

电路与电子技术课程设计报告

姓名：

学号：

2024-1-25

目录

目录.....	1
1 实验任务及目的	2
1.1 实验目的.....	2
1.2 实验任务.....	2
2 直流稳压电源的设计	2
2.1 电源变压器.....	2
2.2 整流电路.....	3
2.3 滤波电路.....	3
2.4 稳压电路.....	4
2.5 对称 $\pm 12\text{V}$ 直流稳压电路.....	5
3 信号发生器的设计	5
3.1 方波-三角波信号发生器.....	5
3.1.1 原理说明.....	5
3.1.2 实验电路.....	7
3.2 方波-三角波信号发生器.....	10
3.2.1 原理说明.....	10
3.2.1 实验电路.....	10
3.3 可调矩形波发生器.....	13
3.3.1 原理说明.....	13
3.3.2 实验电路.....	14
3.3 可调锯齿波发生器.....	16
3.3.1 原理说明.....	16
3.3.2 实验电路.....	17

1 实验任务及目的

1.1 实验目的

1. 掌握三端集成稳压器组成的直流稳压电源的设计和调测。
2. 掌握由运算放大器组成的信号发生器的设计方法。
3. 熟悉信号发生器的一些主要性能指标

1.2 实验任务

需要完成的实验任务有：

任务 1：设计由三端集成稳压器 7812 和 7912 组成的能输出+12V 和-12V 的直流稳压电源电路，并完成该电路的仿真调测。

任务 2：完成由集成运放组成的信号发生器的仿真设计。所需的直流电源由任务 1 完成的电路提供。

2 直流稳压电源的设计

2.1 电源变压器

将电网提供的有效值为 220V 交流电压（幅值约为 311V） U_1 转换为所需的交流电压。

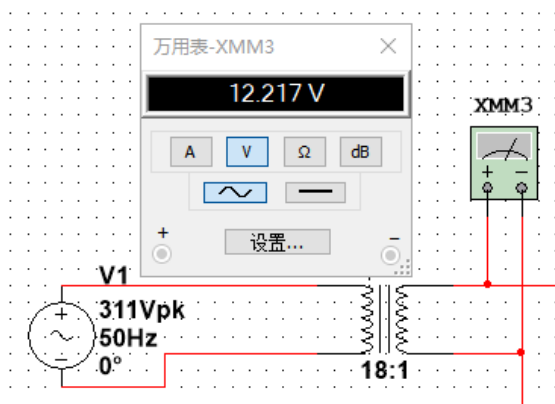


图 1 变压器比值 18:1

根据要求，直流稳压电源应当输出 12V 的电压，因此通过变压器输出的电压

U_2 有效值应约为 12V，由公式

$$U_1:U_2 = N_1:N_2$$

得选择变压比为 18: 1，此时变压器输出大约为 12.22V。

2.2 整流电路

利用单相桥式整流电路将交流电转换成脉动的直流电。

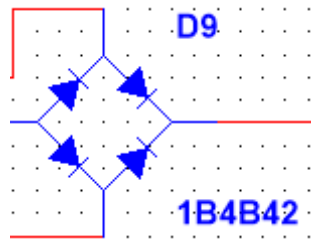


图 2 单相桥式整流电路图

利用桥式整流电路，使得输出电压波形为直流，输出大致为输入的 0.9 倍，输出电压 U_3 约为 11.0V。

$$U_3 = 0.9U_2 = 11.0 V$$

2.3 滤波电路

利用滤波电路将脉动的直流电压变为较平滑的直流电压。

经过整流后的电路仍然含有较多的交流部分，所以我们要经过滤波电路的处理。滤波电路采用的是电容滤波电路，所选用的电容是容量为 1mF 的电解电容和 330nF 的电容。

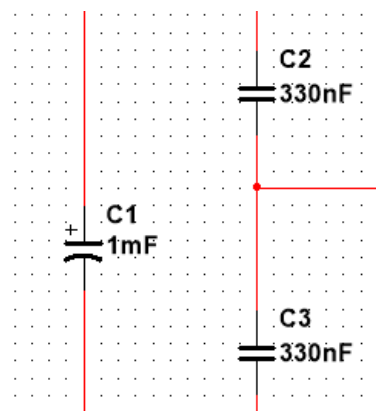


图 3 电容选择

滤波电容的选择：

$$RC = k * \frac{T}{2}, \quad k \in (3,5)$$

一般选择几十至几千微法的电解电容，耐压 $U > 2\sqrt{2}U_2$.

当 $k=4$ 时：

$$f = 50\text{Hz}$$

$$T = \frac{1}{f} = 0.02\text{s}$$

$$R_3 C = 4 * \frac{T}{2} = 2 * T = 0.04\text{s}$$

$$C = \frac{0.04}{R_3} = 330\text{nF}$$

$$U > 2\sqrt{2}U_2 = 30.45\text{V}$$

2.4 稳压电路

利用电路的调整作用使输出电压稳定的过程称为稳压

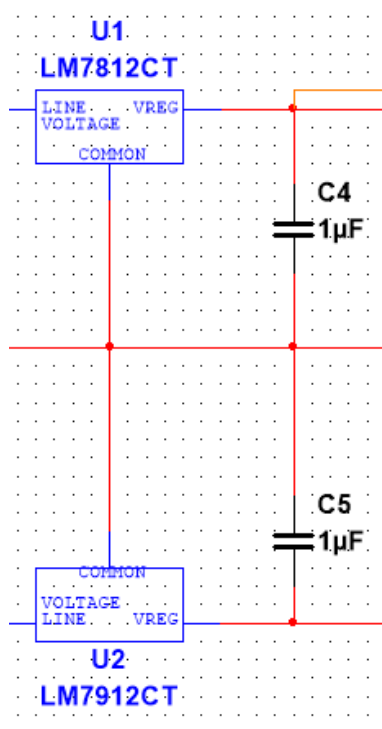


图 4 稳压电路

一般三端集成稳压器输入、输出电压差小于 3V，经过滤波电容后，输入的直流电压约为 11V，满足三端集成稳压器输入条件。

电容 C4、C5 用于实现频率补偿，目的是防止稳压器产生高频自激和抑制电路引入的高频干扰。取电容 $C \leq 1\mu\text{F}$ ，方便起见两个都取大小为 $1\mu\text{F}$

2.5 对称±12V直流稳压电路

最终电路：

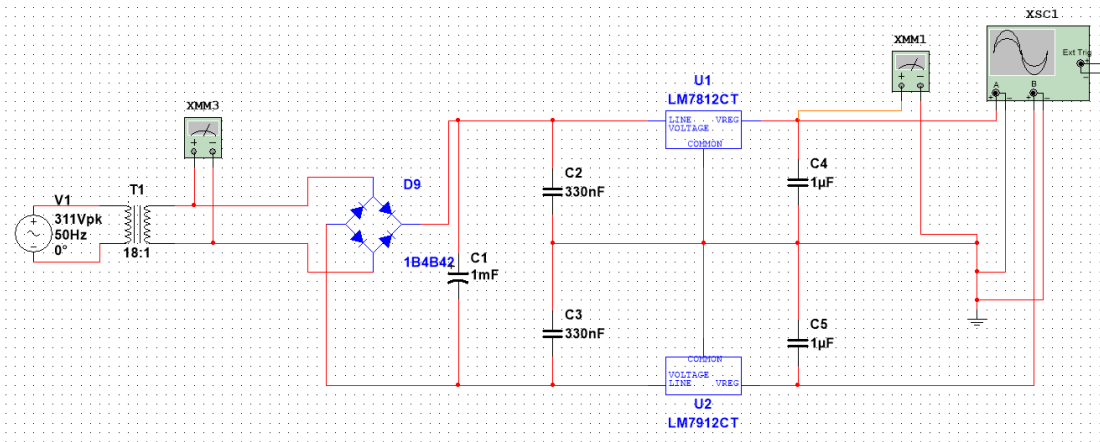


图 5 对称±12V 直流稳压电路

输出电压值与波形：

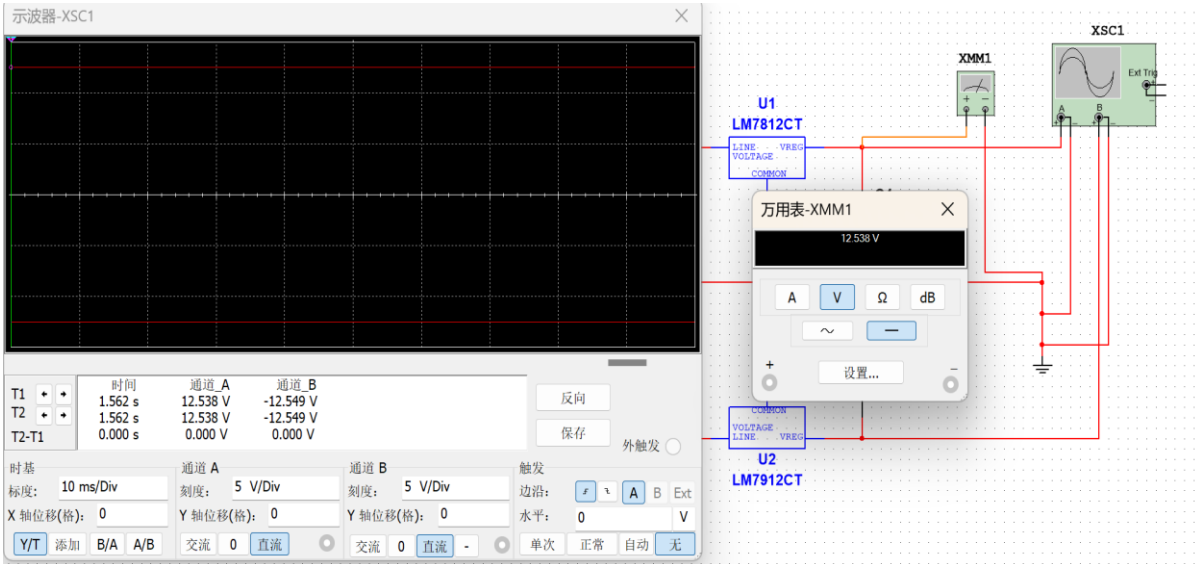


图 6 输出电压值与输出波形

3 信号发生器的设计

3.1 正弦波信号发生器

3.1.1 原理说明

本设计使用文氏电桥，通过 RC 串并联实现振荡电路，同时亦是产生正弦波的电路。文氏桥振荡电路分为选频电路和放大电路两部分。放大电路采用由集成运放组成的电压串联负反馈放大电路，以利用其输入电阻高、输出电阻低的特性。

