

浙江大学实验报告

专业： 电子信息工程

姓名： 邢毅诚

学号： 3190105197

日期： 2021-3-10

地点： 东三-406

课程名称： 电路与电子技术实验 指导老师： 张伟 成绩：
实验名称： 信号发生电路实验 实验类型： 验证实验 同组学生姓名： 无

一、 实验目的

1. RC 正弦波振荡电路

- (1) 掌握 RC 正弦波振荡电路的构成及工作原理；
- (2) 学习 RC 正弦波振荡电路的设计与调试方法；
- (3) 研究 RC 正弦波振荡电路的起振条件和稳幅特性；

2. 简单矩形波发生电路

- (1) 学习矩形波发生器的设计方法与调试方法；
- (2) 熟悉矩形波发生器的一些主要性能指标及其测量方法；

3. 方波-三角波发生电路

- (1) 学习方波-三角波发生电路的设计方法与调试方法；
- (2) 了解集成运算放大器的波形变换及非线性应用。

二、 实验任务

1. RC 正弦波振荡电路

- (1) 根据实验板的元件参数，设计一 RC 正弦波振荡电路，要求此正弦波振荡器的振荡频率约为 1.5kHz。

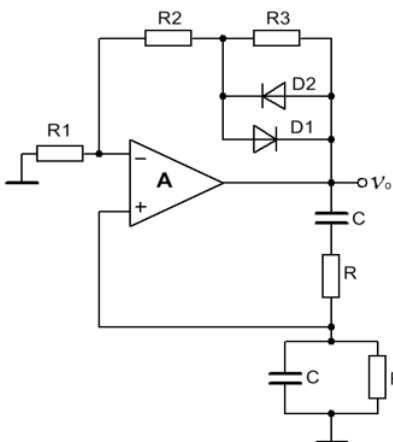


图 1: RC 正弦波振荡电路图

- (2) 用 Cadence OrCAD 仿真软件对此电路进行仿真分析，并观测各点的电压和电流波形，电流波形包括运放的输出电流和二极管的电流。
- (3) 在实验板上完成此振荡电路的接线调试，用示波器观测各点的电压波形并与仿真结果进行比较。
- (4) 对理论值、仿真值与实测值进行比较，并分析产生偏差的原因。
- (5) 用 Cadence OrCAD 仿真软件研究输出正弦波的幅值大小受哪些参数影响。
- (6) 用 Cadence OrCAD 仿真软件仿真当 $A \cdot f_{BW} > 3f_0$ 条件不满足时会产生什么现象。

2. 简单矩形波发生电路

- (1) 根据实验板的元件参数，设计一简单矩形波发生电路，并计算此简单矩形波发生电路的产生的矩形波和冲放电波的幅值和振荡频率。

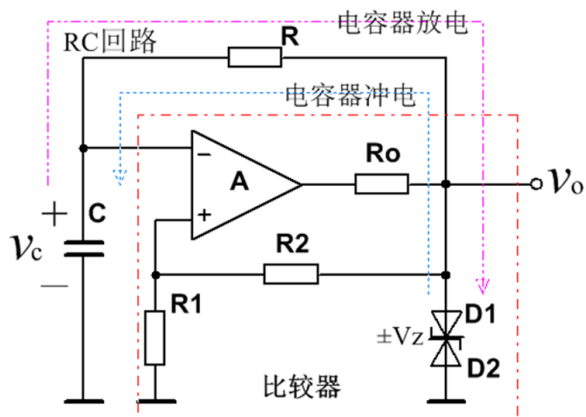


图 2: 简单矩形波发生电路

- (2) 用 Cadence OrCAD 仿真软件对此电路进行仿真分析，并观测各点的电压和电流波形。

- (3) 在实验板上完成此振荡电路的接线调试，用示波器观测各点的电压波形并与仿真结果进行比较。
- (4) 对理论值、仿真值与实测值进行比较，并分析产生偏差的原因。

3. 方波-三角波发生电路

- (1) 根据实验板的元件参数，设计一方波—三角波发生电路，并计算此方波和三角波的幅值和振荡频率，稳压管采用 5.1V/1W。

要求：输出频率 1kHz-10kHz；三角波 $V_{om}=\pm 8V$ 。

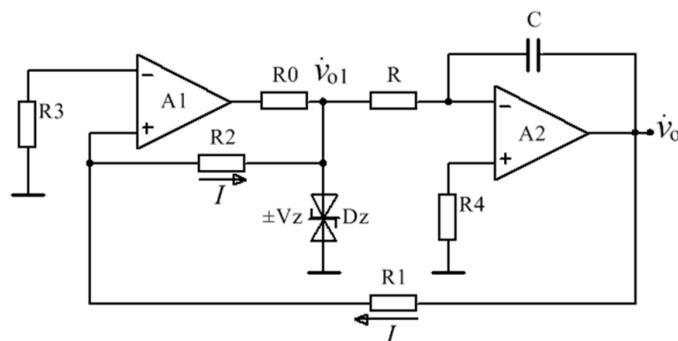


图 3: 方波-三角波发生电路

- (2) 用 Cadence OrCAD 仿真软件对此电路进行仿真分析，并观测各点的电压和电流波形，电流波形包括运放的输出电流和稳压管的电流。
- (3) 在实验板上完成此振荡电路的接线调试，用示波器观测各点的电压波形并与仿真结果进行比较，并测量方波的上升时间和下降时间。
- (4) 对理论值、仿真值与实测值进行比较，并分析产生偏差的原因。
- (5) 用 Cadence OrCAD 仿真软件仿真当频率较高时，三角板幅值的变化，并说明原因。

三、 实验原理与内容

1. RC 正弦波振荡电路

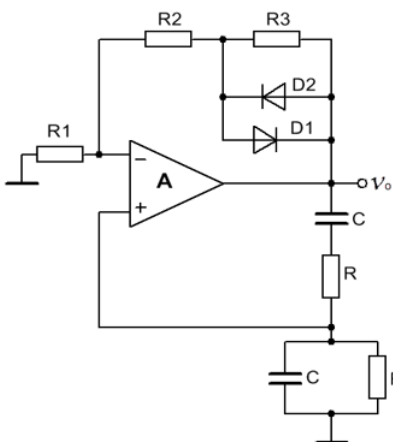


图 4: RC 正弦波振荡电路图

(1) 参数选定

根据公式

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC} \quad (1)$$

同时，为了使选频网络的选频特性尽量不受集成放大器的输入和输出电阻的影响，要求：

$$R_i \gg R \gg R_0 \quad (2)$$

其中， R_i 为集成运算放大器同向端的输入电阻 (几百千欧以上)， R_0 为输出电阻 (几百欧以下)，再结合实验室条件，我们设定 $R = 10K$, $C = 0.01\mu F$

另外，我们要求放大倍数即 $A_v = 1 + \frac{R_f}{R_1} > 3$ 。其中 R_f 为二极管与 R_2, R_3 的总电阻，因此我们要求 $R_f > 2R_1$ ，再结合实验室已有的电阻阻值，设定 $R_2 = 25K$, $R_3 = 12K$, $R_1 = 15K$ ，设定其他参数如下图所示：

