

doi: 10.7690/bgzdh.2015.11.017

一种复杂测试系统的等效检测设备

吴金才¹, 张辛², 吴勇军¹, 李智¹, 晏林刚³

(1. 二炮装备研究院三所, 北京 100094; 2. 中国人民解放军 96669 部队, 北京 102208;
3. 中国人民解放军 96164 部队, 浙江 金华 321001)

摘要: 为提高复杂测试系统技术状态自动检测的广度和深度, 减少人工检查工作量, 使用程控电路升级等效器的模拟电路, 并增加检测电路, 形成新的等效检测设备, 实现全面深入的自动检测。实际应用结果表明, 新的等效检测设备的应用显著提高了检测工作的效率和准确性。

关键词: 测试系统; 等效; 检测

中图分类号: TP274 **文献标志码:** A

An Equivalent Detecting Device for Complex Testing System

Wu Jincal¹, Zhang Xin², Wu Yongjun¹, Li Zhi¹, Yan Lingang³

(1. No. 3 Institute, Equipment Academy of the Second Artillery Force, Beijing 100094, China;
2. No. 96669 Unit of PLA, Beijing 102208, China; 3. No. 96164 Unit of PLA, Jinhua 321001, China)

Abstract: To enhance the scope and depth of automatic technical state detection for complex testing system, and reduce manual check workload, program controlled circuit was used to update the analogous circuit of equivalent device, and detecting circuit was added. A new equivalent detecting device was constructed. With this device, full-scale and in-depth automatic detection was implemented. The practical application shows that this new equivalent detecting device greatly improved the efficiency and veracity of the detection.

Keywords: testing system; equivalent; detect

0 引言

一些大型设备在投入使用前, 需要以专用测试系统对其进行检查, 确认其技术状态满足要求。由于大型设备的复杂性, 配套的测试系统也很复杂, 不仅要提供多种基准信号的输出, 还要对多路开关量、模拟量以及频率信号进行测量。由于构成复杂, 测试系统自身的技术状态也需要通过检测来进行保证。目前, 多使用等效器法进行检查, 即设计一个模拟大型设备电气接口特性的等效器, 使用该等效器配合测试系统执行测试流程^[1-2]。如果流程能够正确完成, 判定测试系统正常; 反之, 判定不正常。这种方法能够反映出测试系统的整体技术状态, 但存在检查深度不够的问题, 常常需要较多的人工检查作为补充。

笔者对等效器电路进行改造, 使用嵌入式计算机控制的程控电路代替原有的模拟电路, 使等效器可以更加逼真地模拟大型设备的电气接口特性, 执行更加复杂的测试流程, 以获得更全面的检测结果; 同时, 引入检测电路对测试系统输出的基准信号进行测量, 更进一步地判定测试系统的技术状态。

1 总体方案

等效检测设备由主机箱、显示器、键盘、鼠标等组成, 如图 1^[3]所示。其中主机箱由总线底板、单板机、等效电路、检测电路、电源等组成。单板机控制设备的动作并进行数据处理, 是设备的核心。等效电路由功能板卡和配套的调理电路组成, 接收测试系统输出的基准信号, 向其提供对应的反馈信号。检测电路也由功能板卡和配套的调理电路组成, 对测试系统输出的基准信号进行检测, 判断其信号质量。总线底板提供了单板机和功能板卡间的电气连接, 采用 PCI 总线形式。设备通过专用电缆与测试系统连接。

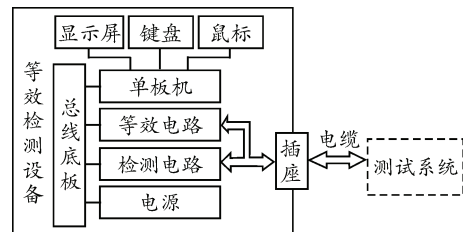


图 1 设备组成框图

设备的工作采取软件控制方式: 等效电路和检

收稿日期: 2015-06-19; 修回日期: 2015-07-03

作者简介: 吴金才(1979—), 男, 广西人, 硕士, 工程师, 从事虚拟仪器研究。

测电路均在单板机安装的应用软件控制下动作。应用软件由主程序和流程数据库、结果数据库组成。流程数据库保存了测试流程每一步骤所需动用的硬件资源及参数配置，主程序读取这些信息后，可控制等效电路和检测电路执行指定动作，向测试系统反馈特定信号并测量其基准信号。结果数据库用于保存检测电路获得的测量结果。开机后，主程序首先执行初始化动作，对单板机进行初始配置；然后从流程数据库中读取步骤信息，控制单板机动作，使设备正确执行各流程步骤；检测得到的数据被实时保存到结果数据库中。主程序逐一执行流程配置信息，直至全部步骤完成。

