



电子工艺实习中温度报警器的设计与实现

姜倩倩^{1,2}, 吴 屏¹, 谷 宇¹, 王丹丹¹, 王立欣^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学(深圳) 实验与创新实践教育中心, 深圳 518055; 2. 哈尔滨工业大学(深圳) 机电工程与自动化学院, 深圳 518055)

摘要: 提出了适用于电子工艺实习课程的温度报警器电路的设计要求, 并且根据学生能力的不同, 提出了扩展设计。介绍了电路的设计方案、计算、实验结果分析和故障诊断分析。在报警器设计的课堂教学中, 学生团队合作, 开放设计, 从被动学习变成主动学习, 提高了学生的团队合作设计与创新能力, 锻炼了学生分析与解决问题的能力, 为以后的科研工作奠定基础。

关键词: 电子工艺实习; 设计与实现; 温度报警器电路; 故障诊断分析

中图分类号: TM131

文献标志码: A

DOI: 10.12179/1672-4550.20220497

Design and Implementation of Temperature Alarm in Electronic Technology Practice

JIANG Qianqian¹, WU Ping¹, GU Yu¹, WANG Dandan¹, WANG Lixin^{1,2}

(1. Education Center of Experiments and Innovations, Harbin Institute of Technology(Shenzhen), Shenzhen 518055, China;

2. School of Mechanical Engineering and Automation, Harbin Institute of Technology(Shenzhen), Shenzhen 518055, China)

Abstract: The design requirements for temperature alarm circuits suitable for electronic process internship courses have been proposed, and an expanded design has been proposed based on students' different abilities. The design scheme, calculation, experimental result analysis, and fault diagnosis analysis of the circuit were introduced. In the classroom teaching of temperature alarm design, students cooperated to contribute design ideas actively, which promoted students' abilities of team cooperation and innovation, cultivated their abilities of analyzing and solving problems, and laid a solid foundation for future scientific research work.

Key words: electronic processing practice; design and implementation; temperature alarm circuit; fault diagnosis analyses

“电子工艺实习”作为高等院校工科专业实习实训课程, 要求课程内容覆盖面广, 同时具有较强的工程实践性, 对培养学生的工程素养、设计与创新等能力有重要意义^[1]。

哈尔滨工业大学(深圳)根据新工科人才培养计划, 把电子工艺实习课程划分为以下主要教学体系: 导论、半导体技术与电子封装、电子电路软硬设计(元器件识别、硬件设计、PCB 设计、软件基础实验及综合应用)、电子产品加工制造、焊接调试(SMT 生产、手动焊接调试)^[2]。把同一工程项目的设计开发、调试测试和加工制造实验贯穿在不同模块中, 学生分组团队合作学习, 使整个实习实训的过程紧密衔接, 可更加完整和系统地完成课程^[3], 以实现激发学生学习兴趣、培养学

生自主创新能力和探究能力的教学目标^[4]。因此项目的选择特别重要, 需要考虑教学质量, 学生学习效果, 学生操作时项目实现的可能性、难度、操作的时间和出现问题时分析和解决问题的时间, 同时需要兼顾学生学习时的兴趣。最终选择了适用于电子工艺实习课程教学且贯穿其中的项目——小老虎温度报警器, 如图 1 所示。

学习过程以学生为主体, 在学习操作设备、工具和流程, 进行安全考试后, 小组开始整个流程的分组设计及操作, 发散思维, 头脑风暴, 老师在整个过程进行指导^[5]。最后安排学生进行总结汇报, 包括自己组别的设计思路、设计亮点、过程中遇到的问题以及解决方法, 并提出意见和建议^[6]。整个过程既可以锻炼学生的团队合作精神、

收稿日期: 2022-08-14; 修回日期: 2023-06-18

基金项目: 哈尔滨工业大学(深圳)校级工程训练(电子工艺实习)课程在线开放课程项目(HITSZOOC202018); 哈尔滨工业大学(深圳)教学改革项目(HITSZERP19003)。

作者简介: 姜倩倩(1986-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事电子工艺实习、电路、模拟电子技术、电子封装等实验教学方面的研究。E-mail: jiangqianqian@hit.edu.cn

设计能力与创新能力, 又可以培养学生的工程素养。学习过程中遇到的问题及解决方法可以给其他组提供不同的思路, 提出的意见和建议可以作为改进整个项目的参考, 以便更好地提高项目质量^[7]。本文中将要着重介绍小老虎温度报警器的系统软硬件设计计算和故障诊断分析。

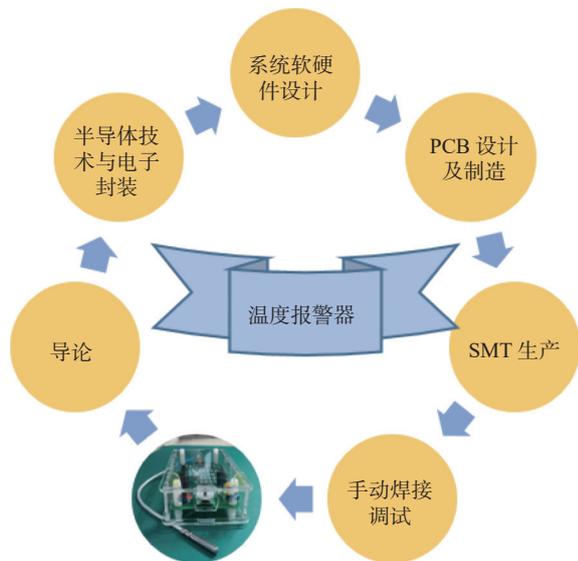


图 1 小老虎温度报警器实现流程图

1 系统构成及实现方式

1.1 设计要求

小老虎温度报警器设计需求为: 自行设计一个温度报警器电路, 要求工作温度范围为 $-20\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 实现以下功能:

1) 当温度高于 $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 以 800 Hz 的频率驱动蜂鸣器发声并且语音报警, 同时亮红灯;

2) Micro USB 5V 供电。温度偏差不得超过 15% , 频率偏差不得超过 10% 。

扩展设计^[8]:

- 1) 温度偏差不得超过 1% , 频率偏差不得超过 5% ;
- 2) 当温度低于 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 以 1 kHz 的频率驱动蜂鸣器发声并且语音报警, 同时亮黄灯。

设计在基本功能的基础上, 对于有余力的同学给出了扩展设计的要求。针对需求功能和设计条件, 明确了:

- 1) 设计的电路所选器件需要考虑工作温度范围为 $-20\sim 70\text{ }^{\circ}\text{C}$, 对于一些器件工作温度在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上或者最低温度大于 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 均不满足条件;
- 2) 所选器件为单电源 5 V 供电, 必须双电源供电或者最低供电电压大于 5 V 的器件均不满足要求;
- 3) 对于温度和频率偏差要求比较高的扩展设计可以考虑所选器件的精度或者更换电路形式。电路的逻辑关系如图 2 所示。

从图 2 可以看出, 温度采样电路把温度信号转换为电信号后进行信号的调理和判断, 使得转换的电压处于可处理的范围。同时根据温度条件设置阈值判断条件, 判断结果信号分别作为 LED 灯亮判据、单片机语音提示处理信号的输入、与产生的方波一起驱动蜂鸣器。单片机处理接收到的信号后, 输出至语音模块给出报警提示^[9]。过程中包含硬件设计、软件设计以及温度传感设计, 同时可学习和趣味性兼顾, 让学生在快乐讨论的氛围中锻炼了设计能力、团队合作能力以及各项工程能力, 为以后的比赛、毕业设计、科研打下坚实的基础^[10-11]。

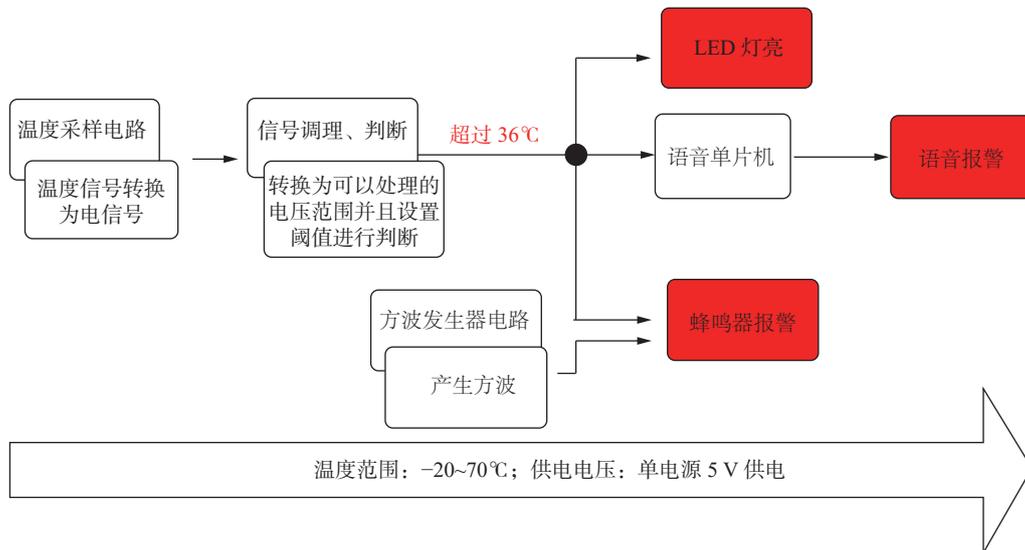


图 2 需求逻辑关系图

2 电路的设计与计算

2.1 方波发生器电路

对于单电源供电，仅用 Micro USB 5V 供电，即 $V_{CC} = 5\text{V}$ ，方波发生电路的电路形式可选择如图 3 所示的方案。因为运放更改为单电源供电，为调节占空比和给出起振激励，在运放的正输入端通过 R_3 接入 V_{CC} 。

