



东华大学

课程设计报告

线性 V/F 转换

专业: _____ 班级 _____
姓名: _____ 姓名 _____
学号: _____ 学号 _____

2023 年 11 月 14 日

摘要

电压频率转换器 VFC (Voltage Frequency Converter) 是一种实现模数转换功能的器件, 将模拟电压量转换为脉冲信号, 使得输出脉冲信号的频率与输出电压大小成正比。V/F 转换电路的应用十分广泛, 学习这个电路对于提升模拟电子技术的理解很有帮助。本报告介绍了一种利用集成运算放大器、555 单稳态触发器和三极管模拟控制开关搭建的线性 V/F 转换器, 实现了输入电压与输出频率的线性变换。

本报告首先对线性 V/F 转换器的原理及电路框图进行了详细分析, 包括输入信号、阻抗变换、基准源、积分电路、脉冲输出电路和开关电路等各个模块的功能和电路图。

计算机软件仿真部分, 利用 multisim 仿真软件进行了电路设计和原理仿真, 选取了合适的原件参数, 并通过示波器观察了输出波形, 发现在不同输入电压条件下, 所转换得到的矩形波频率与电压成线性关系, 且误差都在 ± 30 Hz 以内, 验证了电路的正确性和精度。

实际组装部分, 在线下的硬件平台上搭建了电路, 并通过示波器测量了不同输入信号下的输出频率, 与理论分析和仿真结果进行了比较, 可看出本电路可以将不同输入电压转换为对应频率的矩形波, 但是波形的稳定性和美观程度与仿真结果有较大的差异。对此, 分析了产生误差的原因并提出了改进方法。

最后, 总结了课程设计的收获和不足, 反思了自己在电路设计、仿真、搭建和调试等方面的经验和问题, 以及通过查阅资料、交流合作等方式解决问题的能力。

通过本次课程设计, 不仅加深了对线性 V/F 转换器的理解, 还提高了电路设计和调试的技能, 同时也发现了自己在知识储备和实践经验方面的不足之处, 需要不断学习和提升。

关键词: 电压、频率转换; 二次积分电路; 波形转换.

目录

1	设计概述	3
2	设计任务及要求	3
2.1	设计任务	3
2.2	性能指标要求	3
3	设计方案	4
3.1	原理及电路框图	4
3.2	优缺点分析	4
4	模块设计	5
4.1	输入信号：电源分压电路	5
4.2	阻抗变换：电压跟随器电路	5
4.3	基准源	6
4.4	积分电路	6
4.5	脉冲输出电路	7
4.6	开关电路	8
4.7	相关参数计算	8
4.8	总电路图	9
5	计算机软件仿真	10
6	实际组装与调试	10
7	数据分析及改进	12
8	心得与体会	13

1 设计概述

线性 V/F 转换器是压控振荡器中完成外加电压和输出频率线性变换的部分。通过本次课程设计，应在了解线性 V/F 转换器设计原理及构成基础上，利用集成运算放大器、积分电路以及脉冲电路等构成整个小系统，通过改变输入电压，实现对信号输入频率的线性变换。

2 设计任务及要求

2.1 设计任务

- 选取基本集成放大器 LF353P、NE555P 定时器、三极管、电阻、电容和稳压管等元件，设计并制作一个简易线性 V/F 转换器；
- 在 multisim 仿真软件中进行电路设计和原理仿真，选取合适的原件参数，通过输出频率观察线性 V/F 转换器的运行情况；
- 在硬件设计平台上搭建电路，进行调试，通过示波器观察电路的实际输出波形；
- 将电路实际输出波形与理论分析和仿真结果进行比较，分析产生误差的原因并提出改进方法；

2.2 性能指标要求

- 电源电压： $V_{CC} = \pm 12V$ ；
- 输入信号：直流信号 $0 \sim 10V$ 可变；
- 输出频率：频率为 $0 \sim 10K\text{ Hz}$ 对应；
- 精度：误差小于 $\pm 30\text{ Hz}$ ；
- 波形要求：脉冲宽度 $20 \sim 40\mu s$ 矩形波；

