



上海交通大学

SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY

上海交通大学

电子信息与电气工程学院

---

## 数字显示温度计大作业

---

*Author:*

李卓壕 曾宸东

*Supervisor:*

申赞伟

EST2503 电子技术实验

2021 年 12 月 12 日

目录	1
----	---

## 目录

<b>1 实验目的</b>	<b>2</b>
1.1 了解 PN 结温度特性以及通过晶体管构造 PN 结的方法 . . . . .	2
1.2 学习电压——频率 (VF) 变换电路的原理 . . . . .	2
1.3 学习精密仪表放大电路的原理及使用 . . . . .	2
1.4 学习如何实现模拟信号到数字信号的转换 . . . . .	2
1.5 学习并掌握 Verilog 语言的使用 . . . . .	2
1.6 学习利用 FPGA 设计频率计 . . . . .	2
<b>2 实验内容及原理</b>	<b>2</b>
2.1 模拟电路部分 . . . . .	2
2.1.1 温度传感器 . . . . .	2
2.1.2 电压基准源 . . . . .	3
2.1.3 电压差分放大电路 . . . . .	4
2.1.4 F-V 伏频转换电路 . . . . .	5
2.1.5 3.3V 电平转换电路 . . . . .	5
2.1.6 模拟电路部分总结 . . . . .	6
2.2 数字电路部分 . . . . .	6
2.2.1 FPGA 实验内容 . . . . .	6

## 1 实验目的

- 1.1 了解 PN 结温度特性以及通过晶体管构造 PN 结的方法
- 1.2 学习电压——频率 (VF) 变换电路的原理
- 1.3 学习精密仪表放大电路的原理及使用
- 1.4 学习如何实现模拟信号到数字信号的转换
- 1.5 学习并掌握 Verilog 语言的使用
- 1.6 学习利用 FPGA 设计频率计

## 2 实验内容及原理

### 2.1 模拟电路部分

#### 2.1.1 温度传感器

温度传感器有多种, 本实验采用半导体的 PN 结作为温度传感器, 在一定范围内 PN 节的导通压降  $U_{on}$  就下降 2mV。实验中可通过将三极管的 BC 管脚短路来构造三极管其中 BC 为 P 极, 发射结 E 为 N 极。具体如下图 (1) 所示。

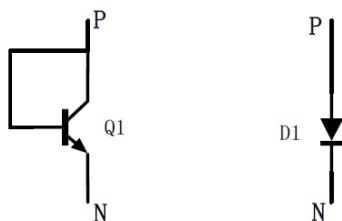


图 1: PN 结的实现

由于  $U_{on}$  为 PN 结的导通电压，因此需要保证 PN 结处于导通状态。我们通过设计恒流源来确保 PN 结的导通，采用电压——电流转换电路来实现精密恒流源。恒流源的电路图原理图如图 (2) 所示。当  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$  时，输出电流与输入电压满足关系：

$$i_0 = \frac{u_i}{R_0} \quad (1)$$

通过设计参数使得输出电流量为 1-2mA 左右。恒流源电路设计完成后，将输出电阻  $R_L$  换为晶体管构成的 PN 结，即可将其导通电压  $U_{on}$  稳定输出。为了更好地保护 PN 结，需要将 PN 结与一个定值电阻串联后整体作为  $R_L$ ，在这个状态下输出  $U_{on}$ 。

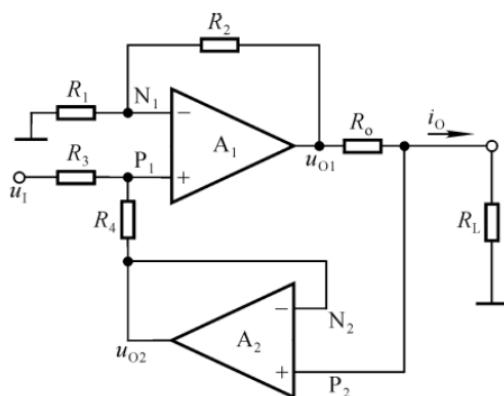


图 2: 精密恒流源电路

### 2.1.2 电压基准源

PN 结电压信号的变化是一个微小量，因此我们用差分放大的思想将其放大。如果将 PN 结的导通电压作为放大器一端的输入，则另一个输入应该为与  $U_{on}$  大小相近的恒定量，该恒定量与  $U_{on}$  做差所得到的微小量则是待放大的电压信号。因此我们需要得到一个与  $U_{on}$  相近的恒定量。我们采用 TL431 精密电压参考源作为电压基准源，来实现恒压输出。

TL431 集成电压基准电路的内部结构、典型接线及引脚分布如图 (3) 所示。将该电路与可变电阻相连接，通过改变可变电阻阻值则可得到希望的恒压输出量。

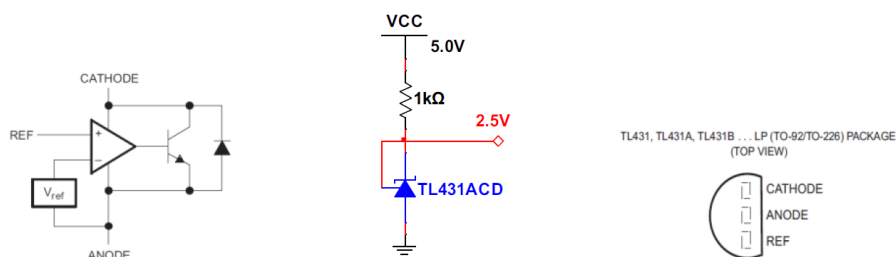


图 3: TL431 集成电压基准电路的内部结构、典型接线及引脚分布

### 2.1.3 电压差分放大电路

差分放大电路用于放大电压基准源与 PN 结导通压降之差，我们使用精密（仪表）放大电路进行实现。电路原理图如图 (4) 所示。输出电压与两端的输入满足表达式：

$$u_0 = -\frac{R_f}{R} \left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) (u_{I1} - u_{I2}) \quad (2)$$