选频电路采用 RC 桥式振荡电路。为了便于计算并防止无法起振等问题，假设 $C_1 = C_2$, $R_{1a} = R_{1b}$ ，从而有：

$$R = R_{1a} = R_{1b} \in (0, 10k\Omega)$$

$$C = C_1 = C_2 = 0.5 \mu F$$

RC 文氏桥信号发生器的振荡频率由以下公式给出：

$$f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$$

带入具体数值计算得到振荡频率的最小值和最大值：

$$f_{min} = 31.8Hz, f_{max} = 1592kHz$$

故输出频率范围为 (31.8Hz, 1592kHz)。

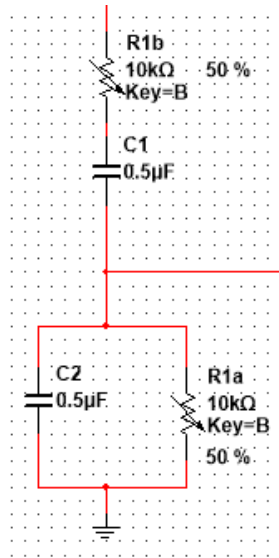


图 7 选频电路

放大电路中， R_2 、 R_3 将输出负反馈至运放的反相输入端，它的放大倍数为

$$A_u = 1 + \frac{R_2}{R_3}$$

在经过多次调试和测试后，我发现当放大倍数不超过 3 时，电路中的负反馈占据主导地位，导致电路无法起振。而当放大倍数超过 3 时，正反馈变得占优，电路开始振荡，但振荡不稳定并且逐渐增强，最终会使运放达到饱和状态。这种情况下，输出的波形是一种削顶的失真正弦波。只有当放大倍数刚好为 3 时，正反馈和负反馈达到平衡，振荡电路能够稳定持续工作。但此状态仍然不能起振，因此实际选择 R_2 稍大于 $2R_3$ 。所以输出电压峰值等于输入电压，约为 12V