3 设计方案

3.1 原理及电路框图

利用集成运算放大器、555 单稳态触发器和三极管模拟控制开关搭建电路，图1为线性 V/F 转换器电路原理框图，其设计原理如下：直流电压经过阻抗转换后送到积分器输入端，积分器采用二次积分法，脉冲电路输出的正脉冲宽度为 t_w ，在 t_w 宽度内，控制模拟开关闭合，使积分器对基准电压进行定时积分，此时积分器输出为某个非饱和电压；脉冲消失，控制模拟开关断开，积分器自动对输入积分，此时积分器输出从某值开始减小，当积分器输出经过 0 时触发脉冲输出电路输出 t_w 脉冲宽度。循环往复形成振荡，输出频率与输入信号呈线性关系。

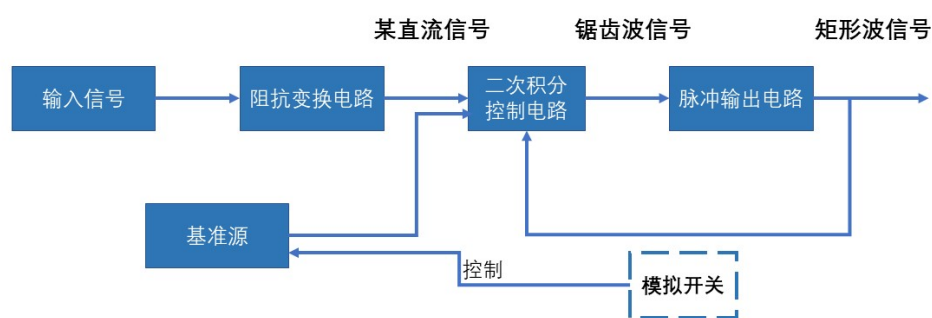


图 1: 线性 V/F 转换器电路原理框图

3.2 优缺点分析

555 单稳态、模拟开关（三极管）及集成运算放大器搭建的电路，实现的电压-频率转换在 10K Hz 范围内，能实现相当高的转换精度（大约在几赫兹左右，干扰过大除外），且器件均为常见的简易器件，电路搭建方便，易于操作和理解。在满足设计任务的条件下经济实惠，性价比高。

4 模块设计

线性 V/F 转换电路主要由积分电路、脉冲输出电路及反馈控制电路组成。

总电路设计

通过阻抗变换获得相应的输入电压，并输入积分电路得到脉冲输出电路的电压控制信号（锯齿波），经由脉冲控制反馈中的三极管导通和关闭，实现通过基准源来调控积分时间的长短，进一步调控脉冲输出（矩形波）的电压控制信号（锯齿波），循环往复，形成振荡，实现电压到频率的线性转换。

4.1 输入信号：电源分压电路

电源电压为 12V，电压输出范围为 0 ~ 10V，所以选择一个 $R_1 = 2K\Omega$ 的定值电阻与一个 $10K\Omega$ 的滑动变阻器 R_{w1} 串联，电压可调范围为 0 ~ 10V，符合指标要求。电路图如图2所示。

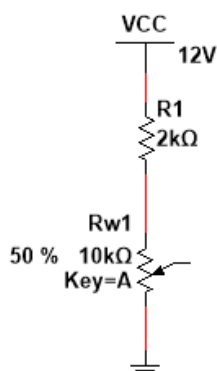


图 2: 电源分压电路

4.2 阻抗变换：电压跟随器电路

共集电极电路的输入高阻抗、输出低阻抗特性，使得它在电路中可以起到阻抗匹配的作用，能够使得后一级的放大电路更好地工作。

电压跟随器输出电压近似等于输入电压幅度，并对前级电路呈高阻抗态，对后级电路呈低阻状态，因而对前后级电路起到“隔离”作用。基本原理还是利用它的输入阻抗高、输出阻抗低的特点。即输入电压不受后级电路阻抗影响。一个对前级电路相当于开路，输出电压又不受后级阻抗影响的电路当然具备隔离作用，及前后两级电路间互不影响。

为保证输入电压 $0 \sim 10V$ 不变，则必须保证其滑变的传入电路阻抗不变，加一个电压跟随器，可以使后续电路不影响滑变的阻抗，使输入电阻保持不变，反馈电路中接一电阻，使平衡输入端，提高跟随精度。电路图如3所示。

