

用于 1—300K 低温测量的恒流源*

邓廷璋 沈云野 沈志唯

(中国科学院物理研究所)

在低温物理实验中，必不可少的测量是温度的测量。铂电阻、铑铁电阻、锑电阻和炭电阻等电阻型温度计及热电偶是常用的。它们的感温特性示于图 1 和图 2。对于一支电阻型温度计通以恒定电流，用数字电压表测定其上的电压，由电压的变化就能确定电阻的变化，从而确定温度的高低。本文介绍恒流源的制作。

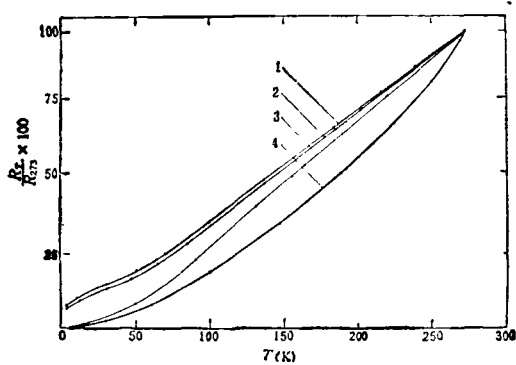


图 1 几种常用温度计的电阻温度关系

1. 工业型铑铁电阻温度计 (273K 时电阻为 24Ω);
2. 标准型铑铁电阻温度计 (273K 时电阻为 56Ω);
3. 标准型铂电阻温度计 (273K 时电阻为 27Ω);
4. 铜-康铜热电偶

