

## AD590 传感器特性测量实验方法的改进研究\*

姜贵君 曹学成 王永刚 高峰 丛晓燕

(山东农业大学信息科学与工程学院 山东 泰安 271018)

(收稿日期:2019-11-29)

**摘要:**利用FD-WTC-D型恒温控制温度传感器实验仪来表征AD590集成电路温度传感器特性测量实验,重点阐述了实验原理电路图的改进,以及在数字温度计设计过程中定标和数据记录等实验方法的改进,改进之后的实验,便于操作、简单实用,增加了实验的严谨性、科学性和实验结果的准确性,该方法运用于实验教学中,效果明显.

**关键词:**物理实验 AD590 温度传感器 实验方法

AD590 集成电路温度传感器(以下简称 AD590 传感器)的特性测量和数字温度计设计是大学物理热学实验和电磁学实验中的一个基本内容,是理工科物理实验教学大纲中的一个重要实验. AD590 传感器的特性测量实验所用的实验仪有很多,如 FD-WTC-D 型恒温控制温度传感器实验仪、HAD-FD-WTC-D 恒温控制温度传感器实验仪、FB810 型恒温控制温度传感器实验仪、DT307-WTC-D 恒温控制温度传感器实验仪等. 本文重点研究了利用 FD-WTC-D 型恒温控制温度传感器实验仪来表征 AD590 传感器的伏安特性、温度特性和数字温度计设计实验过程中,存在的一些问题及方法的改进.

## 1 实验材料与仪器设备

### 1.1 AD590 传感器

本实验采用国产的 AD590 传感器,它是一种已经 IC 化的温度传感器,可实现温度到电流的线性变换. 其技术指标是:

(1) 工作温度:  $-55 \sim 150 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

(2) 工作电压:  $4 \sim 30 \text{ V}$ , 不能小于  $4 \text{ V}$ , 小于  $4 \text{ V}$  出现非线性; 最大正向电压  $+44 \text{ V}$ , 最大反向电压  $-20 \text{ V}$ .

(3) 输出电阻:  $710 \text{ M}\Omega$ .

(4) 输出电流与温度关系: 在  $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$  时输出电流约  $273 \mu\text{A}$ ; 输出电流与温度成线性关系, 每增加  $1 \text{ K}(1^{\circ}\text{C})$  电流增加  $1 \mu\text{A}$ .

### 1.2 FD-WTC-D 型恒温控制温度传感器实验仪

FD-WTC-D 型恒温控制温度传感器实验仪是一种单片控制的智能式数字恒温控制仪, 是由上海复旦天欣科教仪器有限公司生产, 其附件包括烧杯、加热器、磁性转子、玻璃管(内放变压器油和传感器)、DS18B20 温度传感器等. 其技术指标是:

(1) 温控仪: 恒温控制温度, 室温  $\sim 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ; 控制恒温显示分辨率,  $\leq \pm 0.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

(2) 直流稳压电源: 输出电压  $1.5 \sim 12 \text{ V}$ , 连续可调; 输出电阻为  $20 \Omega$ (为了防止长时间短路内接电阻).

(3) 直流数字电压表(四位半数字毫伏电压表): 量程为  $0 \sim 19.999 \text{ V}$ ; 数字电压表分辨率  $0.001 \text{ V}(1 \text{ mV})$ .

(4) DS18B20 温度传感器: 测量温度范围为  $-55 \sim 125 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

(5) 加热器: 工作交流电压  $10 \sim 150 \text{ V}$ ; 工作交流最大电流  $1.5 \text{ A}$ .

\* 中华农业科教基金资助, 项目编号: NKJ201802010, NKJ201803006; 山东农业大学教学改革研究项目资助, 项目编号: X2017119

作者简介: 姜贵君(1960-), 男, 副教授, 研究方向为大学物理教法研究.

通信作者: 曹学成(1964-), 男, 教授, 主要从事计算物理学研究.

## 2 实验原理

AD590 传感器的特性测量主要包括伏安特性和温度特性的测量<sup>[1]</sup>. 伏安特性和温度特性的测量均采用如图 1 所示的电路. 由于 AD590 传感器内阻比较大, 电源电压  $E$  基本都加在温度传感器的两端.