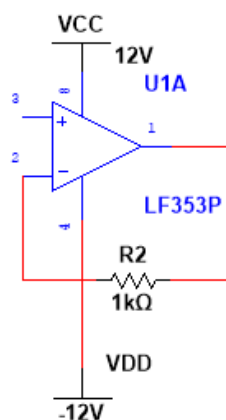


图 3: 电压跟随器电路

4.3 基准源

使用一个 $3V$ 的稳压管接入电路，即可提供一个 $-3V$ 的稳定电压。选择 $R_{10} = 1K\Omega$ 的电阻保护稳压管。电路图如图4所示。

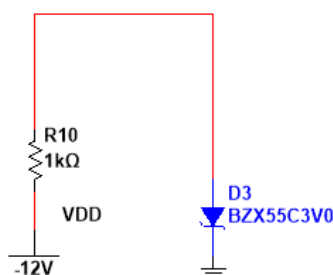


图 4: 基准源电路

4.4 积分电路

利用集成运放可构成精度高、线性好的压控振荡器。积分电路输入电压变化的速率与输入电压的大小成正比，如果积分电容充电使输出电压达到一定程度后，使它迅速放电，然后输入电压再给它充电，如此循环往复，产生振荡，其振荡频率与输入电压成正比，即压控振荡器。

积分电路采用运放构成的反相积分电路，运放的同相端接入 $10K\Omega$ 的失调电阻，反向端接入一个 $5.1K\Omega$ 的电阻，然后再与 $10K\Omega$ 滑变串接，保证其对称性，

减小失调电流引起的误差。滑动变阻器可以调节输出锯齿波的周期，二极管起到保护运放的作用。电路图如图5所示。

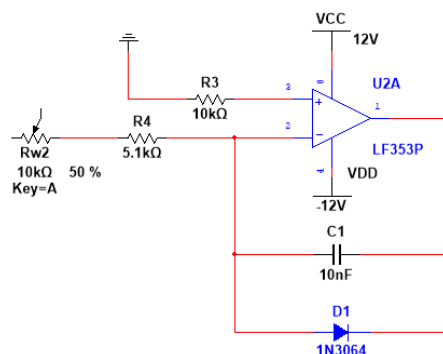


图 5: 积分电路

4.5 脉冲输出电路

单稳态触发器只有一个稳定状态，一个暂稳态。在外加脉冲的作用下，单稳态触发器可以从一个稳定状态反转到一个暂稳态。由于电路中 RC 延时环节的作用，该暂态维持一段时间后又回到原来的稳态，暂稳态维持的时间取决于 RC 的参数值。

脉冲宽度 $T_w = 1.1RC$ ， $R_7 = 3K\Omega$ ， $C_2 = 10nf$ ，由此计算得 $T_w = 32us$ ，此电路构成单稳态触发器，当积分电压经过 0 时触发单稳态 ($V_c \leq \frac{1}{3}V_{cc}$)，输出宽度一定的脉冲去控制积分器。所以当 $U_0 = 0V$ 时，单稳态触发电压：

$$V_c = \frac{1}{3}V_{cc} = \frac{R_5}{R_5 + R_6} = 4V \quad (1)$$

则 $R_5 : R_6 = 1 : 2$ ，取 $R_5 = 1K\Omega$ ， $R_6 = 2K\Omega$ 。电路图如图6所示。

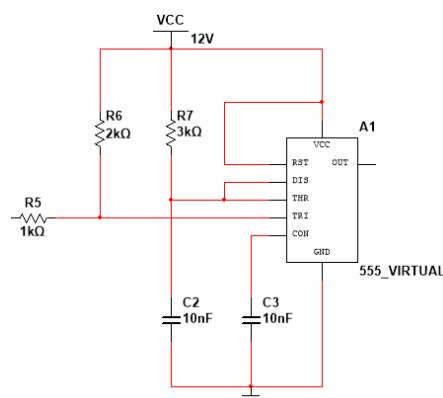


图 6: 脉冲输出电路

4.6 开关电路

晶体三极管的实际开关特性决定与管子的工作状态。晶体三极管输出特性有三个工作区，即截止区、放大区、饱和区。

若要使晶体三极管工作于开关接通的状态，就应该使其工作与饱和区；要使晶体管工作于开关断开的状态，就应使之工作于截止区，发射级电流 $i_e = 0$ ，此时晶体三极管处于截至状态，相当于开关断开。电路图如图7所示。

