

基于 LabVIEW 的同轴开关切换系统设计与应用

姚梅玲¹, 贺青², 杨雁², 迟宗涛¹, 黄璐²

(1. 青岛大学 自动化学院, 青岛 266071; 2. 中国计量科学研究院, 北京 100029)

摘要: 精密自动化测量和射频应用领域, 自动开关切换系统具有广泛应用, 设计高效率、抗干扰的开关自动切换系统在相关领域具有重要应用价值; 普通电磁继电器易受外界电磁干扰和射频干扰影响, 同时被控线路中会被引入电磁噪声, 在精密测量和射频应用领域产生误差, 所以选择屏蔽良好的同轴开关是最佳解决方案; 控制端采用可视化编程语言 G 语言设计控制界面, 基于 LabVIEW 平台, 通过 DAQmx 硬件驱动, 实现同轴继电器开关的程序控制切换和同轴线路的自动开启或关闭功能; 此同轴开关切换系统应用于精密可编程电容器, 同轴开关控制 23 个近似满足二进制关系的电容, 用精密电容电桥检测电容输出值; 实验数据表明, 此同轴开关切换系统准确实现任意电容的切换, 并减少了外界干扰, 提高了系统的测量精度和自动化程度。

关键词: 精密测量; 射频; 同轴开关; LabVIEW; DAQmx 驱动; 可编程电容器

Design and Application of Coaxial Switching System Based on LabVIEW

Yao Meiling¹, He Qing², Yang Yan², Chi Zongtao¹, Huang Lu²

(1. College of Automation Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China;

2. National Institute of Metrology, Beijing 100029, China)

Abstract: In the precision automatic measurement field and the radio frequency field, the switch system has a wide range of applications. So a high efficiency, anti-interference switch system has important practical value. Ordinary electromagnetic relays are easily influenced by EMI/RFI, at the same time they bring electromagnetic noise to the lines. In the field of precision measurement and RF applications, such relays cause error. So the coaxial switch with good shielding was the best solution. Using G programming language designed the user interface. Based on the LabVIEW platform, through DAQmx hardware driver, coaxial relays were controlled by program to switch and coaxial circuit could automatically turn on or turn off. In the application of coaxial switch system in the programmable capacitor, coaxial switch controlled 23 binary-weighted capacitor elements. Capacitance bridge was used for testing the output value. The result reflected that this coaxial switch based on LabVIEW can switch any capacitor. The interference were reduced, at the same time, the precision and automation of the system were greatly improved.

Keywords: precision measurement; radio frequency; coaxial switch; LabVIEW; DAQmx driver; programmable capacitor

0 引言

同轴线路可防止电子线路中电磁干扰并提供良好的电磁屏蔽, 因此在精密测量和射频领域具有广泛应用, 涉及航空航天, 通讯, 医疗等众多领域。随着自动测试系统的发展, 对精密测量和射频领域的开关切换系统提出更为苛刻的要求。选择同轴开关作为切换电路的开关, 可以较好的提高系统的精度和效率^[1]。极大提高整个系统的自动化程度, 同时在很大程度上降低人为干扰, 提高系统测量精度^[2]。同轴开关在电磁兼容等测试系统中也具有重要应用, 它可以降低信号之间的电磁干扰, 提高系统的工作效率。

随着电磁精密测量及射频领域需要测量和分析的对象愈加复杂, 借助 LabVIEW 开发自动测试系统, 可极大提高效率。LabVIEW 结合了简单易用的图形化开发环境与灵活强大的编程语言, 提供了一个直觉式的编程环境, 与测量硬件紧密结合, 能让用户迅速开发出满足需求的各种虚拟仪器系统。借助

LabVIEW 开发平台, 通过硬件驱动 DAQmx, 实现程序控制同轴继电器开关, 完成自动开启或关闭同轴线路的功能, 在精密测量和射频应用领域具有广泛应用。

此同轴开关切换系统应用在精密可编程电容器中, 实现了范围内任意电容值的准确输出。实验结果表明, 此同轴开关切换系统实现了电容的可编程精密切换, 并提高了系统的自动化程度。

1 LabVIEW 及 DAQmx 介绍

虚拟仪器是一种其测试功能由测试软件实现的计算机仪器系统, 具有传统仪器无法比拟的优势。LabVIEW 采用直观图形化的 G 语言, 通过底层协议进行高度封装节点(函数), 从而大大提高了开发效率, 因此广泛应用于仪器控制、数据采集、数据分析和数据显示等许多领域^[3]。

