

近代物理实验报告——电路综合实验

物理 4+4 胡喜平 U201811966 hxp201406@gmail.com <https://hxp.plus/>

摘要：本次实验主要是设计具有各功能的电路，掌握电路的工作原理和调试方法，组装电路。

关键词：滤波器、运算放大器、信号产生电路、加减法运算电路、微积分运算电路

一、引言

【实验目的】

- 设计一个中心频率在 100 kHz 的带通滤波器，测量传递函数，比较电阻对实验结果的影响。
- 测量运算放大器的输入失调电压，输入失调电流，开环电压放大倍数，共模抑制比。
- 设计一个电路，输出为 $U_O = 0.5U_{i1} + 0.5U_{i2} - U_{i3}$ ，输入五组输入电压验证。
- 搭建积分运算电路，输入 1 kHz 的方波信号，记录输入输出波形，在不同频率下比较连接和不连接 R_f 有何不同。
- 搭建微分运算电路，输入 1 kHz 方波、三角波信号，记录输入输出波形，在不同频率下移去 R 和 C_f ，观察波形变化。
- 设计 RC 正弦波电路，测量波形，计算频率振幅，与设计的振幅频率比较。
- 设计占空比 1/3 的矩形波电路，连线后接入示波器，画出调好的波形图，计算 T_k 和 T ，与设计值相比较。
- 设计矩形-三角波电路，要求占空比连续可调。

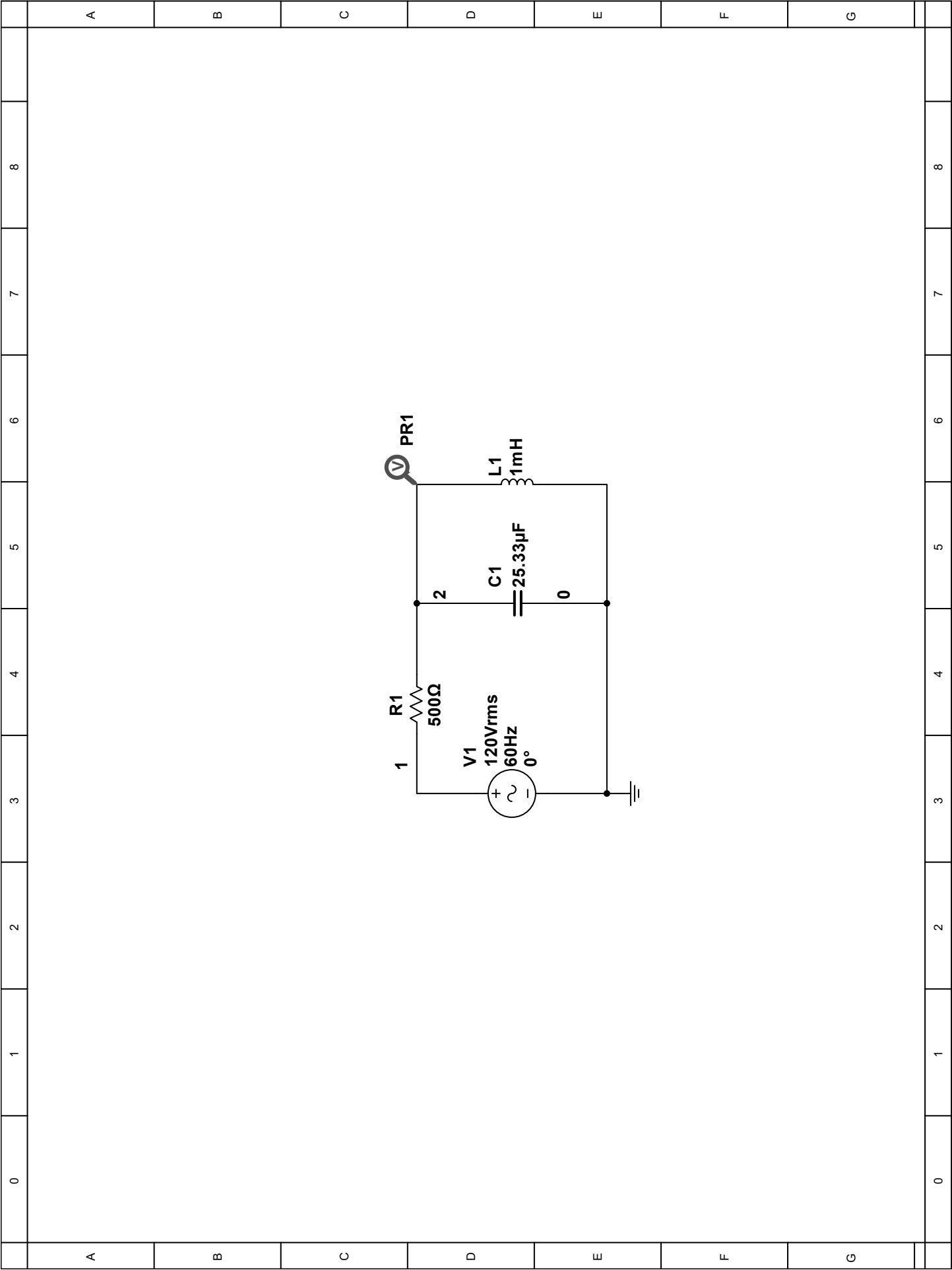
二、实验中的电路设计

在实验开始前，将设计好的实验电路进行计算机模拟是一个很好的选择。计算机模拟能初步检验电路设计是否出现了问题，并且节约实验现场调试电路问题花费的时间和材料。以下是我设计的电路和在计算机中模拟运行的结果。实验中大致应当出现这些模拟出来的现象。

之后的按照先后顺序分别是：带通滤波器、加减法电路、积分电路、微分电路、RC 正弦波电路、矩形波电路、矩形-三角波电路

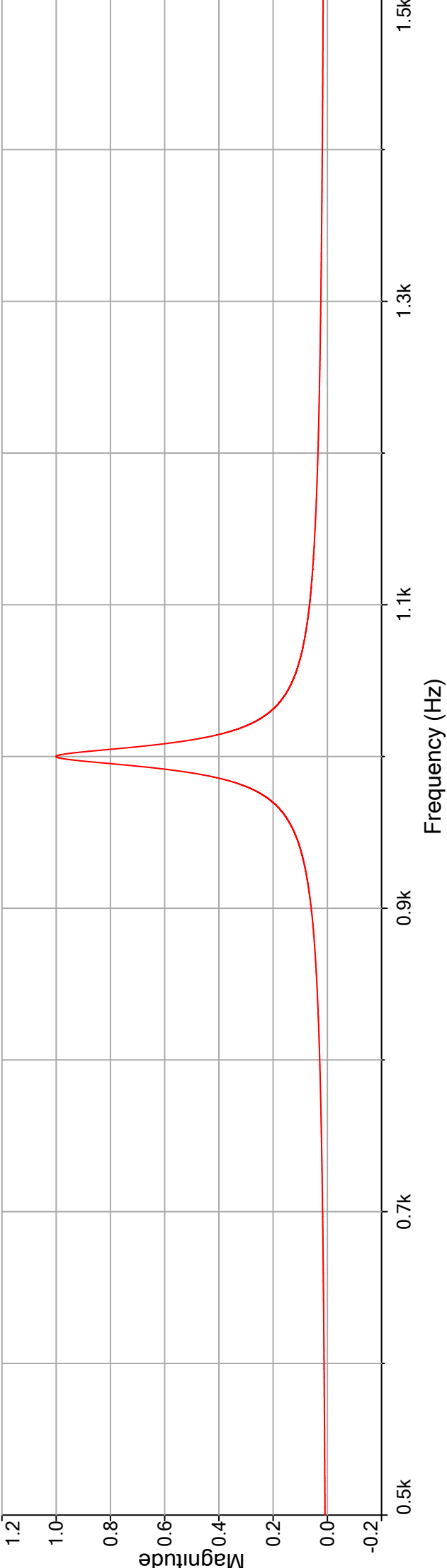
所有的电路图均有 ms14 格式的源文件，详见附件

我也保存了一份在 GitHub 上，地址为：<https://github.com/hxp-plus/Notes/tree/master/Physics-Experiment/实验报告/电路设计>