2 硬件设计

所检测的测试系统不涉及高电压，属弱电范围。结合大型设备的实际情况，等效检测设备的等效电路主要由继电器电路、定时电路、DA 输出电路、开关量输入/输出电路、串口通信电路组成，在单板机的控制下，这些电路可以完整地模拟大型设备的电气接口特性，与测试系统配合完成整个测试流程。检测电路主要由 AD 采样电路和计数电路组成，对测试系统输出的电压基准信号和频率基准信号进行检测^[4]。

2.1 继电器电路设计

继电器电路主要是模拟大型设备的接口逻辑，在收到测试系统的特定基准信号后，经过逻辑处理，在指定点位向测试系统反馈一个信号。反馈信号可以是回送的基准信号本身，也可以是新生产的电压/频率信号。

为了减少继电器数量，控制设备的体积重量，设备选用了研华公司的 PCI-1762 继电器板。该继电器板是一种软配置板卡，共有 16 组单触点继电器输出，常开/常闭特性和触点动作均由软件控制；还拥有 16 个隔离开关量输入通道，用于接收外部信号作为软件的输入。软配置的特性使得部分逻辑功能可以转由应用软件完成，从而降低硬件复杂程度，减少继电器数量。

此外，该板卡允许的输入电压范围为 10~50 V_{DC} ，可直接与测试系统连接，不需要调理电路进行转换，简化了设备的硬件电路。

2.2 定时/计数电路设计

由于大型设备的特性需求，等效检测设备需要向测试系统反馈一系列毫秒级时间精度要求的电平

阶跃信号。这种时间精度无法用 Windows 定时来获得，必须使用硬件定时器。

设备采用了 1 块研华公司的 PCI-1751 多功能数字 I/O 板来实现高精度定时。该板卡设置了 3 个 16 位的 8 254 计数器，计数脉冲的频率可达 10 MHz，可向计算机发出中断信号；还具有 48 个可编程的 TTL 电平开关量输入/输出通道，可用于接收外部开关量输入或向外部输出开关量信号。

设备使用了其中的一个计数器来实现定时：计数模式设置为减计数，在初始时刻，装入第 1 个信号对应的计数值，触发计数；当计数值减为零，计数器向操作系统发出中断；应用软件的中断子程序控制指定的开关量输出通道输出低电平，经驱动放大后，使对应的继电器动作，将输出点位与电源正母线接通，形成阶跃信号；中断子程序装入第 2 个信号对应的计数值，重新开始计数，直至所有阶跃信号发送完毕。

定时器还可以按流程要求产生一定频率的方波，经驱动放大后，作为反馈信号提供给测试系统。

PCI-1751 的计数器还可以用来对测试系统的频率信号进行测量：将一个计数器配置为内部时钟源，加计数模式；另一个计数器配置为外部时钟源，减计数模式。在初始时刻，向第 1 个计数器装入初值零，向第 2 个计数器装入初值 V_2 ，触发计数。当第 2 个计数器计数值减为零，计数器发出中断，中断子程序读取第 1 个计数器的计数值，根据以下公式可换算得到外部时钟源的频率：

$$F_{外} = \frac{V_2 \cdot F_{内}}{V_1} \quad (1)$$

式中： $F_{外}$ 为外部时钟源的频率，Hz； $F_{内}$ 为内部时钟源的频率，Hz； V_1 为第 1 个计数器的计数值； V_2 为第 2 个计数器的计数值。

采取这种测量方式，可能会由于 2 个计数器的计数不同步，在第 1 个计数器产生 1 个计数脉冲的误差。从式中可以看出：在外部时钟源频率不变的前提下， V_2 、 $F_{内}$ 越大， V_1 就越大，由于计数不同步引起的误差就越小；因此，内部时钟源频率应比外部时钟源频率高，第 2 个计数器的初值也应当设得大一些，以保证测量精度。

为了对多路外部频率信号进行测量，设备还设置了多路选择开关对外部信号进行选通，以节省硬件资源。

2.3 DA 输出电路设计

DA 输出电路用于向测试系统提供变化的模拟电压反馈。设备采用了 1 块研华公司的 PCI-1720 DA 输出板。由于板卡输出电压的最大范围为±10

V，最大驱动能力为 20 mA，驱动能力不满足测试系统的要求，所以用运算放大器和三极管搭建了功率放大电路来进行匹配，如图 2 所示。该电路的输出电压由软件编程决定，可实时调整，以适应流程动作的变化。