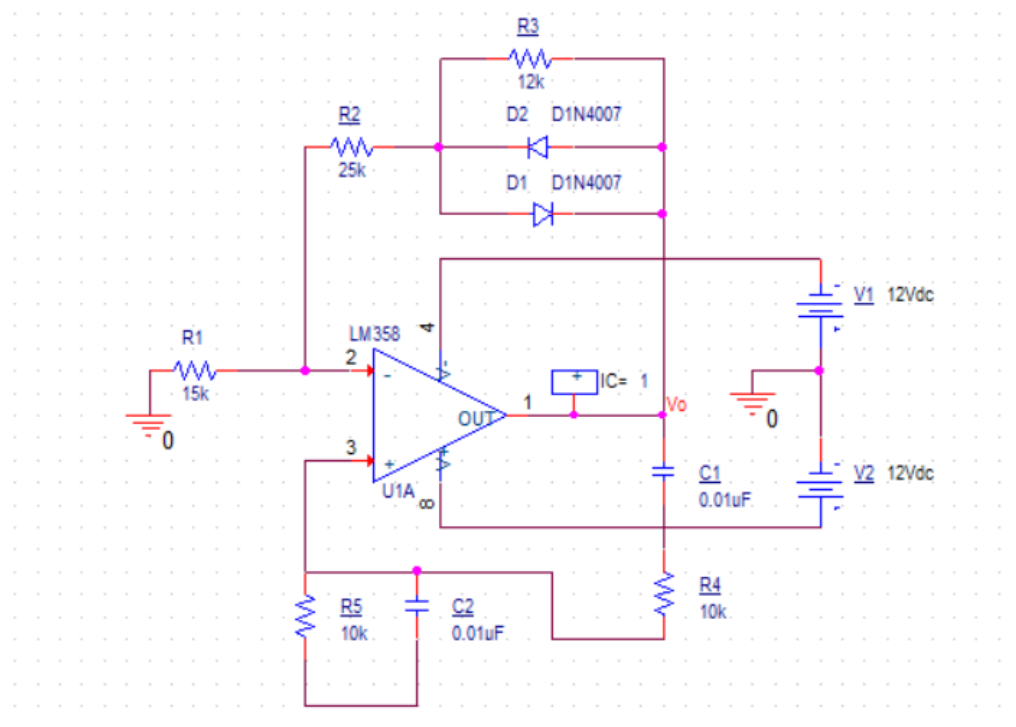


图 5: RC 正弦波振荡电路参数设定

计算得输出频率 $f = 1591.5 KHz$

(2) 仿真分析

对电路进行仿真分析，选取 Time Domain 模式，设置 Run to time = 50ms, Maximum step size = 0.01ms 并运行 PSpice A/D 仿真分析程序。

测得输出电压如下图所示：

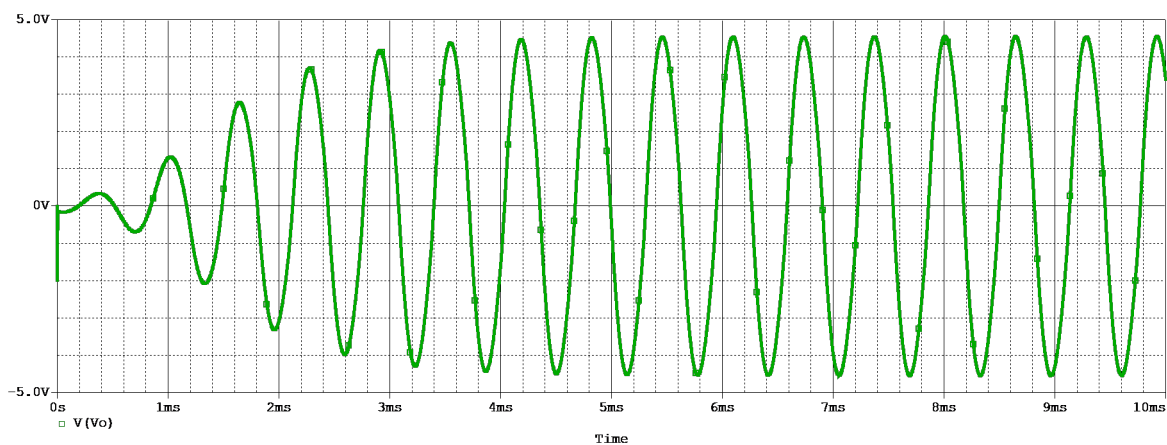


图 6: 输出电压波形

待电压波形稳定之后，可以测得电压峰-峰值 $V_{pp} = 9.0868V$ ，频率 $f = 1.562 \times 10^3$ 。另外，在

仿真刚刚开始进行时，我们可以看到极为明显的起振现象。

测得二极管两端电压如下图所示：

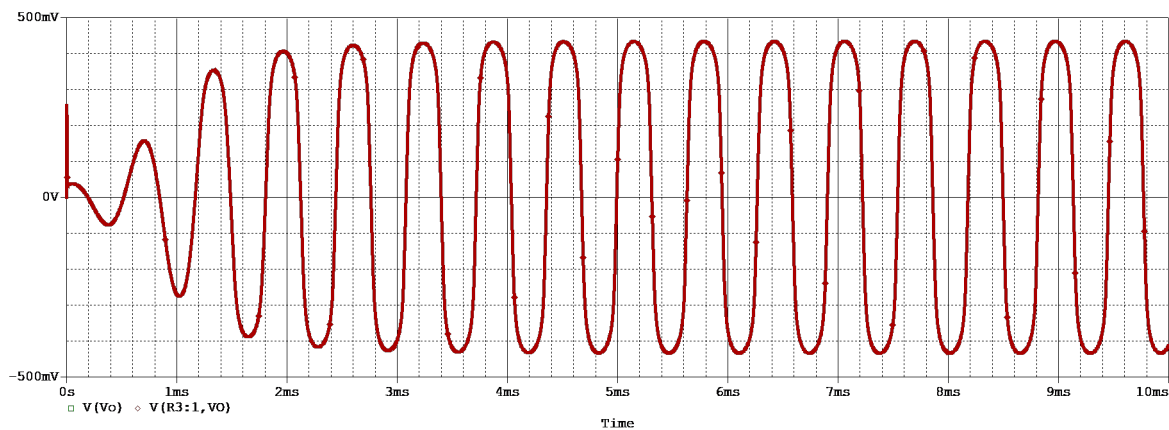


图 7: 二极管两端波形

待电压波形稳定之后，可以测得电压峰-峰值 $V_{pp} = 0.867V$

测得运放的正向输入端的波形如下图所示：

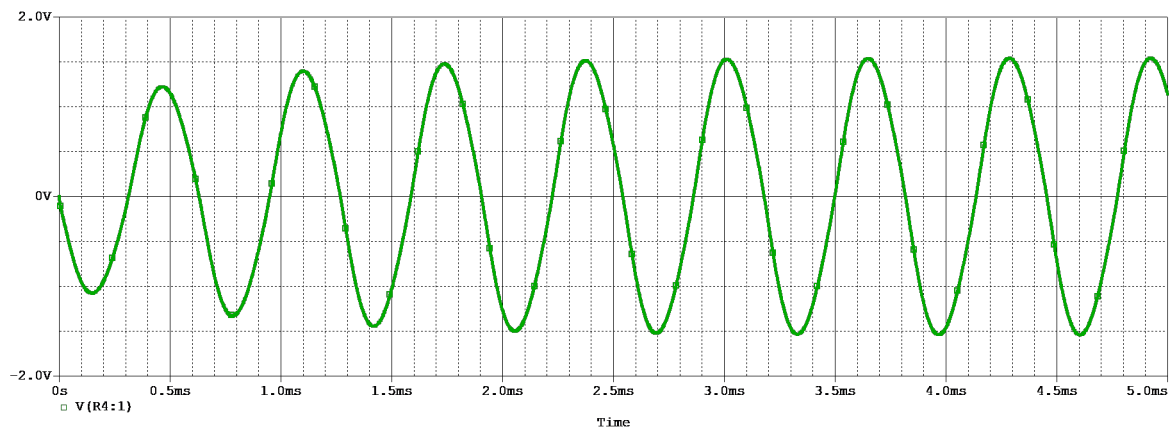


图 8: 正向输入端波形曲线

待波形稳定后，可以测得电压峰-峰值 $V_{pp} = 3.0843V$ ，而反向输入端的电压与正向输入端的电压完全重合，因此认为二者电压始终保持相同，即满足虚短条件。