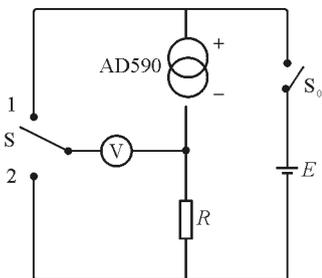


图1 伏安特性和温度特性的测量电路原理图

AD590 传感器的伏安特性测量如图 1 所示. 在某一固定温度下, 先将双掷开关  $S$  与 1 接通, 测得 AD590 传感器上电压为  $U$ ; 再将双掷开关与 2 接通, 测得电阻  $R$  上的电压为  $U_R$ , 由  $I = \frac{U_R}{R}$  计算出的值视为 AD590 传感器输出的电流. 当电源电压 (也就是 AD590 传感器两端的电压) 大于某一值后, 输出电流几乎不变.

AD590 传感器的温度特性测量, 如图 1 所示. 先将双掷开关  $S$  与 1 接通, 调节直流稳压电源使 AD590 传感器上电压  $U$  为大于 4 V 的某一固定值 (小于 4 V 出现非线性, 一般设在 5 ~ 12 V 之间); 再将双掷开关  $S$  与 2 接通, 随着温度上升测得电阻上的电压值, 由

$$I = \frac{U_R}{R}$$

计算出 AD590 传感器输出电流与温度  $t$  的对应值. AD590 传感器输出的电流值与温度满足的线性关系是

$$I = kt + I_0$$

其中  $k = 1 \mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ,  $t$  表示摄氏温度,  $I_0 \approx 273 \mu\text{A}$  ( $0^\circ\text{C}$  的电流值).

利用 AD590 传感器的温度特性, 可以制成各种用途的温度计. 如图 2 所示是它的原理图, 采用非平衡电桥线路, 可以制作一台摄氏温度计, 即 AD590 传感器在  $0^\circ\text{C}$  时, 电压显示值为“0”, 而当 AD590 传

感器处于  $t^\circ\text{C}$  时, 电压表显示值为“ $t$ ”<sup>[1,2]</sup>.

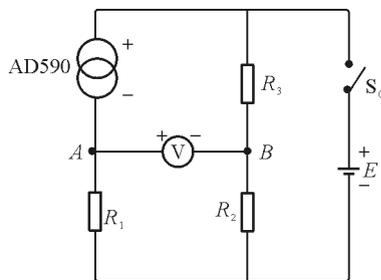


图2 数字式温度表原理图

## 3 实验方法的研究及改进

### 3.1 AD590 传感器特性测量电路图的改进

关于 AD590 传感器的伏安特性和温度特性测量, 如果采用图 1 的电路图进行实验, 通过单刀双掷开关可测得电阻  $R$  和 AD590 传感器的两端电压. 测量结果表明, 电压表的读数如果是一个为正值, 则另一个必然为负值, 学生做实验必然产生疑问<sup>[3,4]</sup>. 为此, 把电路图改为图 3 所示的电路图, 将单刀双掷开关改为双刀双掷开关, 这样测得的值都为正值. 通过电路图的改进很好地解决了因电压表的读数为负值所带来的不便和困惑.

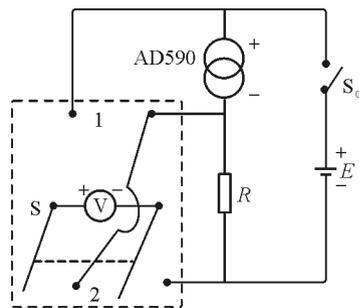


图3 改进后的传感器特性测量电路图

### 3.2 用 AD590 传感器设计一台数字温度计

用 AD590 传感器设计一台数字温度计的原理图如图 2 所示, 下面从 3 个方面论述实验方法的改进、分析及研究<sup>[5]</sup>.

#### (1) 电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 的取值分析

数字温度计设计线路中有 3 个电阻, 电阻  $R_1$  的取值是关键, 当电阻  $R_1$  的阻值确定后, 电阻  $R_2$  一般与  $R_1$  取相同的阻值. 根据温控实验仪上的电压表显示最小值为 1 mV、显示的温度最小值为  $0.1^\circ\text{C}$  和 AD590 传感器每增加  $1^\circ\text{C}$  电流增加  $1 \mu\text{A}$  等特点, 那么电阻  $R_1$  和  $R_2$  的取值可有以下两种选择.

1)  $R_1$  和  $R_2$  各取  $1\text{ k}\Omega$

若使设计的温度计能够用电压表直接显示实际的温度,那么  $R_1$  和  $R_2$  应各取  $1\text{ k}\Omega$ . 其原因是:当温度每增加  $1\text{ }^\circ\text{C}$  时,AD590 传感器输出的电流应增加  $1\text{ }\mu\text{A}$ ,要使 A 点电势升高  $1\text{ mV}$ (毫伏表示数增加“1”),其  $R_1 = R_2 = \frac{1\text{ mV}}{0.1\text{ }\mu\text{A}} = 1\text{ k}\Omega$ . 由于毫伏表的内阻较大( $\geq 1\text{ M}\Omega$ ),即远大于  $R_1$ ,电流几乎全部通过  $R_1$  流入负极. 这样所设计的温度计分度值标定为  $1\text{ }^\circ\text{C}$ ,电压表显示值就是实际的温度,缺点是精确度稍低.