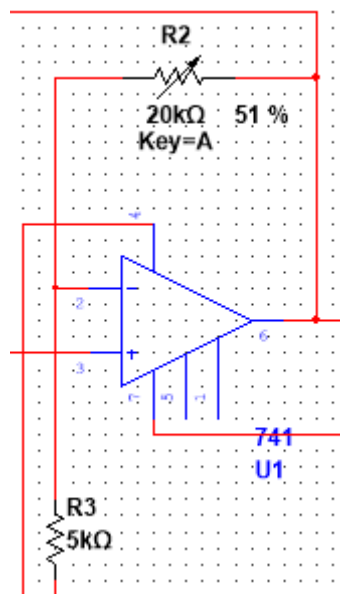


图 8 放大电路

3.1.2 实验电路

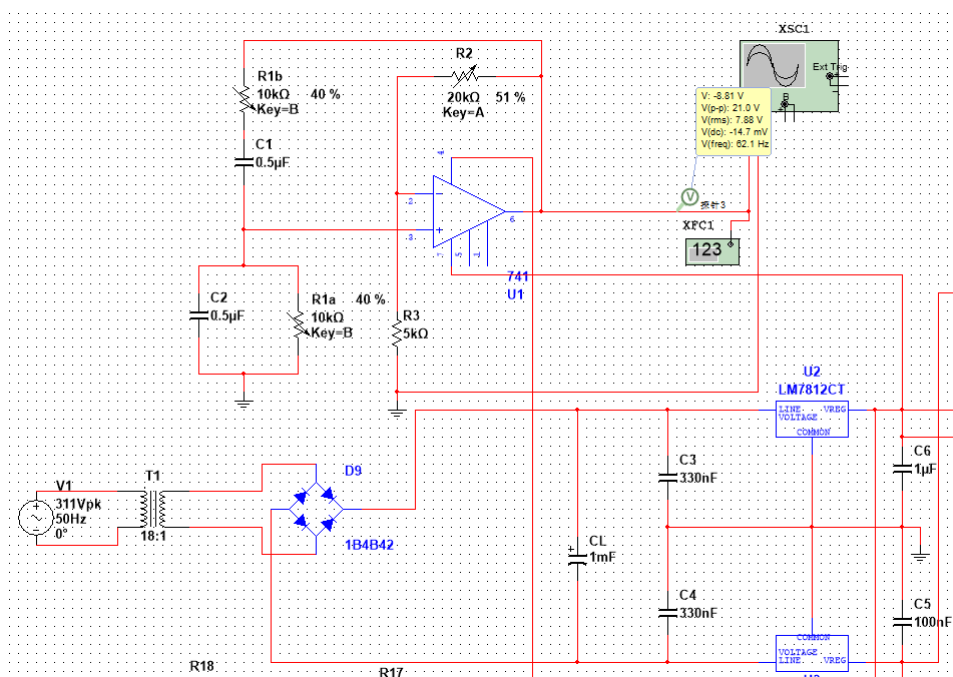


图 9 正弦波信号发生器完整电路图

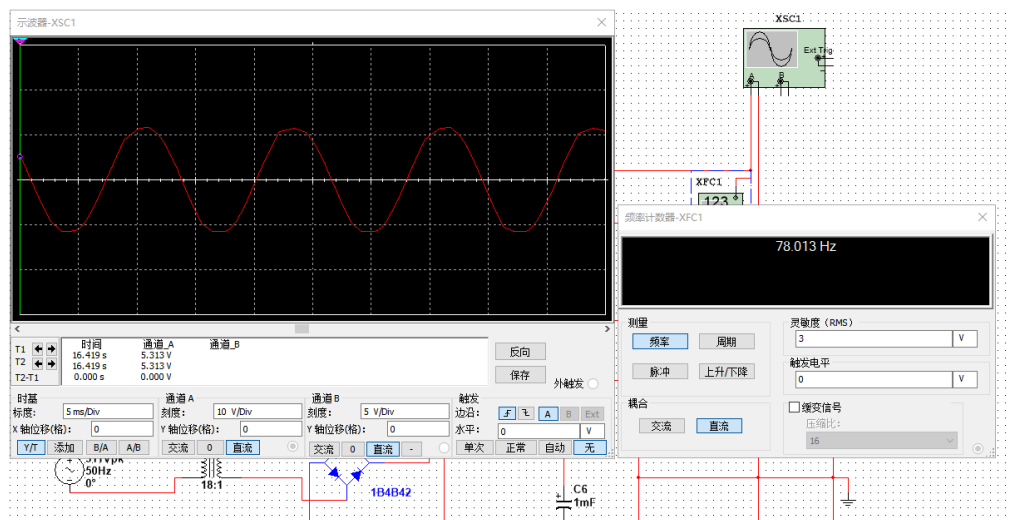


图 10 输出波形演示

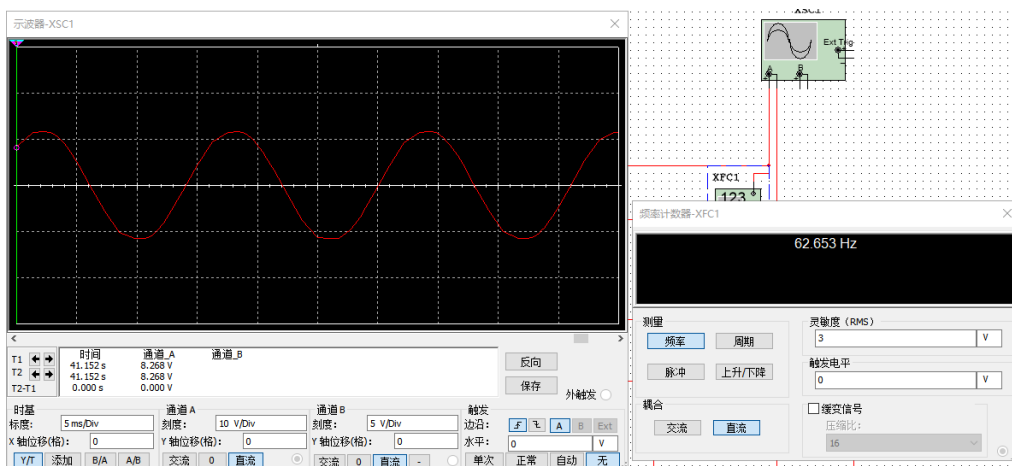


图 11 调整频率演示

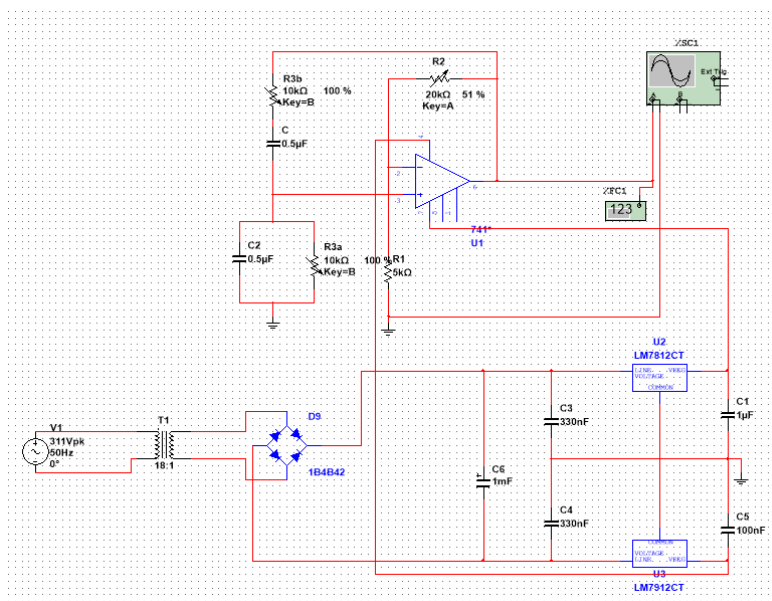


图 12 最小频率电路图

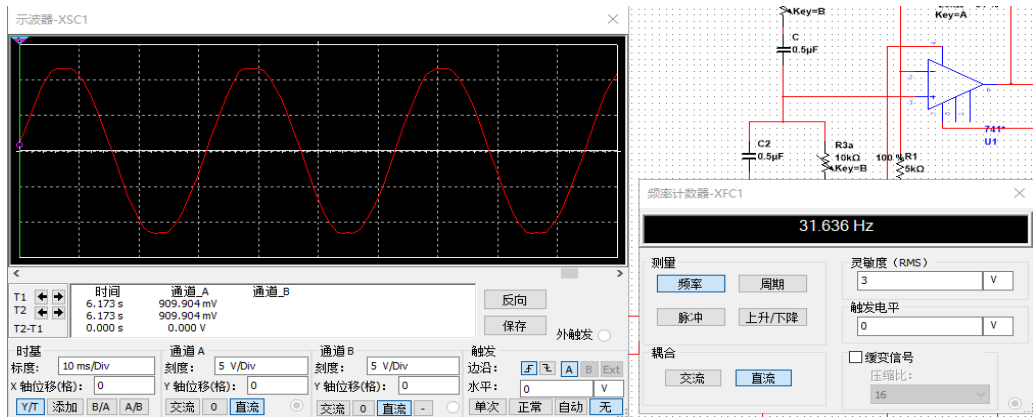


图 13 最小频率和波形图

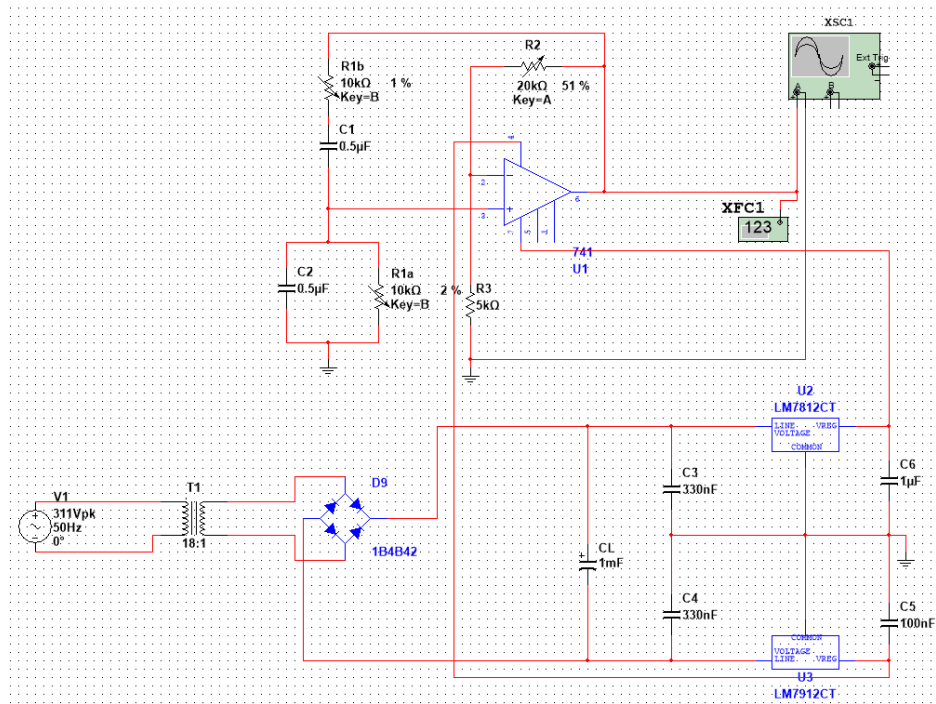


图 14 最大频率电路图

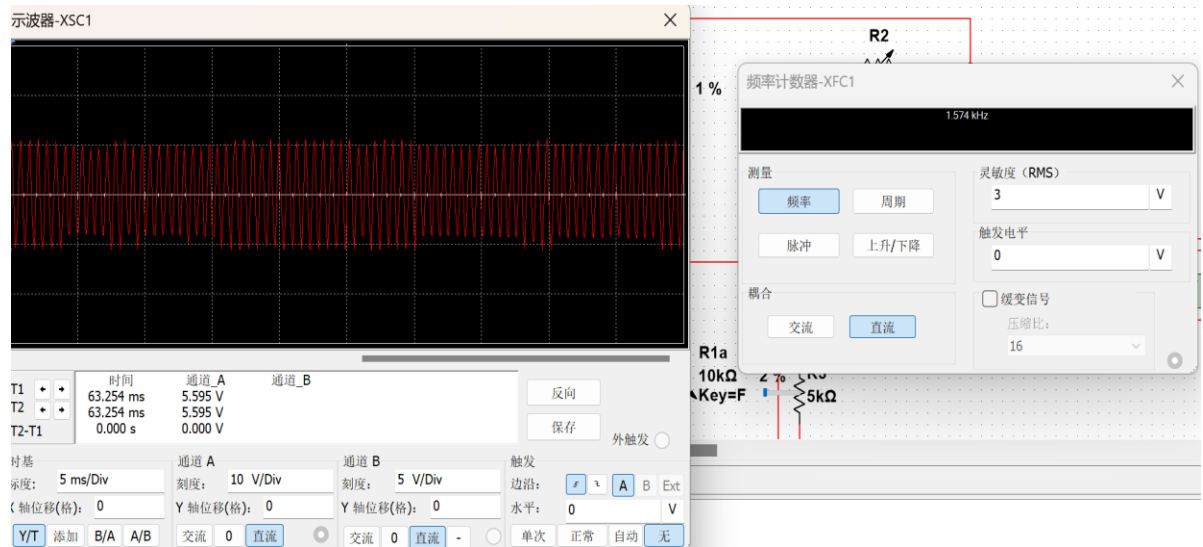


图 15 最大频率和波形图

结论：通过调节 R_{1a} 和 R_{1b} ，根据频率计数器可得实际电路输出波形的频率范围大约为 31.636Hz-1547kHz，由探针测得正弦信号发生器的输出电压峰峰值近似在 0-21V 范围内可调，与理论值接近，误差较小。

3.2 方波-三角波信号发生器

3.2.1 原理说明

此电路包括一个正向输入的滞回比较器、一个反向输入的滞回比较器，以及一个 RC 电路。RC 电路既充当延迟环节，也用作反馈网络，通过充放电来实现电路功能。滞回比较器有两个不同的阈值，并且其传输特性表现出滞回效应。

根据电路的特性，有下方程：

$$V + 1 = \frac{R_9}{R_5 + R_6 + R_7} * U_z + \frac{R_5}{R_5 + R_6 + R_7} * U_0$$

当 U_0 下降到 $V + 1 = 0$ 时，得到：

$$U_0 = -\frac{R_5}{R_6 + R_7} * U_z$$

在这种情况下， V_0 从 U_z 变成 $-U_z$ ，而 U_0 则会线性上升。这时 $V + 1$ 的方程变为：

$$V + 1 = -\frac{R_9}{R_5 + R_6 + R_7} * U_z + \frac{R_5}{R_5 + R_6 + R_7} * U_0$$