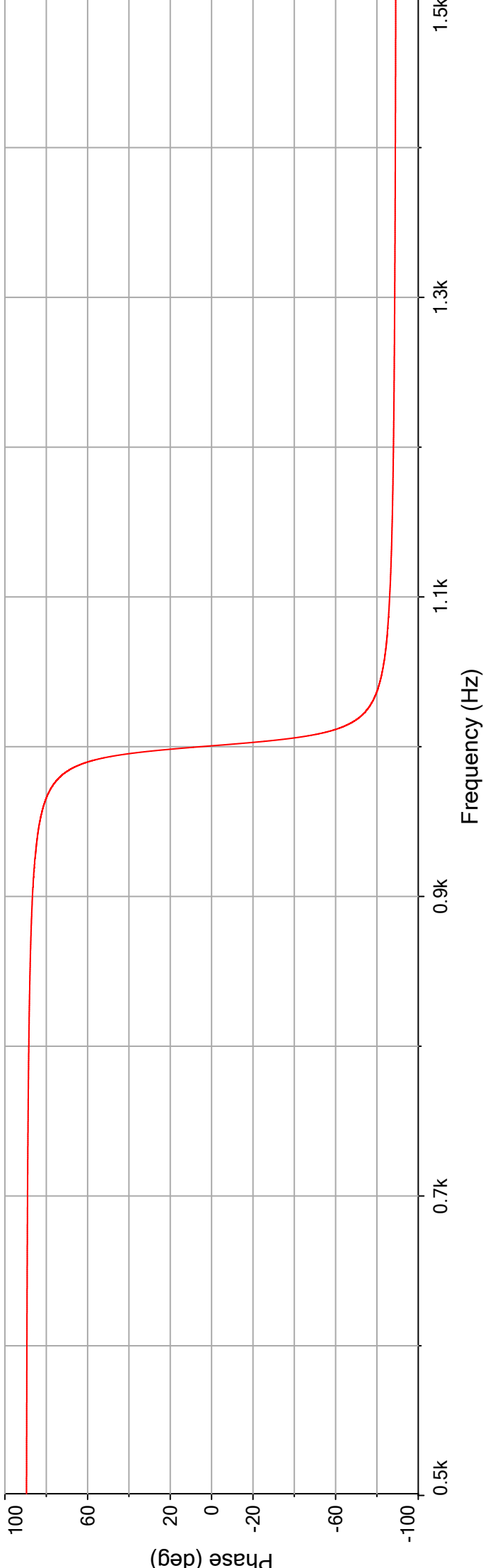


Design1

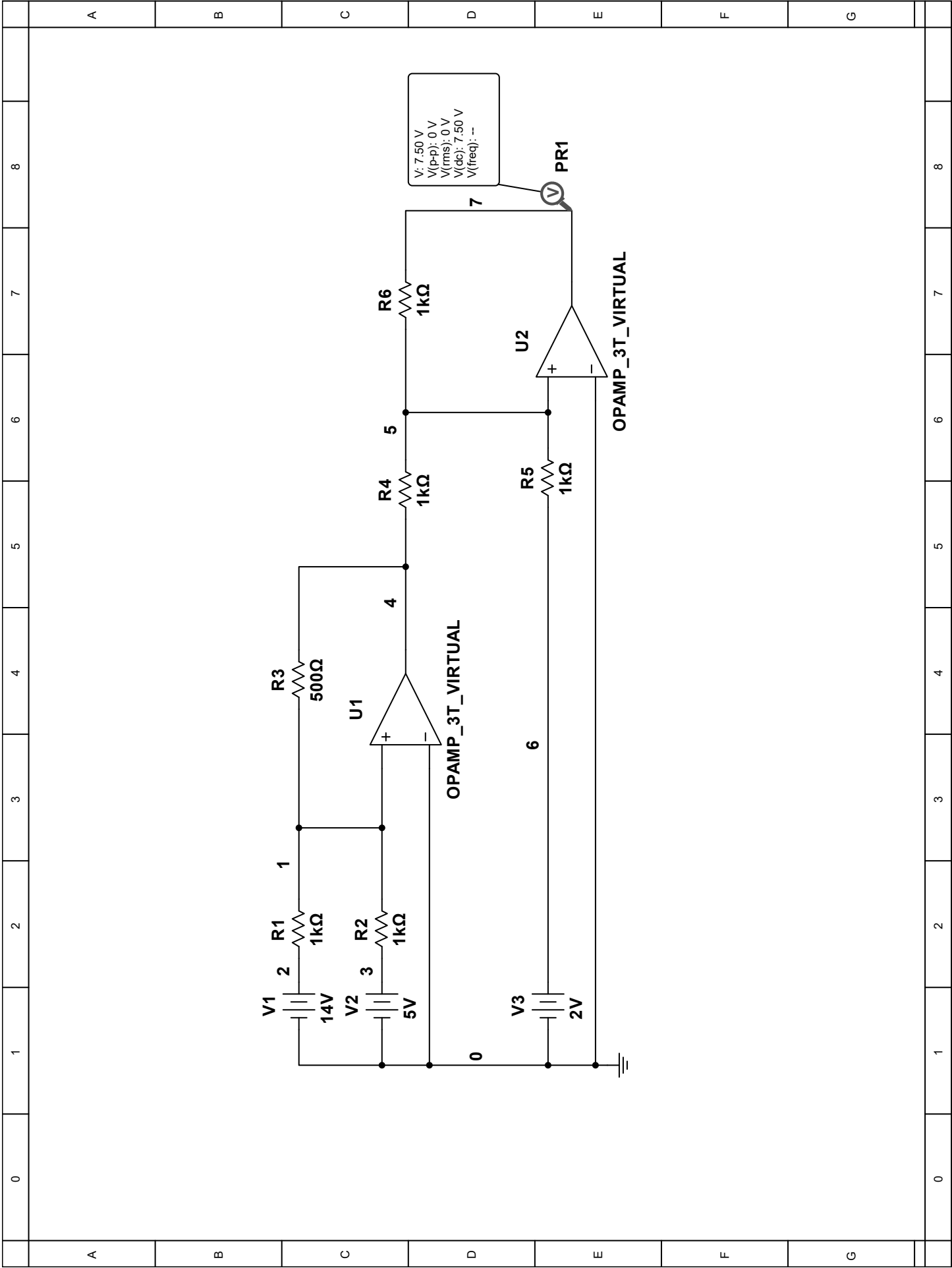
AC Sweep

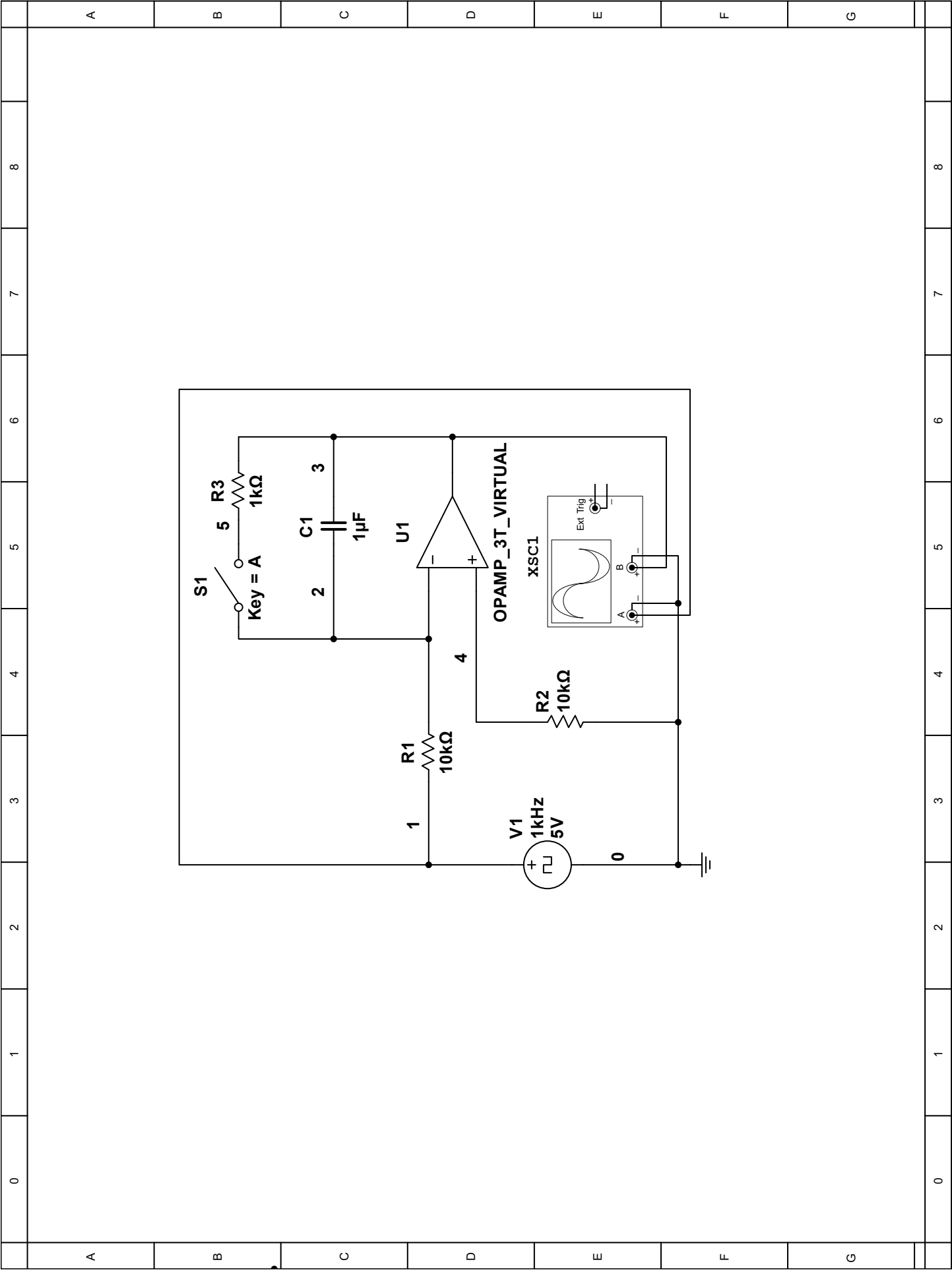


☒ $\frac{V(2)}{V(PR1)}$



