

# 基于腐蚀电阻挂片的多通道测量系统的设计

乔新锋 穆平安 戴曙光 王波

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

**摘要:** 在腐蚀电阻挂片的研究过程中,为满足环境腐蚀的快速灵敏监测的需要,需要对多个电阻试片的测量结果进行温度校正,所以要保证腐蚀电阻挂片的多个电阻试片同时、快速、精确的测量。提出一种利用小信号继电器 G6K-2P-Y 的快速通断来进行测量通道的切换,进而达到多个电阻试片的多通道同时测量的方法。对一种由 4 个电阻试片构成的腐蚀电阻挂片,完成暴露试片和封闭试片的多通道同时测量,实现环境腐蚀的快速灵敏监测,本测量系统对电阻试片的测量分辨力达到  $1 \mu\Omega$  的级别。

**关键词:** 腐蚀电阻挂片;微小电阻;小信号继电器 G6K-2P-Y;多通道测量

**中图分类号:** TN98      **文献标识码:** A      **国家标准学科分类代码:** 470.4017

## Design of the multi-channel measurement system based on corrosion resistance coupon

Qiao Xinfeng Mu Ping'an Dai Shuguang Wang Bo

(School of Optical-Electrical and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract:** Based on the research of corrosion resistance coupon, a new method has been proposed, which uses the low-signal relay G6K-2P-Y to realize the multi-channel measurement of corrosion resistance coupon. A kind of corrosion resistance coupon containing 4pcs of resistance specimens, can realize the multi-channel switch measurement whether the resistance specimens are exposed or inclosed. And the measurement resolution of this system can reach the level of  $1 \mu\Omega$ .

**Keywords:** corrosion resistance coupon; micro resistance; low signal relay G6K-2P-Y; automatic switching

### 1 引言

在腐蚀监测领域,鉴于电阻的稳定性,腐蚀电阻挂片监测技术<sup>[1-2]</sup>在腐蚀传感器领域占据着重要的位置。腐蚀电阻挂片监测技术以其简单、灵敏、适用性强的特性在石油化工、大气海洋等腐蚀监测领域得到了广泛的应用。

一种含 4 个电阻试片的腐蚀传感器电阻挂片,2 片暴露在腐蚀环境,2 片密封在环氧树脂中,作为对照组。多个电阻试片的测量,可以起到温度校正的作用,用于快速分析腐蚀环境的变化<sup>[3]</sup>,所以在进行腐蚀电阻挂片的测量过程中,需要对 4 个电阻试片实现快速、精确地测量,消除温漂的影响。

为了使腐蚀限制在表面,计算简便、检测可靠,挂片型的电阻探针做成很薄的长条状的试片<sup>[4]</sup>。这种试片电阻的阻值非常小,在  $0 \sim 50 \text{ m}\Omega$ ,为了灵敏的表示腐蚀的变化,要求测量出腐蚀电阻挂片微欧级的变化,对测量系统分辨力

的要求非常高,要达到  $1 \mu\Omega$  的级别。所以要采用微弱信号的测量方法。但是目前一般的高精度微电阻测量仪价格都非常昂贵,而且针对腐蚀电阻挂片 4 个电阻试片的特殊结构,一般的微欧计只能进行单次测量,无法做到 4 个电阻试片的同时、快速的测量,并消除温漂的影响和手动切换测量的误差。

目前的微欧计没有多通道切换测量的功能,要实现多个电阻试片的同时测量,可以采用开关进行快速切换,实现实时的在线切换和多通道的同时测量,进而实现 4 个电阻试片的多通道同时测量<sup>[5]</sup>。所以,针对以上情况,对腐蚀电阻探针的研究提出了一种对 4 个腐蚀电阻试片进行多通道测量系统的设计。主要是利用小信号继电器 G6K-2P-Y 的快速通断的功能实现 4 个电阻试片的多通道快速切换测量,减小了温漂以及手动切换对微小电阻测量的影响,并且实现了腐蚀电阻挂片的快速、高效、灵敏的测量<sup>[6]</sup>。

## 2 继电器 G6K-2P-Y 的选择和应用

### 2.1 多通道切换器件的选择和特性分析

在当前的测量领域,实现信号的多通道测量可以采用电子电路的快速通断控制或者信号的多路实时切换器件的方式,可以采用模拟开关、继电器等来实现。但是不同的器件,在不同的领域,它们的使用情况和特性也不同。例如:

#### 1) 继电器

继电器是一种电子控制器件,通常应用于自动控制电路中,实际上是用较小的电流去控制较大电流的一种“自动开关”。故在电路系统中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。在电子测量领域,通常选用一种表面安装型的小信号继电器。实际上继电器就是一种机械开关,导通电阻很小,100 mΩ以下,阻断电阻在1 000 MΩ以上。因此继电器的切换具备信号源完全隔离,相互无干扰的特性。由于继电器是具

有完全隔离功能的自动开关器件,所以广泛应用于测控、通信、自动控制及电力电子测试设备中,是重要的控制元件之一。

#### 2) 模拟开关

模拟开关主要作用是用来完成信号中的信号切换功能,由于采用了 MOS 管的开断性能,模拟开关回路可以实现较高的关断阻抗,和很低的导通阻抗,一般为 50 Ω 以上,因此可以很好的实现信号链路切换和断开隔离的作用。另外,模拟开关的开关速度一般能够达到 MHz 的速度,可以快速实现信号的切换。而且模拟开关是用晶体管做的电子开关,与传统的机械开关相比,模拟开关又具有功耗低、体积小、抖动小、速度快,可广泛应用于电子电路的通断控制、多路切换等方面,主要应用在自动化设备、继电器替代品、航空设备、仪器测量领域。

表 1 选用一种应用在信号测量领域的、低功耗、高速度的模拟开关 ADG619,和一种小信号继电器 G6K-2P-Y 做对比分析:

表 1 ADG619、G6K-2P-Y 的特性分析

种类	额定电压	功耗	导通电阻	关断电阻	反应时间	耐压值
模拟开关 ADG619	±2.7~±5.5 V	0.1 μW	0.8~6.5 Ω	>MΩ	0.2 ms	15 V 左右
继电器 G6K-2P-Y	24 V	100 mW	100 mΩ	>1 000 MΩ	3 ms	2 500 V

由以上分析和表 1 可知,继电器和模拟开关均可以作为信号多通道采集的切换器件,都可以应用在自动化测试设备、仪器测量、多通道采集领域。模拟开关的优点是速度快、切换端口多、体积小、功耗低、寿命长。但是针对微弱信号的测量来说,模拟开关的每个通道之间不是完全断开的,信号源之间不能完全隔离,只是处于高阻状态,仍存在漏电流,对导通信号的测量有影响。在设计电路时,泄露电流越小越好。因为在采集的过程中,如果信号源内阻很大,泄露电流对精度的影响会非常大。而且模拟开关的内阻一般在 50 Ω 以上,应用在多路通道的测量中,会影响通道的一致性。在做多路通道时,通道间信号的隔离非常关键,用电子类开关可能噪声难以满足要求,如果测量微小电阻,通道间信号的隔离非常关键。

然而,继电器本身就是机械开关的模式,选择继电器作为多通道测量系统的切换,信号间开关内阻极小,关断阻抗非常大,可以实现信号源的完全隔离,对微小信号的测量非常好。而且这种小信号继电器,体积小、功耗低、切换时间为 3 ms 左右,可以很好地应用在信号测量领域。所以最终本次多通道测量系统的通道切换选择的是欧姆龙公司的一种表面安装的小信号继电器 G6K-2P-Y。

### 2.2 小信号继电器 G6K-2P-Y 的介绍和应用

G6K-2P-Y 是欧姆龙公司生产的一种小信号继电器,灵敏度高,通道切换时的导通电阻小于 100 mΩ,关断电阻达到 1 000 MΩ 以上,完全满足了小信号的电路控制。G6K-2P-Y 模型如图 1 所示,G6K-2P-Y 是一种双刀双掷开关,可以同时

对两个通道进行切换。针对腐蚀电阻挂片的 4 个电阻试片,每个电阻试片正好采用一对双刀来控制,这样 3 个继电器就可以实现 4 路通道的多通道切换测量。保证了每路通道的测量都是通过 2 个继电器,在一定意义上,保证了通道的一致性。

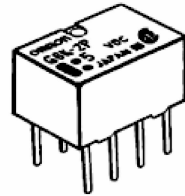


图 1 G6K-2P-Y 模型

在本次系统设计中,继电器 G6K-2P-Y 是采用 ULN2803A 来驱动的。ULN2803 驱动继电器,输出端直接接继电器线圈 8 端,继电器线圈 1 端接 V+ 电源,也就是继电器线圈另一端接 5V 电源。ULN2803 的 9 脚要接 5V 正电源,片内有续流二极管,ULN 的输入端直接和单片机的 I/O 相连,不必加电阻。单片机输出高电平就可以驱动继电器动作。CMOS 电路可以直接输出 500mA,50V,因为输出是集电极开路,所以输出接负载,负载的另一端接正电源。应用是 9 脚接地。当输入为 0 时,输出达林顿管截止,负载无电流。输入为高电平时,输出达林顿管饱和,负载有电流流入输出口,可以直接驱动继电器。