DAQmx 硬件驱动程序是 NI 公司研制的第三代硬件驱动程序, 可作为硬件和 LabVIEW 之间的通信层, 通过 DAQmx 可以将硬件设备集成至 LabVIEW 并将新函数加入函数选板供用户直接调用, 而用户无需知道数据是具体如何传递的。相对于传统的 DAQ 驱动, NI-DAQmx 除了包含 DAQ 驱动的基本功能之外具有更高的效率和更优的性能, 可以节省大量的系统配置、开发和数据记录时间。另外 DAQmx 定义并加强了异常条件处理方法, 比传统 DAQ 驱动更可靠^[4]。DAQmx 重要的组成还包括 MAX 和 DAQ 助理。利用 MAX 配置设备工具,

收稿日期: 2016-09-26; 修回日期: 2016-11-08。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51377150)。

作者简介: 姚梅玲(1990-), 女, 山东泰安人, 硕士研究生, 主要从事数据采集与信息处理, 精密电磁计量等方向的研究。

迟宗涛(1964-), 男, 教授, 硕士生导师, 主要从事传感器与信息处理、精密电磁测量等方向的研究。

利用 DAQ 助手配置虚拟通道和任务，可大大简化数据采集卡的配置。适用于同轴开关切换控制系统的应用程序开发。

2 同轴开关切换系统的原理

继电器通过电带动控制电路断开和闭合。电子线路中最常见的电磁继电器，其原理是控制电流流过线圈产生的电磁吸力对衔铁产生作用，实现触点的开闭，达到切换目的。电磁继电器通常分为非磁保持型和磁保持型两种继电器。非磁保持型触点结构简单，簧片靠磁场的吸引力产生动作，闭合或是断开电路，只需要磁场撤消，簧片依靠自己的弹性使得电路恢复原始状态。磁保持型继电器的特点在于断电之后仍能保持状态不变。通过脉冲作用于控制线圈，开关打开（关闭），脉冲作用于另一组控制线圈时，产生相反工作状态，其开关状态被改变后无需施加外力，开关状态能够一直保持，它的功率消耗只在开关切换瞬间^[5]。

对比普通继电器的基础之上，同轴继电器做了屏蔽处理，避免了与电磁信号之间相互干扰，同时可以保证端子之间的独立性，实现被控制的电路的准确切换。因此精密测量或射频应用领域，通常选用信号损耗小的同轴继电器^[6]。

开关切换控制系统主要实现不同信号的切换，可以通过多个继电器的组合来搭建开关系统。继电器组合方式多种多样，包括较为复杂的矩阵开关，一般常用多路组合方式。图 1~2 为 n 路同轴继电器组合成双刀双掷（DPDT）同轴开关工作方式和单刀双掷（SPDT）同轴开关工作方式的原理图。

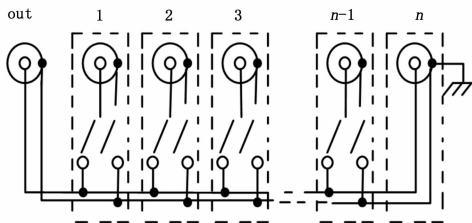


图 1 DPDT 同轴开关工作原理图

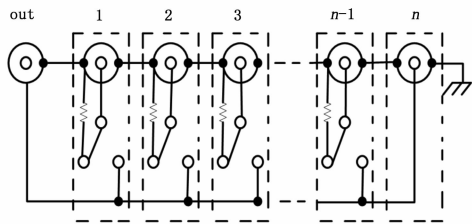


图 2 SPDT 同轴开关工作原理图

3 基于 LabVIEW 的同轴开关切换控制系统设计

基于 LabVIEW 的同轴开关控制系统中，被控信号连接至同轴开关，同轴开关连接到数据采集卡，数据采集卡通过计算机的 USB 接口或是其他方式连接到计算机上，同轴开关及被控信号信息就与控制系统相连，从而实现 LabVIEW 控制程序对同轴开关进行切换控制的功能。