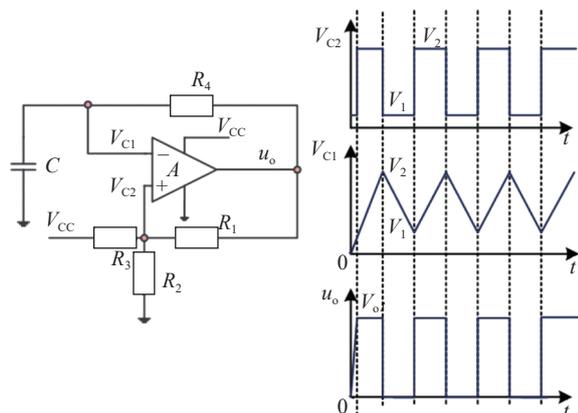


图 3 单电源矩形波发生电路工作原理图

根据叠加定理，设输出方波电压 u_o 低电平为 0，高电平为 V_{o1} 。当方波输出为低电平时，此时运放正输入端的电压 V_{C2} 为：

$$V_{C2} = V_{CC} \times \frac{R_2 // R_1}{R_2 // R_1 + R_3} \quad (1)$$

当方波输出为高电平 V_{o1} 时，运放正输入端的电压 V_{C2} 为：

$$V_{C2} = V_{o1} \times \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} + V_{CC} \times \frac{R_2 // R_1}{R_2 // R_1 + R_3} \quad (2)$$

设 $V_1 = V_{CC} \times \frac{R_2 // R_1}{R_2 // R_1 + R_3}$ ， $V_2 = V_{o1} \times \frac{R_2 // R_3}{R_2 // R_3 + R_1} + V_{CC} \times \frac{R_2 // R_1}{R_2 // R_1 + R_3}$ 。

当电路开始启动时，电容 C 两端的电压为 0， $u_o=0$ ，即 $V_{C1}=0$ ， $V_{C2}=V_1$ ，运放的输出慢慢上升，开始通过 R_4 对 C 充电，电路开始起振。

当 C 启动稳定工作后，电容两端的三角波电压范围为 (V_1, V_2) 。即从 V_1 充电到 V_2 ，从 V_2 放电到 V_1 ，其中充电过程为：

$$V_2 = V_1 + (V_{o1} - V_1)(1 - e^{-t/R_4C}) \quad (3)$$

其中 $t = DT$ ，则波形周期可近似为：

$$T = \frac{R_4C \ln[(V_{o1} - V_1)/(V_{o1} - V_2)]}{D} \quad (4)$$

波形的周期由电阻 R_1, R_2, R_3, R_4 ，电容 C 以及供电电压共同决定。实际设计的电路和测试如图 4 所示。

$$\Delta = \frac{f_0 - f}{f_0} = 3.7375\% \quad (5)$$

图 4 中所测频率 f 为 770.1 Hz，要求的频率 f_0 为 800 Hz，偏差为 3.7375%，满足设计要求。

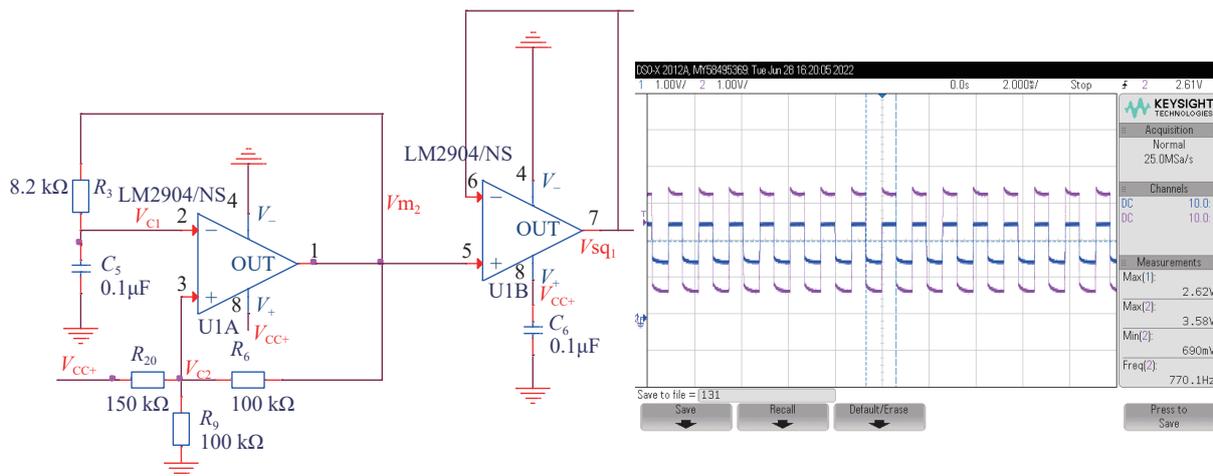


图 4 实际工作原理图及所测波形图

2.2 温度采样及信号调理电路

温度采样电路有多种实现形式，可以用温度采样芯片、热敏电阻或者热电偶。考虑到学生操作的趣味性和设计难度^[12]，在鼓励学生创新的基

础上，可选择 R_{PT100} 热电阻进行温度采样电路的设计，此设计难度适中且可以直观操作 R_{PT100} 热电阻，观察实验现象。

R_{PT100} 具有精度高、性能可靠和稳定性好的特

点。而且铂热电阻的电阻变化率与温度的关系曲线线性度良好^[13]。 R_{PT100} 对应的是 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时电阻的阻值为 $100\ \Omega$, R_{PT100} 存在铂热电阻的自发热问题, 因此设计电路时需要考虑通过的电流大小, 一般要求小于 $10\ \text{mA}$, 但是若电流太小很容易受到噪声干扰, 因此通过电流在 $0.5\sim 2\ \text{mA}$ 的范围内即可。根据学生能力的不同, 给出了采样精度不同的设计要求, 供有能力的学生进行拓展延伸设计^[14]。

