

实物标准电阻器智能输出系统的研究

朱小明¹, 陆新东¹, 郭美玉¹, 蒋涛², 孙军涛¹

(1. 河南省计量科学研究院, 河南 郑州 450008; 2. 新乡市质量技术监督检验检测中心, 河南 新乡 453700)

摘要:针对实物电阻器输出阻值的改变只能通过手动方式实施的问题,设计了一套智能控制系统,实现实物电阻器阻值的数字化输出。将多只四端标准电阻器以一定的排列顺序串联连接,利用四端标准电阻器的原理特点,所有串联电阻共用一对电位端,在每只电阻器的左右分别都有一个电流输出端,电流输出端线路中接入继电器控制开关,以控制继电器的开通闭合,来实现电阻器的不同组合输出。本系统经试用,性能稳定、准确度高、实时性好、适用范围广、试运行情况良好。

关键词:智能输出; 实物电阻器; 四端测量; 继电器; 电流端; 电位端

中图分类号:C 33 **文献标志码:**A

DOI:10.19328/j.cnki.1006-1630.2019.05.020

Research on the Physical Output Resistor Intelligent Output System

ZHU Xiaoming¹, LU Xindong¹, GUO Meiyu¹, JIANG Tao², SUN Juntao¹

(1. Henan Institute of Metrology, Zhengzhou 450008, Henan, China; 2. Quality Technology Supervision, Inspection and Testing Center of Xinxiang, Xinxiang 453700, Henan, China)

Abstract: In order to solve the problem that the resistance of the physical resistor output can only be implemented manually, an intelligent control system was designed to realize the digital output of the resistance of the physical resistor. A plurality of four-terminal standard resistors were connected in series in a certain order, and the principle characteristics of the four-terminal standard resistors were used. All series resistors shared a pair of potential terminals, and each of the resistors had a current output terminal on the left and right sides. The relay control switch was connected to the current output terminal, and the opening and closing of the relay were controlled by the system to realize different combinations of the resistor outputs. The system includes the verification of stable performance, high accuracy, good real-time performance, wide application range and good test operation.

Keywords: intelligent output; physical resistor; four-terminal measurement; relay; current terminal; potential terminal

0 引言

随着遥感卫星的定量化应用需要,在卫星的测控、数传、电源、载荷等方面都需要大量的精密电阻器件,这些电阻器件很多为大功率电阻器,如目前的卫星电源系统峰值功率已达到1万W,今后会向10万W方向发展,大电流、大功率电阻器件已经成为卫星系统中的标配应用。作为电阻值测量仪器——电阻测量仪在航天检测系统中是一类重要的测试设备。

对此类仪器校准溯源是保证电阻元器件准确使用的唯一途径,电阻测量仪校准常用的标准器为:标准电阻器^[1]。标准电阻器有多种形式,如:标准电阻、过渡电阻及电阻箱等标准电阻器,其中电阻箱由于能方便地提供多个电阻值而在测量领域中被广泛应用。

1 电阻箱的结构分类

直流电阻箱是一个由若干个阻值已知的电阻线

收稿日期:2019-05-11;修回日期:2019-06-17

基金项目:河南省科技攻关计划项目(162102210382)

作者简介:朱小明(1968—),女,高级工程师,主要研究方向为电磁测量技术。

圈按一定形式连接在一起组合而成的可变电阻量具。其电阻值的改变是依靠专门设计的转换装置来实现的。

由于电阻箱的阻值改变较方便,能构成一套调节方便的电阻标准量具^[2],因此在电气计量中得到了极为广泛的应用。根据调节方式不同,可分为接线式、插头式、开关式。

接线式电阻箱:其各个电阻线圈分别焊接在各个端钮间,其电阻值的改变通过改变接线端钮的位置实现。优点是不必考虑零位电阻,阻值稳定;缺点是操作不太方便。其结构原理如图 1 所示。