☒ $\frac{V(2)}{V(PR1)}$





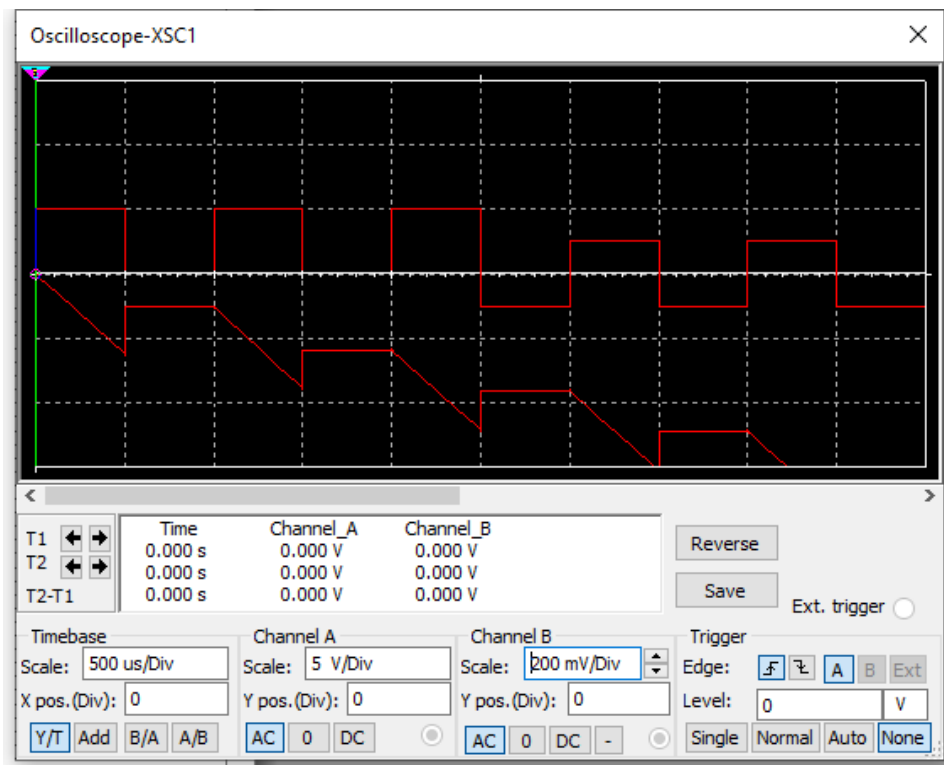


图 1: 积分电路无 R_f

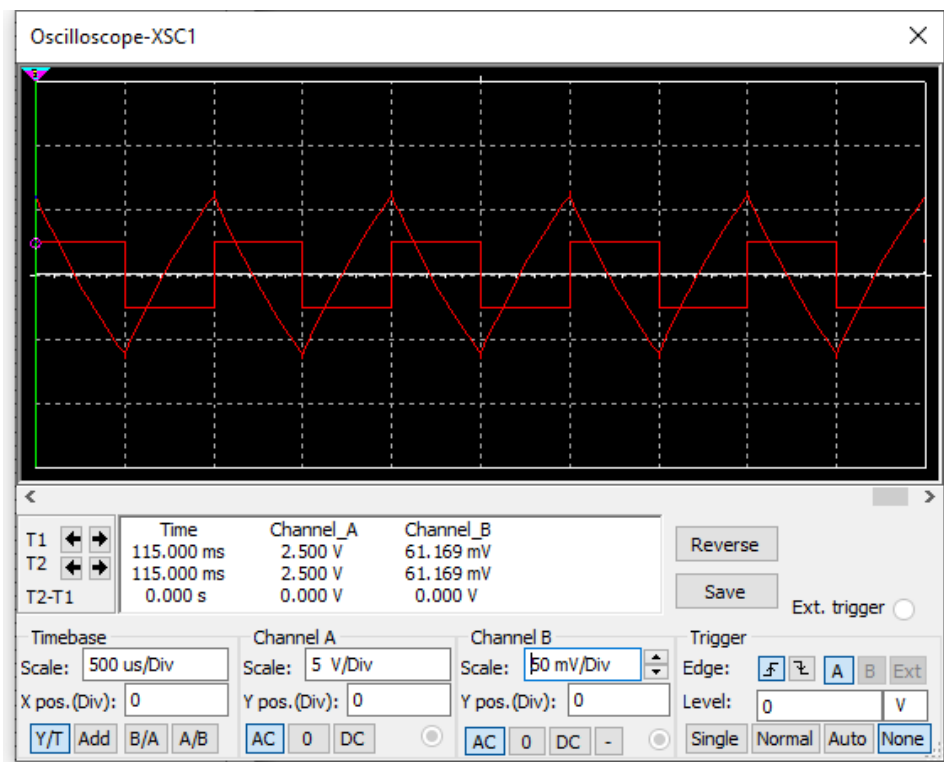
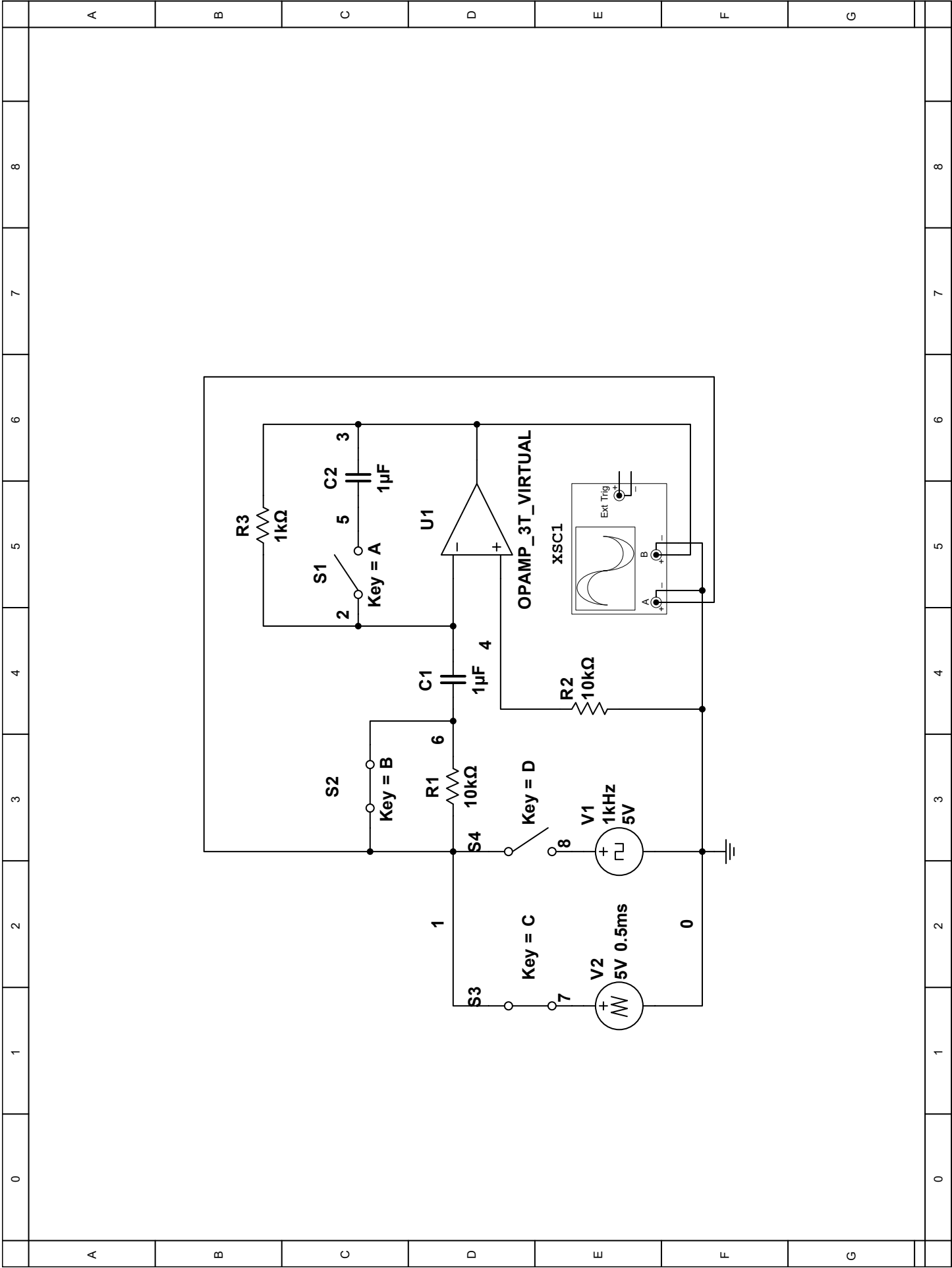


