

4.3 基于电压比较器的温度控制电路设计

4.3.1 实验目的

- (1) 了解传感器的基本知识，掌握传感器的基本用法。
- (2) 掌握电压比较器电路的构成、特点和设计方法等。
- (3) 熟练使用 Multisim 进行电路设计与仿真。

4.3.2 实验仪器及设备

- (1) 模拟电路实验箱 1 台
- (2) 示波器 1 台
- (3) 数字万用表 1 块
- (4) 集成运放、电阻、发光二极管、温度传感器、三极管等常用电子元器件

4.3.3 预习要求

- (1) 熟悉常用电子元器件和温度传感器的检测和使用方法。
- (2) 进行温度控制电路各部分的结构设计。
- (3) 用 Multisim 仿真软件进行电路设计。

4.3.4 实验原理

1. 电路设计原理

温度控制电路原理如图 1 所示，首先温度传感器检测温度变化，并把它转换成电信号，交给放大电路进行放大，放大后的信号输入比较器，根据温度值的大小，通过报警控制电路来控制发光二极管来指示。

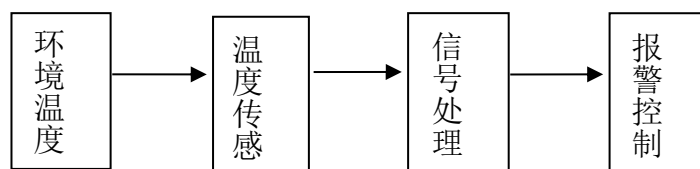


图.1 温度控制电路原理框图

2. LM35 温度传感器

集成芯片 LM35 是美国国家半导体公司生产的集成电路温度传感器系列产品之一，引脚分布如图 4.3.2 所示，它具有很高的工作精度和较宽的线性工作范围，该器件输出电压与摄氏温度呈线性关系，LM35 无须外部校准和微调，可以提供常用的室温精度。

特点与基本参数：

- (1) 直接以摄氏温度校准：
- (2) 线性比例因数： $+10.0\text{mV}/^\circ\text{C}$ ；
- (3) 0.5°C 的精确性保证 ($+25^\circ\text{C}$)；
- (4) 额定全工作范围： $-55\sim+150^\circ\text{C}$ ；
- (5) 电压供电范围：直流 $4\sim30\text{V}$ ；
- (6) 漏电流：小于 $60\mu\text{A}$ ；
- (7) 低自发热量，在静止空气中： 0.08°C ；
- (8) 非线性特性： $\pm 1/4^\circ\text{C}$ ；

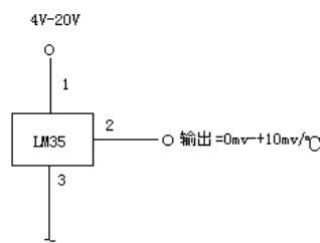


图 2 LM35 引脚图

3. 放大电路

LM35 把温度信号转变成电压信号，输出电压范围在 $-50\sim1500\text{mV}$ ，为了完成后续的比

较控制，需要对其输出信号进行放大。选择电压放大器作为信号处理部分。采用集成运放实现的基本电压放大器的电路结构如图 3、图 4 所示。

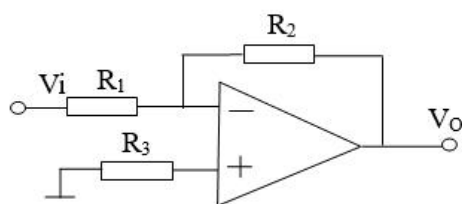


图 3 反相比例放大器

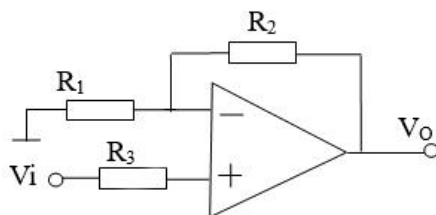


图 4 同相比例放大器

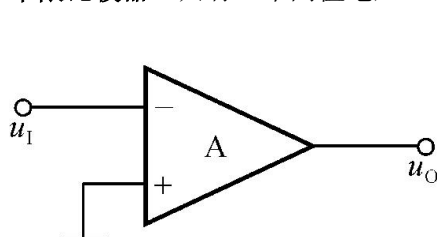
4. 电压比较器

电压比较器的功能是比较两个输入电压的大小，并根据比较结果输出高电平或低电平，常用于越限报警、模/数转换等场合。使输出产生跃变的输入电压称为阈值电压。常用的电路结构有：单限比较器、滞回比较器和窗口比较器。