对于采样精度要求比较低的方案, 可以使用桥式采样差分放大的形式, 如图 5 所示。

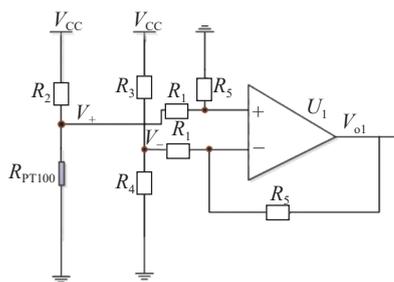


图 5 温度采样及信号调理电路图

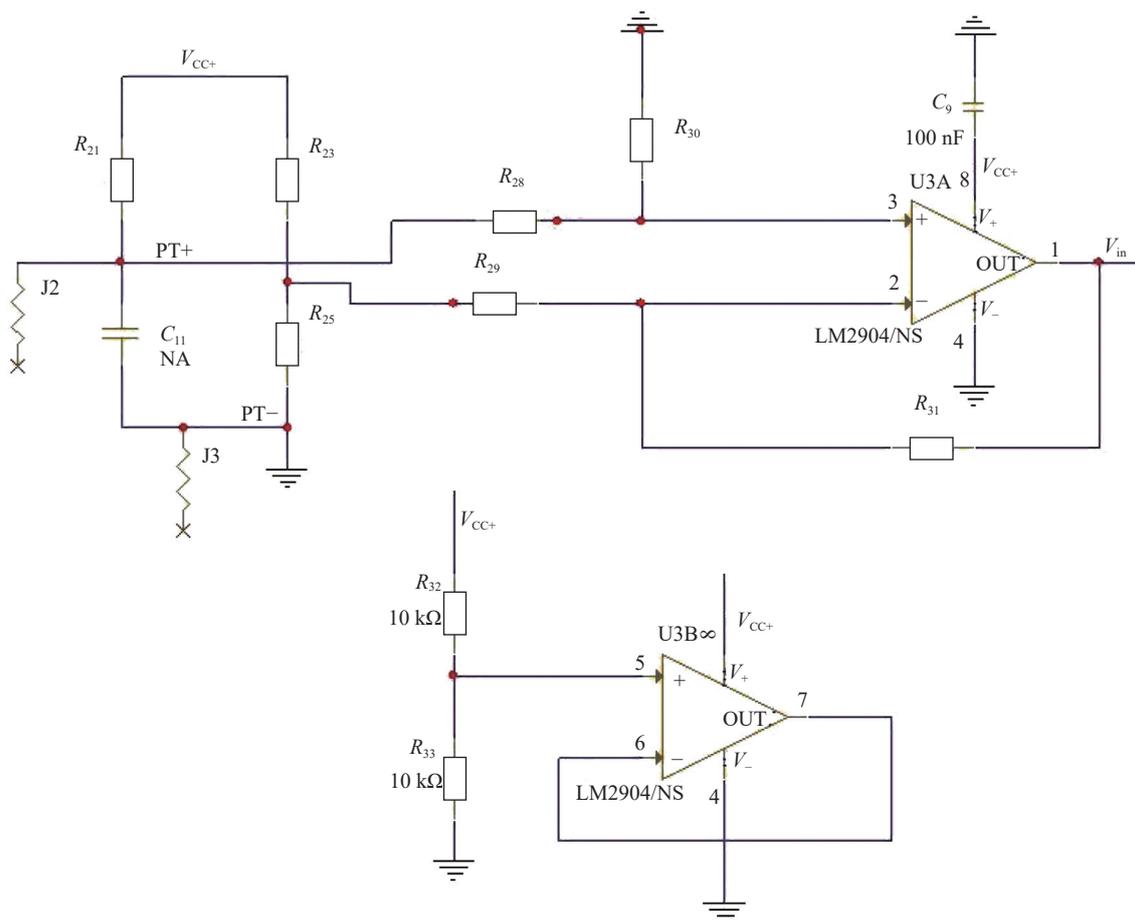
根据 R_{PT100} 温度阻值对照表可以得到, 当温度为 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 电阻为 $100\ \Omega$, 当温度为 $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时, 阻值为 $114\ \Omega$ 。令 $R_2=R_3$, $R_4=100\ \Omega$ 。根据 R_{PT100} 中通过电流的范围($1\sim 2\ \text{mA}$)以及 V_{CC} 的电压(5V), 可以确定 R_2 和 R_3 的值。

此方案使用的是差分放大电路, 输出为:

$$V_{o1} = \frac{R_5}{R_1}(V_+ - V_-) = \frac{R_5}{R_1} \left(\frac{R_{PT100}}{R_{PT100} + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) V_{CC} \quad (6)$$