同样地，当 U_0 再次上升到可以使 $V + 1 = 0$ 时，得到：

$$U_0 = \frac{R_5}{R_6 + R_7} * U_z$$

此时， V_0 从 $-U_z$ 变成 U_z ， U_0 线性下降。

因此，周期 T 和频率 f 的方程分别是：

$$T = \frac{4R_5R_9}{R_6 + R_7} * C_8, \quad f = \frac{R_6 + R_7}{4R_5R_9C_8}$$

因此通过改变可变电阻 R_7 可实现方波—三角波的频率可调，代入本实验所选取的电容与滑动变阻器数据得：频率可调范围在 0.84-2.52kHz

同时，调节电阻 R_8 的大小可以调整输出信号的幅值。

3.2.2 实验电路

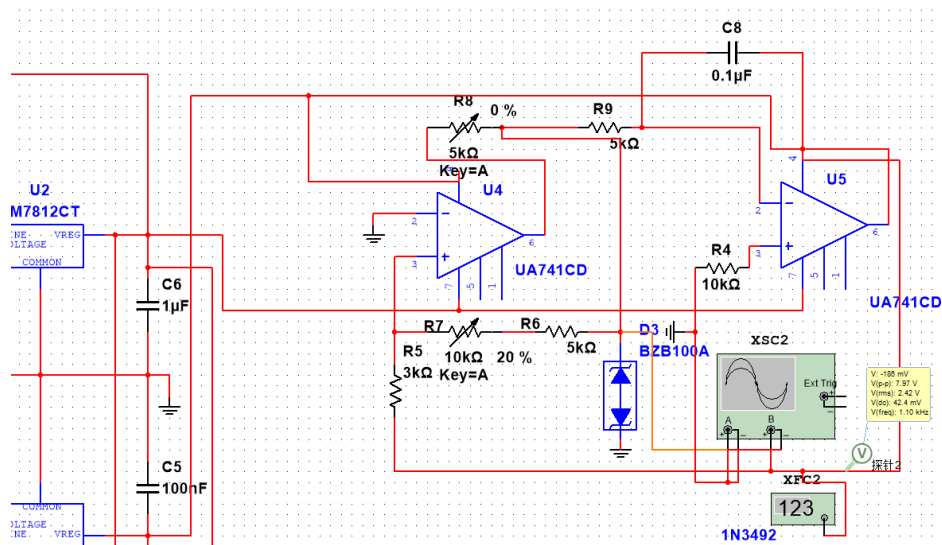


图 16 方波—三角波信号发生器电路图

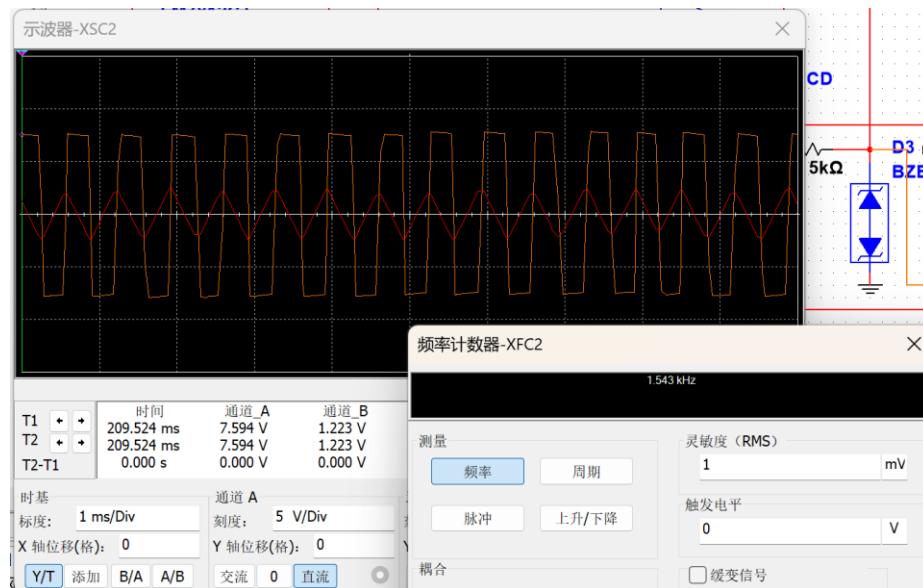


图 17 输出波形演示

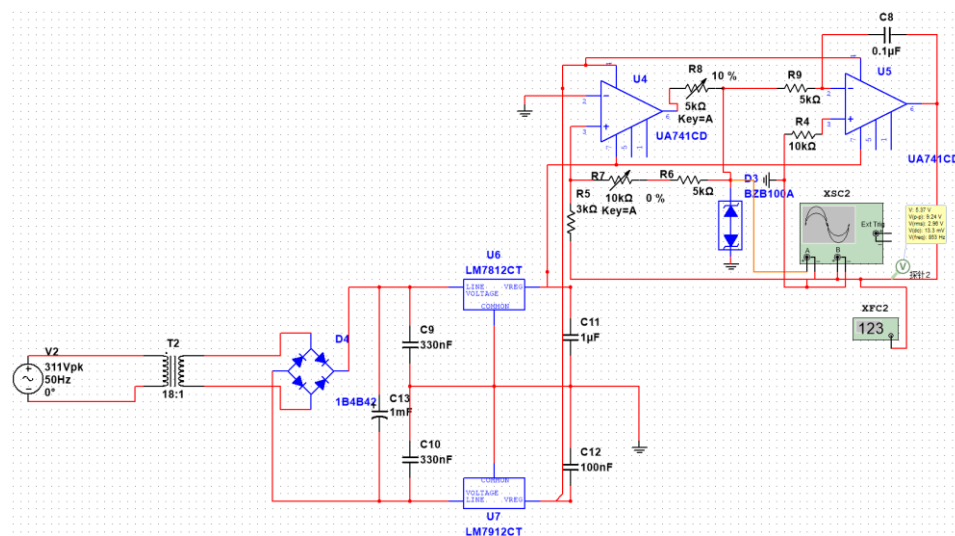


图 18 最小频率时电路

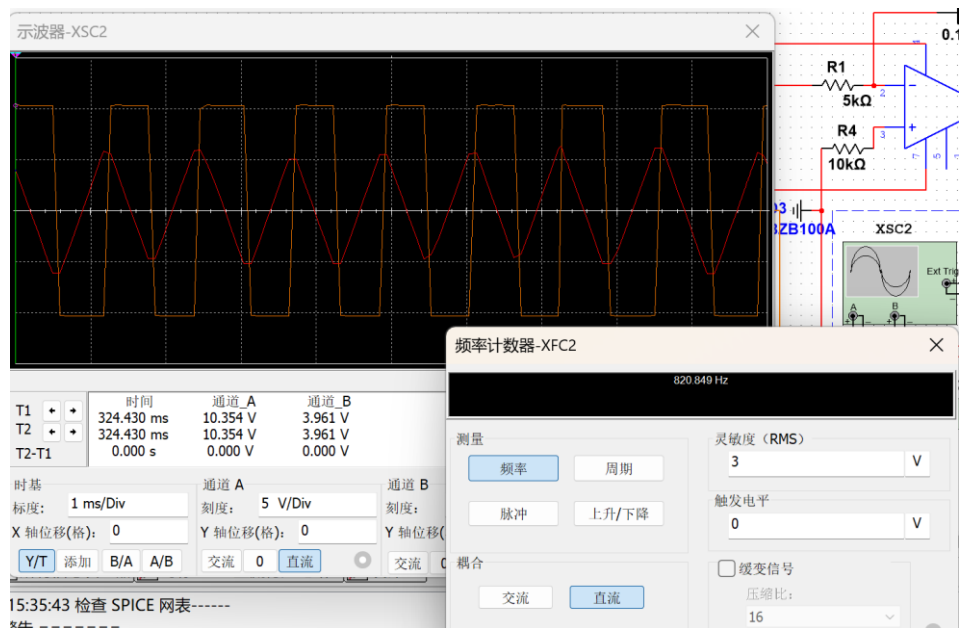


图 19 最小频率和波形图

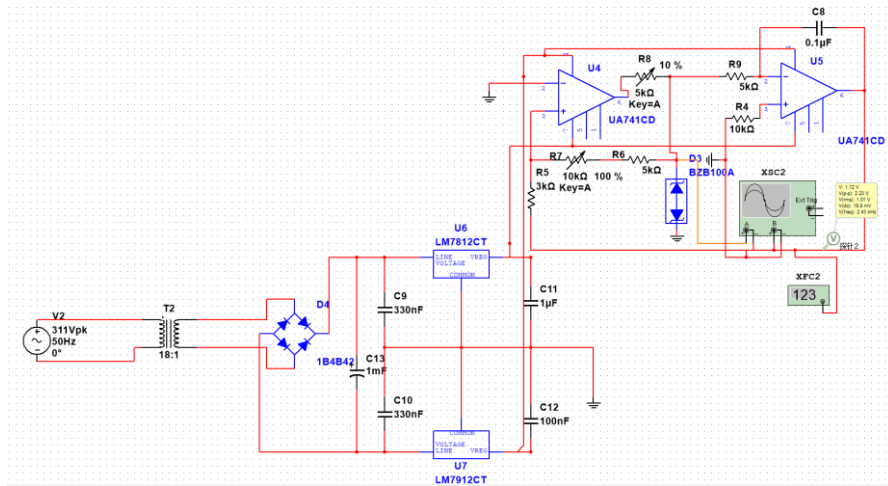


图 20 最大频率时电路

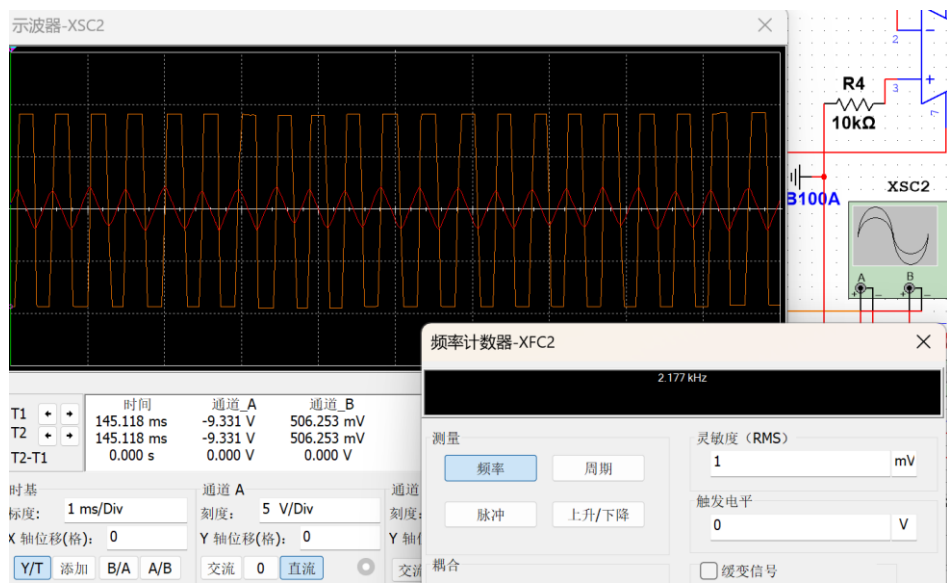


图 21 最大频率和波形图

当 R_8 取最大值时，输出如下图所示的最小幅值电路：

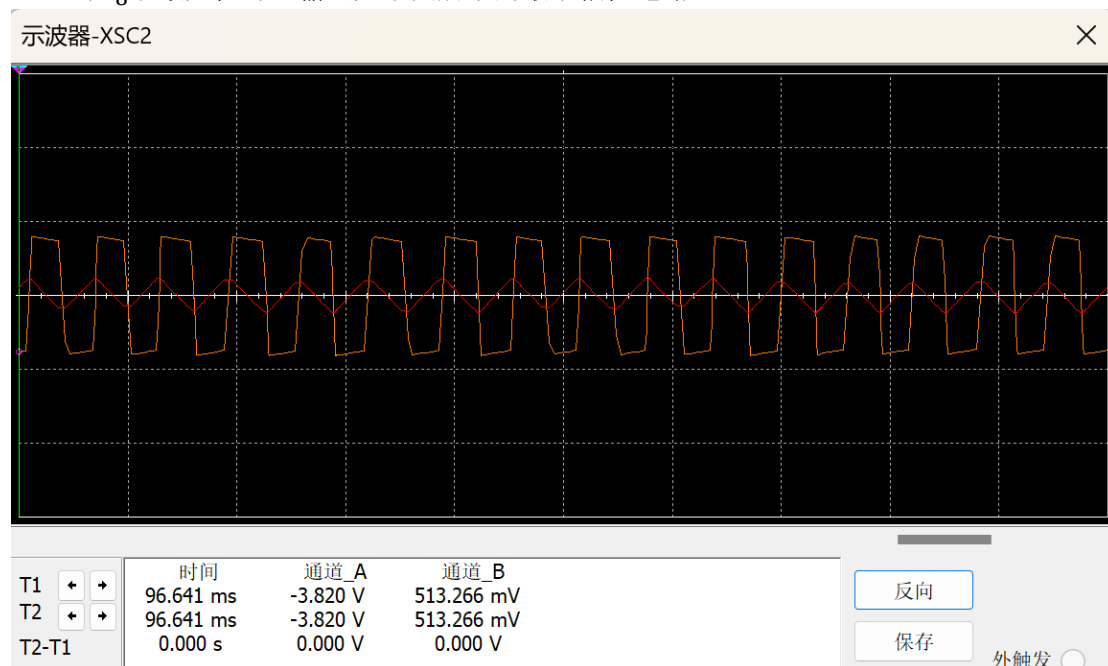


图 22 最小幅值的波形图

结论：通过调节 R_7 ，根据频率计数器可得实际电路输出波形的频率范围大约为 820Hz-2.2kHz，与 0.84-2.52kHz 的理论值存在微小误差，这可能是由于电容取标称值而与理论计算值之间存在一定的误差；同时，通过调节 R_8 ，由探针测得的输出电压峰峰值近似在 1.9-5.8V 范围内可调。

3.3 可调矩形波发生器

3.3.1 原理说明

矩形波振荡电路（又称多谐振荡器）由反相输入的滞回比较器和 RC 电路组成。滞回比较器起开关作用，RC 电路的作用是产生暂态过程。RC 回路既是延迟环节，亦是反馈网络，通过 RC 充、放电过程实现输出状态的自动转换。在运放的输出端引入限流电阻和两个背靠背的稳压管就组成了双向限幅矩形波发生器。