图 2: 积分电路有 R_f



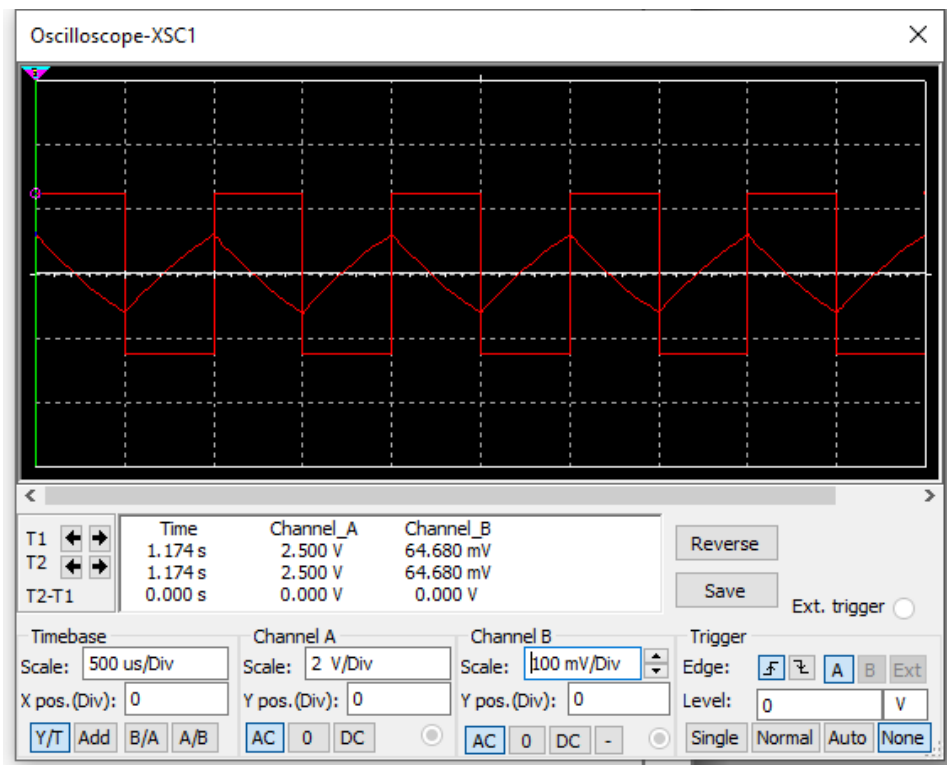


图 3: 微分电路方波有电阻有电容

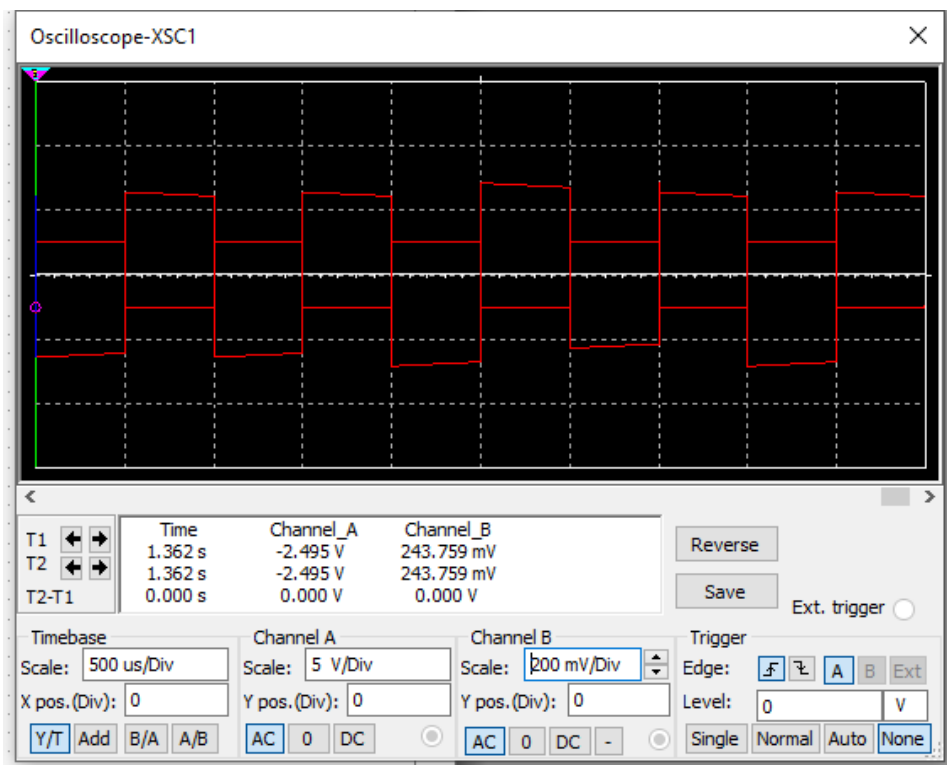


图 4: 微分电路方波有电阻无电容

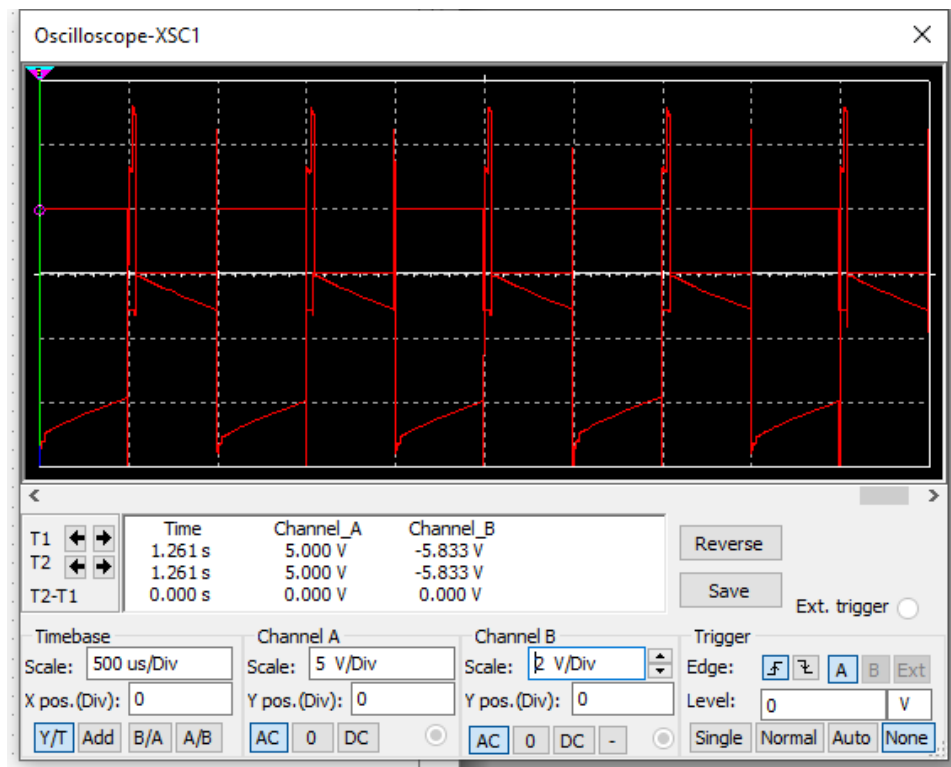


图 5: 微分电路方波无电阻有电容