测得通过二极管的电流如下图所示：

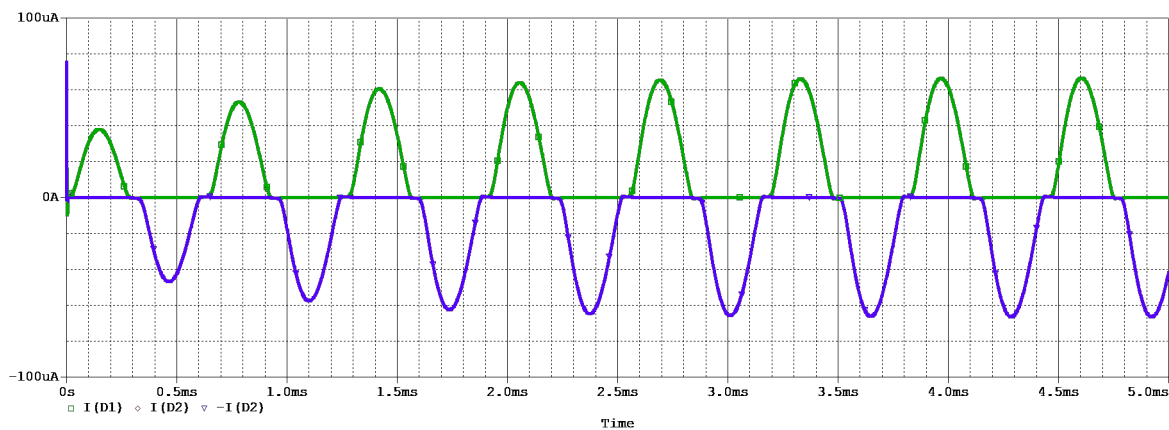


图 9: 二极管电流曲线

待波形稳定后，测得通过二者的电流的最大值均为 $I_{D1} = I_{D2} = 66.5\mu A$ ，通过图形我们可以观察到，电压为正时，D1 导通，而电压为负时 D2 导通。

测得运放正端的电流波形如下图所示：

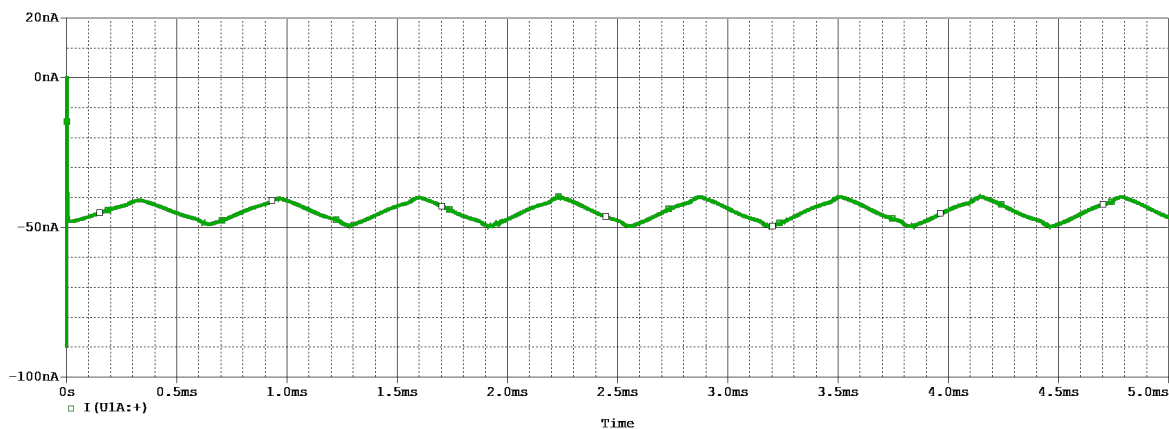


图 10: 运放正端输入电流

可以看到运放正端的电流绝对值最大时也仅仅为 50nA，因此我们可以认定满足虚断条件。

对电路进行傅里叶展开，波形如下图所示：

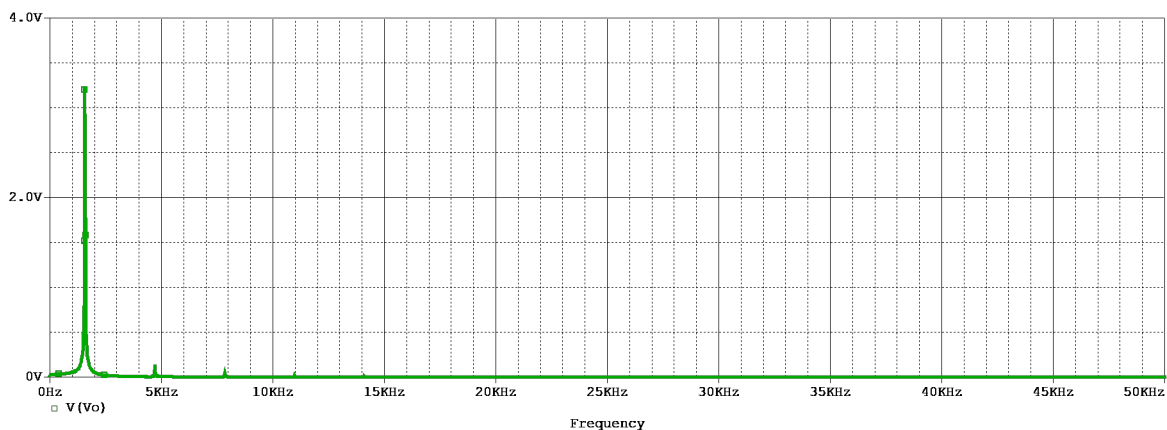


图 11: 运放正端输入电流

可以看到，频域分量几乎全部集中于 1.5KHz 左右，且其他频率的分量极小，因此我们可以认定信号发生电路的效果较好，参数选择也较为准确。

(3) 实验部分

实际搭建电路，实现此电路，并对要求的输出电压，二极管两端电压以及正向输入端电压进行测量，测得波形如下图所示：

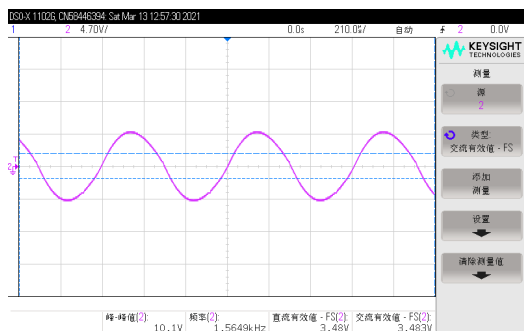


图 12: 输出电压波形

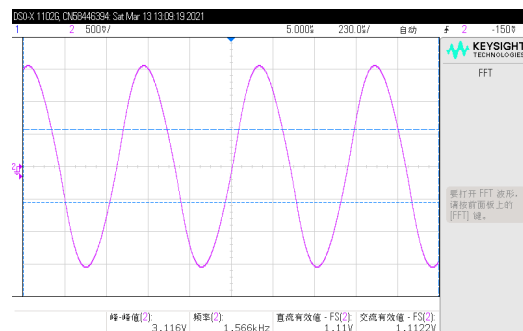


图 13: 运放正端输入波形

由于示波器探头需要与电源共地，因此我们不能直接测量二极管两端的电压，将两个通道做减法后，获得二极管两端的波形

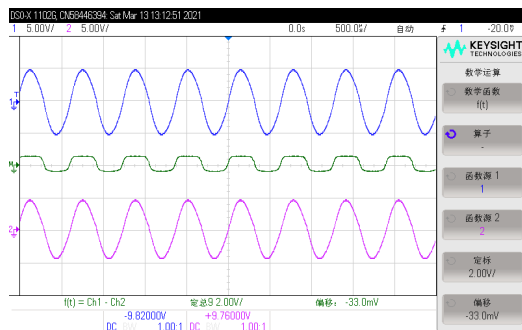


图 14: 二极管电压波形

测得数据如下表所示：

端口	输出电压	二极管两端电压	正向输入端
峰峰值/V	10.1	0.96	3.114
频率/KHz	1.5678	1.579	1.5654
有效值/V	3.49V	0.424	1.12V