矩形波发生器电路有多种方案，本设计以运算放大器为核心，由矩形波振荡电路、幅值调节电路两部分组成。

稳压管两端电压为：

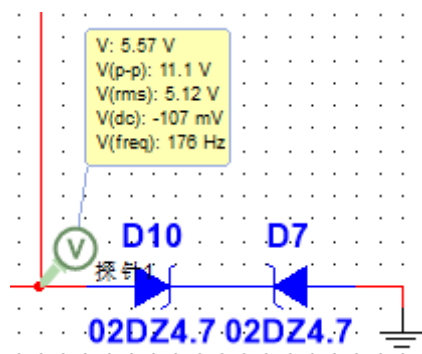


图 23 稳压管两端电压

理论计算：

$$R_1 = 51k\Omega, R_{20} = 10k\Omega, R_1 = 5.1 + R_v$$

$$U_z = 5.57V$$

$$U_R = \frac{R_{20}}{R_1 + R_{20}} * U_z = 0.906V$$

$$T = 2R_F C * \ln\left(1 + \frac{2R_1}{R_{20}}\right) = 4.83R_F C$$

因此通过改变 C14, C15 电容还有可变电阻 R18 实现矩形波的频率可调，代入本实验所选取的电容与滑动变阻器数据得：频率可调范围在 135Hz-25kHz

3.3.2 实验电路

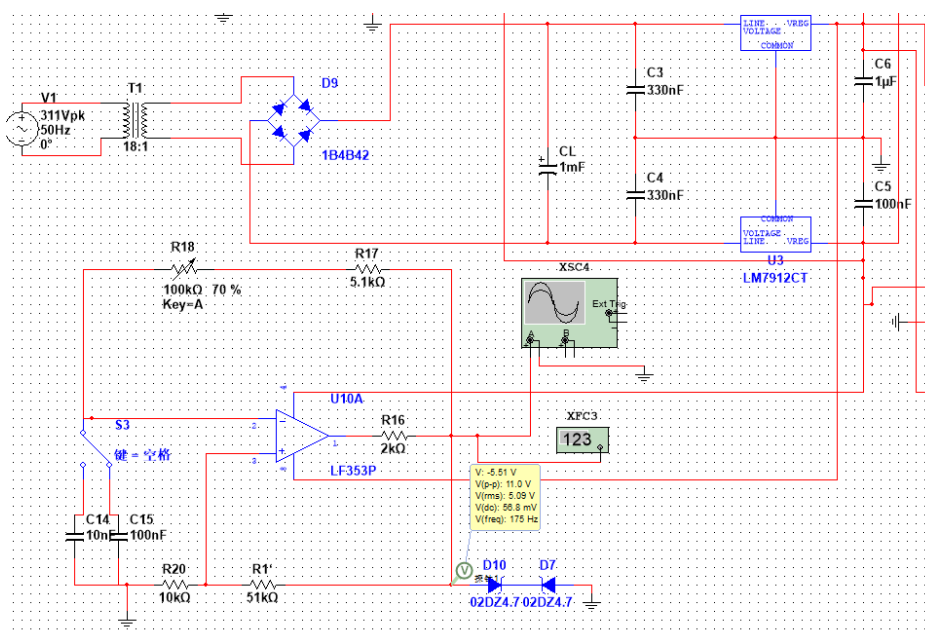


图 24 可调矩形波发生器电路

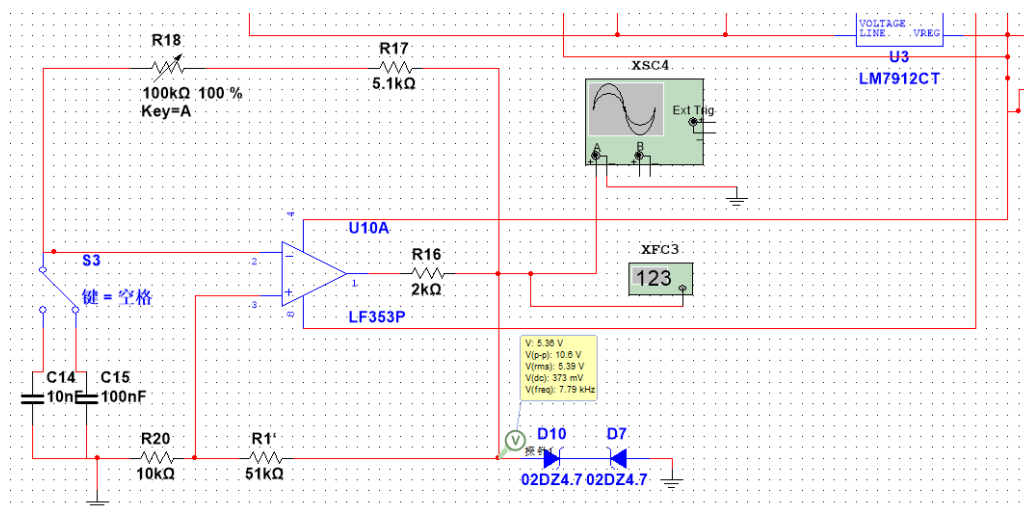


图 25 最小频率时电路

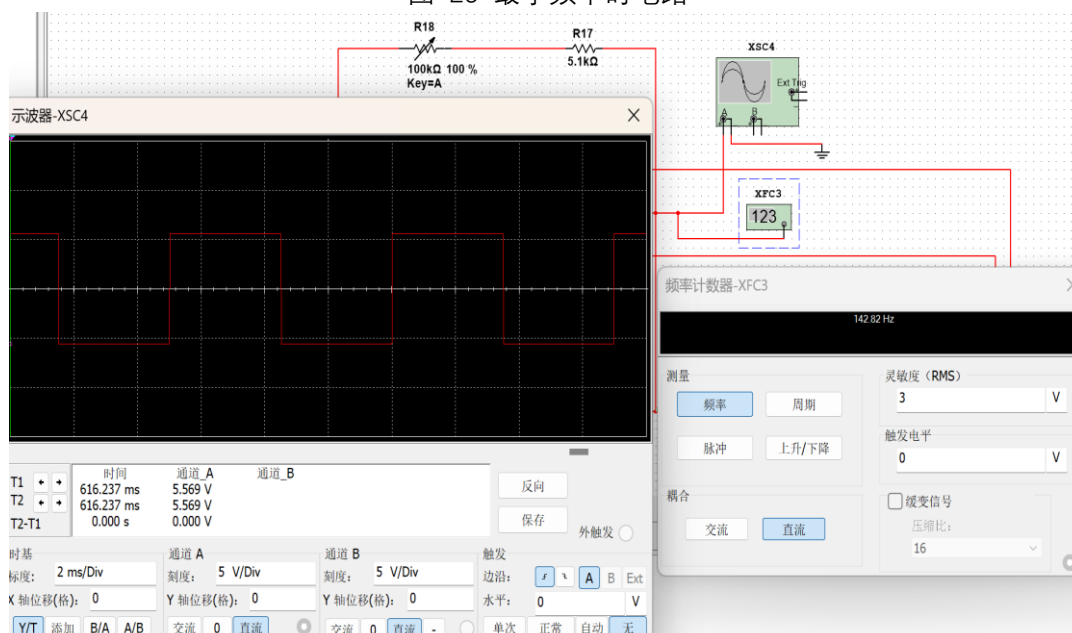


图 26 最小频率和波形图

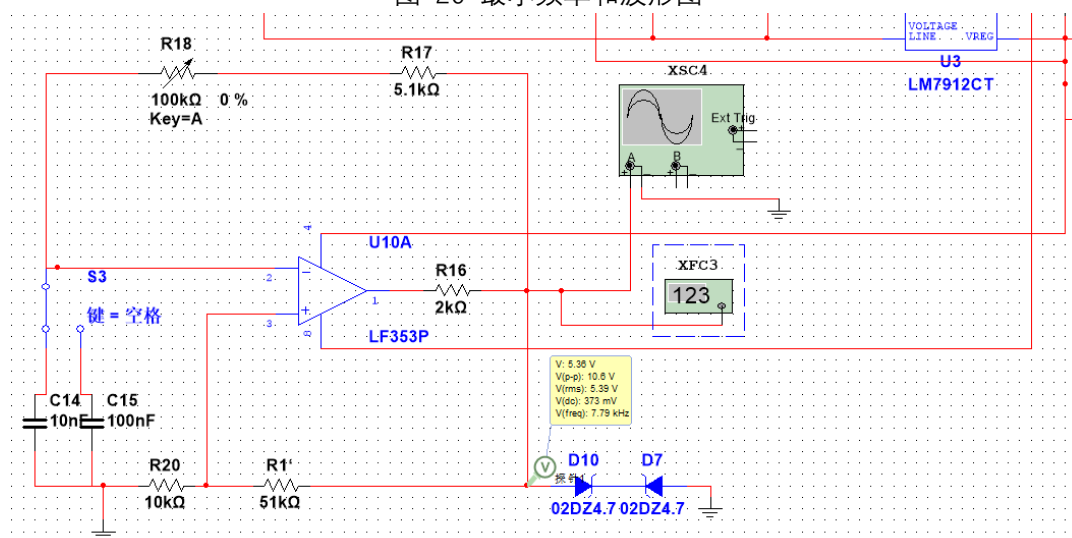


图 27 最大频率时电路

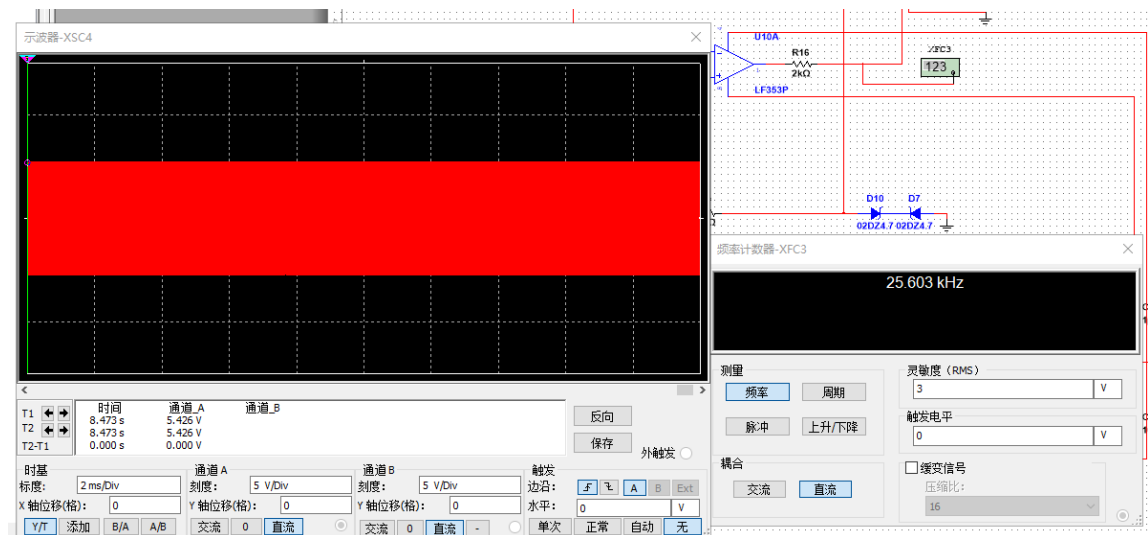


图 28 最大频率和波形图

结论：通过调节 R_{18} , C_{14} , C_{15} ，根据频率计数器可得实际电路输出波形的频率范围大约为 141Hz-25.6kHz，与 135Hz-25kHz 的理论值相接近，误差较小。

3.4 可调锯齿波发生器

3.4.1 原理说明

锯齿波发生器的电路由方波-三角波发生器这个电路变换而来。由正相输入的滞回比较器、反向输入的滞回比较器和 RC 电路组成，RC 即作为延迟环节，有作为反馈网络，通过 RC 充放电来实现电路。滞回比较器存在两个不相等的阈值，其传输特性具有滞回性。集成运放组成滞回比较器，再利用二极管和滑动变阻器，使积分电路的充放电回路分开，组成充放电时间常数不等的积分电路。调节电位器滑动端的位置，则电容放电的时间常数将比充电的时间常数小得多，于是放电过程很快，而充电过程很慢，即可得锯齿波。滞回比较器输出的矩形波加在积分电路的反相输入端，而积分电路输出的锯齿波又接到滞回比较器的同相输入端，控制滞回比较器输出端的状态发生跳变，从而在输出端得到周期性的锯齿波。

假设初始时刻滞回比较器输出端为高电平，而且假设积分电容上的初始电压为零。由于 A1 同相输入端的电压 U_+ 同时与 U_{o1} 和 U_o 有关，根据叠加原理，可得

$$U_+ = \frac{R_{26}}{R_{26} + R_{25}} * U_{o1} + \frac{R_2}{R_{26} + R_{25}} * U_o$$

则此时 U_+ 也为高电平。但当 $U_{o1}=+U_z$ 时，积分电路的输出电压 U_o 将随着时间

往负方向线性增长, U_+ 随之减小, 当减小至 $U_+=U_-=0$ 时, 滞回比较器的输出端将发生跳变, 使 $U_{o1} = -U_z$, 同时 U_+ 将跳变为一个负值。以后, 积分电路的输出电压将随着时间往正方向线性增长, U_+ 也随之增大, 当增大至 $U_+=U_-=0$ 时, 滞回比较器的输出端再次发生跳变, 使 $U_{o1} = +U_z$, 同时 U_+ 也跳变为一个正值。然后重复以上过程, 于是可得滞回比较器的输出电压 U_{o1} 为矩形波, 而由于积分电路的充放电时间不等, 故积分电路输出电压 U_o 为锯齿波。如实验结果所示。