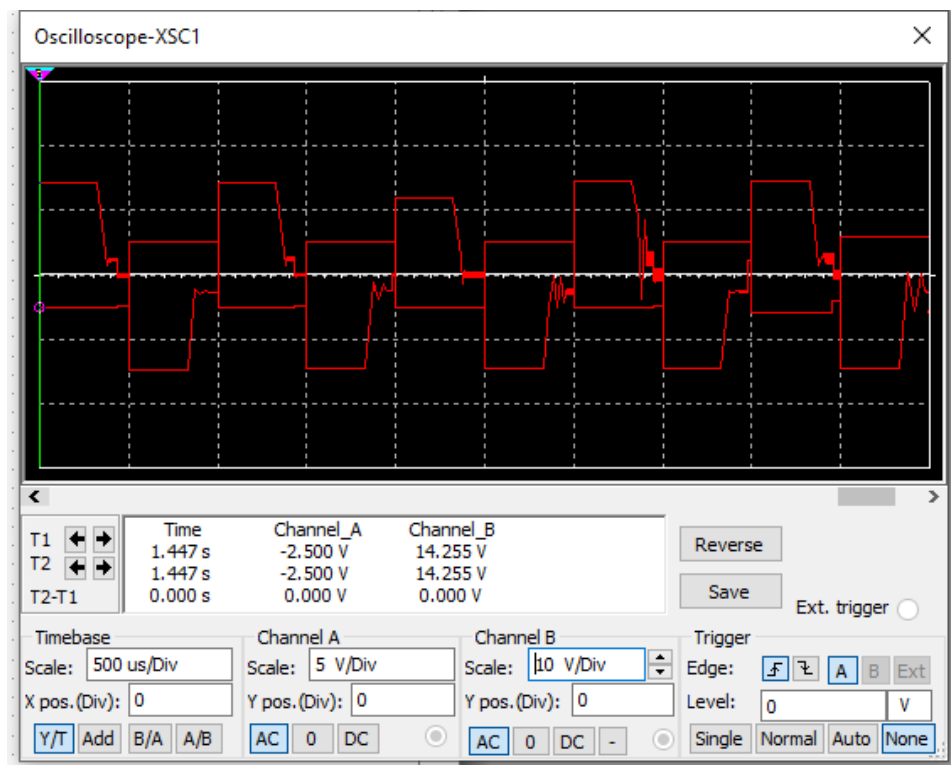


图 6: 微分电路方波无电阻无电容

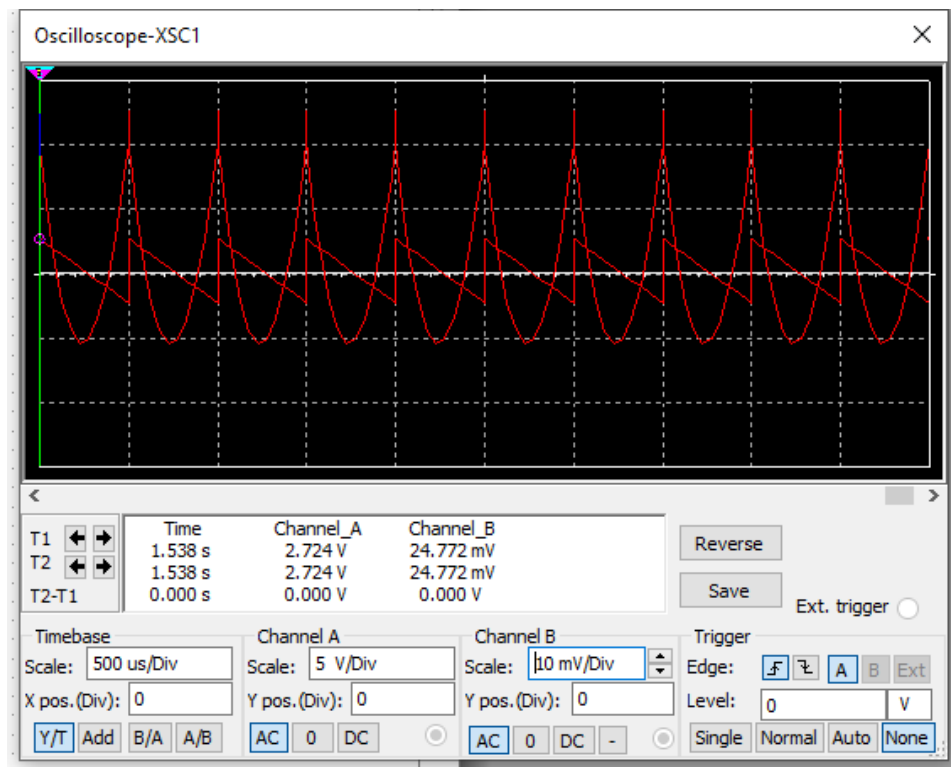


图 7: 微分电路三角波有电阻有电容

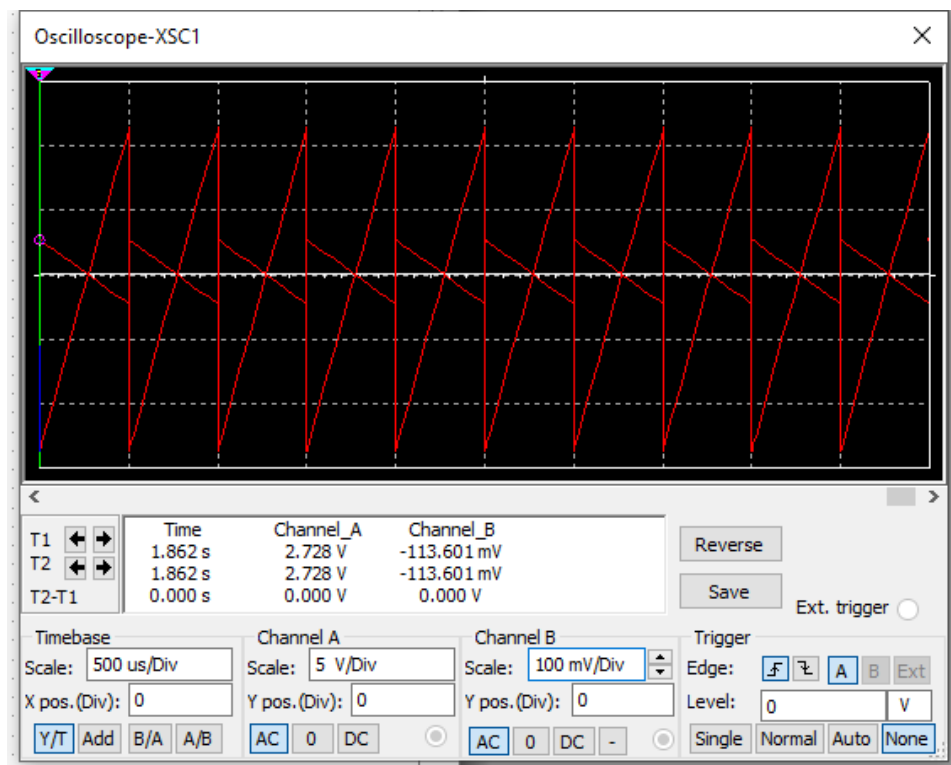


图 8: 微分电路三角波有电阻无电容

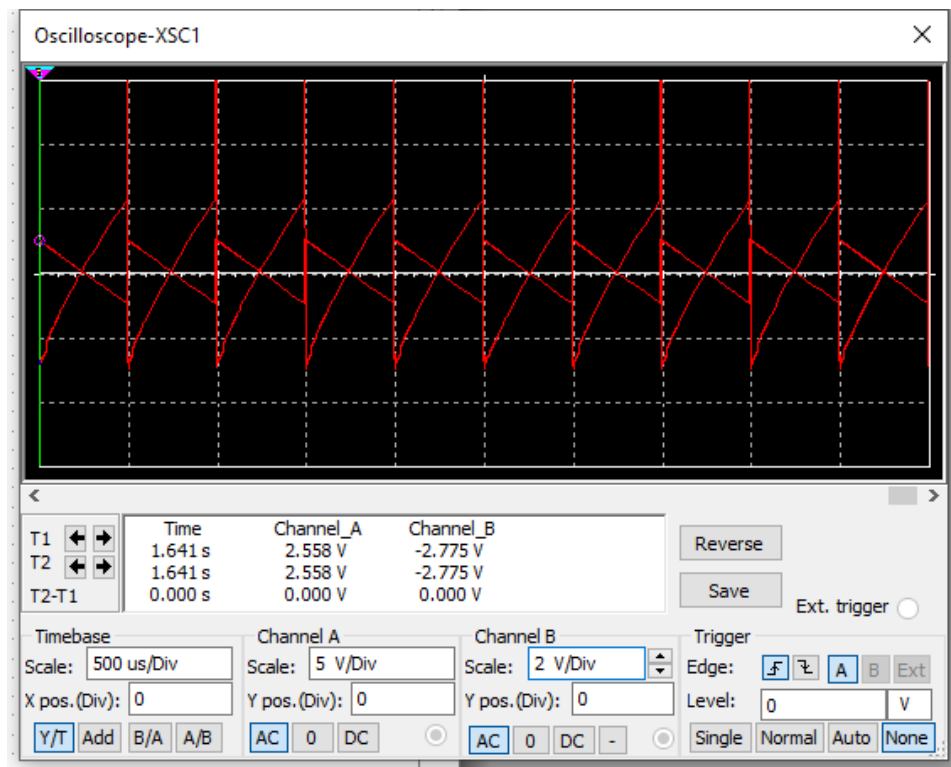