开关信号控制硬件选用 NI 公司的屏蔽式 SCB-100 接线盒，将同轴开关连接至计算机。配套使用 SH100-100-F 同轴电缆，可有效地屏蔽外界电磁干扰。开关数据采集设备选用 NI 公司的 USB-6509，它含有 96 条双向 I/O 通道，具有可靠的工业设计特性。同轴开关控制系统的整体结构框图如图 3

所示。

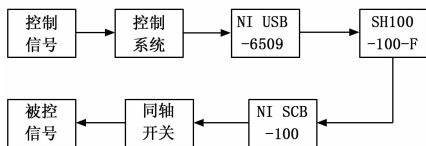


图 3 同轴开关切换控制系统框图

控制程序是基于 LabVIEW 软件平台开发，通过人机交互控制指令的发送，实现同轴开关的切换。

LabVIEW 平台下，需先安装好 NI-DAQmx 驱动以及选用的 NI 设备。

根据开关切换系统拓扑结构，选用数组类型表示开关状态。控制程序的基本流程如下：首先判断当前输入开关状态与历史记录中开关状态相比是否发生变化，如果发生了改变就进入同轴开关控制系统的开关切换控制部分，将开关数组信息根据所选数据采集卡接线配置转换为有用控制信号，作为 DAQ 助手的输入控制信号；程序设置一段时间的延迟，等待同轴开关打开，进而被控信号打开；最后将当前开关状态信息保存为历史开关状态。

对硬件设备的选择及参数做相关设置之后，选择任意编号的开关打开（关闭），在 DAQmx 硬件驱动程序作用之下，对应编号的实际开关打开（关闭），那么被此开关控制的信号或电路接通或断开。

4 同轴开关切换系统在可编程电容器中应用

在电容测量仪器校准领域，目前对精密电容、测量电桥和精密 LCR 表的校准只能实现在几个特殊测量点下校准。若能实现精密可编程标准电容，将可以实现多个量程下任意测量点下的校准^[7]，大大提升我国在电容测量仪器方面的检测校准能力。

基于以上需求，研制一种高稳定性的精密可编程的标准熔融石英电容器，其基本原理如图 4 所示。

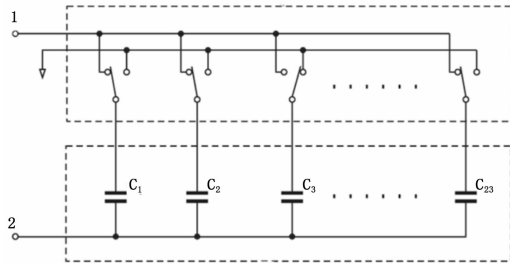


图 4 可编程电容器原理图

图 4 中电容 C1 到 C23 的电容值是按二进制方式编码的，具体电容值如表 1 所示。最小电容的取值近似 0.000 07 pF，最大电容值近似 58 pF，组和电容值可输出的最大值达到 116 pF，这样这个可编程电容的量值就可以实现覆盖六个数量级的电容值。

同轴继电器开关选用的是美国 US 公司生产的 70000 系列 N 端子同轴触点式继电器。70000 系列同轴继电器通过直流驱动信号，利用连接器实现电源单独控制每个端口。为保证较好地屏蔽电磁干扰和射频干扰以及良好的信号隔离性能，该产品采用全铝外壳并且所有的信号通道都做了镀镍、装垫片处理。

另外可实现高达 120 dB 信号隔离和 EMI/RFI 屏蔽。选择型号 U76024-5PAL 的同轴开关, 内部开关类型是 24×1 的簧片继电器?? (确认下这个名词), 选用其 1 至 23 端口分别控制 23 个电容, 25 端口作为公共端。可编程电容器中同轴开关切换控制原理如图 5 所示。

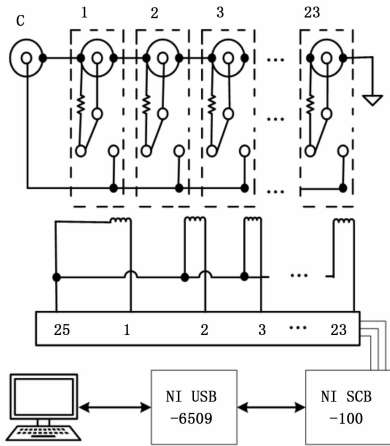


图 5 同轴开关切换控制系统原理图

U76024-5PAL 的同轴开关, 阻抗为 50 欧姆, 切换速度达到 1 mS, 控制电压 5 V。冷却方式是对流冷却, 工作温度范围在 -34℃~65℃ 之间, 湿度要求是 0~98% NC。使用寿命长, 可以达到 10⁸ 次的操作。