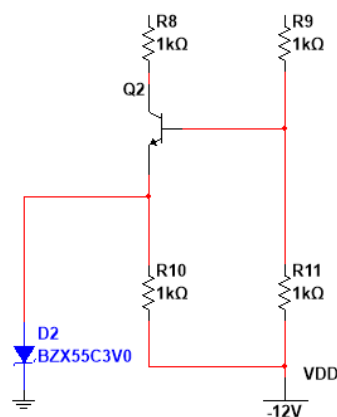


图 7: 开关电路

积分电路先对基准源进行定时线性积分到一定电压高度 U_h ，触发脉冲输出 F 控制积分电路自动切换到对输入信号反向积分，到积分电压过零时积分控制电路又转换为对基准源积分。循环往复形成振荡，产生脉冲输出。

电路采用二次积分方法进行转换，当恒定宽度正脉冲输出时，信号反馈到输入端控制开关闭合。此时积分器对 $-U_r$ 进行正向积分，而积分电压 U_c 的高度 U_h 与基准电压以及重放电常数有关。一旦输出脉冲消失，开关 S 截至，积分器对 U_i 反向积分直到过零。

4.7 相关参数计算

由设计任务分析得到， R_8 与 R_9 是偏置电阻，其必须满足当脉冲输出电路为低电平（即为“0”）时，三极管不导通，即是 b 和 e 电位差小于管压降 $0.7V$ ， $V_e = -3V$ ，则 V_b 的取值小于 $-2.3V$ ，所以：

$$V_b = -\frac{R_8}{R_8 + R_9} * V_{cc} \quad (2)$$

取 $R_8 = R_9 = 1K\Omega$ ，则此时：

$$V_b = -\frac{R_8}{R_8 + R_9} * V_{cc} = -6V < -2.3V \quad (3)$$

满足条件，脉冲输出电路输出电压为高电平（即为“1”）时，此时满足：

$$\begin{cases} V_b > -2.3V \\ V_b = \frac{R_8}{R_8+R_9} * (V_{cc} + V_i) = -1V > -2.3V \end{cases}$$