图 9: 微分电路三角波无电阻有电容

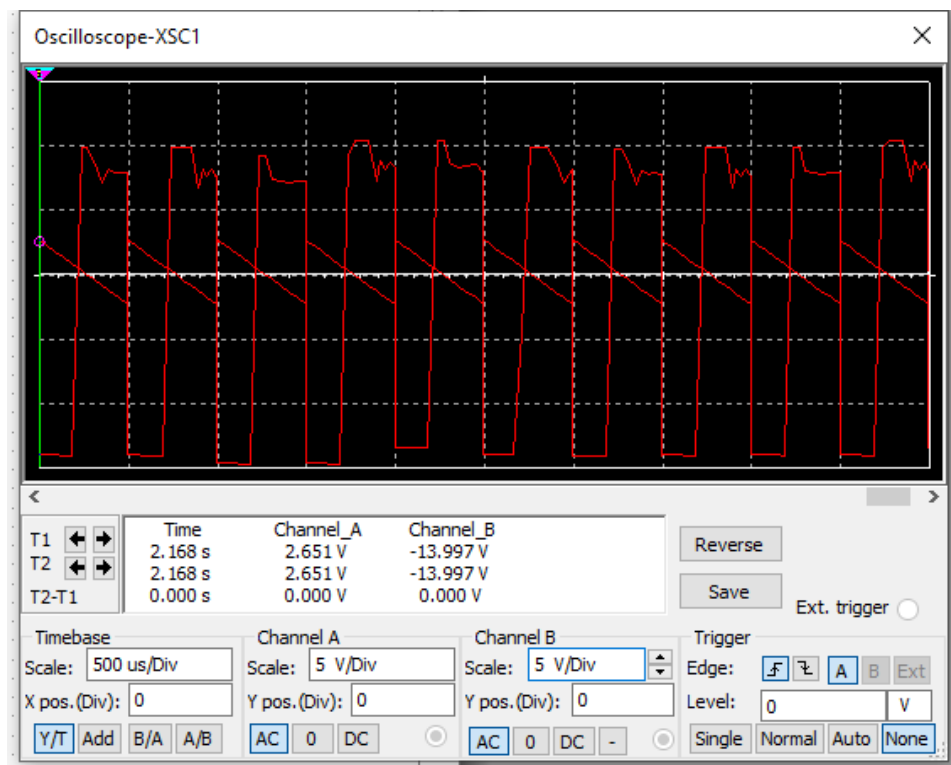
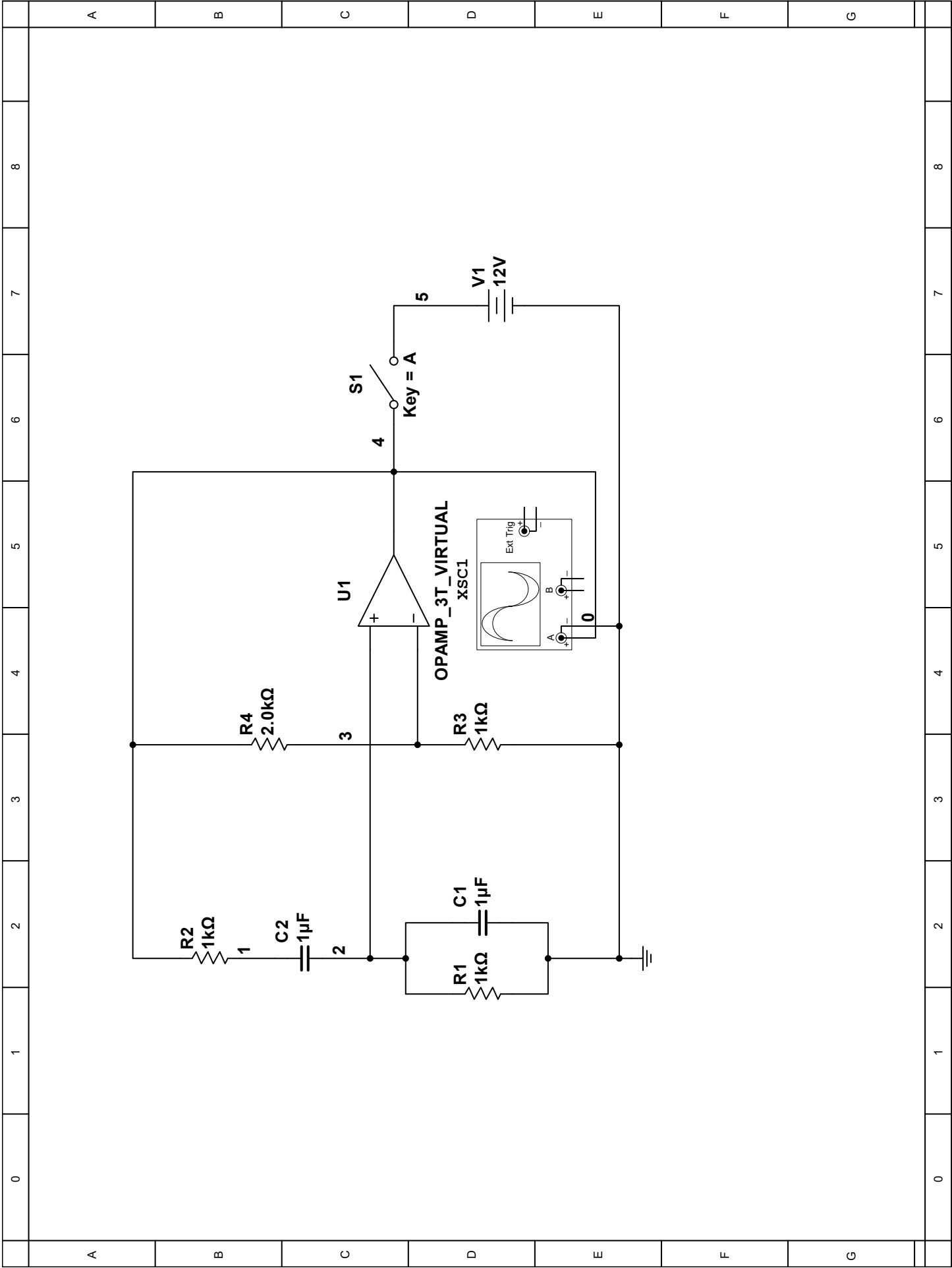


图 10: 微分电路三角波无电阻无电容



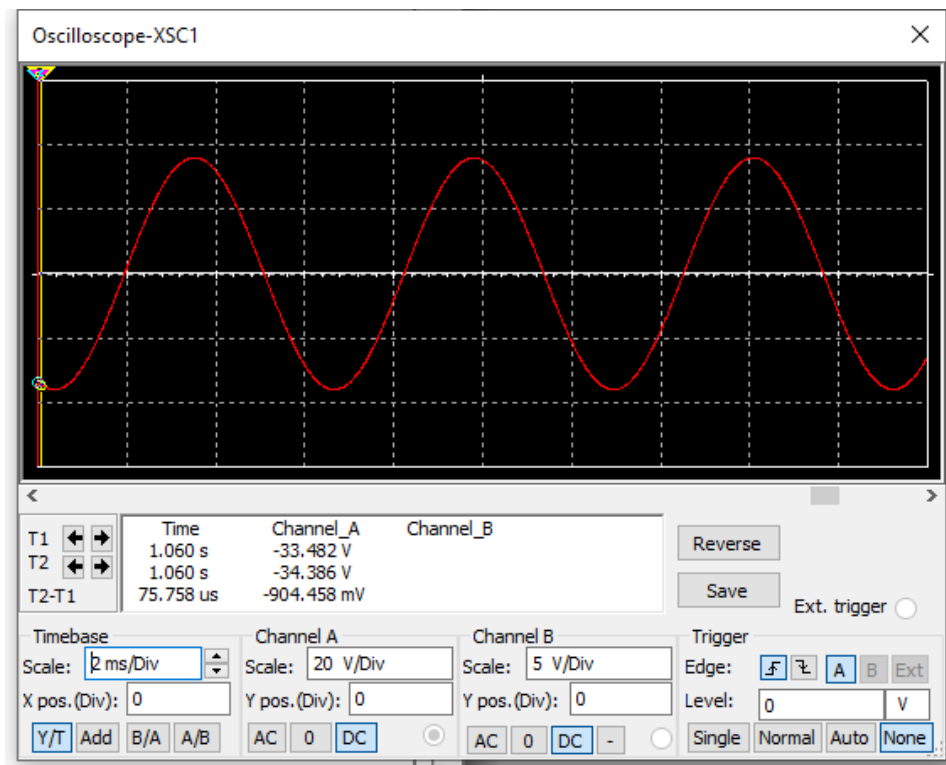
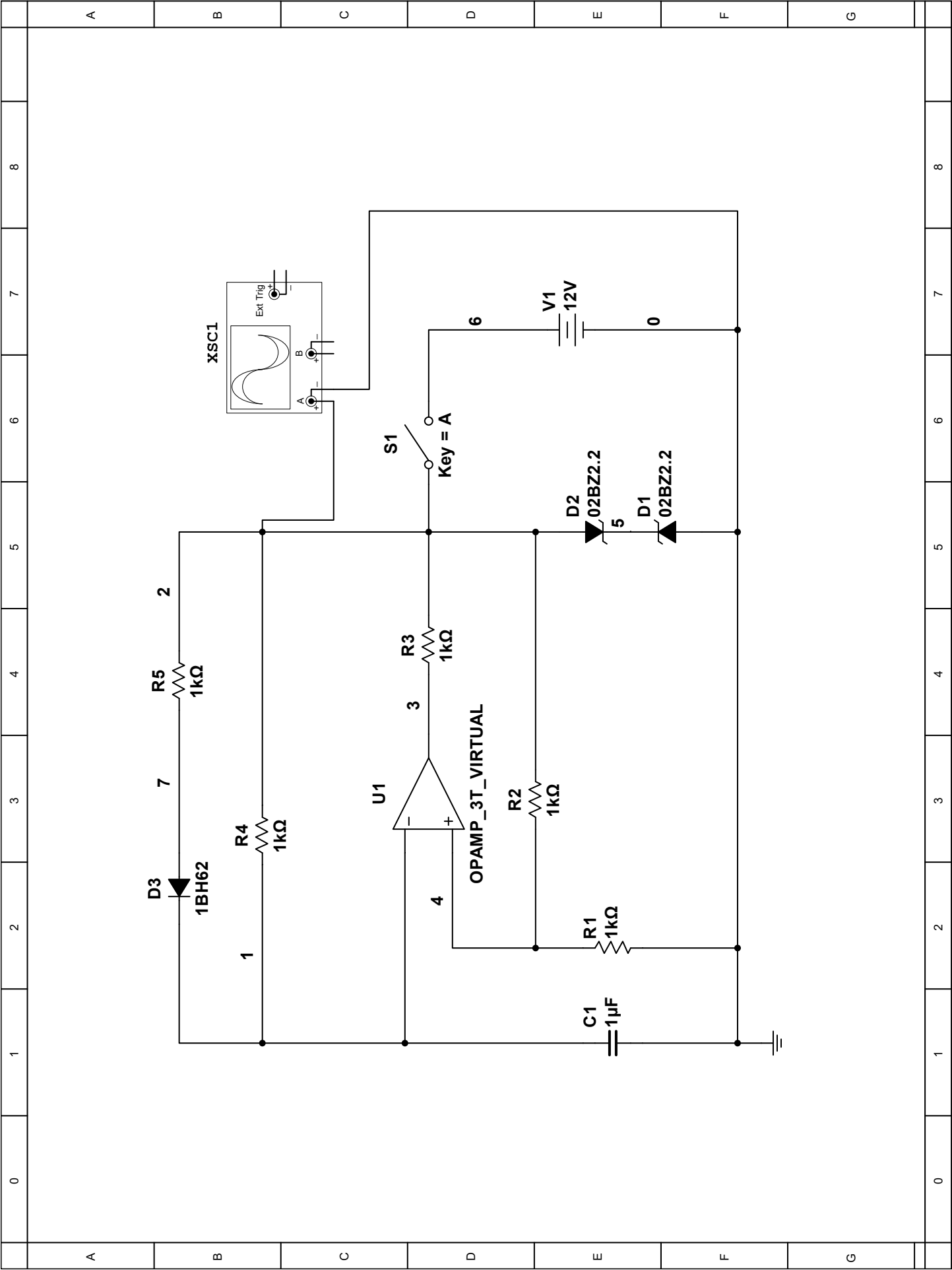