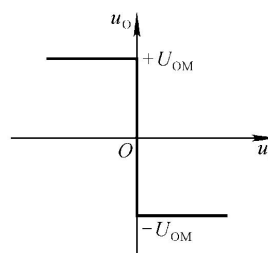
电压比较器的分析方法：

- ① 写出 u_P 、 u_N 的表达式，令 $u_P = u_N$ ，求解出的 u_I 即为 U_T ；
- ② 根据输出端限幅电路决定输出的高、低电平；
- ③ 根据输入电压作用于同相输入端还是反相输入端决定输出电压的跃变方向。

(1) 单限比较器：只有一个阈值电压。



(a) 电路结构图



(b) 电压传输特性

图 5 单限比较器

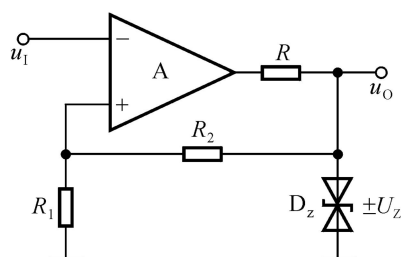
① $U_T = 0$

② $U_{OH} = +U_{OM}$, $U_{OL} = -U_{OM}$

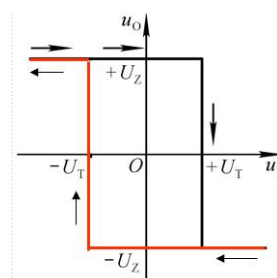
③ $u_I > 0$ 时 $u_O = -U_{OM}$; $u_I < 0$ 时 $u_O = +U_{OM}$

单限比较器的阈值电压 $U_T = 0$ 时，也称之为过零比较器，实际应用时，也可以设置不同的阈值电压，其电压传输特性相应的左移或右移。当输入信号电压在门限值附近有噪声干扰时，输出电压会在 $+U_{OM}$ 和 $-U_{OM}$ 之间来回振荡，不利于负载电路的正常工作，为了解决这个问题，实际应用时，经常采用滞回比较器电路结构，也称之为施密特触发器电路。

(2) 滞回比较器：具有滞回特性，输入电压的变化方向不同，阈值电压也不同，但输入电压单调变化使输出电压只跃变一次。



(a) 电路结构图



(b) 电压传输特性

图 6 反相滞回比较器

$$u_N = u_1$$

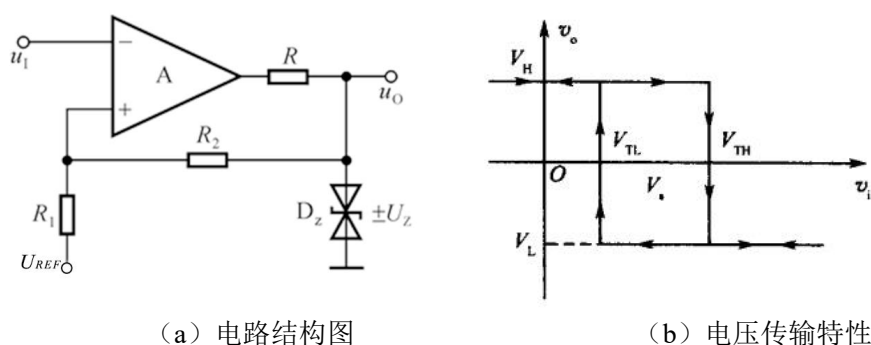
$$u_P = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot u_O, \text{ 令 } u_N = u_P, \text{ 得}$$

$$U_{TH} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{OH}$$

$$U_{TL} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{OL}$$

设 $u_1 < U_{TL}$, 则 $u_N < u_P$, $u_O = U_{OH}$ 。此时 $u_P = U_{TH}$, 增大 u_1 , 直至 U_{TH} , 再增大, u_O 才从 U_{OH} 跃变为 U_{OL} 。设 $u_1 > U_{TH}$ 则 $u_N > u_P$, $u_O = U_{OL}$ 。此时 $u_P = U_{TL}$, 减小 u_1 , 直至 U_{TL} , 再减小, u_O 才从 U_{OL} 跃变为 U_{OH} 。