2)  $R_1$  和  $R_2$  各取  $10\text{ k}\Omega$

为了提高设计的温度计的精确度,需要加大  $R_1$  和  $R_2$  的阻值. 当温度每增加  $0.1\text{ }^\circ\text{C}$  时,AD590 传感器输出的电流应增加  $0.1\text{ }\mu\text{A}$ ,因为电压表显示最小值为  $1\text{ mV}$ ,要使 A 点电势升高  $1\text{ mV}$ ,其  $R_1 = R_2 = \frac{1\text{ mV}}{0.1\text{ }\mu\text{A}} = 10\text{ k}\Omega$ . 这样所设计的温度计的实验精确度提高到  $0.1\text{ }^\circ\text{C}$ ,但电压表显示值不是实际的温度,电压表显示值是实际的温度值的 10 倍,记录时要进行换算.

综合上述分析,建议学生在做温度计设计时, $R_1$  和  $R_2$  可根据实验的精度要求进行选择.

## (2) 定标和数据记录的方法及技巧

定标是用 AD590 集成电路温度传感器设计温度计的重要一步. 在进行定标时,除了确定电阻  $R_1$  和  $R_2$  的取值外,还要确定电源输出电压值,如果电源输出电压值小了,AD590 传感器可能处于非线性工作状态,那么电源输出电压值不能满足实验的要求<sup>[6,7]</sup>. 本研究表明,如果  $R_1$  和  $R_2$  各取  $1\text{ k}\Omega$ ,电源输出电压需在  $5\text{ V}$  以上,如果  $R_1$  和  $R_2$  各取  $10\text{ k}\Omega$ ,电

源输出电压需在  $6\text{ V}$  以上.

定标的方法有  $0\text{ }^\circ\text{C}$  定标和室温定标. 一般要求学生做此实验采用室温定标. 所谓室温定标是指将 AD590 温度传感器放置于室温为  $t_s\text{ }^\circ\text{C}$  的水中,认为电路 A 端是室温  $t_s\text{ }^\circ\text{C}$  的温度. 调整电阻  $R_3$  大小,使  $U_{AB} = t_s\text{ mV}$ ,这就是室温定标.

下面我们以设计制作分度值标定为  $1\text{ }^\circ\text{C}$  的摄氏温度计( $0\text{ } \sim 50\text{ }^\circ\text{C}$ ) 为例,如果实验采取室温定标, $R_1$  和  $R_2$  各取  $1\text{ k}\Omega$ ,电源输出电压可取  $5\text{ } \sim 12\text{ V}$  之间某一电压值. 假设室温为  $25.4\text{ }^\circ\text{C}$ (即实验仪显示的温度值),因为此时电压表显示的最小值为  $1\text{ mV}(1\text{ }^\circ\text{C})$ ,电压表只能显示出两位有效数字,那么怎样定标更准确呢?

调整  $R_3$  使它的电阻由小逐渐增大,先使电压表显示值为 25. 开始加温,随着温度增高,实验仪显示的温度值增加,这时继续增加  $R_3$  的电阻大小,当实验仪显示的温度值为  $26.0\text{ }^\circ\text{C}$  时,使电压表显示值也由小逐渐增大到刚好为 26 即  $26.0\text{ mV}$ . 此方法可称为温度动态定标. 这样定标已完成,并记下  $R_3$  的电阻值.

定标结束后,关键问题是在加热升温过程中如何记录数据. 改进的方法是:根据定标的初始温度和设定的最高温度,按要求每升高  $1\text{ } \sim 3\text{ }^\circ\text{C}$  记录一组数据,可先把电压表的数值提前设计出来填入表中(见表 1),然后开始加热升温,当电压表显示表中数值时,记录实验仪显示的温度值. 例如:准备在  $28\text{ }^\circ\text{C}$  时记录一组数据,当电压表显示值刚出现 28 时,即电压值为  $28.0\text{ mV}$ ,这时如果实验仪显示的温度值是 28.1,就记录  $28.1\text{ }^\circ\text{C}$ . 这种依据电压表读数记录温度值的方法准确度高,实验效果好.