表 1: RC 正弦波振荡电路实验数据

使用示波器的自带功能对波形进行傅里叶展开，得到如下图所示的图形：

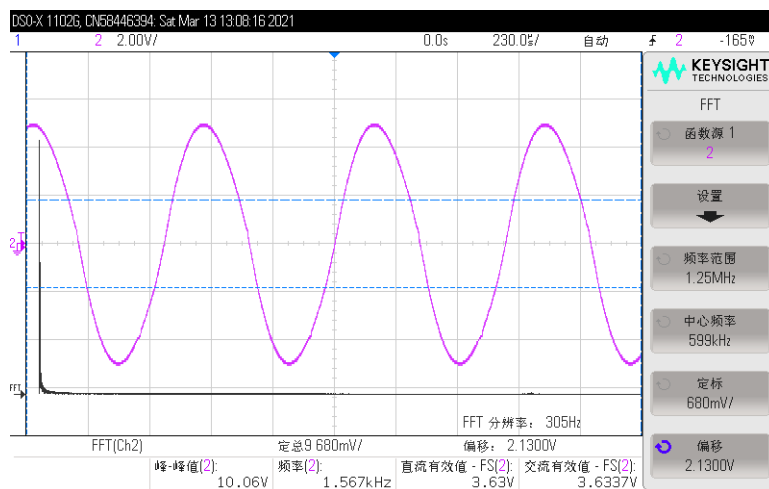


图 15: 频域分析

可以看到基本所有的频域分量均集中在 1.5KHz 附近，可以认为波形的其他分量较少，拟合较为准确。

(4) 误差分析

将数据一一进行比较，发现存在约 10% 左右的误差，在正常的范围之内。分析其原因，可能是二极管或者 LM358 芯片老化等原因。

(5) 失真度计算

仿真得到的波形进行傅里叶变换后只有一处高次谐波明显，计算其失真度：

$$\gamma = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^N V_i^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{0.15^2}}{3.6} = 4.2 \quad (3)$$

(6) 元件分析

对电路图进行分析与理论计算，我们可以发现，当 R_1, R_2 增大时，输出电压也会增大，而当 R_3 增大时，输出电压则会减小。

2. 简单矩形波发生电路

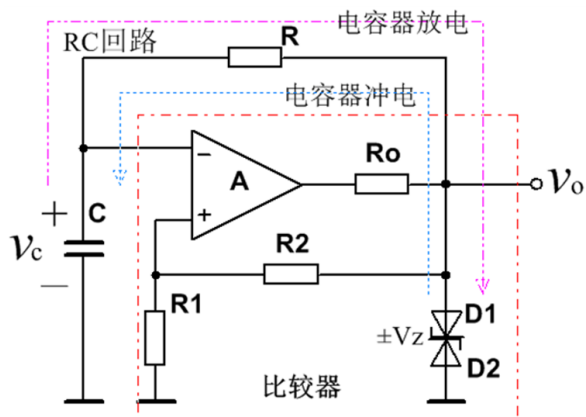


图 16: 简单矩形波发生电路

(1) 参数设置

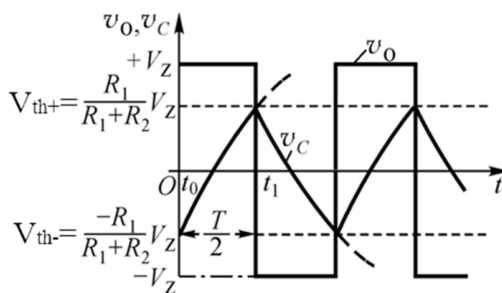


图 17: 矩形波发生电路波形图

根据在电路电子技术课上学过的知识，方波的输出电压

$$V_{o1} = V_z \quad (4)$$

以及三角波的输出电压

$$V_{th} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_z \quad (5)$$

以及周期

$$T = 2RC \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_2}\right) \quad (6)$$

我们可以计算出所需要的参数，又由于这些知识之前在电路电子技术课上已经学过，在这里便不做推导。

结合实验室已有电阻，二极管等参数，选取各元件参数如下图所示：

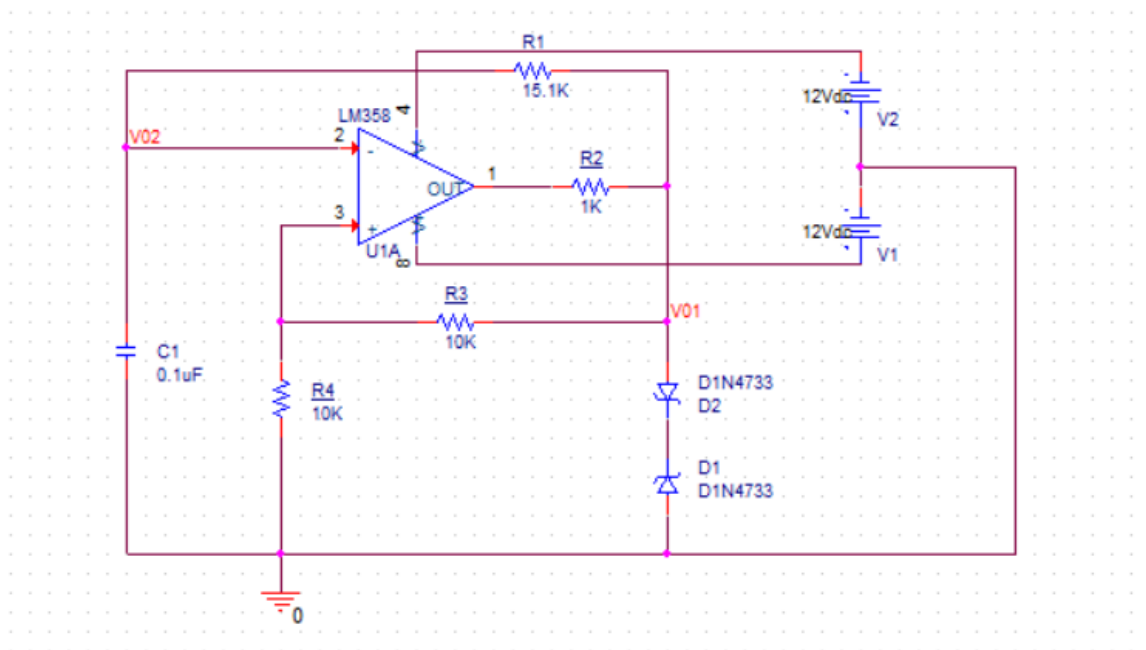


图 18: 矩形波发生电路波形图参数

此时 $V_z = 5.1V$, $f = 301.6Hz$

(2) 仿真分析

对电路进行仿真分析，选取 Time Domain 模式，设置 Run to time = 50ms, Maximum step size = 0.01ms 并运行 PSpice A/D 仿真分析程序。

测得输出方波电压如下图所示：

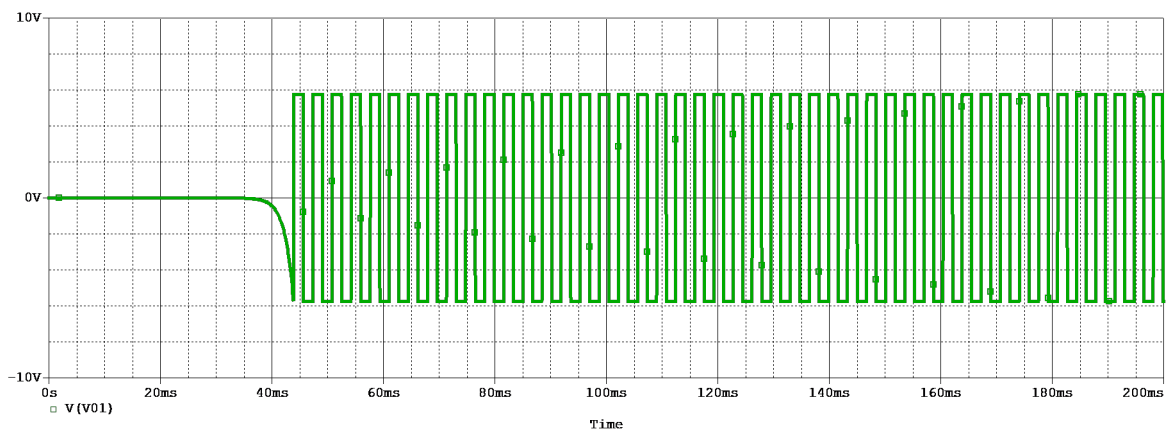


图 19: 方波输出波形图

前半段为起振过程，待得电压波形稳定后，测得其电压峰峰值 $V_{pp} = 11.493V$ ，频率 $f = 293.91Hz$ ，测得上升沿时间 $T_{上升} = 46.2\mu s$ ，下降沿时间 $T_{下降} = 48.5\mu s$ 。