G6K-2P-Y 的结构如图 2 所示,3、6 是公共端作为输出端,2、7 两个引脚作为常闭触点。2、7 和 4、5 作为两路输

入。当继电器的线圈有驱动电流流过时,继电器 3、6 和 4、5 导通,否则,3、6 和 2、7 导通。

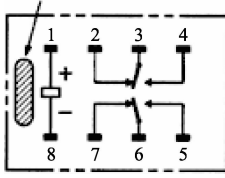


图2 G6K-2P-Y 结构

用单片的 I/O 口来控制 ULN2803A,ULN2803A 可以驱动继电器的双刀的切换。按照图 3 所示的结构,和表 2 的真值表进行 4 个通道的切换,进而实现 4 个电阻试片的多通道实时切换测量。

表 2 继电器切换真值

待测电阻	继电器		
	1	2	3
$X_1$	0	0	0
$R_1$	1	0	0
$R_2$	0	0	1
$X_2$	1	1	1

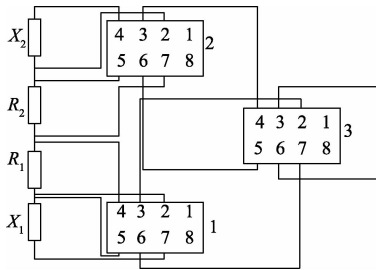


图3 继电器的切换结构

### 3 多通道测量系统的设计

#### 3.1 系统硬件结构的设计

在多通道测量系统的设计过程中,首先根据单片机的 I/O 口高低电平的变化来控制继电器 G6K-2P-Y,按照继电器 G6K-2P-Y 双刀双掷的开关特性,根据图 4 所示的结构和表 2 的真值来选择待测的电阻试片;然后用 1A 的数控恒流源通过选通的待测电阻试片,通过前置运算放大器对待测电阻两端的信号进行放大,并用高位 A/D 进行采集,最后经由单片机进行处理和显示。腐蚀电阻挂片的多通道测量系统结构框图如图 4 所示。

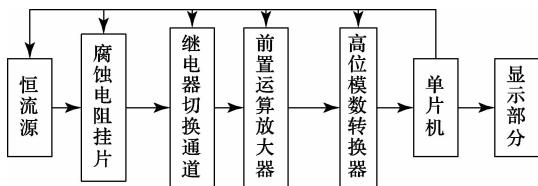


图4 多通道测量系统结构

图 4 为整个腐蚀电阻挂片的多通道测量系统设计的结构框图,由高精度恒流源、腐蚀电阻挂片、继电器、前置

运算放大器、A/D 采集模块和单片机控制系统<sup>[8]</sup>等组成。

#### 3.2 四线制测量法

在微弱信号的测量领域<sup>[8]</sup>,实现微小信号的测量,就必须减小外界噪声和误差的影响。腐蚀电阻挂片的每个电阻试片的值小于 50 mΩ,但是在测量的过程中,接触电阻和导线电阻的值远远大于 50 mΩ。所以在进行电阻试片的测量时,必须消除接触电阻和导线电阻的影响。所以,本多通道测量系统采用的是四线测量法<sup>[9]</sup>。

当继电器 G6K-2P-Y 根据单片机的指令,按照图 3 的结构和表 2 的真值表选择一片待测的电阻试片,其结构如图 5 所示。

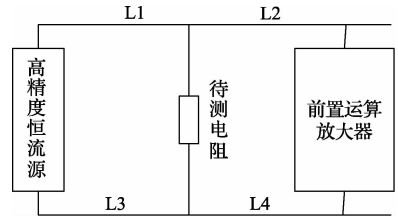


图5 四线制测量法示意

四线制接线法的测量电路,其原理是电流源走 2 条线,回馈的电压信号走 2 条线。电压回馈线不流电流,因此外接引线没有压降,输入的电压信号只是待测电阻试片两端的电压,消除了引线电阻和接触电阻的影响。

#### 3.3 前置运算放大器的选择和分析

在信号的测量电路中,存在共模电压。但是在微弱信号的测量领域,相对来说,共模电压的影响很大,如果不加以处理,很可能待测的电压信号会淹没在共模电压中。所以为了消除共模电压的干扰,多通道的测量应该选择差分输入的方式。系统针对 4 个腐蚀电阻试片的多通道测量,选择了双刀双掷的 G6K-2P-Y 继电器。把继电器 1、2 的输入端再接到继电器 3 上的输入端,同时进行切换,采用差分输入的方式,可以把每个信号源的两端分别接至多路开关的输出端,直接和前置运算放大器相连,选择差分输入的方式。所以前置运算放大器的选择必须是差分放大器。

