

# 微极化电流检测研究

张明嘉 彭 乔

(大连理工大学化工学院 大连 116012)

**摘要** 通过测试高阻值电阻两端电压的方法间接测试微小极化电流.当检测灵敏度提高后,抗干扰问题尤为突出.本文讨论了这类检测电路受干扰的来源,提出解决方法和研制的一种具有自动量程控制,可对极化电流从 0.1 nA 到 1 A 进行检测的电路,并通过实验证明了可行性.

**关键词** 电化学测量 极化电流检测 电路

**中图分类号** TG174.3<sup>+</sup>6 **文献标识码** A **文章编号** 1002-6495(2001)02-0119-03

## A STUDY ON TINY POLARIZATION CURRENT MEASUREMENT

ZHANG Mingjia, PENG Qiao

(School of Chemical Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116012)

**ABSTRACT** Indirect measurement of tiny polarization current was conducted by means of measurement of the voltage at the resistor. The sources of factors disturbing the accurate measurement were analyzed and then way to overcome the problems related with disturbances are proposed. Furthermore, an electric circuit for measuring the current from 0.1 nA to 1 A is introduced by the authors.

**KEY WORDS** tiny polarization current, electrochemical measurement, electric circuit

腐蚀工作者常常采用线性极化法或弱极化法测试金属在介质当中的腐蚀速率.对于大多数腐蚀体系,极化电阻在 10 K 以下,电极电位相对于开路电位变化 1 mV 时,极化电流的变化大于 0.1  $\mu$ A.用一般的恒电位仪就可进行检测.但对于某些耐蚀体系,其腐蚀速度相当低,极化电流很小(一般在 nA 级甚至更小).当电流检测的灵敏度不够时,就无法区分耐蚀体系之间的差异.因此,进一步提高恒电位仪的电流检测灵敏度,开发能检测到微弱的极化电流的检测电路,是研制电流高灵敏度恒电位仪的关键问题之一.

目前,国外先进的恒电位仪,在电路上采用了 100 M $\Omega$  标准电阻采样,经过  $\times 100$  放大器放大,16 位 AD 变换器,使最高电流分辨率达到 30 fA,但价格昂贵.据此,作者继研制 CP5 后,开始研制 CP6 作

为另一档次,其最大极化电流为  $\pm 1$  A,分辨率为 0.1 nA,电位扫描范围  $\pm 10$  V(分辨率为 0.1 mV).下面介绍一些作者在研制电流检测电路中的看法和体会,供同行参考.

一般指针式电流表对这样一个微弱的电流,检测灵敏度达不到要求;检流计在使用过程中也存在诸多不便,智能化与自动化是当今仪器仪表的潮流,同样也是恒电位仪的发展方向.在极化电流检测上,也应采用数字化、电脑化检测电路.图 1 是一种具有自动量程切换、可与微机接口的电流检测电路原理图.

### 1 电流信号取样

能被微机直接处理的是数字信号.极化电流的大小是模拟量,AD 变换器是完成模拟到数字的转换模块,但用 AD 变换器对电流进行量化时,还必须经过适当的电路将电流变成电压后,才能被 AD 变换器识别,而电流到电压的转换电路,最简单、最常用的是让电流流过一标准电阻,根据欧姆定律,当 R 不变时,电流与电压成正比.

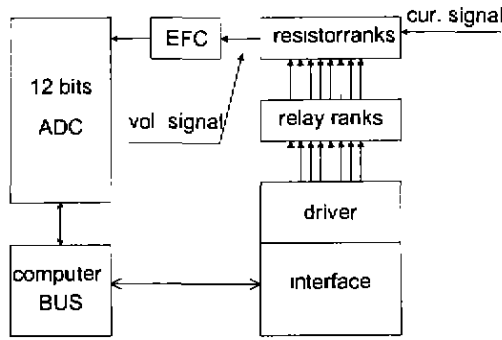


Fig. 1 Schematic diagram of current detector

标准电阻  $R$  一般根据 AD 变换器参数和电流量程进行选取, 当采用一个 12 位 AD 变换器、基准电压为 2.048 V, 分辨率是 1 mV, 对于 100 nA 量程, 标准电阻取 10 M $\Omega$ , 那么, 如果电流全部通过标准电阻后产生 1 mV 电压降, 对应电流就为 0.1 nA.