可知, 当 U_{o1} 发生跳变时, 锯齿波输出 U_o 达到最大值 U_{om} , 而 U_{o1} 发生跳变的条件是: $U_+=U_-=0$, 将条件 $U_{o1} = -U_z$, $U_+ = 0$ 代入可得:

$$0 = \frac{R_{26}}{R_{26} + R_{25}} * (-U_z) + \frac{R_{26}}{R_{26} + R_{25}} * U_{om}$$

由此可得锯齿波输出的幅度为:

$$U_{om} = \frac{R_{26}}{R_{25}} U_z$$

由上式可知, 调节滑动变阻器即可改变锯齿波的输出幅度和频率。

将实验选取的元器件数值代入, 求出信号频率可调频率约为: 600Hz-2kHz, 可调幅度约为 3-7 V

3.4.2 实验电路

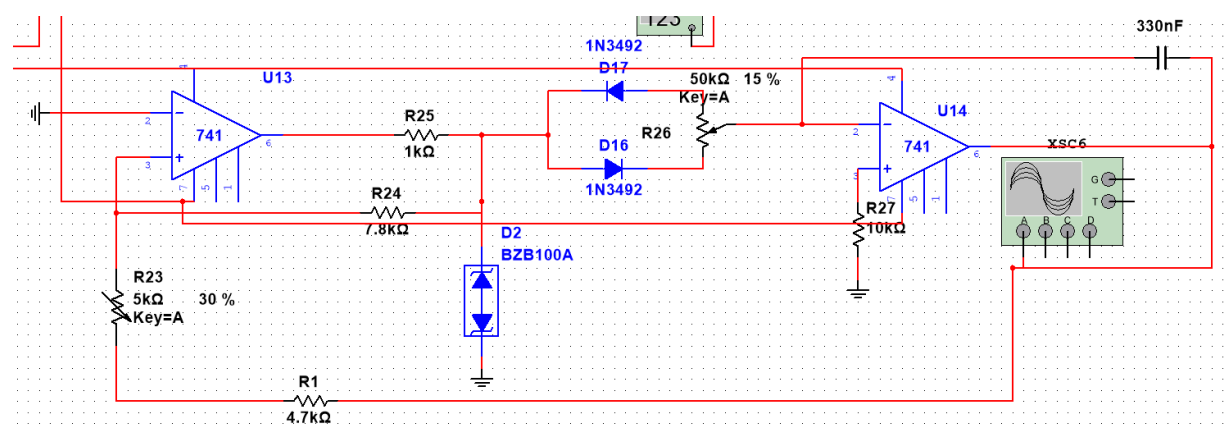


图 29 锯齿波发生器电路图

通过改变 R26 的值可改变示波器中锯齿波的坡度:

当 R26 接近 50%时, 两边电阻的积分速率相同, 变成三角波:

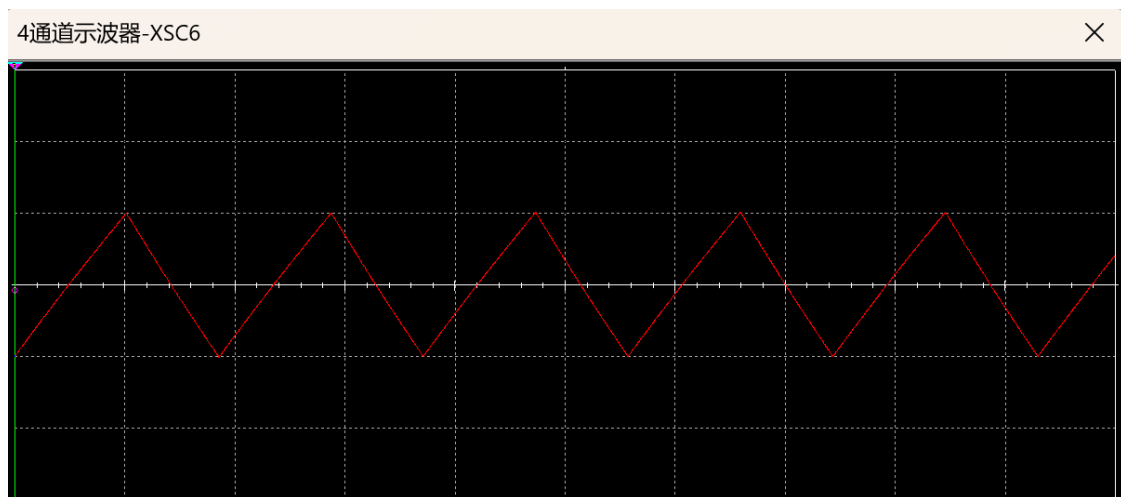


图 30 R26=45%锯齿波输出波形

当 R26=100% 或 0%时，两边电阻的积分速率相差最大，锯齿波的坡度最陡：

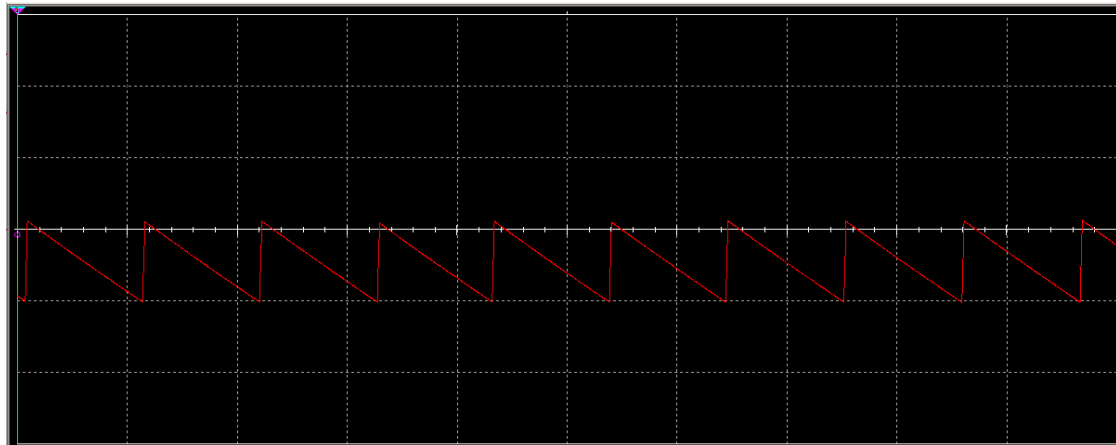


图 31 R26=100%锯齿波输出波形

通过改变 R23 的值可改变示波器中输出锯齿波的幅度：

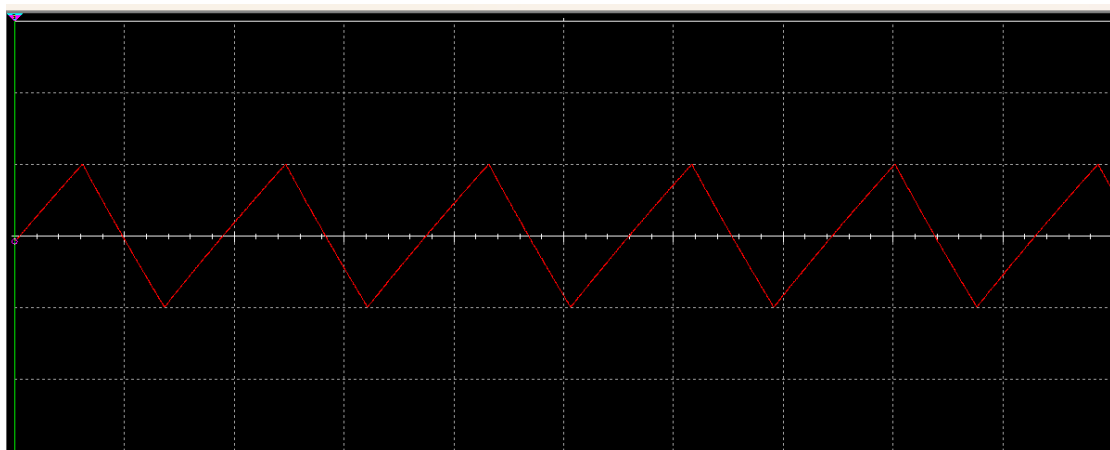


图 32 最大幅度波形

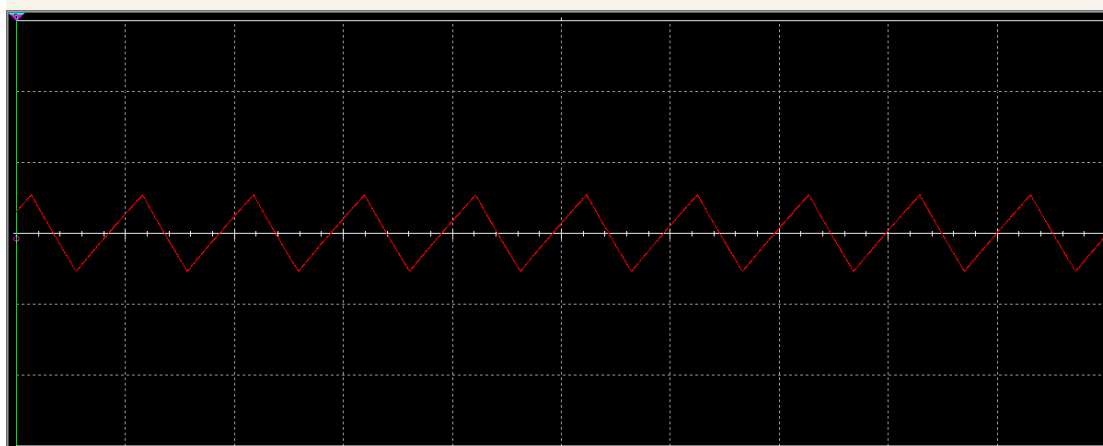


图 33 最小幅度波形

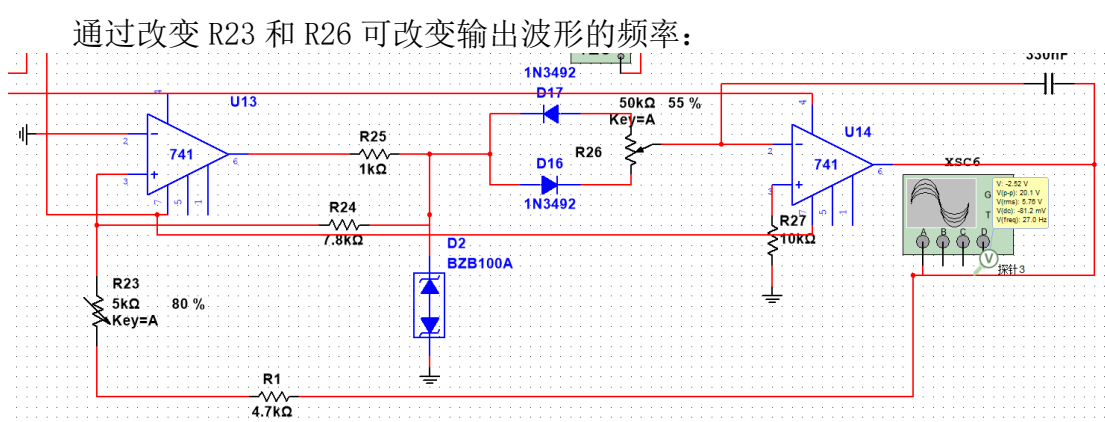


图 34 最低频率时电路图

R23 取 80%的原因：因为 R23 再变大的话，将不会起振，即示波器没有波形

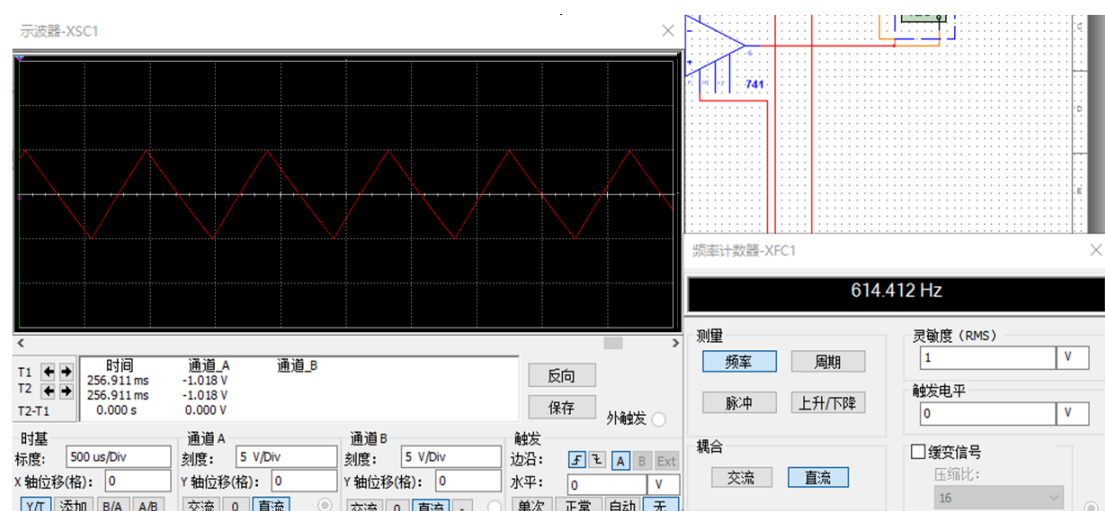


图 35 最低频率及波形图

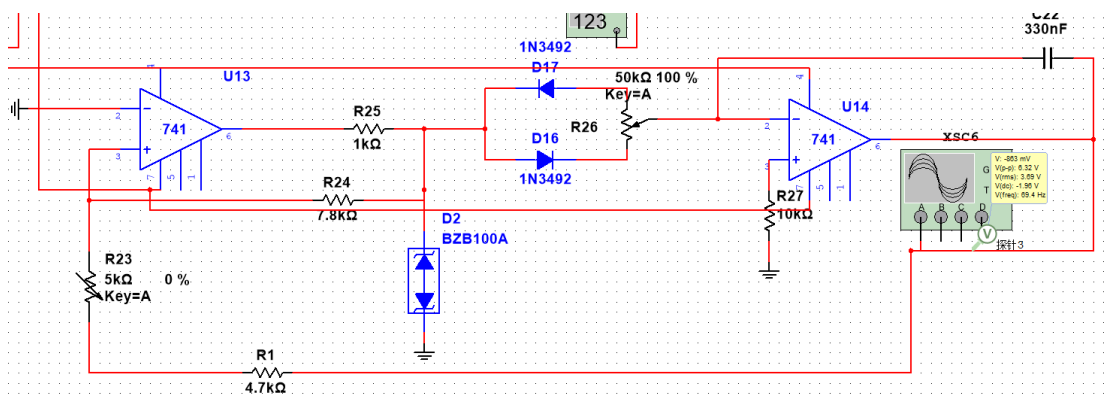


图 36 最高频率时电路图

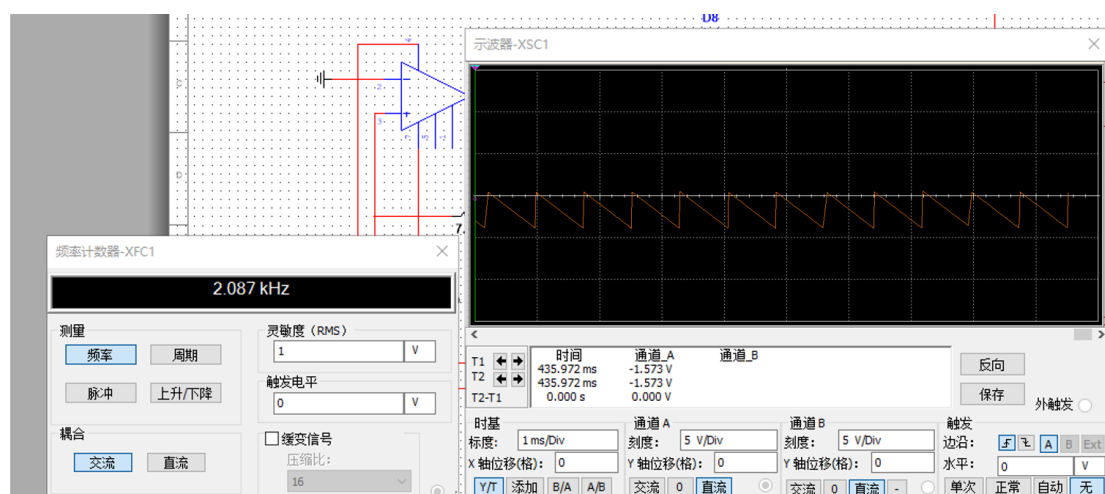


图 37 最高频率及波形图

结论：根据频率计数器可得实际电路输出波形的频率范围大约为 610Hz-2.1kHz, 与 600-2kHz 的理论值相接近, 误差较小; 同时, 由探针测得的输出电压峰峰值近似在 6.28-13.9 V 范围内可调, 与可调幅值的理论值相近。

4 课程设计总结