测得电容两端电压波形为：

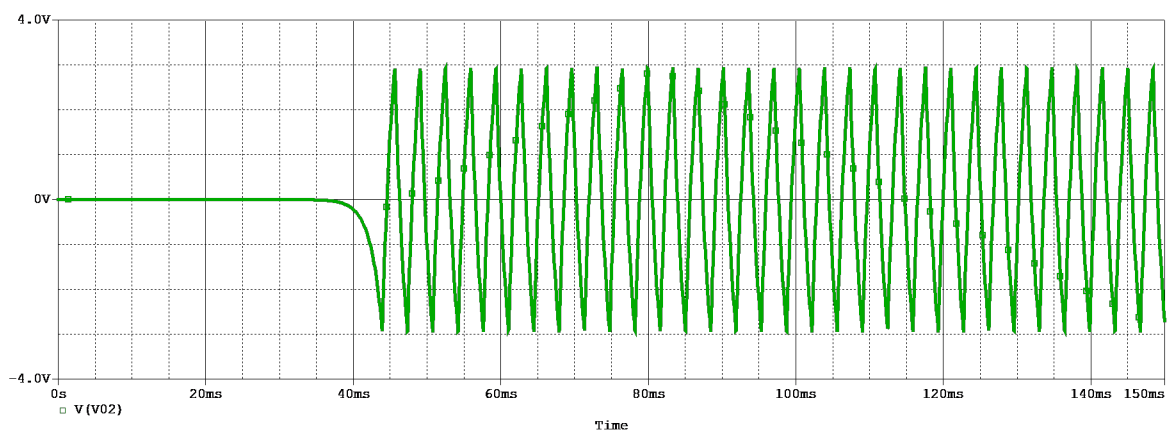


图 20: 电容电压波形图

前半段为起振过程，待得电压波形稳定后，测得其电压峰峰值 $V_{pp} = 5.8103V$ ，频率 $f = 294.06Hz$

测得运放正向输入端波形为：

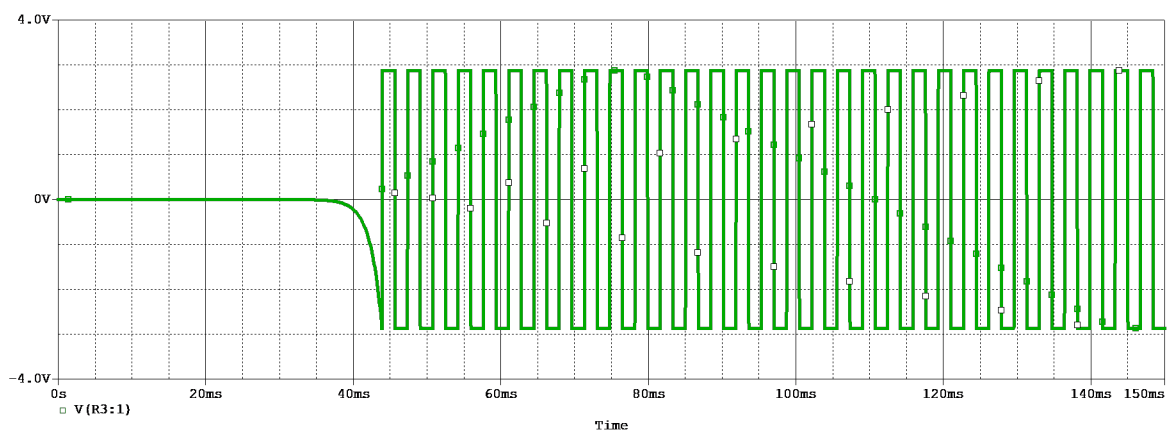


图 21: 正向输入端波形

前半段为起振过程，待得电压波形稳定后，测得其电压峰峰值 $V_{pp} = 5.7426V$ ，频率 $f = 292.65Hz$

测得电容的充电过程为：

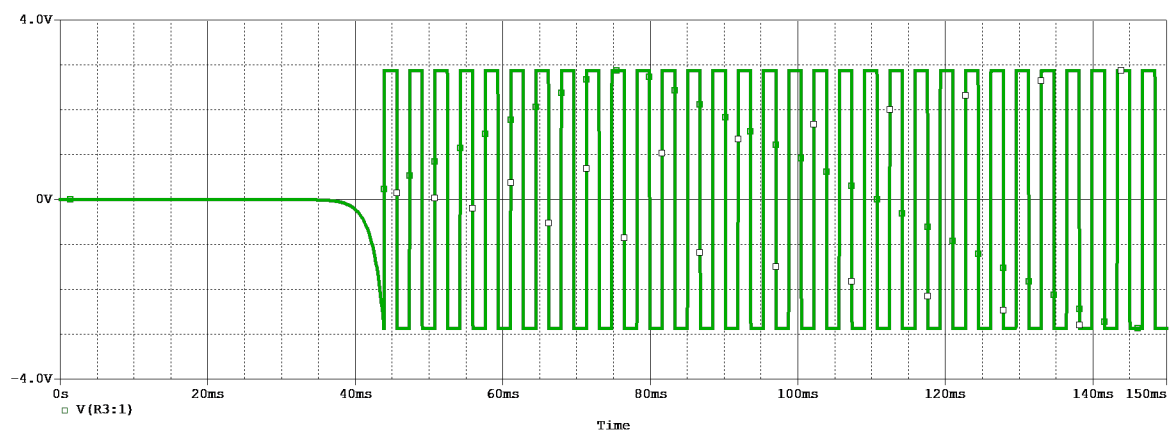


图 22: 电容充电电流

测得运放的输出电流为：

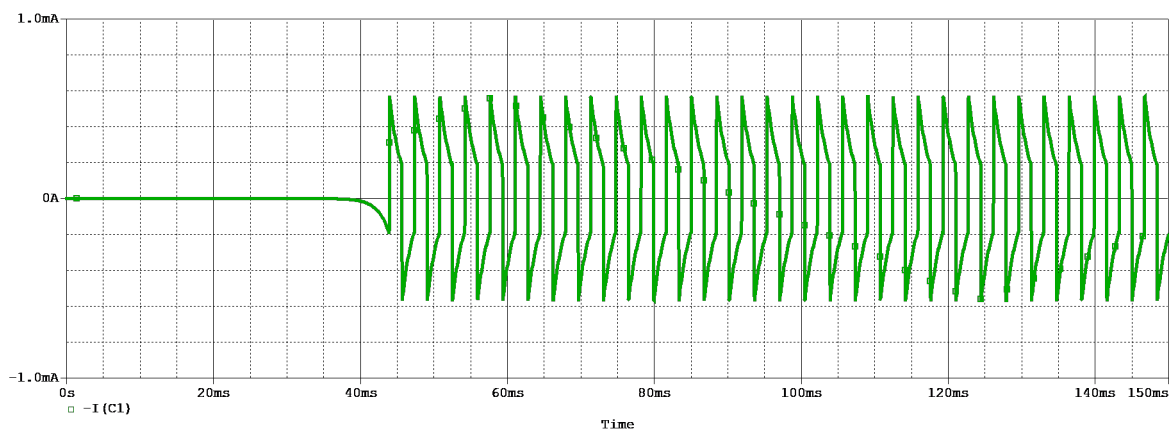


图 23: 运放输出电流

测得运放的输出电压为：

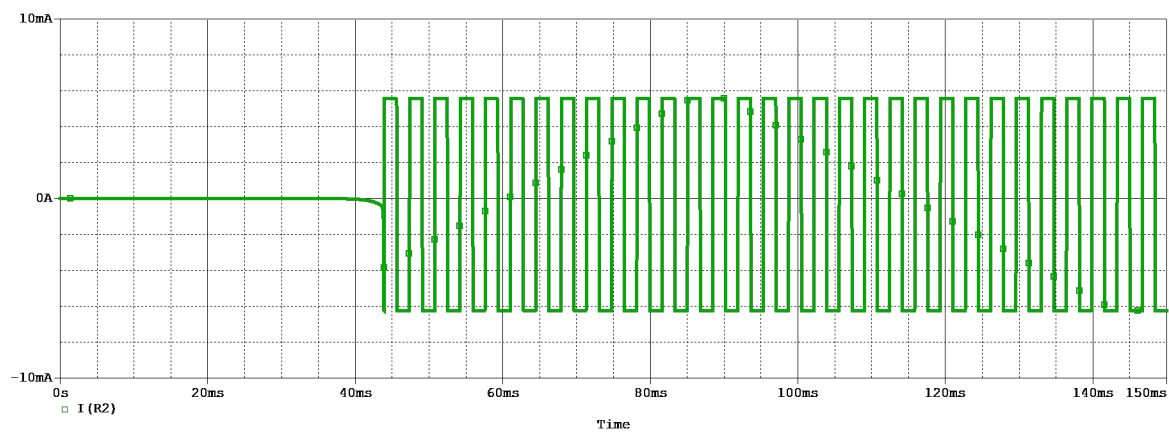


图 24: 运放输出电压波形

(3) 实验部分

实际搭建电路，实现此电路，并对要求的输出电压，电容电压以及正向输入端电压进行测量，测得波形如下图所示：

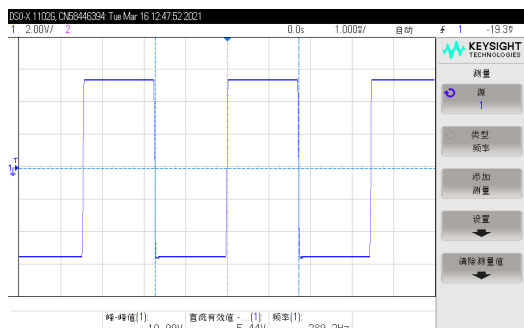


图 25: 输出电压波形

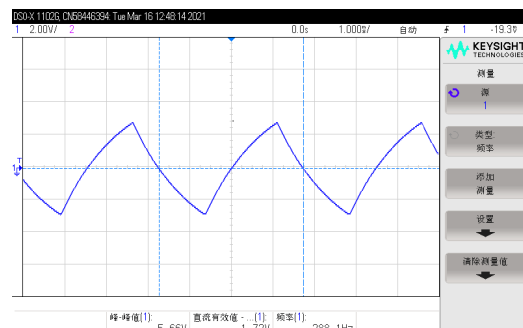


图 26: 电容电压波形

由于电容的电压波形即为运放的负向输入端的电压，因此我们只需要再测量运放的正向输入端电压即可，测得其波形如下图所示：

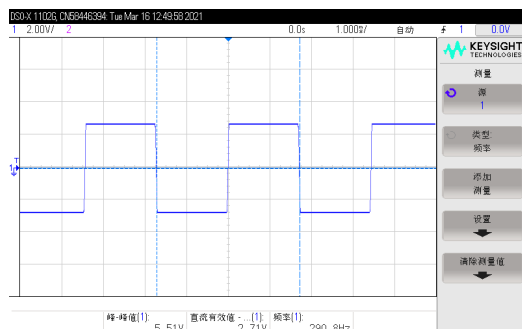


图 27: 正向输入端电压

测得数据如下表所示：

端口	输出电压	电容电压	正向输入端电压
峰峰值/V	11.00	5.66	5.48
频率/Hz	289.2	288	290.9
有效值/V	5.44	1.72	2.71