进而可以可以通过一定输出宽度的脉冲控制积分器的积分动作。

对于 R_{10} 的选取，为了防止流入稳压管的电流过大，接入一个限流电阻，取 $R_{10} = 1K\Omega$ 。

滑动变阻器 R_{w2} 主要调节整个电路的周期，对脉冲宽度影响很小；电阻 R_7 主要决定脉冲宽度。

考虑到流过稳压管的电流范围，三极管基极电阻 $R_9 = 1K\Omega$ 时满足要求。

为了保护运算放大器，在反向积分电路中加入二极管，使积分输出端为 0 时反向截止。

如果三角波幅值未达到要求，可以通过调节三极管集电极的电阻来控制产生的三角波幅值。

4.8 总电路图

经过上述分析，在 multisim 中搭建仿真电路如图8所示。

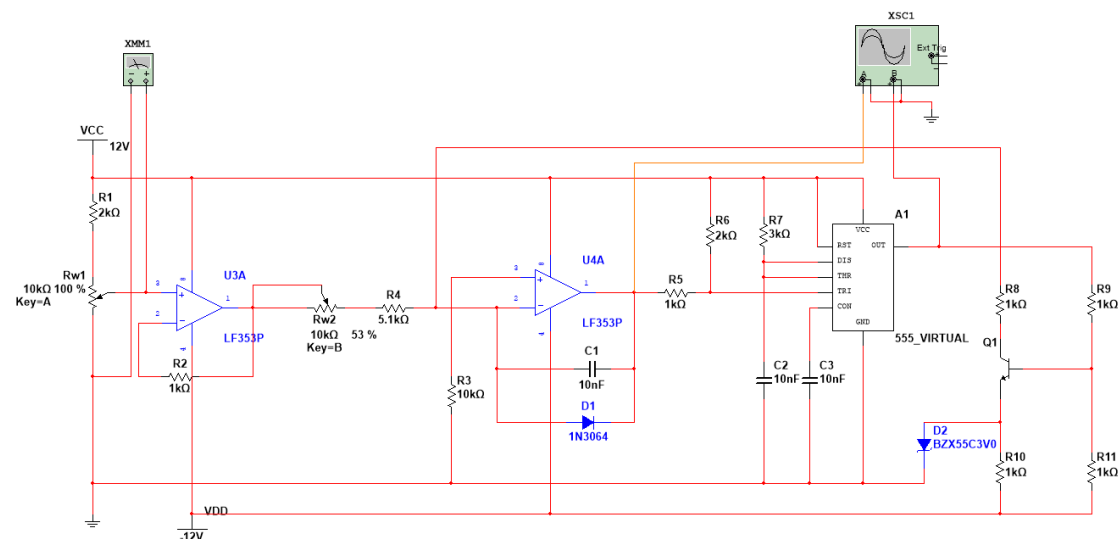


图 8: 线性 V/F 转换器仿真电路图

5 计算机软件仿真

在 multisim 中进行仿真调试，利用示波器观察电路的实际输出波形，仿真波形如图9所示。

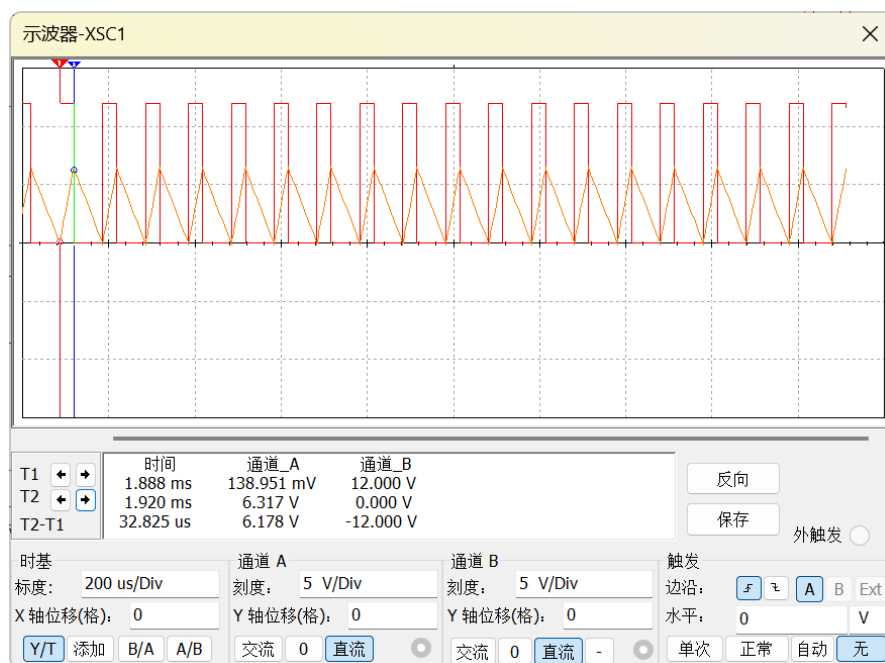


图 9: 线性 V/F 转换器仿真波形图

从图中可以看出，输出波形为矩形波，且脉宽为 $32.825 \mu s$ ，满足设计要求。

6 实际组装与调试

线下课程中，在实验室的实际硬件平台上利用给出硬件搭建电路，进行调试，通过示波器观察电路的实际输出波形。

实验所用元器件如表1所示。

表 1: 元器件清单

元件名称	元件型号	数量
集成运算放大器	LF353P	2
三极管	S9013	1
二极管	1N3064	1

续下页

续表 1 元器件清单

元件名称	元件型号	数量
稳压管	BZX55C3V0	1
电阻	1K Ω	6
电阻	2K Ω	2
电阻	3K Ω	1
电阻	5.1K Ω	1
电阻	10K Ω	1
滑动变阻器	10K Ω	2
电容	0.1 μ F	3

