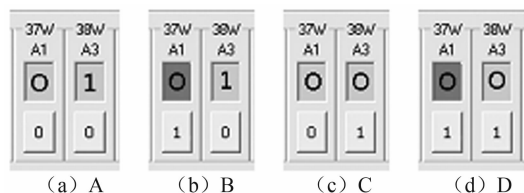


图 12 继电器故障时测试设备实测结果

6 结论

1)本文中，继电器盒内复杂的继电器线路被巧妙地分解为三类基本连线方式，并采用同一供电电路和测试电路同时满足三类连线方式的逻辑测试。

2)供电电路中，分别通过 N 沟道和 P 沟道的两个 COMSFET 同时控制供电电源和地的通断，避免供电端点作为测试端点时发生短路危险。

3)利用现代信息技术将先进的软硬件技术进行集成，实现了对两型继电器盒逻辑功能全面、准确的测试及故障定位；自动测试耗时不到 2 min，大大缩短了产品生产、试验等环节测试时间，提高了生产和试验过程中的测试效率。

参 考 文 献

[1] 田庚, 杨文杰, 杨继恩. 飞机继电器盒逻辑测试关系及测试方法研究[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2006, 15(3): 294-296.

[2] Microchip. PIC18F2455/2550/4455/4550 数据手册[EB/OL]. [2007-06-18]. <http://www.microchip.com/downloads/cn/DeviceDoc/cn027233.pdf>.

[3] 胡玉良, 董冠军. 基于 51 单片机的上位机软件设计[J]. 山西冶金, 2009, 117(1): 59-60.

[4] 蔡晓方, 王建华. 用 VB 实现基于 VISA 标准的 GPIB 自动测试系统[J]. 中国测试技术, 2005, 31(2): 33-35.