电阻试片的多通道测量是通过继电器进行切换的,考虑到每个继电器的每个通道均有可能是不一致的,为了保证通道的一致性,应该减小通道电阻的影响。所以必须选择输入阻抗无穷大的运算放大器。而且,采用继电器实现多通道的切换测量,在实现的过程中要使用 3 个继电器对 4 个腐蚀电阻挂片进行切换,由图 6 可知,每个电阻试片的切换测量都要经过两个继电器的选择导通。虽然继电器的导通电阻很小,漏电流基本为零。但是考虑到 1 μΩ 的分辨力,还是要选择输入阻抗比较大的运算放大器。在微弱信号的测量领域,差分输入,高输入阻抗,抗干扰能力强的放大器就是测量放大器<sup>[11]</sup>,也称仪用放大器<sup>[12]</sup>。在本次系统的设计过程中采用的是 INA141 仪用放大器。

INA141 仪用放大器是由两级运放构成的两级电路。第一级电路是两个同向放大器构成的电压跟随器,因此具

有极高的输入阻抗;第二级是普通的差动运算放大器,漂移低,共模抑制比高,可以最大程度的提高前置运算放大器的输入阻抗,减小了通道电阻对测量结果的影响。INA141的参数简介,共模抑制比为117 dB,输入偏置电流为5 nA,输入失调电压为 $50 \mu\text{V}/\text{C}$ ,基本上满足了多通道测量系统多放大器的要求。

## 4 多通道测量系统的实验分析

### 4.1 多通道测量系统的通道一致性分析

在微弱信号的测量领域,实现多通道的测量,就要考虑到通道的一致性的问题,还有通道之间的相互干扰。分别采用继电器 G6K-2P-Y 和模拟开关 ADG619 实现的多通道测量系统,最终用着2种系统对3组电阻进行分别测量。

注:每个测量值均是测量100次求得平均值,消除了系统测量的偶然性误差;

由表3和表4可知,采用继电器实现多通道的切换测量,比采用继电器的通道一致性更好,通道之间无干扰,可以更好地实现多个电阻试片的多通道测量。因为继电器的切换具备信号源完全隔离,相互无干扰,开关内阻极小,可以更好地应用在微弱信号的多通道切换测量中。但是模拟开关虽然切换的速度很快,但是信号源之间不能完全地隔离,对微弱信号有影响。开关内阻较大,一般 $50 \Omega$ 以上,关断电阻也不是无穷大,在关断的时候,还是会有漏电流的存在,对测量结果造成影响。

表3 采用模拟开关 ADG619 /m $\Omega$

通道	电阻		
	1	2	3
$X_1$	0.239	11.89	50.25
$R_1$	0.232	11.91	50.10
$R_2$	0.240	11.93	50.38
$X_2$	0.225	11.87	50.19

表4 采用继电器 G6K-2P-Y /m $\Omega$

通道	电阻		
	1	2	3
$X_1$	0.228	11.91	50.19
$R_1$	0.230	11.91	50.20
$R_2$	0.230	11.91	50.20
$X_2$	0.231	11.92	50.20

### 4.2 多通道测量的重复性和分辨力的验证和分析

本系统针对对腐蚀电阻挂片的多通道测量,在 $0\sim 5 \text{ m}\Omega$ 的量程上的分辨力为 $1 \mu\Omega$ ;在 $5\sim 50 \text{ m}\Omega$ 的量程上的分辨力 $10 \mu\Omega$ 。表5对腐蚀电阻挂片腐蚀后的4个电阻试片的值进行测量,结果表5所示。

由表5可知,本多通道测量系统的重复性效果非常好,在9次连续的测量过程中,可知温漂对腐蚀电阻试片的测量的影响也有效地减小。

表5 腐蚀电阻挂片的4个电阻试片的9次测量 /m $\Omega$

试片	序号								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$X_1$	4.876	4.876	4.876	4.877	4.876	4.877	4.877	4.878	4.878
$R_1$	5.350	5.350	5.350	5.350	5.350	5.360	5.370	5.360	5.360
$R_2$	4.983	4.982	4.983	4.984	4.984	4.985	4.984	4.985	4.986
$X_2$	5.140	5.140	5.150	5.150	5.150	5.150	5.160	5.160	5.150