放大的范围需要满足 PN 结电压在变化为  $2mV * 100 = 200mV$  的情况下，仪表放大器的输出为  $5V$  左右。其中增益的调整由  $R_2$  实现，所以实际电路  $R_2$  采用可变电阻。考虑到输出电压的表达式含有负号，我们将导通压降  $U_{on}$  作为  $u_{I1}$  端的输入，将基准源作为  $u_{I2}$  端的输入。当温度升高时， $U_{on}$  不断减小，使得  $u_{I1} - u_{I2} < 0$ ，以保证输出电压  $u_o > 0$ 。

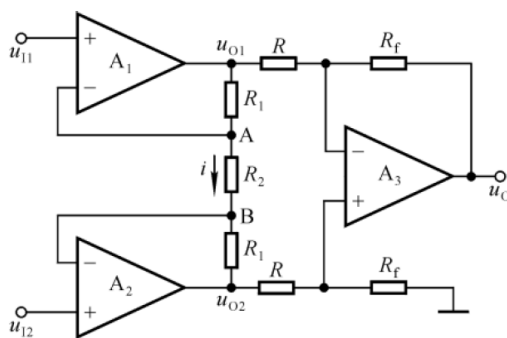


图 4: 精密（仪表）放大电路

### 2.1.4 F-V 伏频转换电路

电压进行放大后，我们需要将电压信号进一步转换为频率信号，频率信号可通过 FPGA 进行处理。我们希望的输出是当温度由 0 至 100 变化时，输出信号的频率由 0Hz 至 10kHz 线性变化，也就是将输入信号  $u_I$  的 0.5V 映射至频率区间 0~10kHz。其中，双向稳压管由两个单向稳压管反向串联实现。使用如下的 F-V 幅频转换电路，电路见图 (5) 所示。经过电容的充放电作用，周期  $T$  与  $u_I$  及电路参数的关系为：

$$T = R_1 C * \frac{U_{REF}}{u_I} \quad (3)$$

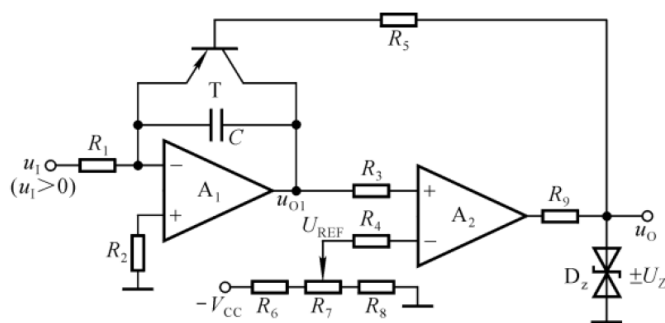


图 5: 电压-频率 (V-F) 变换电路

### 2.1.5 3.3V 电平转换电路

最后，输入 FPGA 的信号大小需要进行限制，防止烧坏 FPGA。我们将输出的  $\pm U_Z$  转换成为 0-3.3V 电平，以匹配数字电路部分的 FPGA 开发板的输入电平。电路实现如图 (6) 所示。

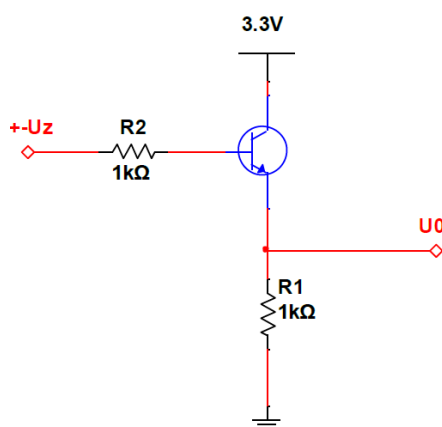


图 6: 3.3V 电平转换电路

### 2.1.6 模拟电路部分总结

模拟部分实现将温度信号进行调理放大, 变换为频率信号, 最终以 3.3V 的频率信号 (0-10kHz) 输出, 频率的大小与温度成正比。

## 2.2 数字电路部分

### 2.2.1 FPGA 实验内容

在 FPGA 开发板 EGO 上设计一个测量 100KHz 以内的频率计, 通过 FPGA 自行产生频率在上述范围内可调的方波信号, 通过自行设计的频率测量模块得到输入脉冲频率, 使用数码管显示其频率或周期, 如下图所示

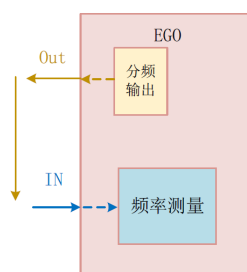


图 7: 数字部分实现方案

EGO 板上为用户提供了灵活的通用接口 (J5) 用来作 I/O 扩展, 共提供 32 个双向 IO, 每个 IO 支持过流过压保护。可以选择其中两个管脚作为频率计的输入及测试时钟信号的输出。

### 2.2.2 代码思路

## 3 实验过程

### 3.1 电路仿真与参数设计

#### 3.1.1 恒流源与 PN 结