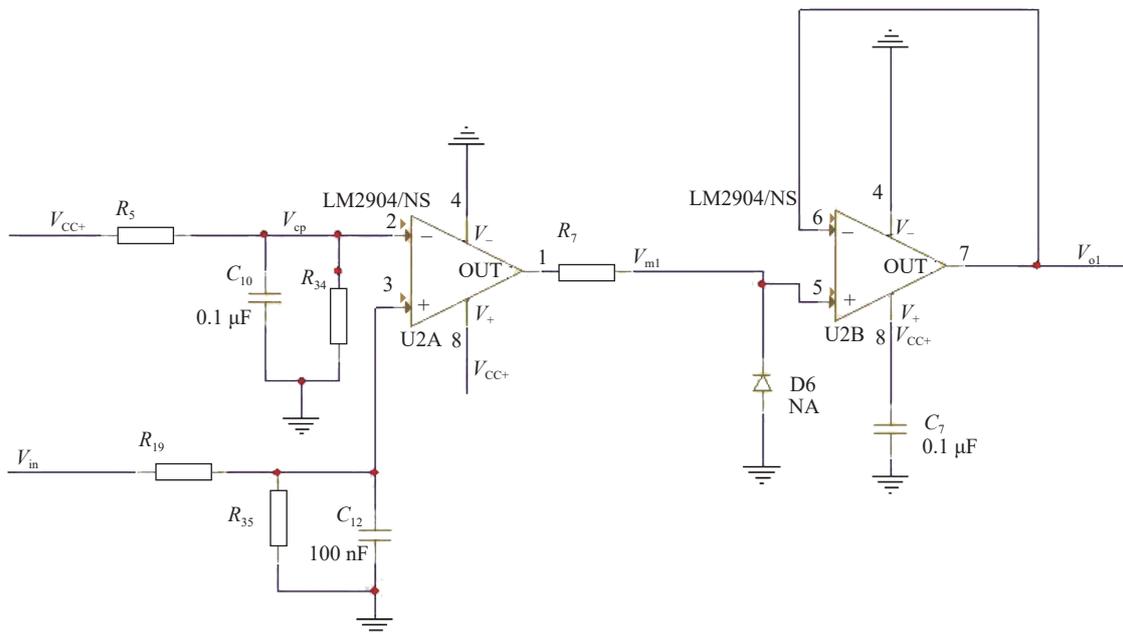
根据后级电路的电压范围, 可确定 R_5 和 R_1 的值。图 6 为温度检测及信号调理和阈值判断电路。

从图 7 和图 8 的波形可以看到, 当处于实验室的常温温度条件下, 温度检测及调理电路输出电压为 $1.8\ \text{V}$, 阈值判断电路输出为低电平, 不报警。当用手握住 R_{PT100} 热电阻后, 温度高于阈值条件, 温度检测及调理电路输出电压升高为 $2.26\ \text{V}$, 阈值判断电路输出电压为 $3.58\ \text{V}$, 传送到后级电路触发报警。



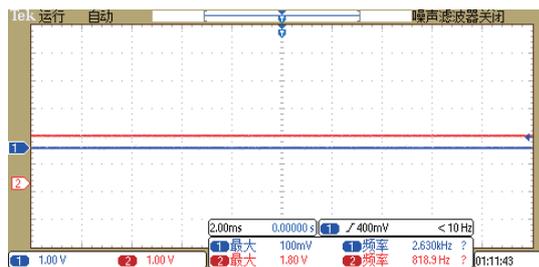
(a) 温度检测及信号调理电路

图 6 采样和阈值判断电路图

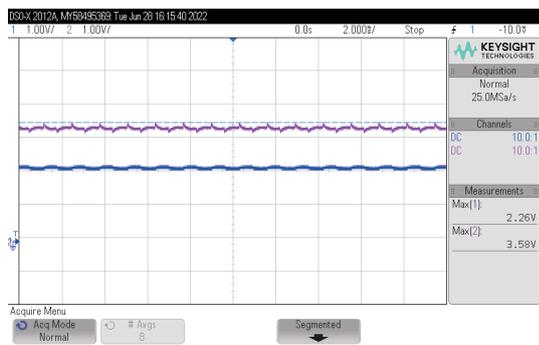


(b) 阈值判断电路

图 6 (续)



CH1: 阈值判断电路输出; CH2: 温度检测及信号调理电路。
图 7 常温小于阈值不报警



CH1: 温度检测及信号调理电路; CH2: 阈值判断电路输出。
图 8 温度高于阈值开始报警

同时要求进行不同温度条件下温度采样及调理电路的精度分析,使用 6 1/2 位数字万用表进行实际数值的测量,结果如表 1 所示,可以看到设计的电路基本满足要求。

表 1 不同温度结果分析

实际温度 / $^{\circ}\text{C}$	温度采样结果计算值 /V	实际测量值 /V	精度偏差 /%
36	2.653	2.2592	14.844
38	2.801	2.3843	14.877
40	2.965	2.5295	14.688
42	3.111	2.6593	14.519
44	3.257	2.7931	14.243
46	3.405	2.9203	14.235
48	3.551	3.0632	13.737
50	3.696	3.1901	13.688

2.3 单片机电路

阈值判断电路的输出 V_{in} 输入到语音单片机的 I/O 口,通过端口烧写程序,使得当 V_{in} 为高电平时,输出端口控制音响发生语音报警提示。编写不同程序时可以控制语音报警的音量,选择报警提示的内容以及自主制作上位机调试操作界面,极大地锻炼了学生的自主性,提高了过程的趣味性和学生的积极性。

上述为设计备用方案,大部分学生在设计的过程中团队合作,设计出很多优秀的方案。

2.4 故障诊断分析

设计完成后的电路,在后面的调试过程中可能会出现各种问题和故障,为了提高学生分析问

题和解决问题的能力, 设计完成后加入了故障诊断分析。故障诊断分析包括故障模式分析和故障原因分析两部分。故障诊断模式包括3种: 一是根据经验结合变化的条件, 判断整个电路的故障模式; 二是通过对电路原理的分析, 分析出电路中所包含的元器件可能出现的故障情况; 三是参考行业和国家的标准手册。