## 5 结 论

针对腐蚀传感器领域腐蚀电阻挂片的研究,提出了一种利用小信号继电器来对腐蚀电阻挂片的4个电阻试片实现多通道切换测量的方法和设计。利用继电器进行4个电阻试片的多通道自动切换测量,提高了操作的效率,而且在一定程度上减小了温漂和手动切换对电阻试片的测量造成的影响,可以更加精确地实现腐蚀传感器电阻挂片的暴露试片电阻和封闭试片电阻的对照测量,更加灵敏地表示腐蚀量的变化。另外,为了保证系统的在线高效的运行,提高系统的测量分辨力,还用到了高精度数控恒流源、四引线法测量微电阻、仪用放大器、高精度A/D<sup>[12]</sup>。最终该腐蚀传感器电阻挂片测量系统的测量分辨力达到了 $1 \mu\Omega$ 的级别。而且本测量系统方便快捷、快速智能,对腐

蚀电阻挂片的研究提供了极大的帮助,也极大地促进了腐蚀领域的研究。

## 参考文献

- [1] 张海娇,冯蓓,翁永基,等.用于环境腐蚀监测的挂片型电阻探针研究[J].中国科技论文在线,2014,01.
- [2] 张炜强,秦立高,李飞.腐蚀监测/检测技术[J].腐蚀科学与防护技术,2009,21(5):477-479.
- [3] 郑丽群.电阻探针实时监测数据的误差分析与处理[J].石油化工腐蚀与防护,2010,27(2):31-34.
- [4] 桑邵雷,李全民.电阻探针与试片失重法在监测实验中的应用对比分析[J].腐蚀研究,2014(8):46-49.
- [5] NORITAKAY, HIDETOSHIH. Four-terminal measurement of the distribution of electrical resistance across stress corrosion cracking[J]. NDT&EIntern-

- ational, 2011, 44(7):544-546.
- [6] 李文强,黄刚,杨录. 大量程全自动阻抗测量仪[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(4):859-865.
- [7] 李聪,代后兆,张亚宁,等. 一种新型低成本高精度热电阻测温模块的研制[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(6):577-584.
- [8] 刘青峰,张流强,顾雯雯. 高阻抗微弱信号测量的保护电路设计[J]. 现代电子技术, 2009, 32(3):100-102.
- [9] DENG J H, YAN W J, YANG Q. A micro-resistance measurement based design approach of digital micro-ohmmeter[J]. Advanced Materials Research, 2011, 339:36-42.
- [10] 史瑞超,刘红星,郁健,等. 压电信号采集中放大电路前置级的设计[J]. 现代电子技术, 2011, 34(10):179-181.

- [11] 郭晓玲,明平军. 集成运算放大器的特性及应用[J]. 信息技术, 2011(8):236-238.
- [12] 胡军. 一种微电流测量方法的研究[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(4):31-35.

### 作者简介

**乔新锋**, 1989年出生,在读硕士研究生。主要研究方向为测试计量技术及仪器。

**穆平安**, 1964年出生,教授,上海市仪器仪表协会理事。主要研究方向为智能与虚拟仪器技术、机器视觉技术。

**戴曙光**, 1957年出生,教授,博士生导师,上海市仪器仪表协会理事。主要研究方向为测试信息获取与处理、在线检测技术与装置。

**王波**, 1992年出生,在读硕士研究生。主要研究方向为信息与信号处理。

(上接第107页)

- [5] 何娇. 基于SWE的传感器观测服务系统的设计与实现[D]. 沈阳:东北大学, 2011, 6.
- [6] 郑重,陈能成,王伟,等. 传感器观测服务原型系统的设计与实现[J]. 测绘信息与工程, 2010, 35(3):47-49.
- [7] SORG J, KUNKEL R. Conception and Implementation of an OGC-compliant Sensor Observation Service for a standardized Access to Raster Data[C]. SENSORNETS, Proceedings of the 3rd International Conference on Sensor Networks, 2014: 421-427.
- [8] KIYOSHI H, YUI A, INES A V M, et al. FieldTouch: an innovative agriculture decision support service based on multi-scale sensor platform[C]. Global Conference (SRII), 2014 Annual SRII on. IEEE, 2014: 228-229.
- [9] KIM J Y, KWON T, LEE C, et al. Development of

middleware layer supporting sensor observation service for a simple weather station[C]. American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting, 2013, 2:1410-1419.

- [10] 李彦,李锵. 基于嵌入式Linux系统的双网卡大数据传输[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(9):1027-1031.

### 作者简介

**李神送**, 1989年出生,硕士研究生。主要研究方向为信号与信息处理。

E-mail: lishensong@126.com

**刘学锋**(通讯作者), 1967年出生,教授。主要研究方向为GIS与传感器网络。

E-mail: lxf02@shu.edu.cn