AD 变换器的输入阻抗一般为 1 M $\Omega$  左右, 在电路连接上, AD 变换器与取样电阻之间加入一射随器, 射随器具有极高的输入阻抗和极低的输出阻抗, 但由普通线性集成电路组成的射随器的输入阻抗只有 250 M $\Omega$ , 漏电流达 85 nA, 这里选用 LF356 结型场效应管为输入极的集成电路, 它的输入阻抗达  $10^{12}$   $\Omega$ , 漏电流只有 3 pA, 能满足要求.

## 2 电流量程安排

一般作为电化学研究用恒电位仪, 极化电流最大为 1 A, 从 0.1 nA 到 1 A 相差 10 个数量级. 若仅仅采用一个标准电阻是无法满足电流检测精度的. 一般根据电流大小, 选择不同的电流量程, 在量程安排上, 若间隔安排太宽, 检测精度(有效位数)不够, 太窄又增加量程挡位. 比较合理的是每隔 1 个数量级安排 1 个量程, 这与一般数字万用表量程安排是一致的. 根据上述设计思想, (以 12 位 AD 模块为例)检测电流从 0.1 nA 到 1 A 就要安排 8 个量程, 最大的为 1.000 A, 最小的为 100.0 nA. 对应的标准电阻分别: 1  $\Omega$ 、10  $\Omega$ 、100  $\Omega$ 、……10 M $\Omega$ .

## 3 量程自动转换

在测试时要根据不同的测试电流进行量程切换. 过去采用人工切换的办法, 有了微机控制后, 这一过程可交给微机控制.

电流量程切换依据, 必须从 AD 转换器、数码显示器能显示最大数、允许电流采样电阻最大电压降三方面来考虑. AD 转换器输入电压不能太大, 太大

将无法量化; 又不能太小, 太小将不能保证转换精度. 一般保证 3 位有效数的精度比较合适. 显示电流的数值不能超过数码显示器最大能显示的数值. 电流采样电阻最大压降也不能太大, 太大会影响槽压, 一般让压降在 1~2 V 左右为宜.

如选用 ICL7109CPL AD 模块, 它的输入电压是 -4.096~+4.096 V, 这说明在标准电阻上产生  $\pm 4.096$  V 的压降仍能被 ADC 量化, 数码最大显示数为  $\pm 999$ , 采样电阻最大压降选 1 V, 可以知道, 这种情况下, 当 AD 转换器读数大于或等于 1000 时, 电流从小到大转换量程; 当 AD 转换器读数小于 100 时, 电流从大到小转换量程.

量程转换开关可选择继电器, 它是一种电控开关元件, 可通过控制流经继电器线圈来控制开关通断. 它具有导通电阻小、开路电阻大、控制线圈与开关回路绝缘电阻高的特点.

## 4 过流保护

研究电极回路与辅助电极回路是绝对禁止短路的. 但操作不当, 短路也时有发生. 为了避免过失烧坏仪器, 必须有一定的过流保护措施. 最简单的办法是电流处于 1 A 量程时, 当检测电流大于 1 A 就切断极化电流通路.

## 5 提高微电流检测电路的抗干扰性能

当电流检测灵敏度提高后, 检测电路的抗干扰问题尤为突出, 原本可忽略的干扰因素到现在都会显现出来, 造成测量误差. 甚至使得系统不能正常工作. 干扰主要来自如下几个方面:

a. 空间干扰: 空间存在各种电磁波, 除广播、电视之外, 数字电路本身工作时也是一个电磁波发射源, 虽然电磁波的频率很高, ADC 不能直接检测到, 但经过非线性电路的检波效应后, 变成一种频率较低的交流或直流信号, 造成对测试电路的干扰. 对于这种干扰一般通过电磁屏蔽并使其接地来解决.

b. 市电干扰: 市电通过电源变压器的初、次线圈的分布电容流入电流检测电路, 再经过测量电极、测试槽、桌台到地. 这部分有直流电阻和分布电容, 虽然阻抗较大, 但因市电电压高, 仍然会造成相当大的干扰. 对于这种干扰一般通过在变压器的初、次级之间加屏蔽层并使其接地来解决.