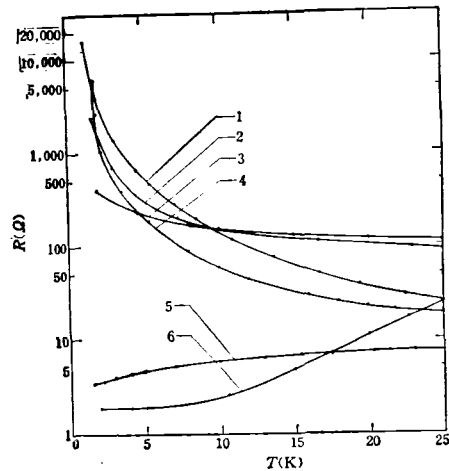


图 2 25K 以下几种常用温度计的感温特性

1. GR-200; 2. 炭电阻 (AB 型); 3. 炭电阻 (RS-11 型); 4. 国产 Ge 电阻; 5. 标准型铑铁电阻; 6. 标准型铂电阻

一、基本原理

对恒流源的基本要求是：当外界条件（如负载、供电电压、环境温度等）变化时，它的输出

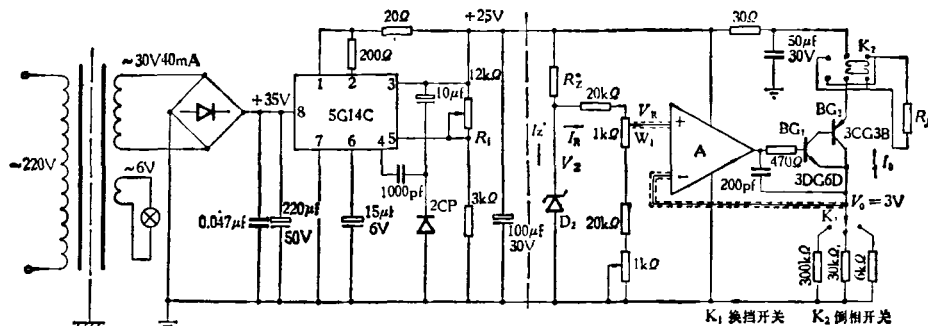


图 3 恒流源线路图

* 国营湖南新化县无线电三厂已试生产。

电流应始终恒定不变。从简便和经济的角度出发,我们试制的恒流源线路图如图3所示,其工作原理简述如下。

恒流源的核心器件是运算放大器,它做成跟随器形式来完成电压-电流的转换。放大器的正向输入端接基准电压 V_R ,输出端反馈到负向输入端,同时接取样电阻下零线,这样输出电压就跟随输入电压 V_R 。在运放输出端与取样电压 V_0 之间加上由 BG_1 (npn)和 BG_2 (pnp)两管组成的异型复合管放大级,这样不但使系统总增益增大,并且还起到隔离的作用,当负载等外界条件变化时,运放将取样电阻上的压降 V_0 与基准电压 V_R 进行比较,两者间任何微小的差异均被运放A放大,从而控制 BG_1 和 BG_2 ,使得在取样电阻 R 上的电流 I_0 保持恒定不变。它的动态内阻为 $R_{oc} \approx K_0 K_{BG} R$,其中 K_0 是A的电压放大倍数, K_{BG} 为 BG_1 和 BG_2 的电压放大倍数, R 为取样电阻。选择 $V_0 = 3V$,改变 R 可以得到相应电流: $R_1 = 300 k\Omega$, $I_0 = 10 \mu A$; $R_2 = 30 k\Omega$, $I_0 = 100 \mu A$; $R_3 = 6 k\Omega$, $I_0 = 500 \mu A$ 。

恒流源采用简单的+25V单电源供电。设计变压器次级为交流30V 40mA,初次级间有层屏蔽。实际恒流源所需电流为20mA左右,把变压器次级设计为40mA,这使初次级绕组线径增大,变压器内阻减小,对稳压源稳定有利。交流30V经全波整流后,通过高频、低频电容滤波就得到+35V的直流电压,再经5G14C稳压块,由 R_f 的调节可得到+25V稳定输出。此稳压源稳定度优于0.1%。

二、调 试

1. D_z 的选择及 I_z , R_z 的确定:基准稳压管 D_z 是确定基准电压 V_R 的重要元件,一般采

用2DW7C或WBZ-2C埋层稳压管,两者的温度系数都小于 5×10^{-6} ,其他指标后者较优。无论使用哪种管子,都要测出它的“零温度系数电流”,使用这个电流工作,正好是零温度补偿,也就是说不管周围温度如何变化,它的稳定电压将维持不变。在我们的线路中, V_R 是由分路给出的,分路电流 $I_R \approx V_z/42 \times 10^3$,其中 V_z 是稳压管电压。而 $R_z = (25 - V_z)/(I_z + I_R)$,其中 I_z 为未装上线路时先单独测出的稳压管零温度系数电流, V_z 为此时电压。

2. 运放是恒流源的核心器件,挑选的指标是高增益、高共模抑制比、高输入阻抗、低失调、低偏置电流。我们使用F007C,调试过程为:把各部分连接好后,通过 W_1 的调节,看输出端电压是否随 V_R 变化,最后把 V_0 调在3V即可。

3. BG_1 和 BG_2 除耐压外,放大倍数宜用 $\beta \approx 70 \sim 80$,穿透电流 I_{ceo} 要尽量小。

4. W_1 为多圈电位器。取样电阻 R 是精度为 $\pm 0.01\%$ 0.25W的精密线绕电阻。其余电阻为金属膜电阻。

5. 元器件都要老化筛选,信号通道要用隔离屏蔽线,下零点要合理选择。

三、指 标

输出电流为 $10 \mu A$, $100 \mu A$ 和 $500 \mu A$ 。经测试,电流变化小于 1×10^{-4} 的负载范围,对于 $10 \mu A$ 和 $100 \mu A$ 均为 1Ω 到 $100 k\Omega$;对于 $500 \mu A$ 为 1Ω 到 $20 k\Omega$ 。在8小时内实测的电流漂移情况:对 $10 \mu A$ 优于 5×10^{-4} ,对 $100 \mu A$ 及 $500 \mu A$ 优于 1×10^{-4} 。只要严格挑选元件,对线路在工艺上作精心地安排,该恒流源的电流稳定度还可进一步提高。

该恒流源参考了法国CRTBT(CNRC)提供的线路,作者表示感谢。