含有参考电压的反相滞回比较器



(a) 电路结构图

(b) 电压传输特性

图7 带参考电压的反相滞回比较器

$$U_{TH} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{OH}$$

$$U_{TL} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{REF} + \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{OL}$$

施密特触发器的电压传输特性具有迟滞性, 其回差, 又称迟滞宽度是上下门限电压的差值。通过调节电阻 R_1 , R_2 的阻值, 就可以调节迟滞宽度的大小。

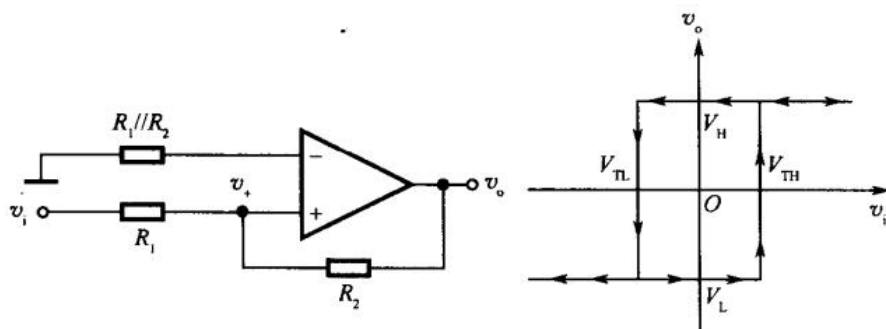
$$\text{回差电压: } \Delta U = |U_{TH} - U_{TL}|$$

通常称 $U_S = \frac{U_{TH} + U_{TL}}{2}$ 为开关电压, 不含参考电压的施密特触发器的开关电压为 0,

含参考电压的施密特触发器的门限电压关于开关电压对称。

同相滞回比较器

设输出高电平为 U_{OH} , 输出低电平为 U_O 。



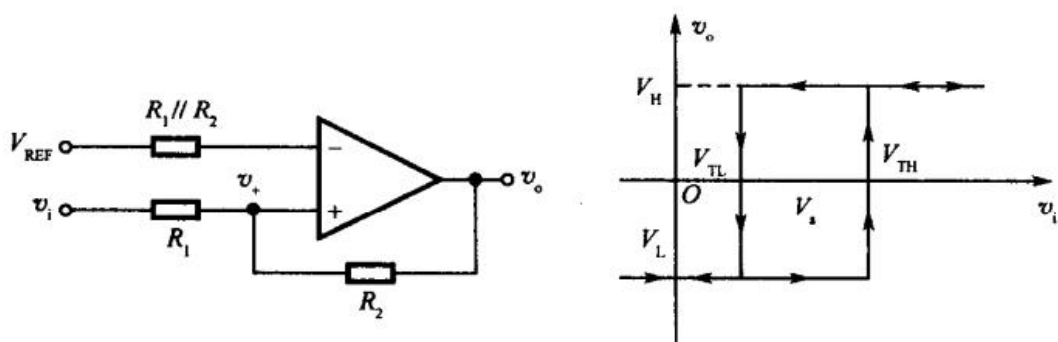
(a) 电路结构图

(b) 电压传输特性

图 8 同相滞回比较器

$$U_{TH} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot U_{OL}$$

$$U_{TL} = -\frac{R_1}{R_2} \cdot U_{OH}$$



(a) 电路结构图

(b) 电压传输特性

图 9 带参考电压的同相滞回比较器

$$U_{TH} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot U_{REF} - \frac{R_1}{R_2} \cdot U_{OL}$$

$$U_{TL} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \cdot U_{REF} - \frac{R_1}{R_2} \cdot U_{OH}$$

(3) 窗口比较器

单限比较器和滞回比较器在输入电压单一方向变化时，输出电压只跃变一次，因而不能检测输入电压是否在两个给定电压 U_A 、 U_B 之间，而窗口比较器具有这一功能。其电路及传输特性曲线如右下图所示：