开关切换控制程序 LabVIEW 界面如图 6 所示。



图 6 同轴开关切换控制系统界面设计

选用 AH2700A 精密电容电桥校准各单元电容输出值, 将同轴开关依次切换, 对应每个单元电容值依次测定 (测得的电容值按底数为 2 的对数显示)。测试结果如图 7 所示, 近似呈现为一条直线, 电容值之间近似满足二进制关系。

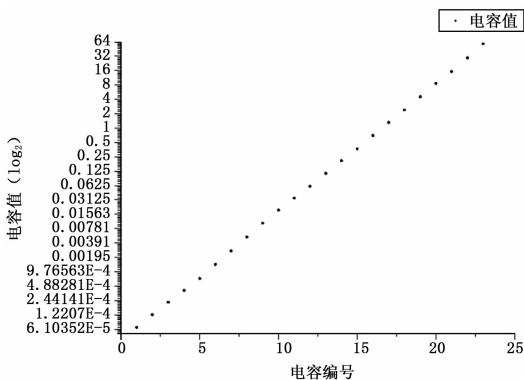


图 7 测试结果

以近似满足二进制的电容标准值作为基数值, 通过组合算法, 计算分别输出组合电容值为 0.001 pF, 0.01 pF, 0.1 pF, 1 pF, 10 pF, 100 pF 的电容组和序列如表 1 “计算输出值” 一列所示。电容电桥测得的实际组合输出值如表 1 “测量值” 所示。

表 1 组合电容测试数据

目标值 (pF)	计算输出值 (pF)	测量值 (pF)
0.001	C19+C21+C23=0.0009910	0.0009913
0.01	C16+C17+C18+C19=0.0099869	0.0099857
0.1	C12+C13+C16+C19=0.0999782	0.0999799
1	C8+C10+C12+C13+C18+C21=0.9999393	0.9999481
10	C4+C7+C12+C13+C17+C21+C22=9.9999606	9.9999527
100	C1+C2+C4+C6+C7+C9+C17+C20=99.9999573	99.9999598

测量结果显示 1pF 以上计算输出值与测量值之间误差达到 10⁻⁶ 量级及以下。可编程电容器在同轴开关切换系统控制下, 可以准确实现电容切换, 同轴开关系统引入的杂散电容小于 10 aF。同时同轴开关系统大大减少了电磁干扰引入, 提高了自动化程度。误差存在的主要来源可编程电容器电容单元温度系数的影响。

5 结论

在 LabVIEW 平台下, 设计同轴开关切换控制系统, 通过编写控制程序实现同轴开关的切换。选用型号为 U76024-5PAL 的同轴开关控制精密可编程电容器的应用实例显示此开关切换系统工作良好, 开关切换准确, 开关及被控线路之间互不干扰。基于 LabVIEW 的同轴切换系统可提高系统的自动化程度和测量精度, 在精密测量领域和射频领域具有广泛应用价值。

参考文献:

- [1] 阳志高, 刘旺锁, 胡金华. 自动测试平台开关系统设计研究 [J]. 计算机测量与控制, 2007, 15 (1): 19-20.
- [2] 闻映红, 谈振辉. 射频同轴开关转换仪的研制 [J]. 电子测量与仪器, 2005, 19 (2): 34-36.
- [3] 李雪菊, 邹 澎. 基于 LabVIEW 的单片机串口的高频同轴开关转换电路 [J]. 微计算机信息, 2005, 20 (7-2): 86-88.
- [4] 张 荣. 基于 DAQmx 驱动与 LABVIEW 的数据采集系统设计 [J]. 计算机应用与软件, 2011, 28 (3): 180-181.
- [5] 刘青立. 射频同轴继电器原理、结构及应用 [J]. 机电元件, 2009, 29 (2): 30-33.
- [6] Shakil Awan, Bryan Kibble, Jürgen Schurr. Coaxial Electrical Circuits for Interference-Free Measurements [M]. The Institution of Engineering and Technology, London, United Kingdom, 2011: 87-94.
- [7] Andrew D. Koffman. Programmable Capacitors Developed at NIST [R]. Brasil: CPDM, 2014: 1-15.