温度报警器电路包括6个功能模块, 所用的元器件大概有60个, 以温度检测电路为例, 进行故障诊断分析。如表2所示, 此部分的器件有20个, 包括元器件的类别, 元器件的位号, 在实验室调试过程中可能会发生的故障现象以及分析元器件的故障模式和故障产生的原因。

表2 故障信息整理

元器件	位号	故障现象	故障模式分析	实验室故障原因分析
片式厚膜电阻器	$R_5、R_7、R_{19}、R_{21}、R_{23}、R_{25}、R_{28}、R_{29}、R_{30}、R_{31}、R_{32}、R_{33}、R_{34}$	常温条件下一直报警或者超过36℃不报警	开路 短路	浪涌引起的损坏; 焊接断裂; 电阻硫化; 过载损坏 焊接短路
多层磁介片式电容器	$C_7、C_9、C_{10}、C_{11}、C_{12}$	超过36℃报警断断续续	开路 短路	热应力; 浪涌电压过压失效; 瞬时过流烧毁 热击穿; 瞬时反向击穿; 焊接短路
肖特基二极管	D6	U2B的输入信号异常时, 损坏了运放	断路	正向过流或者反向过压击穿
LM2904芯片	U2	常温或者超过36℃均不报警	输出失效 短路	焊点断裂 供电电源电压过大或者输入端的信号超过最大范围从而产生内部击穿; 管脚焊接短路
R_{PT100} 热电阻	J1	超过36℃不报警	检测失效	传感器失效

学生在学习此部分内容后, 可以预判调试过程中可能出现的故障现象, 掌握产生故障的模式以及原因。将故障反馈到设计电路中, 引导学生设计出可靠性更高的电路。在后续的调试课程中, 引导学生结合实际, 锻炼学生分析和解决实际问题的能力, 为以后的比赛和科研设计出更可靠的电路打下坚实的基础。

3 拓展设计

对于学习能力比较强的学生, 提出了以下设计要求: 温度偏差不得超过1%, 频率偏差不得超过5%, 当温度低于0℃时, 以1kHz的频率驱动蜂鸣器发声并且语音报警, 同时亮黄灯。

3.1 提高温度采样和输出频率精度

提高方波发生器电路的输出频率精度, 可以通过把所选阻容器件的精度提高到0.5%或0.1%的方法来实现。对于设计精密的温度采样电路^[15], 需要严格控制通过 R_{PT100} 的电流和采用集成单电源仪表运算放大器AD623。一般情况下使用恒流源的形式使得通过 R_{PT100} 的电流恒定, 整体方案可以采用如图9所示形式。

对于恒流源电路的设计建议学生参考模拟电子技术基础上关于电流源部分的内容^[16], 使得通过 R_{PT100} 的电流值稳定。根据AD623的数据手

册, 上面电路的输出为:

$$V_{o1} = \left(1 + \frac{100k}{R_5}\right)(V_+ - V_-) = \left(1 + \frac{100k}{R_5}\right) \left[I(R_{PT100} + R_2) - \frac{R_4}{R_3 + R_4} V_{CC} \right] \quad (7)$$

图10为设计的恒流源。整个电路的工作原理是调节运放的输出使得三级管Q1处于线性区, 运算放大器的输出电压范围受到电源电压的制约, 线性区一般在一定的范围内, 建议设计时输出电压小于3.6V。根据流过 R_{PT100} 的电流值和运放输入端要求的范围以及后级放大倍数, 运放输入端要求的范围, 可以确定电阻 R_3 、 R_4 和 R_5 。