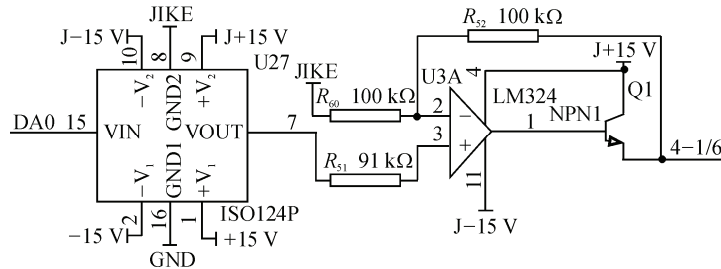


图 2 DA 输出电路原理

2.4 开关量输入/输出电路

测试系统和大型设备之间有大量的开关量信号交互。因此，等效检测设备也需要配置同样数量的开关量输入/输出通道来匹配测试系统。设备利用了 PCI-1762 和 PCI-1751 板卡中的未用开关量输入/输出通道。既满足了使用需求，又避免了新增板卡，带来成本的上升。

为了避免干扰，在所有开关量输入通道中都加入了光耦进行隔离，以保证信号质量，如图 3^[5]所示。

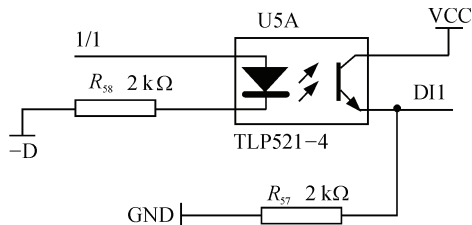


图 3 光耦隔离的开关量输入电路原理

由于测试系统对设备开关量输出通道的驱动能力要求较高，设备采取了开关量输出经驱动放大后控制继电器，由继电器控制母线电压向测试系统反馈的方法来保证驱动能力，如图 4^[1]所示。

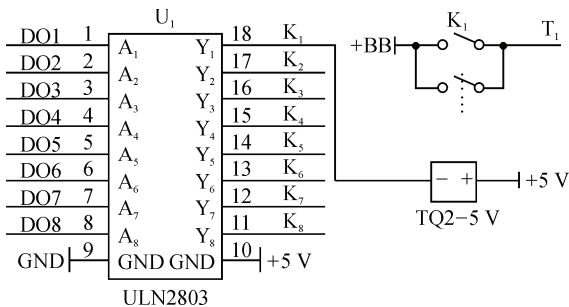


图 4 开关量输出电路原理

2.5 串口通信电路设计

测试系统使用了 RS422 串口与大型设备通信，以传输流程数据。等效检测设备的单板机自带了 RS232 串口，通过转换模块转换为 RS422 串口，实现与测试系统的通信。通信的协议参照测试系统的要求进行。

2.6 AD 采样电路设计

测试系统的基准信号中，电压信号占大部分，使用 AD 采样电路对这些电压信号进行测量，是评价测试系统技术状态的重要依据。设备采用了研华公司的 PCI-1713 隔离模拟输入卡来完成这些电信号的 AD 采样。由于这些电压信号的电平超出 PCI-1713 ±10 V 的最大允许输入范围，因此设置了电阻分压电路进行分压，使其进入允许输入范围。

为了确保设备安全和信号质量，设备采用了 ISO124P 隔离运算放大器来完成测试系统和 PCI-1713 AD 采样板之间的隔离。由于 1 个 ISO124P 芯片只能提供一个信号通道，且体积和功耗较大，设备不可能设置数十个 ISO124P 芯片来满足 AD 采样通道数量的需要。设备使用了 2 个 ISO124P 芯片分别完成 2 种不同电源负母线信号的隔离输入，通道数的扩展则通过 ADG508FBN 多路复用器来完成，如图 5 所示。ADG508FBN 的复用能力为 8 选 1，由 3 个片选信号和一个使能信号来控制其信号通断。使用多个复用器可以显著增加隔离输入的通道数，满足测试系统的要求。代价是这些通道的 AD 采样不能同时进行，必须采取串行工作方式逐一采样。