c. 电流检测电路所用的电源, 虽然经整流、滤波, 但仍有残余波纹存在, 这部分波纹可通过适当的

途径干扰电流检测,对于采用双积分类型的 AD 变换器,可适当选择积分电阻和电容使采样周期为工频的整数倍。

d. 电路板沾污造成微量漏电,用无水酒精仔细除去电路板上的污物,用压缩空气吹干,再涂抹上绝缘硅膏。

在线路板布线时,尽量增大电流测量线与其它走线的间距,以增大绝缘电阻和减小分布电容。

## 6 电流标定

电流测量数值的准确性与标准电阻实际电阻值有关,由于在电路设计时,线路走线存在一定的电阻、线与线之间的绝缘性能都会影响测量精度;前者主要影响大电流量程,后者主要影响微电流量程。因此,在电路调试中还有一个各电流量程标定的问题。

对于较大的电流,标定是一件比较容易的事情,一般可以用一只标准的电流表串入电流测量电路中,比较两者读数就可确定和调整检测读数,但对于 1 nA 挡和 0.1 nA 挡,就不容易找到能测量这样小的标准电流表。在这种情况下,一般可采用间接标定法。即让测量电流流经标准电阻,通过用高阻电位表测量电阻上的压降,除以标准电阻值,根据欧姆定律可知,此数值应为电流值。对于恒电位仪,电位测量部分就是一个高阻抗电位表。

## 7 测量误差

误差分析。系统测量误差主要由标准电阻、射随器、AD 变换三部分误差组成,其中标准电阻误差可控制在 0.1%,射随器由 LF356 担任,它的误差由射随电路误差、输入端漏电、共模抑制比及温飘组成,其中其它误差与漏电误差相比,小到可以忽略,漏电电流 < 3 pA (实测 1.5 pA),误差 < ±3% (相对于 0.1 nA),AD 变换器的转换误差为 ≤ ±2LSB。

实际误差检测。测试电路为两只标称值为 1 MΩ (五环、金属膜、1/4W) 电阻相串联,两端分别接恒电位仪的研究与辅助端,中间接参比端;参比与研究之间的电阻实际阻值为 1.0092 MΩ (采用 DT9203A 四位半数字万用表测得,该表计量部门年检级别为 0.2 级,其检定证书给出了各量程相对标准的修正值)。采用 CP6 线性极化管理软件,极化

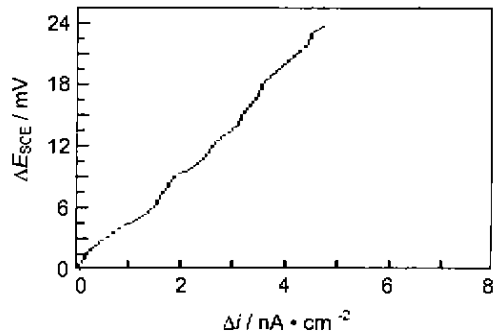


Fig. 2 Linear anodic polarization curve for Ti sample

±10 mV,数据点间隔为 0.1 mV,所得数据进行线性回归统计后,算得电阻值为 1.0103 MΩ,电阻测量误差为 < 0.2%, (考虑到电位测量误差 < 0.2%) 实际电流测量误差 < 0.4%。

## 8 实例

作者在 CP6 型综合腐蚀测试仪上采用了上述电路,并进行了一系列测试实验,其中用了不同的介质,如纯电阻体系、蒸馏水、食盐水、硫酸等。还有不同金属材料的研究电极,如碳钢、不锈钢、铝、钛钉等,均证明本电路能在极化测试中稳定工作。

图 2 是用 CP6 型综合腐蚀测试仪测试的一个实际例子,试样:工业级纯钛,环氧树脂镶嵌,介质:自来水;浸泡 1 天后测试的线性极化曲线,测试中,电流量程在 200 nA 挡,最小电流读数 0.1 nA,极化电阻 5.04 MΩ·cm,极化速率 5 mV/min。

## 9 结束语

本文研制的具有自动量程控制、可对极化电流从 0.1 nA 到 1 A 进行检测的电路通过实验证明是可行的。

## 参考文献:

- [1] 张明嘉, 彭乔. 腐蚀科学与防护技术, 1998, 10(3): 179
- [2] 周伟坊. 电化学测量. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 265
- [3] Jones D A, Greene N D. Corrosion, 1966, : 198
- [4] 曹楚南. 腐蚀科学与防护技术, 1998, 10(1): 1
- [5] 宋诗哲. 腐蚀与防护全书·腐蚀电化学研究方法. 北京: 化学工业出版社, 1988. 28
- [6] 何立民. 单片机应用技术选编(3). 北京: 北京航空航天大学出版社, 1996. 218