



西安交通大学
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY

电子系统设计 实验报告

班级：_____XXXX_____

姓名：_____XXXX_____

学号：_____XXXXXXXXXX_____

心率计电子系统设计

一、设计要求

1. 设计实现一个心率计系统，实现心率测量。
2. 要求尽可能使用交流方式，将心率信号调制到高频方波上进行处理。
3. 将心率在数码管或液晶屏上显示。

二、系统方案设计

1. 系统总体框图及电路图

系统总体框图和总体电路图分别如图 1、图 2 所示。总体设计思路为，先将心率信号调制到高频方波上，通过包络检波检出心率信号，再将检出的心率信号通过放大电路进行放大，并通过迟滞比较器将心率信号整形为方波，最后送给单片机测量。

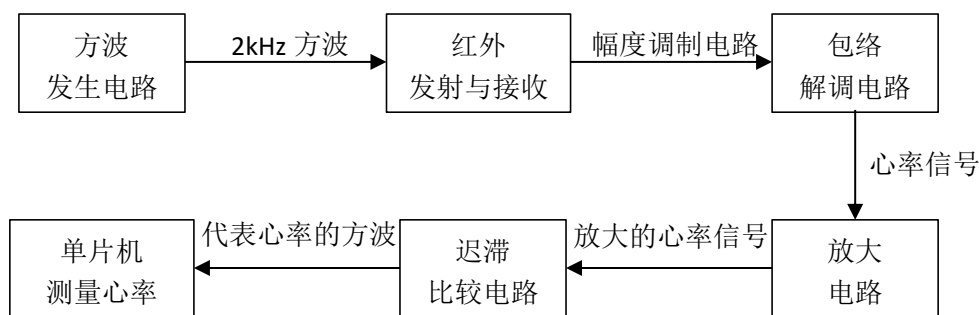


图 1 系统总体框图

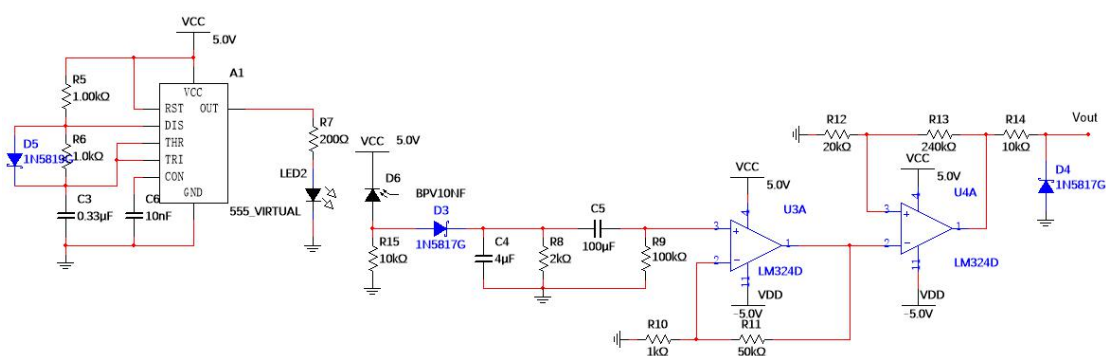


图 2 系统总体电路图

2. 各模块方案设计

(1) 方波发生电路

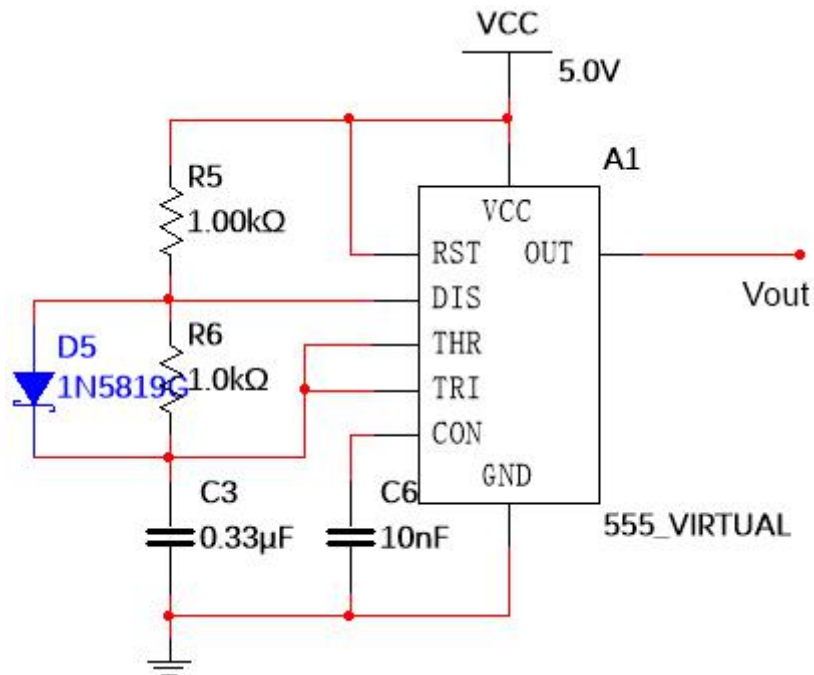


图3 方波发生电路

方波发生电路由 555 定时器及其外围电路组成，如图 3 所示。若不在 R6 两端并联二极管 D5，则输出方波的高电平时间为 $\ln(2) \cdot (R1+R2) \cdot C$ ，低电平时间为 $\ln(2) \cdot R2 \cdot C$ 。为了使输出方波的占空比接近 50%，在 R6 两端并联上一个二极管。由于二极管正向导通时阻值很小，则并联二极管之后，高电平时间近似为 $\ln(2) \cdot R1 \cdot C$ ，通过调整 R5 和 R6 的阻值，可使该电路输出占空比 50% 的方波。我们利用此电路产生一个频率约为 2kHz，占空比 50% 的方波信号作为载波。