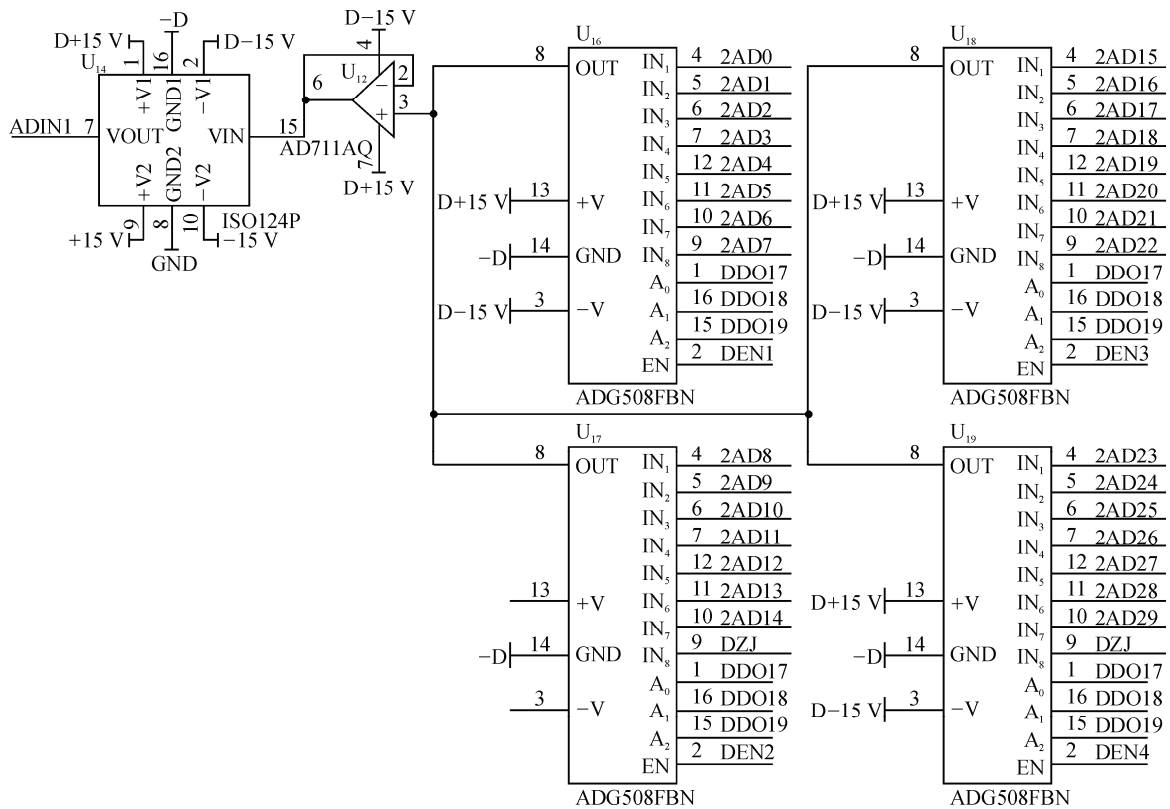


图 5 AD 采样隔离与多路复用电路原理

3 软件设计

设备的软件运行在 Windows XP 操作系统环境下，采用 C#语言和 Microsoft Access 数据库开发而成。

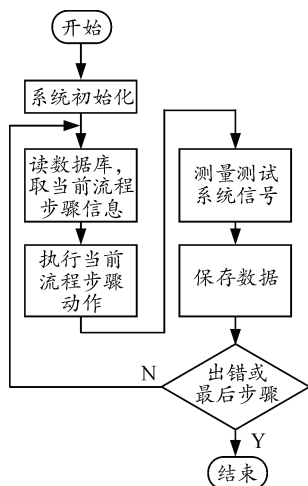


图 6 设备软件流程

软件采取以数据库为核心的架构形式，即：流程信息和测试结果分别放在 2 个数据库中，主程序根据流程数据库中的步骤信息决定当前所要采取的动作，并将测试得到的结果存入结果数据库。整个测试过程是自动进行的，不需要人工干预。操作人

员的工作主要集中在选择测试流程和设置初始参数上。测试完成后的技术状态评价，也由主程序自动完成，以表格形式给出详细的结论^[6]。

软件的流程图如图 6 所示。

4 结论

上述等效检测设备在多个批次的测试系统大修过程中进行了成功的应用。所得测试结果为判定测试系统故障部位，评价测试系统技术状态提供了有力的依据，大大减少了人工检查工作，节省了成本。

参考文献：

- [1] 陈海洲, 叶勇, 沈三民. 一种测量系统等效器的设计[J]. 计算机测量与控制, 2012(5): 1414-1419.
- [2] 李常有, 张义民, 王跃武, 等. 基于等效载荷的故障诊断方法与现状[J]. 振动与冲击, 2012, 21: 1-5.
- [3] 张雪莲, 崔永俊, 沈三民, 等. 基于 USB 接口的等效器的设计与实现[J]. 科学技术与工程, 2013(4): 3460-3465.
- [4] 郭亮, 王吟. 一种结合 LabVIEW 的双层永磁直线电机测试系统[J]. 机电工程, 2013, 30(1): 73-76.
- [5] 张艳红, 易志虎. 地地导弹等效器故障检测仪的设计[J]. 兵工自动化, 2005, 24(5): 19-20.
- [6] 欧爱辉. 一种基于多信号流图的雷达系统测试性建模分析方法[J]. 兵工自动化, 2014, 33(4): 28-32.