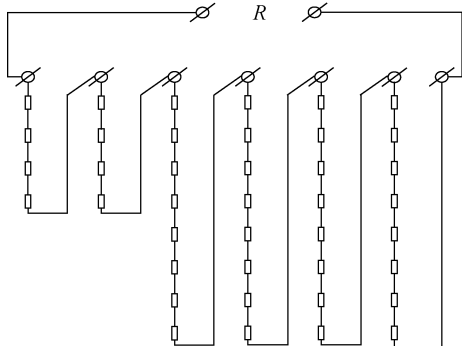


图 1 接线式电阻箱结构原理

Fig.1 Schematic diagram of wiring resistance

插头式电阻箱:依靠改变插头的插入位置来实现阻值调节,其优点是接触电阻较小、零位电阻小;缺点是操作不太方便。其结构原理图如图 2 所示。

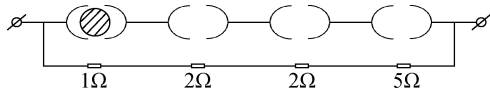


图 2 插头式电阻箱结构原理图

Fig.2 Schematic diagram of plug resistance box

开关式电阻箱较多,它依靠将电刷旋转到不同的位置来实现阻值调节,其优点是操作方便;缺点是接触电阻较大,且稳定性较差。其结构原理如图 3 所示。

综上所述,无论何种电阻箱,若要改变输出电阻值,都需通过手动方式来完成。

随着测量技术的发展,自动测量系统逐渐应用到测量领域中,对电阻测试仪器的自动检测校准系统的需求越来越迫切,而标准电阻器的智能化输出是自动校准系统中首先要解决的问题^[3]。针对此问题,本文设计了一套实物电阻标准器的智能化输出系统。经过两年的试制、试验、调试,研制出了一台

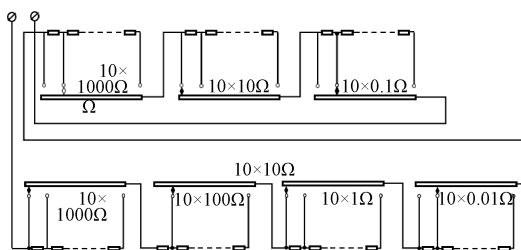


图 3 开关式电阻箱结构原理图

Fig.3 Schematic diagram of switched resistance box

性能稳定、可靠性高的实物电阻器智能化输出系统。

该装置经科技查新和有关专家论证,技术水平达到国内领先,项目成果具有良好的科学性和实用性。该装置与其他同类装置相比,主要创新点为用数字化方式实现了不同实物电阻值的输出,代替了目前的手动拨盘,克服了当前检测操作繁琐、人身安全受影响等问题,提高了工作效率。

2 智能电阻器设计原理

电阻器分两端电阻和四端电阻,其中标准电阻器一般为四端标准电阻器。其结构原理如图 4 所示。

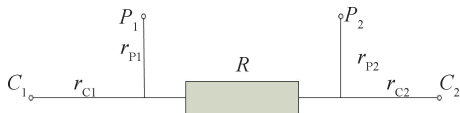


图 4 四端标准电阻结构原理图

Fig.4 Schematic diagram of four-terminal standard resistor

图中, P_1 、 P_2 为标准电阻的电位端, C_1 、 C_2 为标准电阻的电流端,电阻值定义为 P_1 、 P_2 两端点间的电阻。电流从 C_1 、 C_2 两端流入,当用数字电压表测量 P_1 、 P_2 两端的电压时,由于数字电压表的输入阻抗很高,电压回路中几乎无电流流过,电压引线极接触电阻和引线电阻 r_{P1} 、 r_{P2} 对测量的影响可忽略不计;由于两个电流引线在两个电压引线极之外,因此可排除电流引线极接触电阻和引线电阻 r_{C1} 、 r_{C2} 对测量的影响,根据 $R=U/I$,可准确测量该电阻器的电阻^[4]。

由此可知,在恒流源电流回路中的接触电阻和引线电阻对电阻测量结果基本无影响。若在电阻的两个电流引线上各串入一个控制继电器开关,继电器引入的接触电阻对电阻测量结果无影响。

根据上述原理设计一组四端标准电阻器组,将

多只标准电阻以串联方式相连,借鉴过渡电阻的结构原理,每个电阻两端各有一根电流输出端,所有电阻共用一对电位端。每只电阻相互对立,电阻可单独输出也可组合输出,在每只电阻两个电流端串入一继电器,通过控制继电器的开关切换,实现线路的通断,进而实现不同电阻值的组合输出^[5]。

控制系统由主控计算机和系统控制软件构成。系统控制软件采用 C 语言进行开发,控制系统通过 USB 及 RS232 接口将所有硬件连接在一起,通过继电器模块和控制硬件系统完成电阻器值的智能化输出。

继电器模块主要是针对各个电阻值,与继电器形成对应关系,并编码,存入数据库系统。在设备工作中,直接读取电阻值,即可以让对应的继电器工作,保证各个继电器工作有序稳定。系统原理框图如图 5 所示。