(2) 心率信号调制电路

在本实验中，由 555 定时器产生的方波是用作载波信号的，需要将心率信号调制到载波信号上。实现此调制过程的电路如图 4 所示，其中 V_{in} 为输入的 2kHz 方波，LED2 为红外发光二极管，R7 为限流电阻，D6 为红外接收管。测量心率时，将人的手指放在红外对管之间，随着心率变化，流经手指的血液浓度也发生相应变化，从而使红外接收管接收到的光照强度随着心率而变化。红外接收管接收到的光照强度又会影响到流经其自身的电流，从而改变输出电压。Vout 为输出端，在该处的信号为幅度调制信号，载波为高频方波，包络为心率信号。

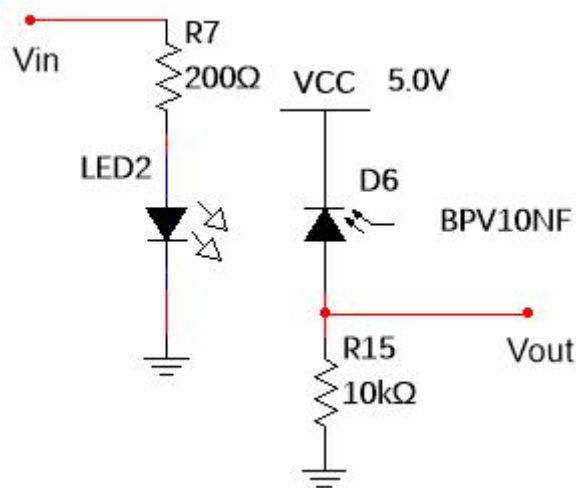


图 4 心率信号调制电路

(3) 包络检波电路

为了得到心率信号，需要进行解调。一般的调幅波有相干解调和非相干解调两种解调方式，由于此处的心率信号的频率、相位均不确定，故难以采用相干解调的方式，因此，我们采用简单的包络解调。

包络解调电路的原理是，当 V_{in} 为正时，二极管正向导通，电路通过二极管的正向导通电阻 r 和电容 $C4$ 进行充电。由于二极管导通电阻值较小，故充电速度快， V_{out} 能很快跟踪 V_{in} 的变化。当 V_{in} 为负时，二极管反向截止，电路通过电阻 $R8$ 和电容 $C4$ 放电。由于电阻 $R8$ 阻值大，故放电速度慢。通过以上过程，包络检波器输出波形即为心率信号上面叠加一个直流分量，通过后级隔直电容 $C5$ ，可以得到真正的心率信号。