表 2: 简单矩形波发生电路实验数据

另外，测量输出信号的上升沿时间和下降沿时间，可以得到 $T_{\text{上升}} = 49.0\mu\text{s}$ ， $T_{\text{下降}} = 50.4\mu\text{s}$

(4) 误差分析

将数据一一进行比较，发现存在约 10% 左右的误差，在正常的范围之内。产生误差的原因可能是稳压二极管老化或者其响应时间较慢，当然亦有可能是其他器件如 LM358 芯片，电容等元件的老化造成的。

另外，在实验中我们观察到，如果输出端口所连接的电阻过大，可能会导致输出的电流较小进而造成方波失真的现象，具体图像如下图所示 (将 1K 电阻替换为 10K 电阻)：

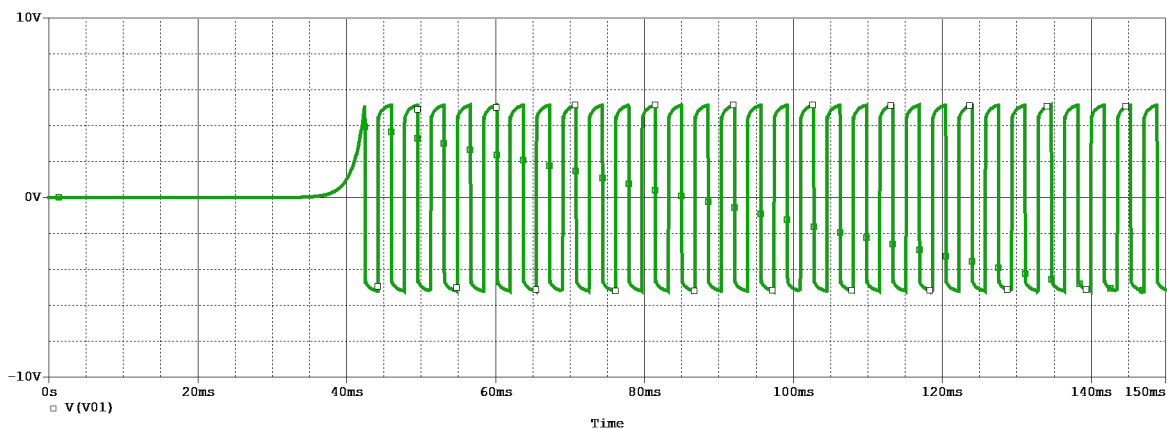


图 28: 输出电压失真波形

原因可能是电阻过大导致电流过小，进而导致电容充电速率较慢，进而形成上图所示的波形。

(5) 失真度分析

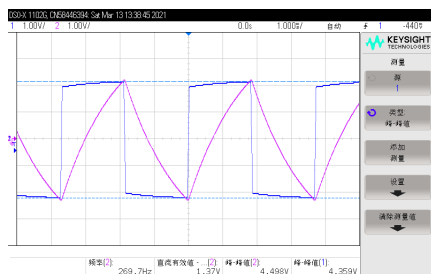


图 29: 失真度分析

可以计算得到线性度为：

$$\frac{\delta}{V_{om}} = \frac{0.6}{4.5} = 0.13 \quad (7)$$

3. 方波-三角波发生电路

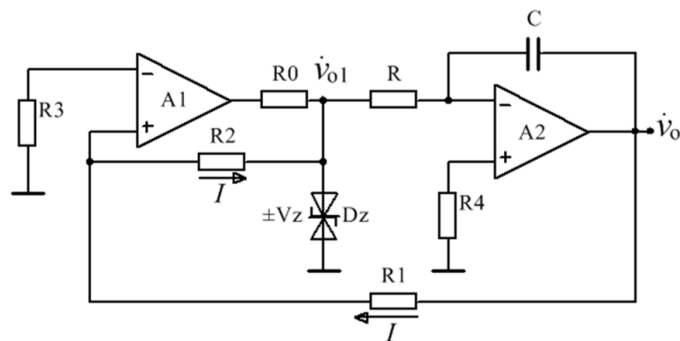


图 30: 方波-三角波发生电路

(1) 参数设置

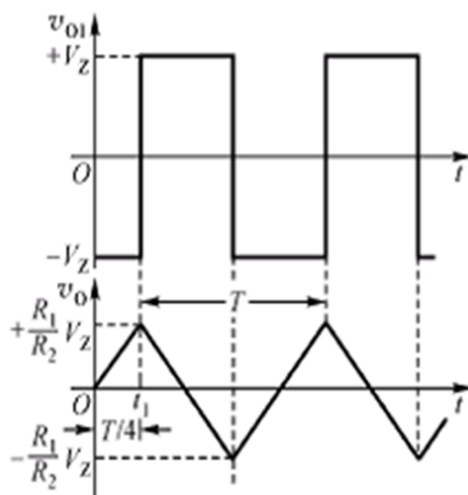


图 31: 方波-三角波发生电路波形图

根据在电路电子技术课上学过的知识，方波的输出电压

$$V_{o1} = V_z \quad (8)$$

其中， V_z 为稳压二极管 D1, D2 的电压。

三角波的输出电压

$$V_{om1} = V_{TH} = IR_1 = \frac{V_z}{R_2} R_1 = \frac{R_1}{R_2} V_z \quad (9)$$