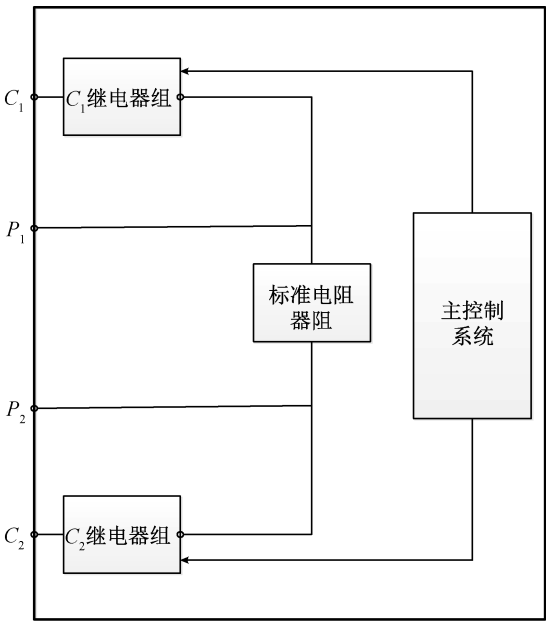


图 5 系统原理
Fig.5 System block diagram

3 电路设计方案

3.1 标准电阻器

标准电阻器由 n 个标准电阻组成,电阻以串联形式相连接。由于是固定阻值的标准电阻收尾相连接,电阻相互独立又可组合输出,因此借鉴过渡电阻的结构方式,所有端口的电位端共用^[6]。这样大

大减少继电器的使用量,降低了复杂度和干扰,增加装置的稳定性。

电阻值布局如图 6 所示。前面 10 个 $10\text{ m}\Omega$ 电阻,中间 10 个 $1\text{ m}\Omega$ 电阻,后面 10 个 $100\text{ m}\Omega$ 电阻,每个电阻可单独使用,也可串联组合输出电阻值。

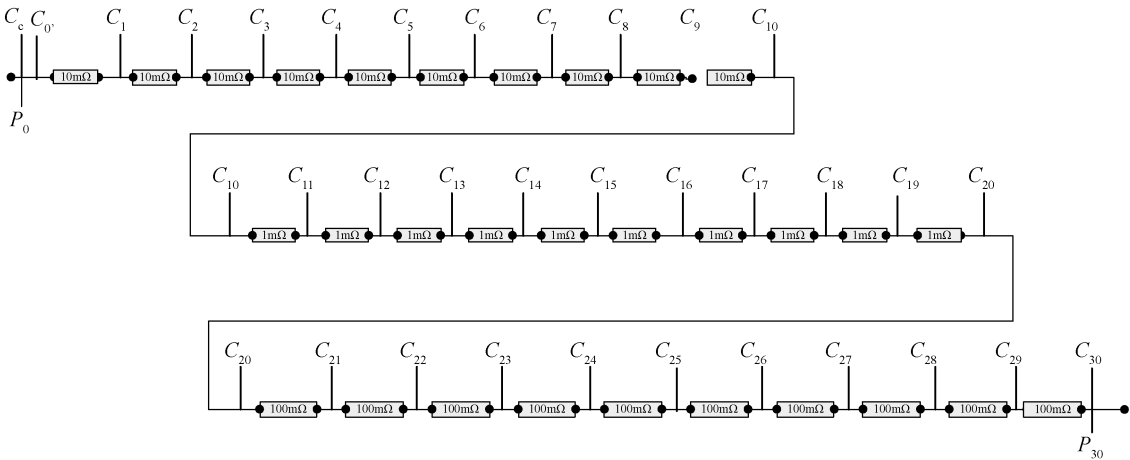


图 6 电阻结构框图
Fig.6 Schematic diagram of resistors

30 只电阻共用一对电位端 P_0 、 P_{30} ；每只电阻两端各有一根电流引出线。每只引出线都连接一继电器,通过控制继电器的通断闭合,实现不同电阻组合输出的功能。 P_0 、 P_{30} 直接连接在标准器装置的

两电位输出端,各个电流引出线通过继电器和标准器装置的两个电流输出端总线相连。

在测量过程中电流端连接在电流回路中,电位端连接在电压测量回路中,两回路各自独立。电阻

测量仪根据其自身输出到电流回路的电流,结合在电压测量回路中采集到的电压值,根据 $R=U/I$ 计算出其测量到的电阻值,此显示电阻值和标准电阻值比较,从而确定被测设备的示值误差。