其中，电阻 $R8$ 和电容 $C4$ 的取值原则为：

① $R8 \cdot C4 \gg \frac{1}{\omega_c}$ ，即电容 $C4$ 对高频载波 ω_c 近似短路，滤除高频分量。

② $R8 \cdot C4 < \frac{1}{\Omega_{\max}}$ ，即低通滤波器允许低频调制信号通过。

在本实验电路中，载波频率为 ω_c 近似为 2kHz，低频调制信号频率约为 2Hz，经计算下图中选取的参数满足要求。

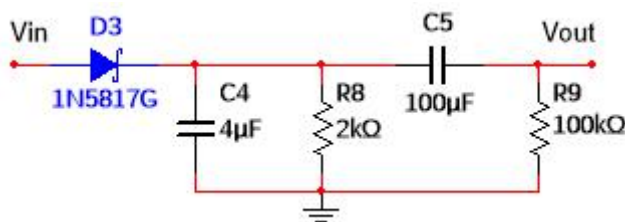


图 5 包络检波电路

(4) 放大电路

图 6 所示为放大电路，由于包络解调检出的心率信号的幅度非常小，为毫伏级别，难以直接送比较器比较，故需要后接一级放大电路，将信号放大后，再送入比较器。

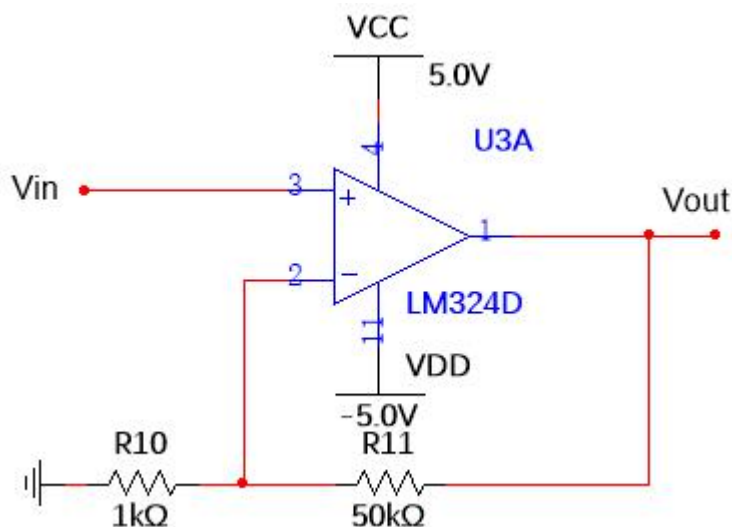


图 6 放大电路

(5) 迟滞比较电路

图 7 所示为迟滞比较电路，在本电路中，没有采用稳压管来控制输出电压，而是直接将信号放大到电源电压，并利用电源电压来设置比较电平。其中，R12 与 R13 用来设置比较电平，表达式如式 (1) 所示，若输入端电压满足如下条件，则输出电压实现翻转。

$$V_{in} = \frac{R_{12}}{R_{12} + R_{13}} V_{cc} \quad (1)$$

由于在放大电路中，掺杂在心率信号中的噪声也被放大了，因此在设置比较电平时，应考虑到噪声的影响。既要噪声排除在外，又要准确检出一次心跳脉冲。这个比较电平需要根据心率信号和噪声的实际幅度确定。