$$-V_{om1} = V_{TL} = -\frac{R_1}{R_2} V_z \quad (10)$$

振荡周期为：

$$T = 4RC \frac{V_{om1}}{V_z} = 4RC \frac{R_1}{R_2} \quad (11)$$

振荡频率为：

$$f = \frac{1}{T} = \frac{R_2}{4RR_1C} \quad (12)$$

我们可以计算出所需要的参数，又由于这些知识之前在电路电子技术课上已经学过，在这里便不做推导。

结合实验室已有电阻，二极管等参数，选取各元件参数如下图所示：

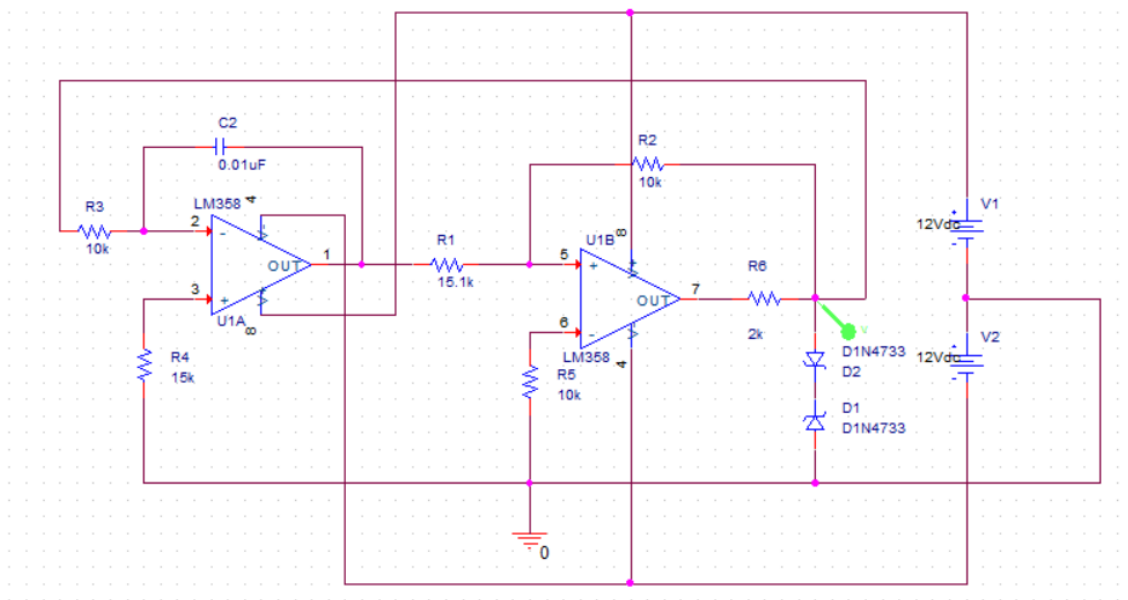


图 32: 方波-三角波发生电路波形图参数

此时 $V_{o1} = 5.8V$, $f = 1.66kHz$, $V_{o2} = 8.76V$

(2) 仿真分析

对电路进行仿真分析，选取 Time Domain 模式，设置 Run to time = 100ms, Maximum step size = 0.01ms 并运行 PSpice A/D 仿真分析程序。

测得输出方波电压如下图所示：

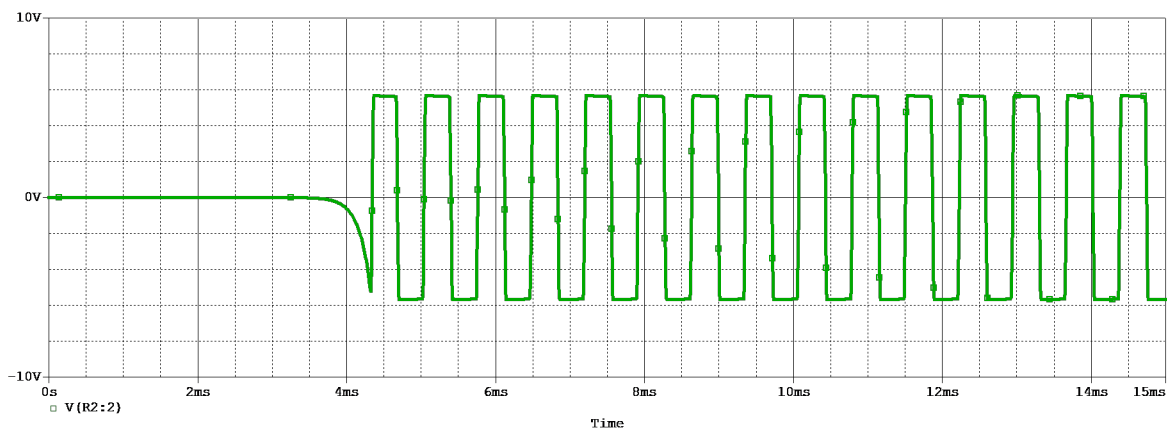


图 33: 方波输出波形图

前半段为起振过程，待得电压波形稳定后，测得其电压峰峰值 $V_{pp} = 11.325V$ ，频率 $f = 1.393KHz$ ，测得上升沿时间 $T_{上升} = 25.960\mu s$ ，下降沿时间 $T_{下降} = 27.092\mu s$ 。