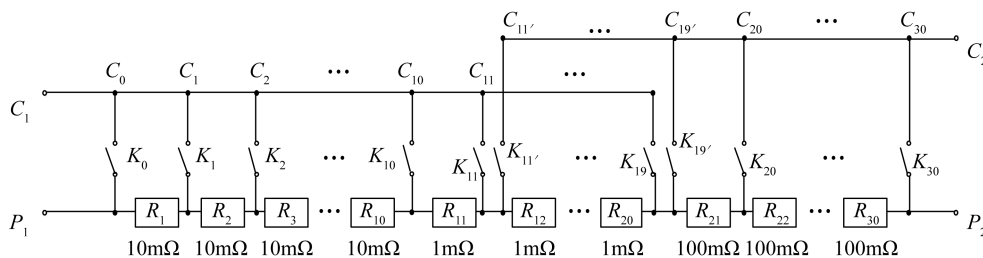


图7 继电器线路图

Fig.7 Schematic diagram of relay circuit

将这30只电阻共用一对电位端,该对电位端和系统的电位接线端 P_1 和 P_2 相连。 $R_1 \sim R_{10}$, $R_{22} \sim R_{30}$ 每个电阻两端各引出一个端子作为电流端 ($C_0 \sim C_{10}$, $C_{20} \sim C_{30}$), 由继电器控制通断; $R_{12} \sim R_{20}$ 每个电阻两端各引出两个端子作为电流端 ($C_{11} \sim C_{19}$, $C_{11}' \sim C_{19}'$), 并通过继电器控制其通断。这些电流端中 $C_0 \sim C_{19}$ 的电流端连在一起与系统的电流接线端 C_1 相连; $C_{11}' \sim C_{19}'$ 和 $C_{20} \sim C_{30}$ 的电流端连在一起与系统的电流接线端 C_2 相连。

系统可自动控制输出 $1 \sim 110 \text{ m}\Omega$ 范围内的每一个整数电阻值, $110 \text{ m}\Omega$ 以上的阻值可按10的整数倍输出,最大可输出阻值为 $1\,100 \text{ m}\Omega$ 。

通过对电流端各个继电器的控制,最终当从计算机设置输出一个电阻值时,系统会自动根据所设定电阻值,通过控制电流端所连继电器的通断,控制装置输出相应阻值的电阻。实现对标准电阻器的自动控制。

例如:当设置输出电阻为 $101 \text{ m}\Omega$ 时,被检电阻测试仪的电位端分别接 P_1 和 P_2 , 电流端接 C_1 和 C_2 。计算机根据设置的阻值 $101 \text{ m}\Omega$, 选择接入电路的电阻为 R_{20} 和 R_{21} , 继电器 K_{19} 和 K_{21} 闭合, 被检电阻测试仪的试验电流从 C_1 、 C_2 电流端流经电阻 R_{20} 和 R_{21} , 电阻测试仪从 P_1 和 P_2 端测得电压值, 经放大采样计算后显示出所测的电阻值。

同样,当设置输出电阻为 $42 \text{ m}\Omega$ 时,被检电阻测试仪的电位端仍接在 P_1 和 P_2 , 电流端接 C_1 和 C_2 。计算机根据设置的阻值 $42 \text{ m}\Omega$, 选择接入电路的电阻为 $R_7 \sim R_{12}$, 此时系统控制继电器 C_6 和 C_{12}'

3.2 继电器线路

继电器线路图如图7所示。图中,30只标准电阻以串联的形式相连接。其中 $R_1 \sim R_{10}$ 阻值为 $10 \text{ m}\Omega$, $R_{11} \sim R_{20}$ 阻值为 $1 \text{ m}\Omega$, $R_{21} \sim R_{30}$ 阻值为 $100 \text{ m}\Omega$, k_n 、 k'_n 为继电器。

闭合,被检电阻测试仪的试验电流从 C_1 、 C_2 电流端流经电阻 $R_7 \sim R_{12}$, 电阻测试仪从 P_1 和 P_2 端测得电压值,经放大采样计算后显示出所测电阻值。

3.3 控制单元

数据采集和处理芯片采用ADI公司的ADuC845芯片,ADuC845是嵌有单指令周期8052闪存MCU、带两路24位 $\Delta-\Sigma$ A/D、双12位D/A以及两个灵活脉宽调制输出的高性能24位数据采集与处理系统芯片^[7]。该芯片的数据处理速度快设计简单,噪声低。

控制系统软件采用C语言和VB开发,人机界面采用模态软件设计,由计算机设定输出电阻值,通过485通讯将设定值指令发给ADuC845-CPU, CPU收到指令后,通过I/O串口通讯驱动继电器驱动板,驱动板驱动指定的继电器闭合,实现设定的标准电阻器接通装置输出端,从而输出设定电阻值。

4 提高系统稳定性措施

为使系统能稳定运行,保证装置的计量性能,采用了如下措施来提高系统的稳定性:

1)对装置内不同的功能区,采取分开供电的方式,防止功率器件产生干扰影响信号采集区。如继电器控制采用12V开关电源,触摸屏采用24V开关电源,主控制板采用12V变压器经整流和线性稳压后引入主控板^[8]。

2)简化继电器控制设计。对电流端:原设计在每一个分标准电阻器的两侧均设计两个继电器分别

接 C_1 和 C_2 , 简化后的设计在 $10\text{ m}\Omega$ 区间只有一个继电器接 C_1 , 在 $100\text{ m}\Omega$ 区间只有一个继电器接 C_2 , 在 $1\text{ m}\Omega$ 的区间则同时设计两个继电器接 C_1 和 C_2 。对电位端: 所有端口的电位端共用一对。简化后的设计大大减少继电器的使用量, 但可实现完全的电阻组合功能, 降低了复杂度和干扰, 增加了装置的稳定性^[9]。

5 整体测试及结果

对智能标准电阻装置的验证采用了两种方法: 比对法、溯源法^[10]。

5.1 比对法

用该标准装置与 0.02 级模拟电阻器、0.01 级大功率标准电阻同时检测一台 PC36B 电阻测量仪, 测试结果见表 1。

表 1 比对法测量结果

标准器值	PC36B 显示值/ $\text{m}\Omega$			比对结果 $ y_{\text{lab}} - \bar{y} \leq \sqrt{\frac{n-1}{n}} U_{\text{lab}}$
	模拟标准电阻装置	大功率标准电阻	智能电阻标准装置	
100	100.1	100.1	100.0	合格
200	200.1	200.1	200.1	合格
300	300.1	300.0	300.0	合格
400	400.2	400.1	400.1	合格
500	500.3	500.3	500.2	合格

5.2 溯源法

用直流比较仪式电桥 QJ55(准确度等级 0.000 5 级), 恒流源(准确度等级 0.01 级), 来测量本智能标准电阻器装置, 测量结果见表 2。

表 2 溯源法测量结果

标称值/ $\text{m}\Omega$	测量值/ $\text{m}\Omega$	示值相对误差/ $\%$
100	100.04	0.04
200	200.07	0.035
300	300.07	0.023
400	400.09	0.022
500	500.09	0.018

经比对法和溯源法两种方法验证, 本智能标准电阻装置能满足 0.05 级的计量性能要求, 可作为 0.05 级标准电阻器使用。

6 结束语

文中设计并研制了一款数字化智能调节输出实物标准电阻值的装置。该装置连续可调, 由计算机设定所需电阻值, 通过系统控制软件, 驱动继电器板, 实现不同继电器开关的通断, 从而达成多种电阻组合线路, 实现不同标准电阻值的输出。试验表明: 该技术对电阻测试仪能准确校准, 可靠性高, 实时性好, 适用范围广, 试运行情况良好。该装置可推广应用于航天电阻检测领域, 能提高检测自动化水平和检测数据置信度, 实现电阻类测试仪的自动化校准

与检测。

参考文献

[1] TSAO S H. An accurate, semiautomatic technique of measuring high resistances[J]. IEEE Transactions on, Instrumentation & Measurement 1967, 16(3): 220-225.

[2] HENDERSON L C A. A new technique for the automatic measurement of high value resistors[J]. Journal of Physics E: Scientific Instruments, 2000, 20(5): 492-495.

[3] 黄晓英,曹作群.接地导通电阻测试仪的智能化设计[J].湖北电力, 2013, 37(2): 69-70.

[4] 王锡平,侯殿成,沈晴,等.宽温组合标准电阻设计和实现[J].计量技术, 2015(11): 7-10.

[5] 朱小明,陆新东,李东波,等.标准电阻型接地导通测试仪检定装置的研究[J].计量技术, 2015(11): 50-53.

[6] 刘浩,项琼,汪泉,等. JJG 1069—2011《直流分流器》检定规程解读[J]. 中国计量, 2012(2): 125-127.

[7] 赵超超,赵向阳.电流互感器二次侧回路状态检测装置研制[J].电测与仪表, 2018, 55: 121-125.

[8] 申忠如,郭福田,丁晖.现代检测技术与系统设计[M]. 西安:西安交通大学出版社, 2006.

[9] 曾舒帆,李亚娟,等.指针式电学三表自动检定系统研制[J].中国测试, 2019, 45(4): 104-108.

[10] 张越专. 8508A 数字多用表检定直流电阻箱的可行性分析[J]. 工业计量, 2011(5): 12-13.

(本文编辑:姚麒伟)