实际搭建电路图如图10所示。

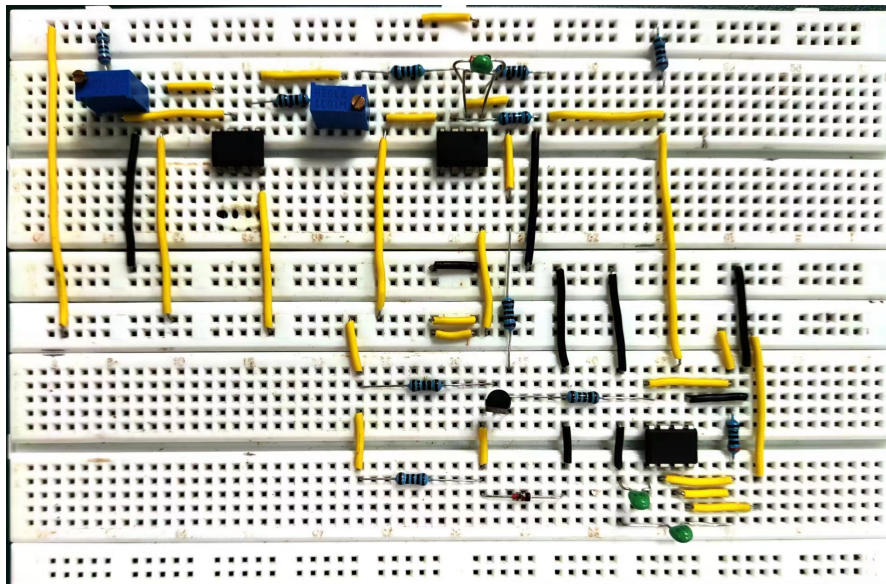


图 10: 线性 V/F 转换器实际搭建电路图

利用示波器测量相关数据，其中输入信号为 5V、10V 的正弦波，输出信号为 5K Hz、10K Hz 的矩形波，测量结果如图11所示。



输入信号 5V

输入信号 10V

图 11: 不同输入信号下的输出波形

7 数据分析及改进

搭建实际电路，通过示波器测量不同输入信号下的输出频率，结果如表2所示。

表 2: 不同输入信号下的输出频率

电压/V	理想输出 频率/K Hz	实际输出 频率 1/K Hz	实际输出 频率 2/K Hz	平均输出 频率/K Hz	误差值/Hz
1	1.000	1.000	1.004	1.002	2
2	2.000	1.998	2.008	2.003	3
3	3.000	3.000	3.004	3.002	2
4	4.000	4.004	4.012	4.008	8
5	5.000	5.006	5.014	5.010	10
6	6.000	6.008	6.016	6.012	12
7	7.000	7.010	7.016	7.013	13
8	8.000	8.012	8.018	8.015	15
9	9.000	9.014	9.020	9.017	17
10	10.00	10.00	10.00	10.00	0

绘制实际输出频率与输入电压的关系曲线如图12所示，两曲线基本重合，表明实际搭建的电路工作良好。

实际测得输出频率误差在 ± 30 Hz 以内，满足设计要求。

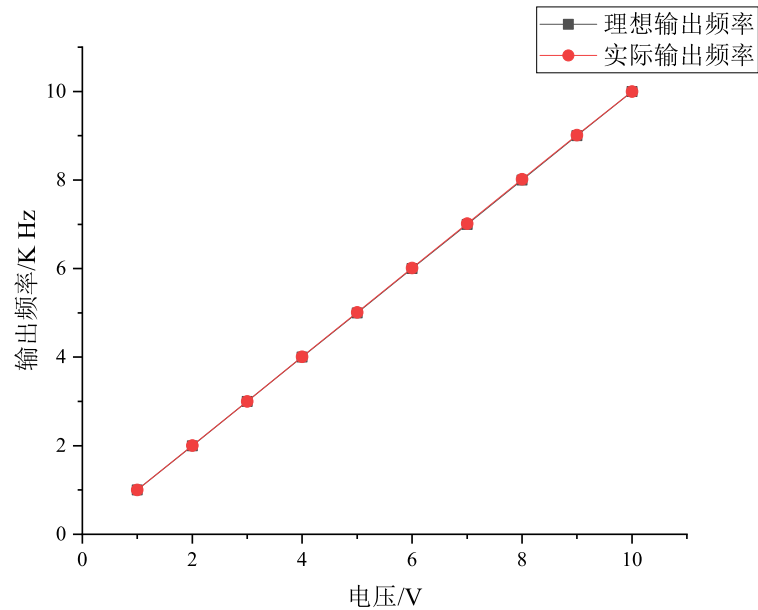


图 12: 实际输出频率与输入电压的关系曲线

改进方法

从上述实验数据可以看出所设计的电路精度基本符合要求。若想继续改进，提高电路精度，可采取如下方法：

- 在不同的输入电压的条件下，精确调节失调电阻 R_{w2} ，使得误差进一步减小；
- 对整个电路的相关参数进行更加细致的微调。
- 在电源正负极、NE555P 单稳态触发器 8 号引脚与地之间接入较大的电容，减少噪音的干扰。