测得三角波输出电压如下图所示：

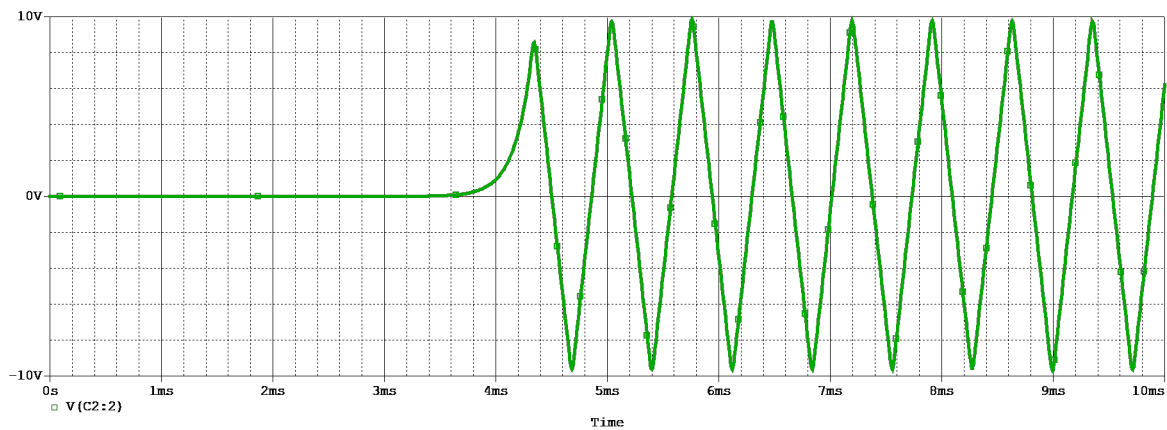


图 34: 三角波输出波形图

前半段为起振过程，待得电压波形稳定后，测得其电压峰峰值 $V_{pp} = 19.377V$ ，频率 $f = 1.391KHz$ 。

倘若在电容处加一个滑动变阻器，我们便可以获得锯齿波，如下图所示：

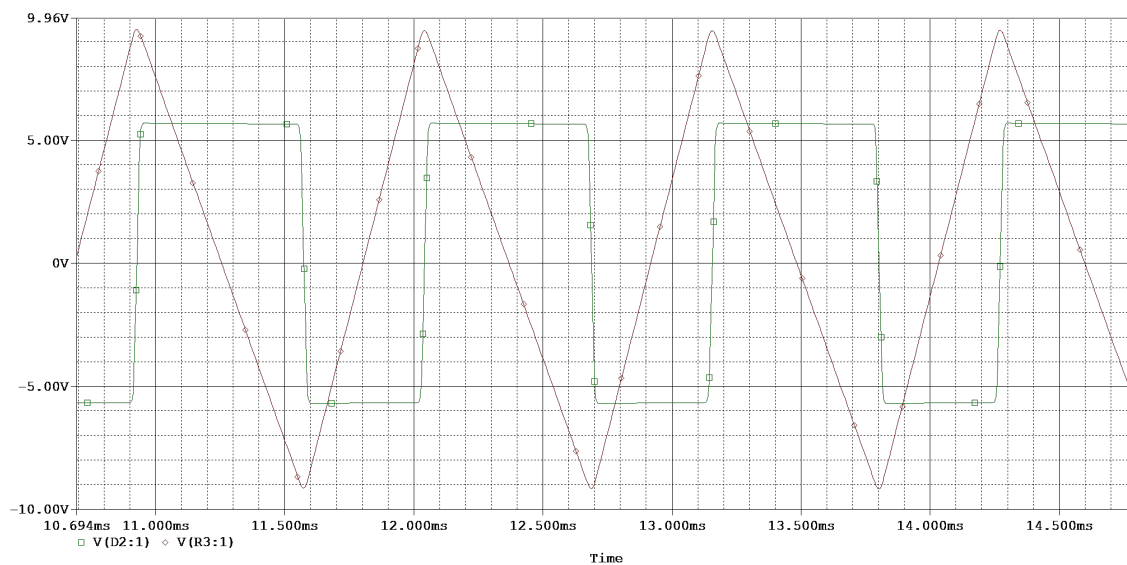


图 37: set = 0.25

当 set = 0.05 时，波形如下图所示：

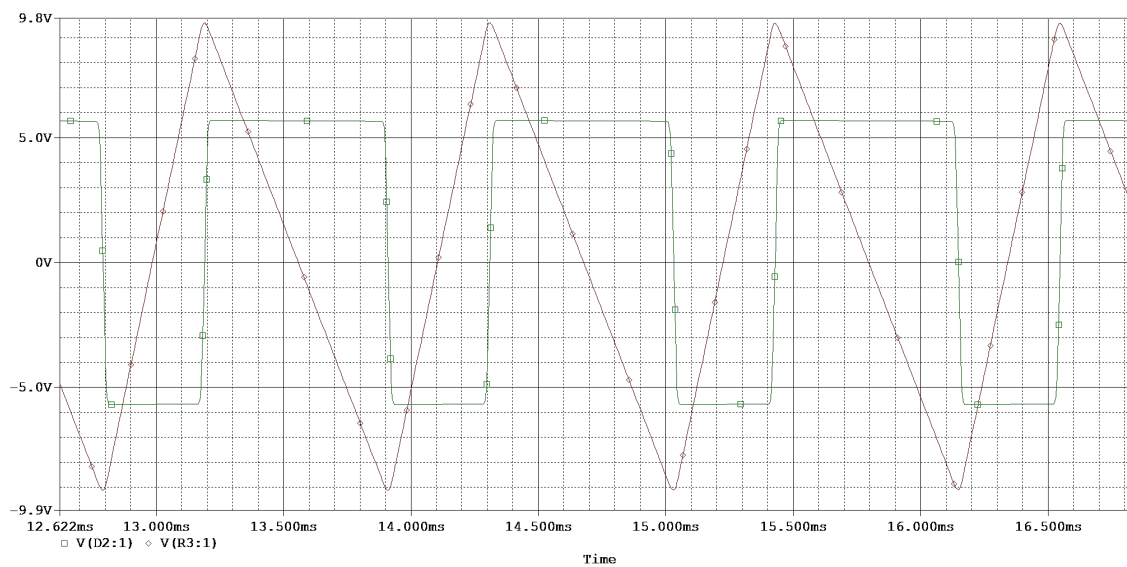
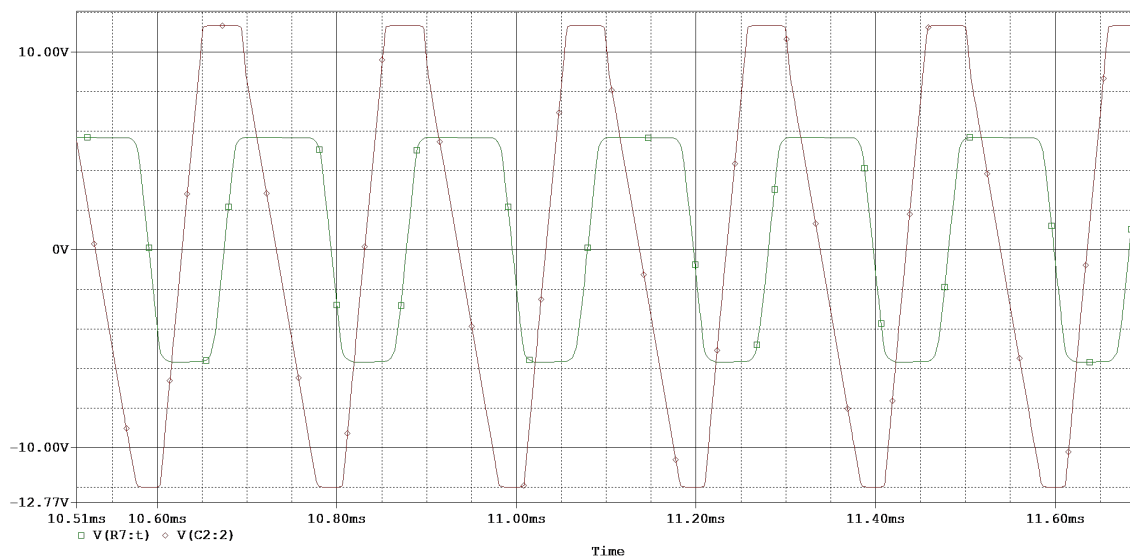


图 38: set = 0.05

当改变电容为 $0.001\mu F$ ，则频率增大，得到的三角波波形如下图所示：

图 39: $C = 0.001\mu F$

(3) 实验部分

实际搭建电路，实现此电路，并对要求的输出电压，电容电压进行测量，测得波形如下图所示：

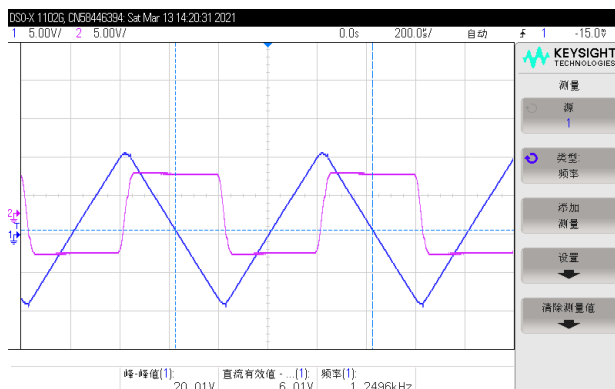


图 40: 方波与三角波输出电压

测得数据如下表所示：

端口	三角波电压	方波电压
峰峰值/V	19.96	10.57
频率/KHz	1.2496	1.2496
有效值/V	6.01	5.01

表 3: 方波-三角波发生电路实验数据

另外，测量输出信号的上升沿时间和下降沿时间，可以得到 $T_{\text{上升}} = 39.6\mu s$ ， $T_{\text{下降}} = 35.8\mu s$

(4) 误差分析

将数据一一进行比较，大部分数据只存在约 10% 左右的误差，在正常的范围之内。而方波的上升时间与下降时间却与仿真数据相差甚远，而理论上的信号频率也与仿真频率和实验频率相差也比较多，原因可能在与稳压二极管的电压并不是瞬间变化的，需要一定的反应时间，观察示波器波形我们也可以看到，方波的拐点与三角波的拐点有一定的时间差，这也就导致了频率的降低。

4. 实验心得

在本次实验中，我们进行了信号发生电路的实验设计。通过本次实验，我了解了设计实验数据的各种方法并了解到了设计一个电路并不是只需要简简单单把数值对上就可以了，还需要考虑电路中各种各样的参数，每个参数都有一定的讲究。例如：在运放处接地的电阻既不能过大，也不能过小，否则会虚短或者虚断，最理想的阻值是在 10 20K 左右，总而言之，在本次实验中我收益颇多。