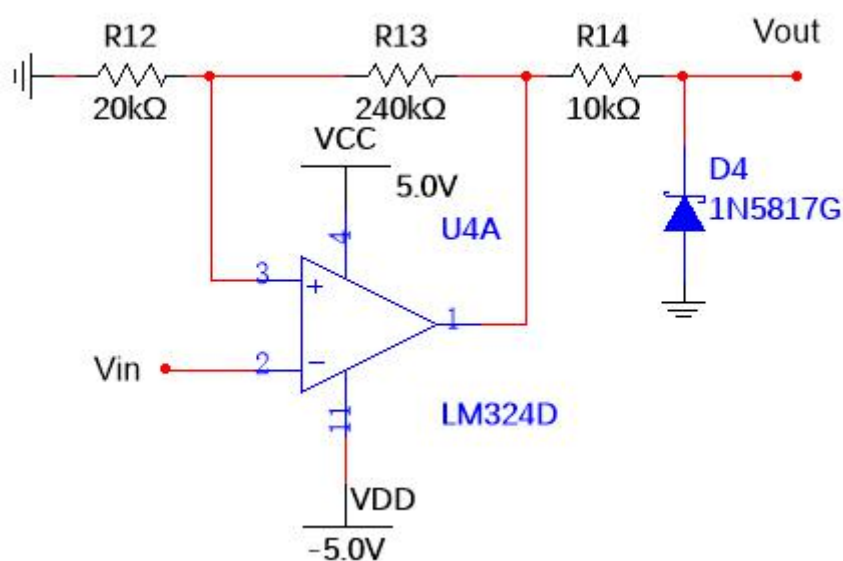


图 7 迟滞比较电路

三、测试结果

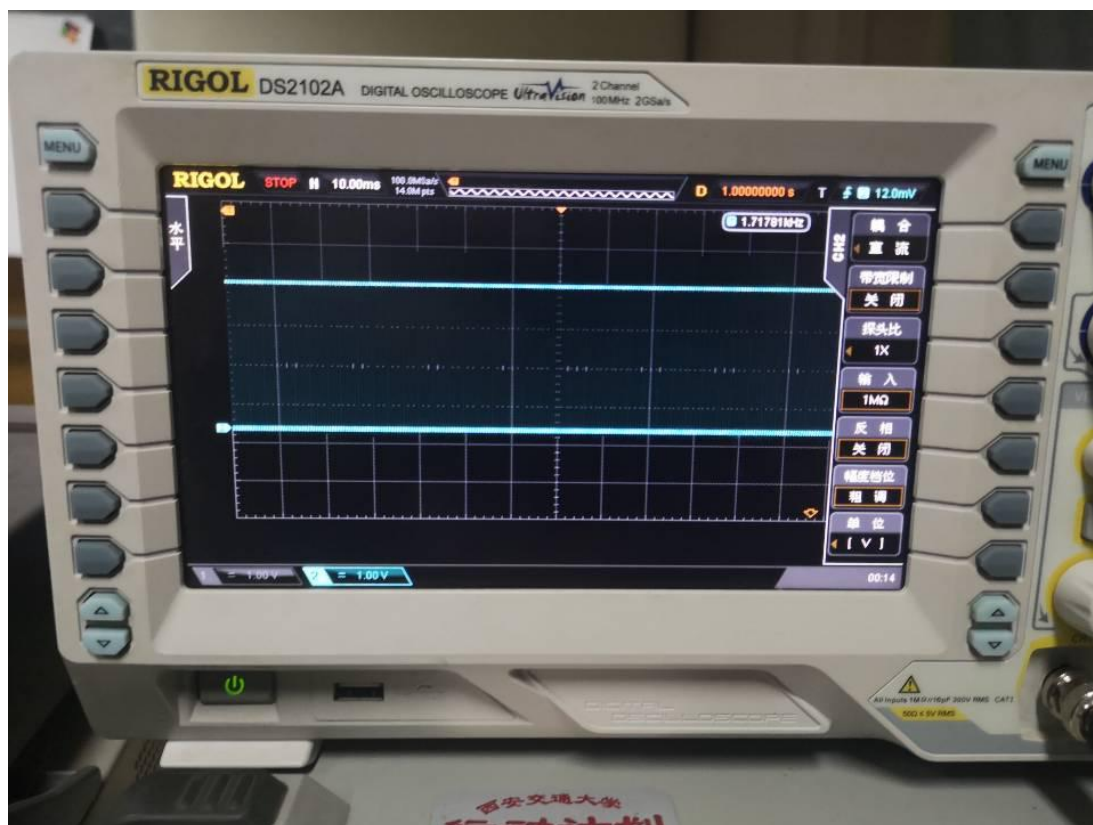


图 8 555 定时器输出的方波

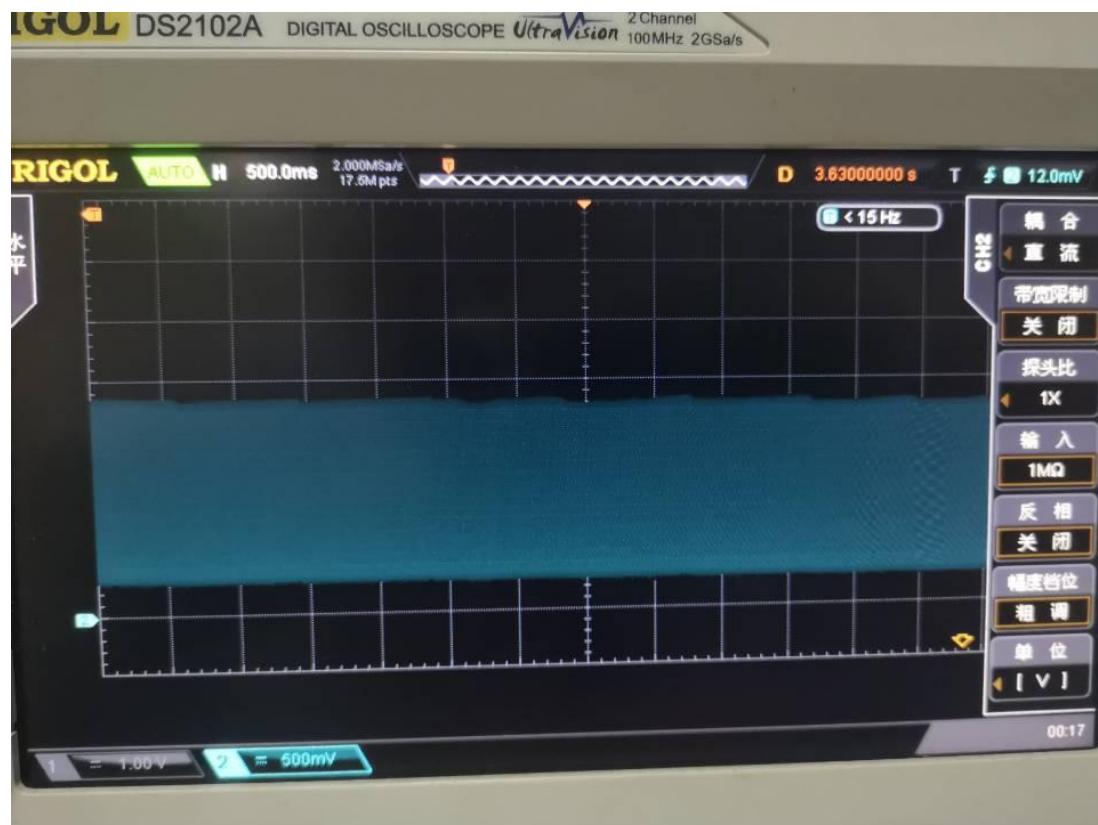


图 9 心率信号调制波形



图 10 心率信号解调波形

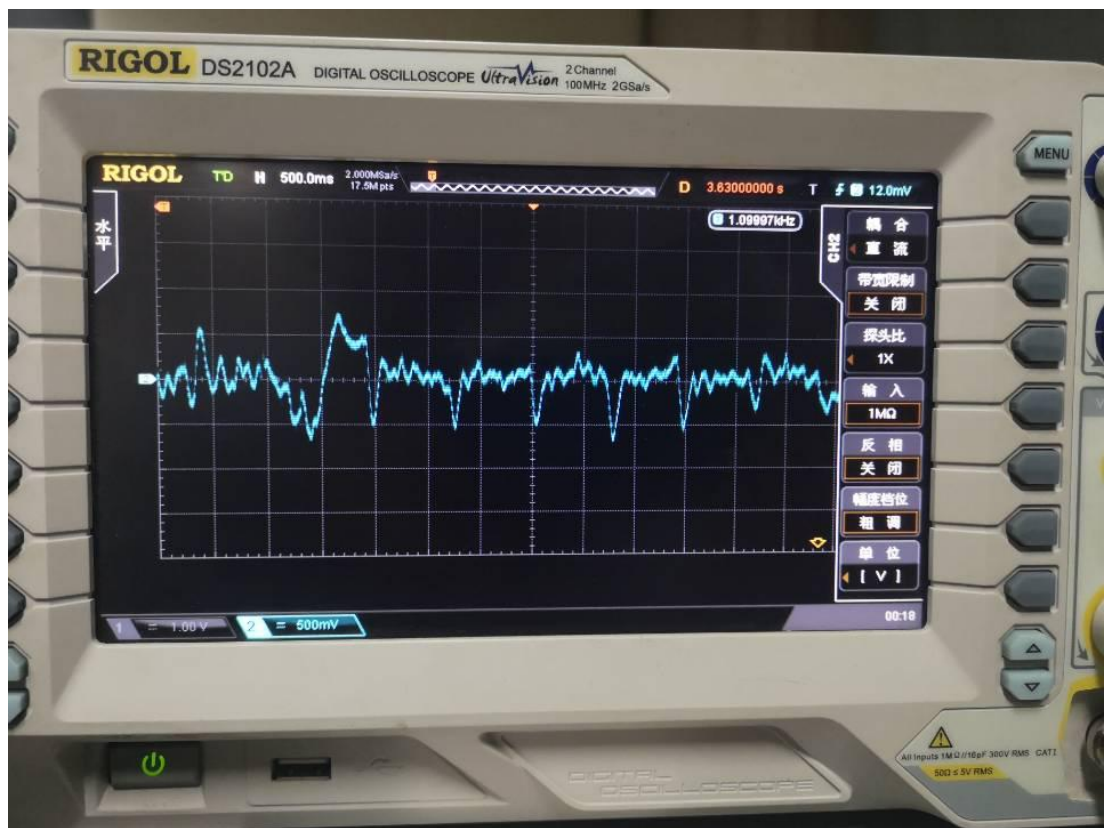