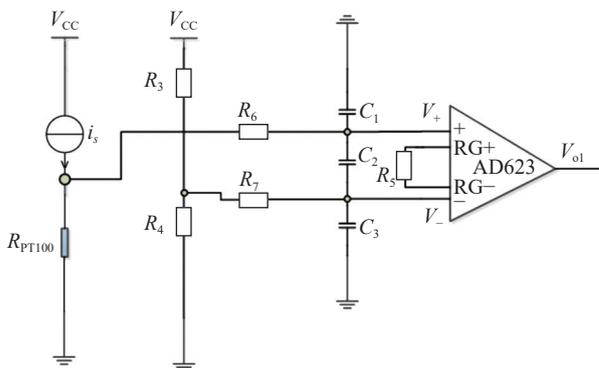
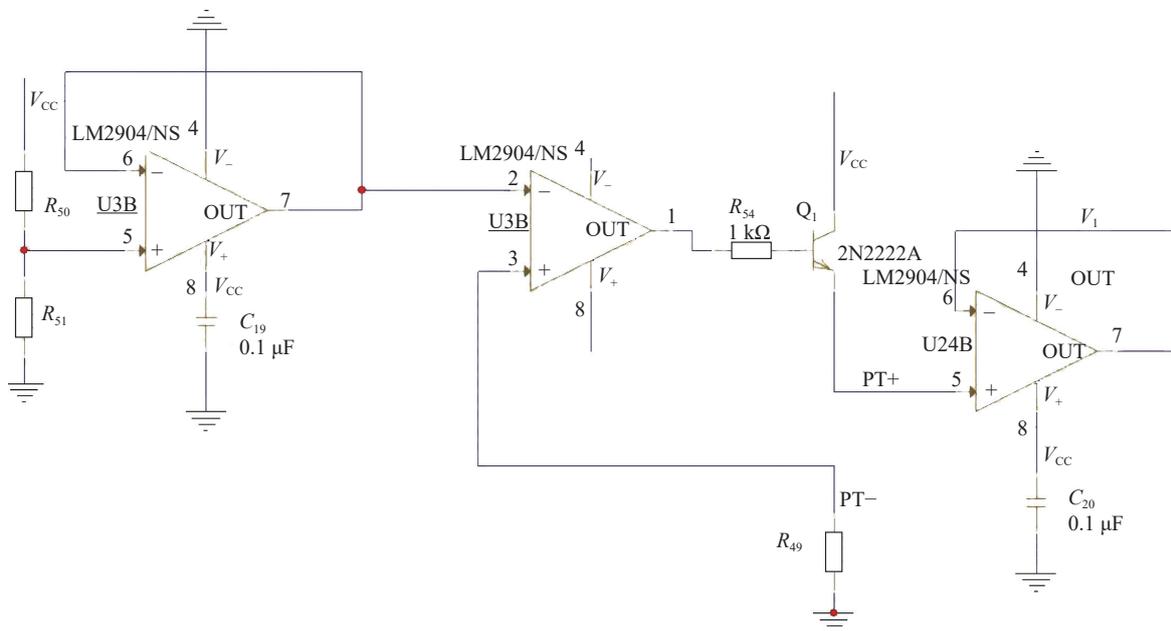
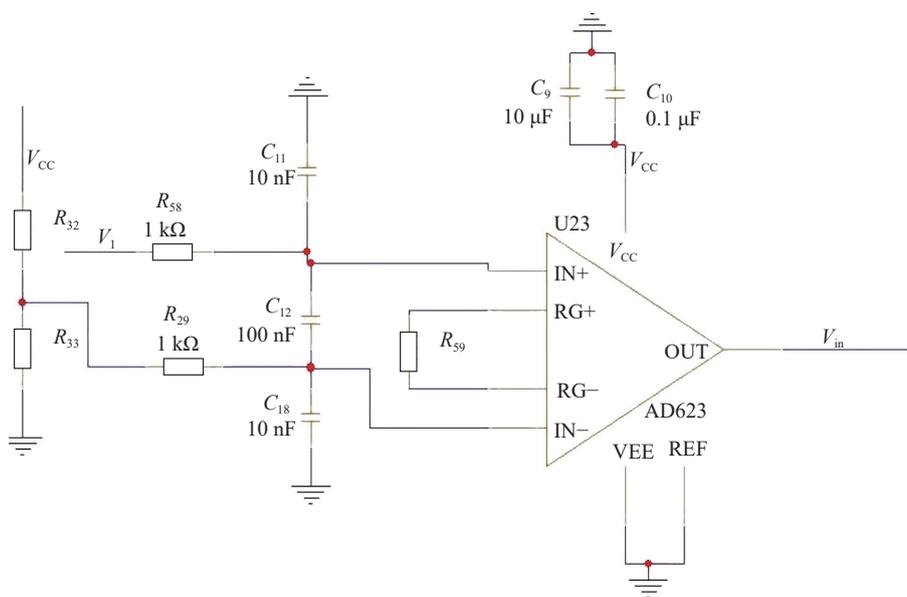


图9 温度采样及信号处理电路



(a) 恒流源部分



(b) 温度采样及信号调理部分

图 10 电路原理图

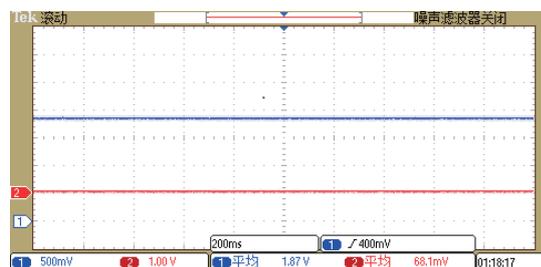
从图 11 的波形可以看到，当处于实验室的常温温度条件下温度检测及调理电路输出电压(CH1)为 1.87 V，阈值判断电路输出(CH2)为低电平，不报警。当用手握住 R_{PT100} 热电阻后，温度高于阈值条件，温度检测及调理电路输出电压平均值为 2 V，阈值判断电路输出电压平均值为 2.62 V，传送到后级电路触发报警。

用 6 1/2 位数字万用表进行更进一步的有效值测量。测量的结果如表 3 所示，温度在 36 ℃ 时

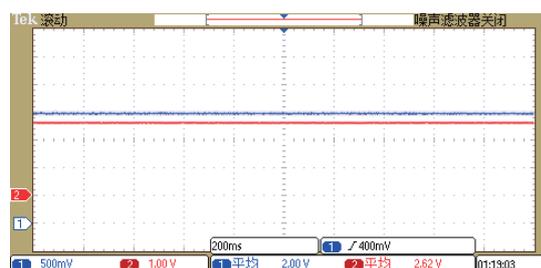
精度偏差为 5.0191%，与 5% 的精度要求还差 0.0191%，可在后续的设计中进行改进，其余温度范围均满足设计要求。