图 11: 正弦波发生器



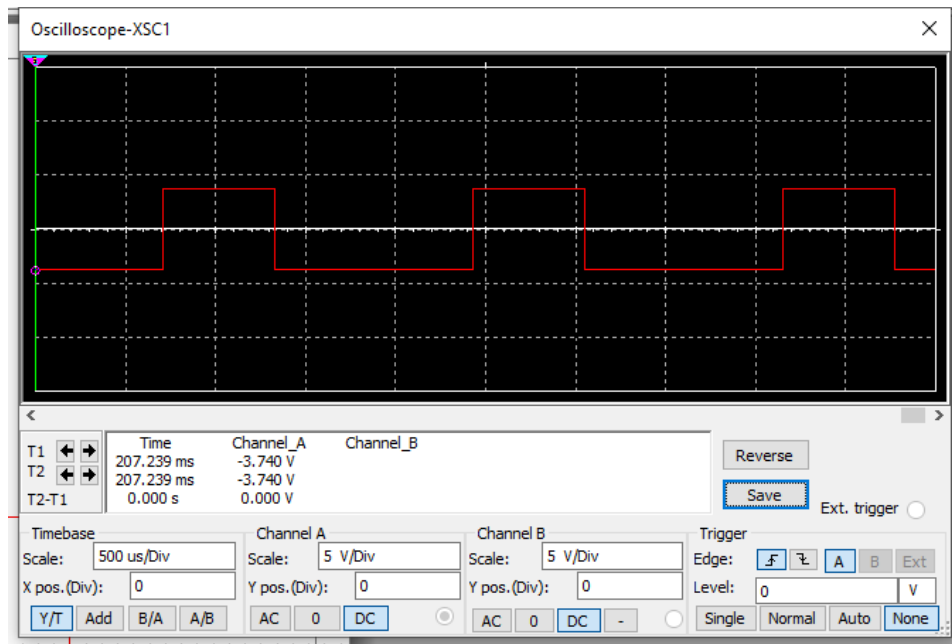
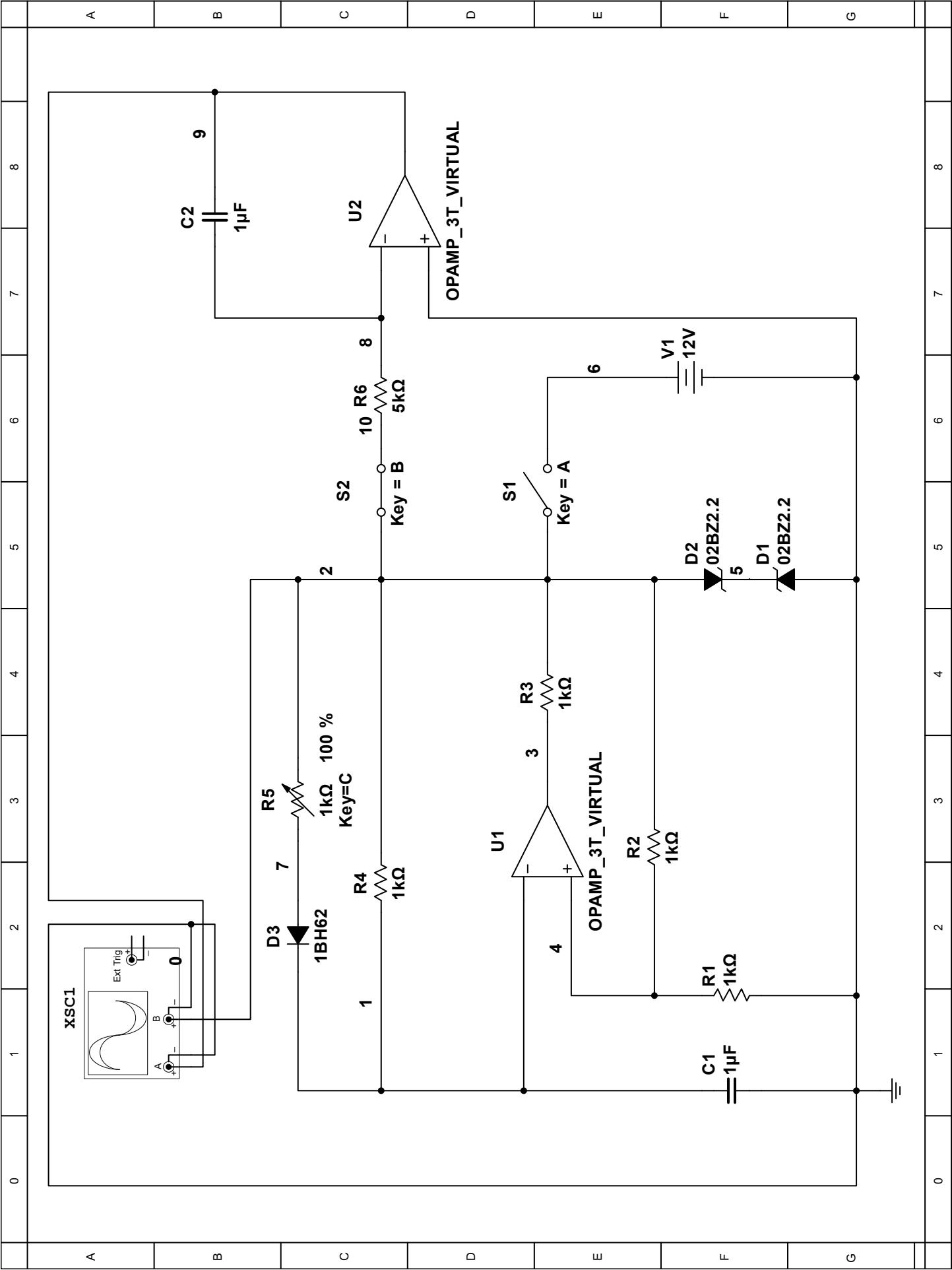


图 12: 矩形波电路



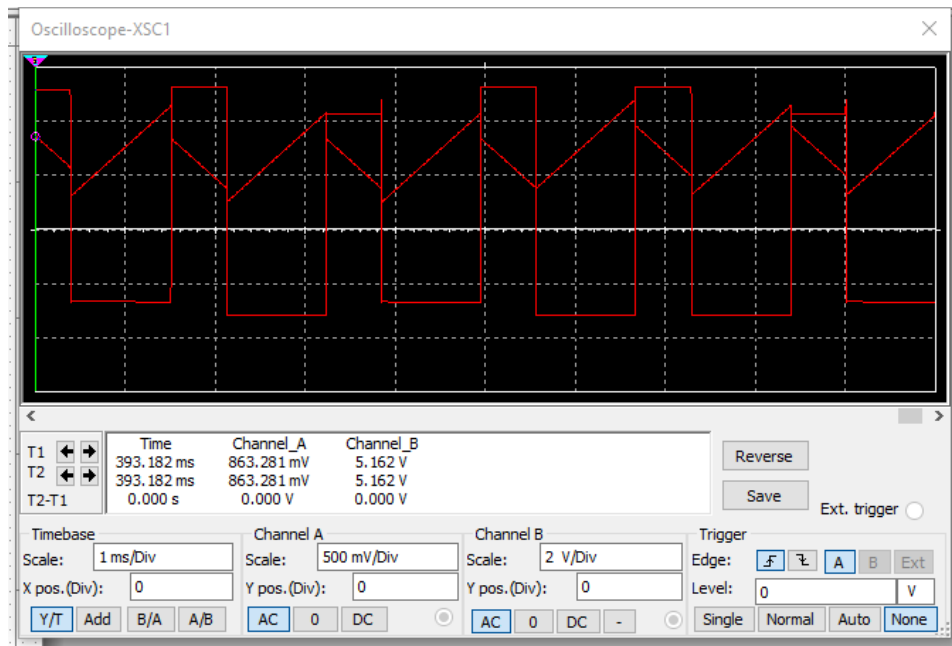


图 13: 矩形-三角波发生电路

三、实验内容与数据处理

【实验结果的分析和结论】

第一个带通滤波器的实验, 我们现场重新设计电路, 电路图还是原来的电路图, 但是电阻换成了 51Ω , 电感换成了 $4.7\mu H$, 电容换成了 $0.68\mu F$, 调整输入信号的频率, 用示波器测量输出电压, 最终绘制图像, 得到如下结果