图 11 心率信号解调后放大波形

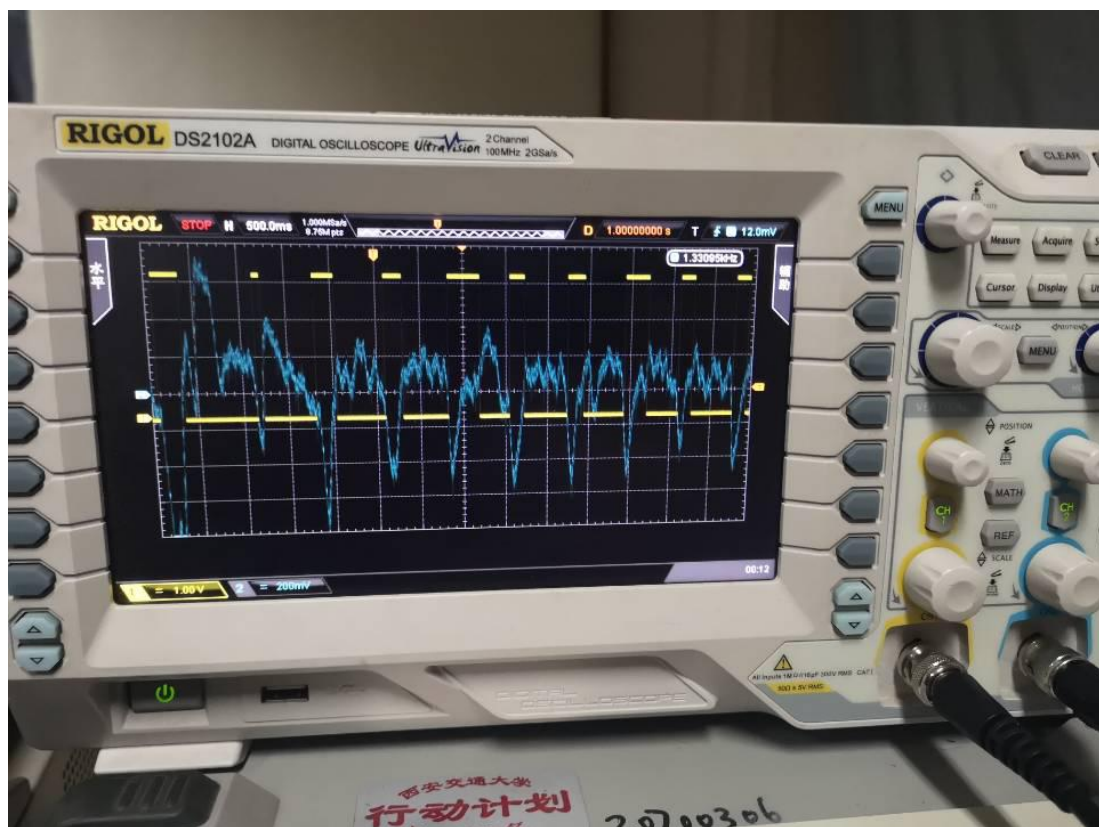


图 12 迟滞比较器输出方波波形

四、结果分析

实验结果如图 8 至图 12 所示。其中，图 8 为 555 定时器输出的方波；图 9 为光电接收管正极处引出的输出信号，可以看出该信号是一个调幅波，其包络即心率信号，但这里的心率信号幅度非常小；图 10 为包络检波电路检出的心率信号；图 11 为放大后的心率信号波形，在此处已经可以明显观察到心率信号的起伏，但是信号含有较大噪声；图 12 为经迟滞比较电路输出的方波，可以看出，通过设置合适的比较电平，能够排除噪声的影响，使比较出的方波反映心率信号。这样，由单片机直接对比较出的方波进行测量即可。

五、小结

通过本次实验，掌握了基于光电对管的幅度调制与解调、小信号放大、迟滞比较器等基本设计方法，了解了利用单片机进行频率测量的原理和方法。实验的体会是，当需要对小信号进行放大和检测时，需要特别注意噪声的滤除。