3.2 低温报警设计

低温报警设计需要考虑低温条件下元器件的选型以及器件供电的需求，如需要双电源供电，可以考虑使用电源芯片或者电源模块进行电源的转换。这部分也是学生自由发挥，满足设计要求即可。



(a) 常温小于阈值不报警



(b) 温度高于阈值开始报警

CH1: 温度检测及信号调理电路; CH2: 阈值判断电路输出。

图 11 电路波形图

表 3 不同温度结果分析

实际温度 /°C	温度采样结果计算值 /V	实际测量值 /V	精度偏差 /%
36	1.8609	1.9543	5.019 1
38	1.8974	1.9908	4.922 5
40	1.9339	2.0273	4.829 6
42	1.9704	2.0638	4.740 2
44	2.0069	2.1003	4.653 9
46	2.0438	2.1373	4.574 8
48	2.0803	2.1738	4.494 5
50	2.1168	2.2102	4.412 3

4 结束语

温度报警器项目贯穿在整个电子工艺实习课程中, 学生首先根据要求完成理论内容、流程方法、工具等内容的学习后, 开始按照小组进行软硬件设计。每组学生根据需求可以给出不同的方案, 通过仿真验证和原理图的绘制进行设计和故障诊断分析, 同时开始软件的编写、选择元器件、电子封装 LED 器件^[17]、绘制 PCB 板、手工制作印制电路板、组装元器件和调试。调试过程出现问题时结合前面的故障诊断进行分析, 找出定位故障原因, 最终完成温度报警器的设计与制作, 学生制作的温度报警器如图 12 所示。每组学生设计的内容均不相同, 过程中学生反应很好, 极大地提高了学生动手的兴趣和主动性, 从被动学习到主动学习^[18], 锻炼了团队合作能力, 设计能力以及其他工程能力, 取得了良好的教学效果。

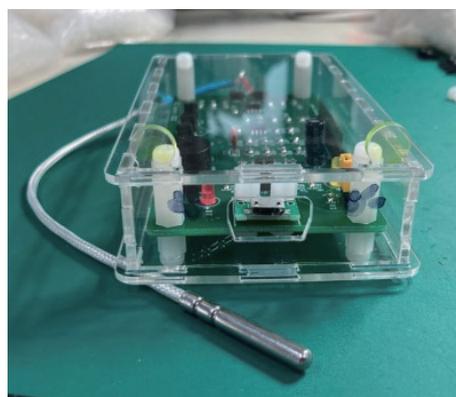


图 12 学生制作的温度报警器成品图

参考文献

- [1] 叶晓勤. 新工科背景下工程训练中心创新人才培养探究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(12): 274-277.
- [2] 吴屏, 杨静, 李苑青, 等. 面向工程创新能力培养的电子工艺实习研究[J]. 实验科学与技术, 2021, 19(1): 1-7.
- [3] 吴屏, 李苑青, 王丹丹, 等. Cadence在电子工艺实习教学案例中的应用[J]. 电气电子教学学报, 2020, 42(6): 120-124.
- [4] 佟丽娜, 秦传磊. 面向创新能力培养的“电工电子学”实践教学探究[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(9): 16-18.
- [5] 周珂, 赵志毅, 李虹. 学科交叉、产教融合工程能力培养模式探索[J]. 高等工程教育研究, 2019(3): 33-38.
- [6] 李敏, 廖冬梅, 翟显, 等. 基于项目式教学的工程训练课程改革[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(3): 127-131.
- [7] 张安富. 项目化教学是提高工程型人才培养质量的有效之法[J]. 高等工程教育研究, 2019(3): 166-169.
- [8] 傅丰林. 低频电子线路[M]. 北京: 高等教育出版社, 2003.
- [9] 齐卫, 王文青. 项目式教学过程与效果评价[J]. 河北师范大学学报(教育科学版), 2020, 22(6): 119-121.
- [10] 王秀梅, 韩靖然. 新工科背景下工程训练中心存在的问题与实践转向[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(9): 8-11.
- [11] 吴涛, 吴福培, 包能胜. 知识探究导向的层次化教学方法研究与实践[J]. 高等工程教育研究, 2018(1): 146-153.
- [12] 李海, 王茜, 牟一卉. “互联网+”电路板设计实验教学的改革与探索[J]. 实验室研究与探索, 2018, 37(5): 213-215.
- [13] DAVIS M. Introduction to a symposium: Integrating ethics into engineering and science courses[J]. Science and Engineering Ethics, 2005(11): 631-634.
- [14] 潘炜. 传感器与检测技术综合实验课程设计[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(11): 218-220.
- [15] 王群, 蔡立军, 刘彬彬, 等. 创新型工程训练教学模式的探索[J]. 实验研究与探索, 2020, 39(8): 236-239.
- [16] 童诗白, 华成英. 模拟电子技术基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2019.
- [17] 姜倩倩, 吴屏, 王亚男, 等. 电子封装在电子工艺实习中的探索研究[J]. 实验科学与技术, 2022, 20(1): 96-100.
- [18] 余勤, 曾晓东, 王建, 等. 新工程教育认证标准下课程教学的探索与实践[J]. 实验技术与管理, 2019, 36(4): 183-187.

编辑 王燕