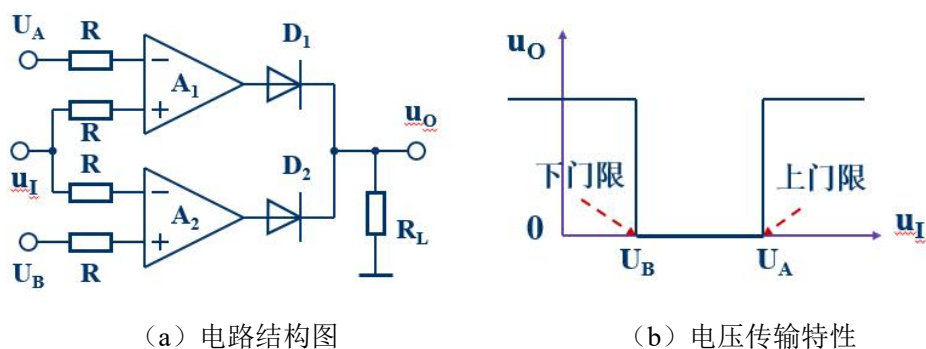


图 10 窗口比较器

5 发光二极管

发光二极管，简称 LED，是直接把电能转换成光能的发光显示器件，常用 $\Phi 3\text{mm}$ 二极管外观如图 11 所示，其正向工作电压如表 1 所示。发光二极管必须串联限流电阻使用，不能直接在电源上，那样会很快烧毁。发光二极管正向工作电流在 $2\sim 20\text{mA}$ ，亮度会随着电流的增大而增大。实验时，最好将电流控制在 $5\sim 10\text{mA}$ ，选择适当的限流电阻，将工作电流控制在合适的范围内。实际使用时，其长管脚为正、短管脚为负，可用数字万用表“二极管档”检测正负极。



图 11 普通发光二极管

表 1 常用发光二极管正向工作电压

发光颜色	红	黄	绿	白
正向工作电压	$1.8\sim 2.0\text{V}$	$1.9\sim 2.1\text{V}$	$2.0\sim 2.2\text{V}$	$3.0\sim 3.3\text{V}$

6 三极管开关电路

开关 (switch) 是一种控制电流是否通过的器件。机械开关：采用机械触碰方式改变电路的通断。比如墙上电灯开关必须手触。电子开关：采用光电探视、磁场变化判断等方式改

变电路通断。机械开关和电子开关区别为：通断方式不同、可靠性不同、寿命不同。

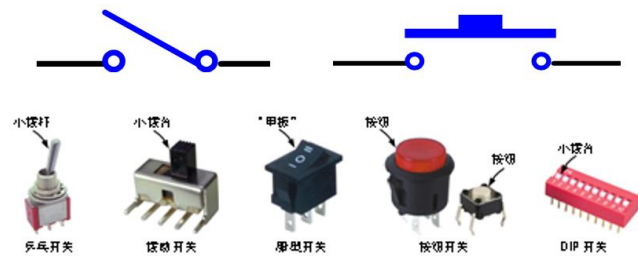


图 12 常见机械开关实物图

三极管的主要用途，一是利用放大特性构成放大器，另一个是利用三极管在饱和与截止状态的特性，构建三极管开关电路。如图 13 所示，电路闭合，电路 B 的负极接地，电源的负极也接地，电路 B 获得供电而工作。现在要求用电路 A 的输出信号去控制电路 B 是否被供电，当 A 输出 5V 时，开关闭合，当 A 输出 0V 时，开关断开。利用三极管的截止、饱和状态，可以达到开关断开、闭合的效果。

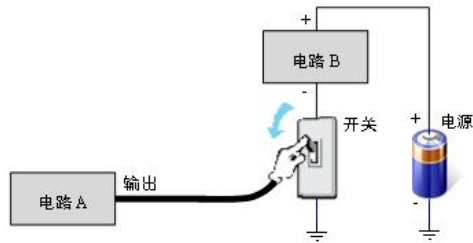


图 13 电子开关示意图

$V_{BB}=0V$ ，三极管的 B-E 之间没有获得正向偏置电压而截止， $I_B=0$ ，三极管的 C-E 极之间相当于断开，没有电流通过，相当于断开。 $V_{BB}=5V$ ，三极管的 B-E 极在 V_{BB} 的作用下，之间没有获得正向偏置电压而截止， $I_B=0$ ，三极管的 C-E 极之间相当于断开，没有电流通过，相当于断开。