8 心得与体会

在电路设计过程中，我学会了熟练操作 multisim 等仿真软件，掌握了基本的电路设计方法，对电路的基本原理有了更深的理解。在仿真过程中，我遇到了一些小问题，诸如元件的查找、仿真测量工具的使用等，我通过在网络上查找资料等方式，独立地、顺利地解决了所有问题，并得到了满意的结果。

实际搭建电路时，由于不太熟悉面包板、一些原件的使用，导致第一次连接完毕后没有得到正确的结果。在课后我研究了面包板的使用、查找了相关元件的

引脚图，仔细检查了电路的连接，最终成功地搭建了正确的电路，得到了波形。经过调整，测得了比较满意的数据。在测量数据时，由于不会使用示波器，造成了一些小困扰。后来通过向同学请教，最后得以完成本实验。

本次课程设计带给我的收获不小，综合了模拟电子技术课程知识，而在搭接电路时，也让我发现自己需要更细心和耐心，在本专业学习中，这两点也尤为重要。比如连接电路时最好分块采用不同颜色的线，而且要尽量使线路简洁明了，在帮同学检查电路时，很多缠绕复杂、交叉、跨接的线路让我看得很烦恼，而往往连接复杂的线路也容易把自己绕晕，因此连接电路时细节可谓是关键。

与此同时，与同学和老师之间的交流也让我受益良多，当我面对问题毫无头绪的时候，交流带给我新的思路，在此非常感谢帮助过我的老师和同学。通过这次实验，我看到了自己的不足，提高了我的动手能力和独立思考，查阅资料，交流合作等方面的能力，也让我学到了很多课本里学不到的东西，细心可以减少很多不必要的麻烦，也唯有静下心来，才能找到问题的所在。

参考文献

- [1] 童诗白, 华成英. 《模拟电子技术基础 (第五版)》. 高等教育出版社, 2015.
- [2] 杨上河. 《电子技术实验与模拟电子技术课程设计》. 西安电子科技大学出版社. 2012.09.

附录

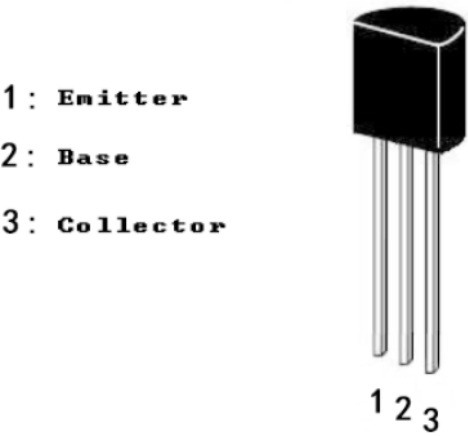


图 13: S9013 三极管引脚图

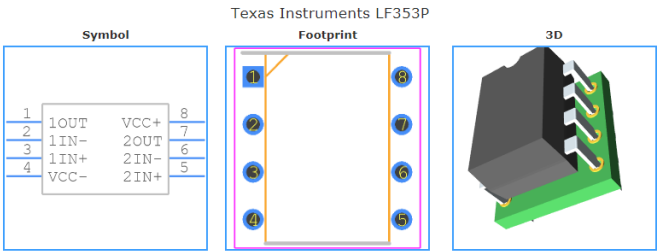


图 14: LF353P 集成运放引脚图

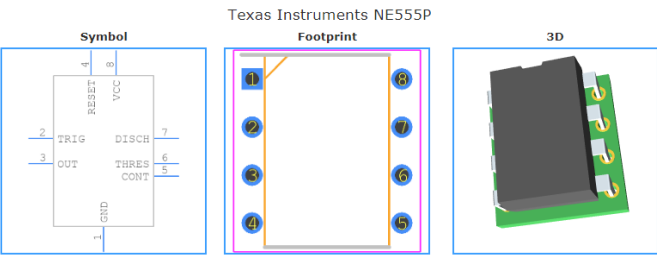


图 15: NE555P 单稳态触发器引脚图