在本次课程大作业中, 我经历了一个从查阅资料、理论分析, 到软件仿真、数据分析的过程, 我对正弦波、方波、三角波、锯齿波发生电路的工作原理有了更加深刻的理解, 并且初步了解了模拟电路的分析, 仿真以及调试的方法。该电路能产生较理想的可控矩形波信号, 具有低失真、简单实用、调试方便、性能稳定的优点, 各项性能指标均达到了设计要求。

通过这次的从书本理论到软件的实战, 我掌握了常用元件的识别和测试; 熟悉了常用的仪器仪表; 了解了电路的连接方法等等。同时, 也更加熟练运用电路仿真软件 Multisim, 也发现了此软件不完善的地方和相关的操作 BUG。不过, 我真正高兴的是能在一脸茫然的情况下独立绘制调试出正确的电路。当然, 通过这次实验, 我还发现了我许多的不足, 理论知识上仍存在着大量的漏洞, 可能这就是——实践出真知吧。

5 参考文献

- [1]龙胜春, 池凯凯, 等. 电路与模拟电子技术基础教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2018.
- [2]龙胜春, 孙惠英, 等. 电路与电子技术基础实验指导[M]. 北京: 清华大学出版社, 2015.
- [3]赵全利, 王霞, 等. Multisim 电路设计与仿真: 基于 Multisim14.0 平台[M]. 北京: 机械工业出版社, 2021.
- [4]吕波, 王敏, 等. Multisim14 电路设计与仿真[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016.
- [5]张新喜, 许军, 等. Multisim14 电子系统仿真与设计[M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2017.
- [6]孙宇. 基于 Multisim 的多功能信号发生器的设计与仿真[J], 科技致富向导, 2015,15:196-197.