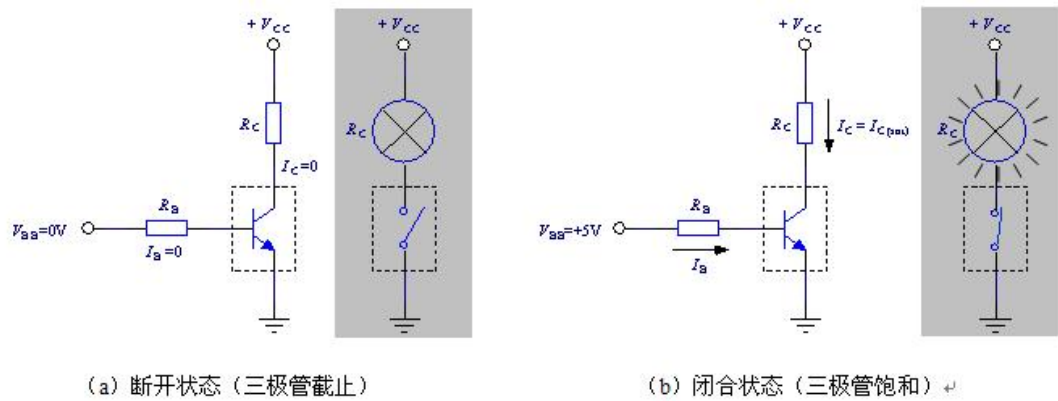


图 14 三极管开关

本设计可以把发光二极管接在三极管开关电路的集电极上，通过电压比较器的输出，控制三极管开关状态，从而实现二极管的亮灭，进行不同比较结果的指示。

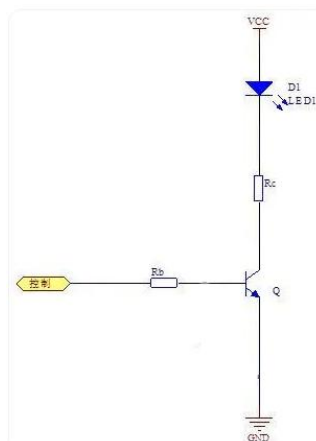


图 15 三极管开关控制发光二极管

为电路接线方便，三极管电源电压可以采用集成运放的正电源供电。设计 R_C ， R_B 的值，使三极管控制端得到高电平信号时，三极管处于饱和工作状态。 R_C 的作用是分压，限流，假设电源电压是 12V，发光二极管点亮时的工作电流为 10mA。

$$R_C = (12V - 2.0V) / 10mA = 1k\Omega$$

临界饱和的基极电流为 $I_B = I_C / \beta$ ，这里 β 取 100，那么 $I_B = 10mA / 100 = 100\mu A$ ，为了保证三极管进入深度饱和，还要取数倍 I_B ，这里取 10 倍，那么饱和 $I_B = 100\mu A * 10 = 1mA$ ，假设控制端高电平是 5V，那么

$$R_B = (5V - U_{be}) / 1mA = (5V - 0.7V) / 1mA = 4.3k\Omega$$

4.3.5 实验内容及步骤

1. 设计任务

参考实验原理，采用温度传感器、集成运放、三极管、电阻、发光二极管等，设计一个简单的温度测控系统，要求实现在不同温度情况下，控制发光二极管的亮灭。

2. 设计步骤与要求

- (1) 根据实验原理，设计实验各部分电路的结构、参数。
- (2) 用仿真软件实现电路功能。
- (3) 在实验箱或面包板上插接实验电路。
- (4) 完成电路功能调试，并记录数据。

3. 实验报告要求记录内容参考如下：

- (1) 用文字表述电路设计方案。
- (2) 画出各部分电路结构图，并标清设计参数。
- (3) 完成如下测试表，并可根据实际设计，修改表格内容。

表 1

环境温度	温度传感器输出

表 2

放大电路输入	放大电路输出

表 3

比较器电路输入	比较器电路阈值	比较器电路输出

表 4

三极管开关电路输入	三极管开关电路集电极电流 $I_c(\text{mA})$	三极管开关电路输出 (LED 灯状态)

4.3.6 注意事项

- (1) 注意各元器件管脚极性。
- (2) 仿真时，采用可变电阻器代替温度传感器，模拟不同的温度变化。
- (3) 可根据电路的各部分功能，分别插接，调试成功后，再连接到一起。

4.3.7 思考题

- (1) 查找资料，了解什么是传感器，温度传感器的分类有哪些？
- (2) 总结几种比较器结构的性能特点。
- (3) 说明在实验设计过程出现了哪些问题，具体是怎么解决的？