表 1 AD590 传感器数字温度计设计数据表

序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$U/\text{mV}$	26.0	28.0	30.0	32.0	35.0	38.0	40.0	42.0	45.0	47.0	49.0	50.0
$t/^\circ\text{C}$	26.0	28.1										

(3) 电压表显示值与实验仪显示的温度值不相符的原因分析

在加热升温过程中,有时出现电压表显示值与实验仪显示温度值不相符的现象,也就是两者显示

的值增加的幅度不同步. 其原因主要有 4 个方面:

一是电源输出电压值较小引起的. 见前面(2),这里不再论述.

二是 AD590 传感器本身的原因. 理论上,AD590

传感器的输出电流与温度满足线性关系  $I=kt+I_0$ , 其中  $k=1\ \mu\text{A}/^\circ\text{C}$ ,  $I_0\approx 273\ \mu\text{A}$ , 实际上  $k$  值不等于  $1\ \mu\text{A}/^\circ\text{C}$ , 对于市售的 AD590 温度传感器, 其  $I_0$  值在  $273\ \mu\text{A}$  左右, 略有差异. 当  $k>1\ \mu\text{A}/^\circ\text{C}$  时, 根据它的原理图及实验可知,  $R_1$  阻值两端的电压及 A 点的电位增加快, 即电压表显示的电压值比实验仪显示的温度值增加得快, 反之就慢.

三是  $R_1$  阻值不等于  $1\ \text{k}\Omega$  或  $10\ \text{k}\Omega$  的原因. 产生这种情况的原因主要是电阻箱或者连线时接触电阻(接触不良)引起的误差. 在加热升温过程中, 如果电压表显示值比实验仪显示的温度值逐渐变大, 经理论分析和实际实验验证, 原因在于  $R_1$  阻值较大; 反之较小. 只要对  $R_1$  的阻值进行微调即可, 不过出现这种情况一般很少见, 在没有确定是  $R_1$  阻值引起的原因时, 不要轻易调  $R_1$  的阻值.

四是两个传感器不在同一温度下的原因. 在实验过程中, 要把两个传感器放在盛有变压器油的玻璃管内, 如果两个传感器放置深度不一致, 就会造成两个传感器所处的温度不同, 从而出现电压表显示值与实验仪显示的温度值不相符的结果.

#### 4 结论

针对 FD-WTC-D 型恒温控制温度传感器实

验仪来表征 AD590 传感器的特性以及数字温度计设计实验, 分析研究了实验原理电路图、定标和数据记录等存在的一些问题及实验方法的改进. 改进之后的实验, 便于操作, 实验结果更加准确, 实验效果更好. 对于利用其他型号恒温控制温度传感器实验仪来表征 AD590 传感器的特性以及设计数字温度计, 本实验改进方法也可以借鉴.

#### 参考文献

- 曹学成, 姜贵君, 王永刚, 等. 大学物理实验(第2版)[M]. 北京: 中国农业出版社, 2018. 64~67
- 秦羽丰, 曹学成, 姜贵君, 等. AD590 集成电路温度传感器的特性表征及应用方法改良[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2013, 44(4): 593~597
- 谌正良, 赵青生, 廖艳林. AD590 设计数字温度计的原理分析与改进[J]. 大学物理实验, 2010, 23(2): 53~55
- 邬华春, 王力, 李鑫雨, 等. 关于 AD590 数字温度计实验中电压表读数为负值的研究[J]. 电路与系统, 2019, 8(1): 1~4
- 贺梅英. 工科院校物理设计性实验之 AD590 组装成数字温度计的几点思考[J]. 宁波工程学院学报, 2014, 26(3): 76~81
- 刘燕, 兰志强, 林欣悦, 等. AD590 集成电路温度传感器的特性测量与应用[J]. 中国仪器仪表, 2005(6): 58~61
- 逢玉台, 王团部. 集成温度传感器 AD590 及其应用[J]. 国外电子元器件, 2002(7): 22~24

## Study on Experimental Method Improvement for Measuring the Characteristics of AD590 Sensor

Jiang Guijun Cao Xuecheng Wang Yonggang Gao Feng Cong Xiaoyan

(College of Information Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Tai'an, Shandong 271018)

**Abstract:** Model FD-WTC-D temperature sensor laboratory instrument equipped with thermostat controller is used in experimental measurement for characteristic parameter of AD590 IC temperature sensor. Modification to schematic diagram of experiment and improvement to experiment method in design of digital thermometer, such as calibration and data manipulation, are given in detail. The improved experiment has advantages of easier, simpler and more practical procedures, and becomes more rigorous and more scientific with more accurate results. Deployment of the improved experiment in lab teaching has received high ratings from teachers and students.

**Key words:** physics experiment; AD590 temperature sensor; experiment method