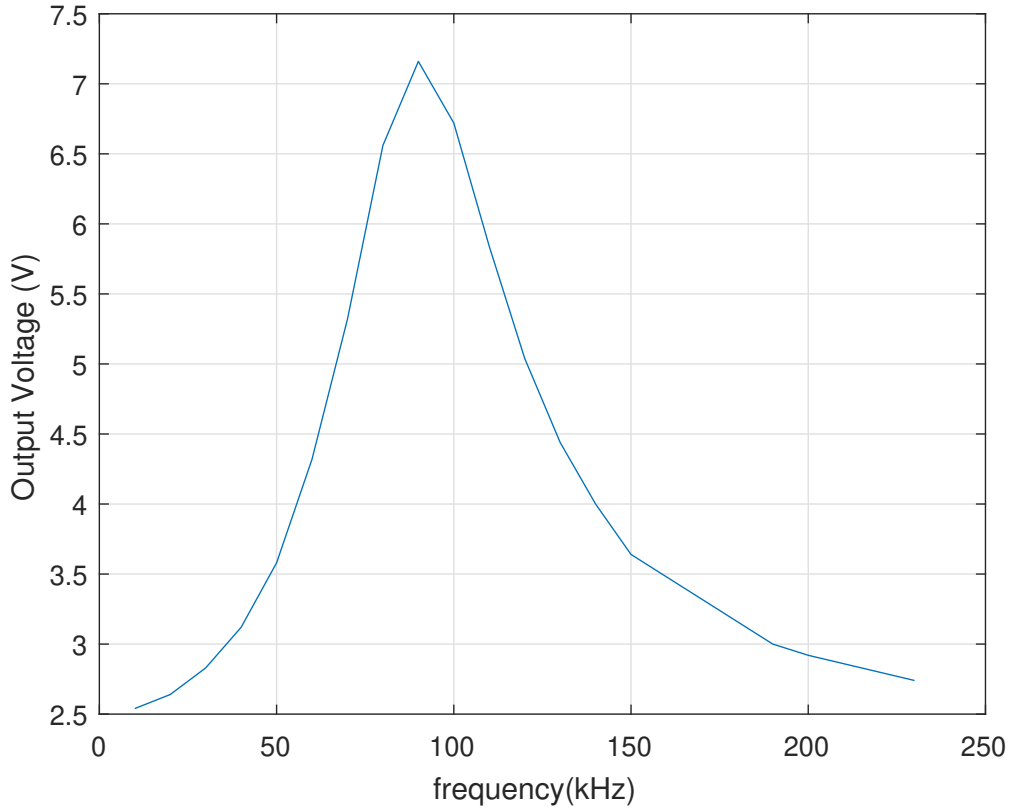


图 14: 带通滤波器输出电压随频率变化图像

理论上图像的峰值应当为 89026Hz , 实际和理论大致相同。

之后是运算放大器失调电压和电流的测量, 测量的时候按照教材上的电路图搭建电路, 当两个开关都闭合的时候, 测得 $U_{O1} = 14.5\text{ mV}$, 两个开关都断开时, 测得 $U_{O2} = 9.5\text{ mV}$, 因此输入失调电压为

$$U_{IO} = \frac{R_1}{R_1 + R_f} U_{O1} = \frac{100}{100 + 10\text{ k}} U_{O1} = 143\text{ }\mu\text{V}$$

输入失调电流为

$$I_{IO} = |U_{O2} - U_{O1}| \frac{R_1}{R_1 + R_f} \frac{1}{R_2} = \frac{100}{100 + 10\text{ k}} \cdot \frac{1}{20\text{ k}} |U_{O2} - U_{O1}| = 2.47\text{ pA}$$

在测量开环放大倍数时, 连接电路后测得 $U_O = 16.2\text{ V}$, $U_I = 1.3\text{ V}$, 因此开环差模电压增益为

$$A_{vd} = \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) \left|\frac{U_O}{U_I}\right| = \left(1 + \frac{100\text{ k}}{100\Omega}\right) \left|\frac{U_O}{U_I}\right| = 12474$$

连接测量共模抑制比的电路，通电后测得 $U_{oc} = 2.12 \text{ V}$ ， $U_{ic} = 2.12 \text{ V}$ ，因此共模抑制比为

$$K_{CMR} = \frac{R_f}{R_1} \frac{U_{ic}}{U_{oc}} = \frac{100 \text{ k}}{1 \text{ k}} \frac{U_{ic}}{U_{oc}} = 100$$

加减法电路我们并没有做出来，但是我们使用万用表检查了下电路，发现这是因为运算放大器不是理想的。理论上运算放大器在闭环工作状态下，同相输入端和反向输入端的电压应当相等，但是我们用万用表测量后发现不相等。

微分电路我们完全按照之前设计的图纸搭建，整个搭建过程中没有出现什么大问题，下面是实验中得到的输入方波的图像

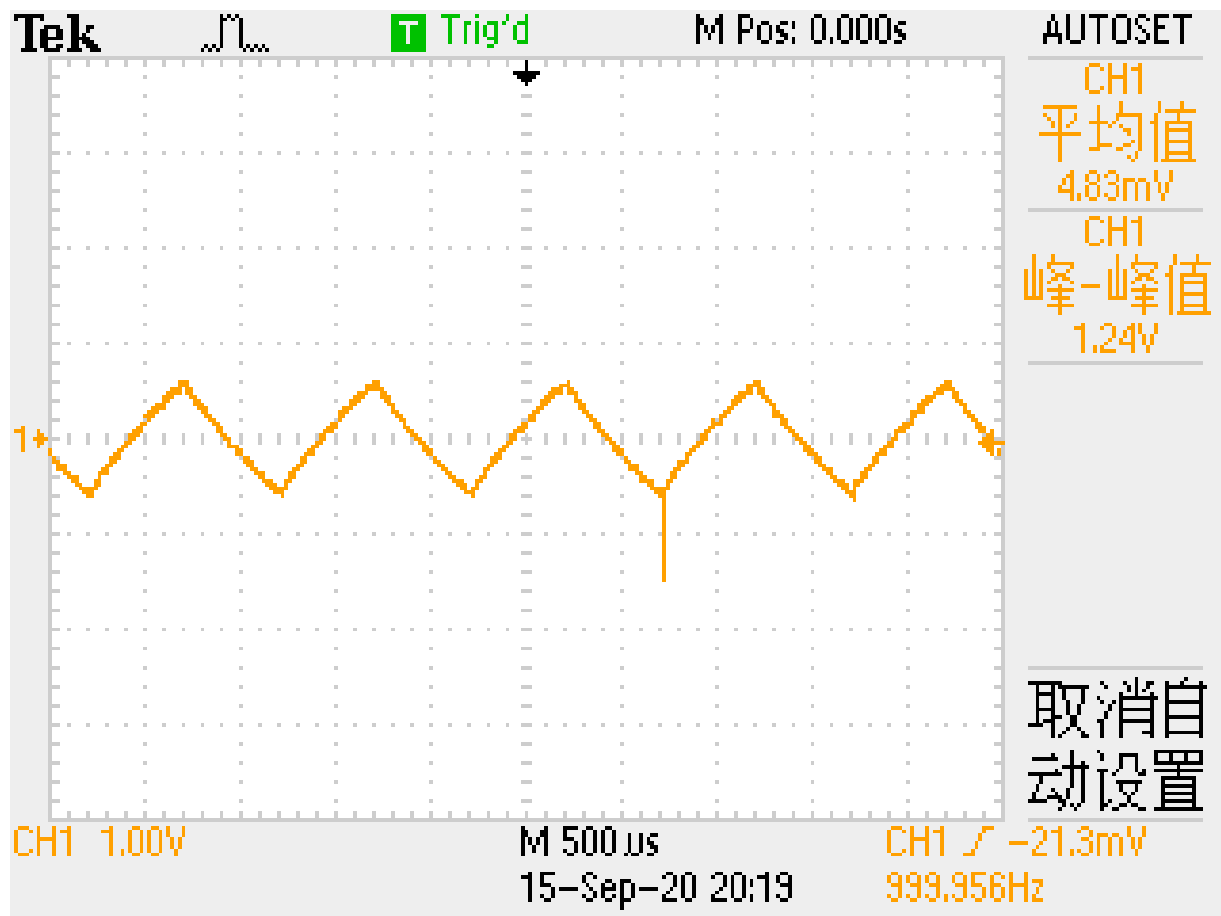
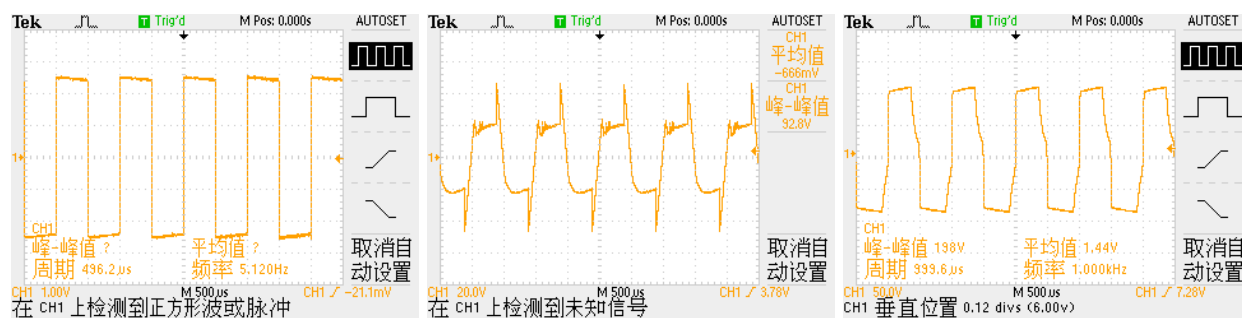


图 15: 微分电路，方波，电阻电容都没有断开



(a) 微分电路，方波，断开电容

(b) 微分电路，方波，断开电阻

(c) 微分电路，方波，断开电容电阻

输入锯齿波得到的图像如下

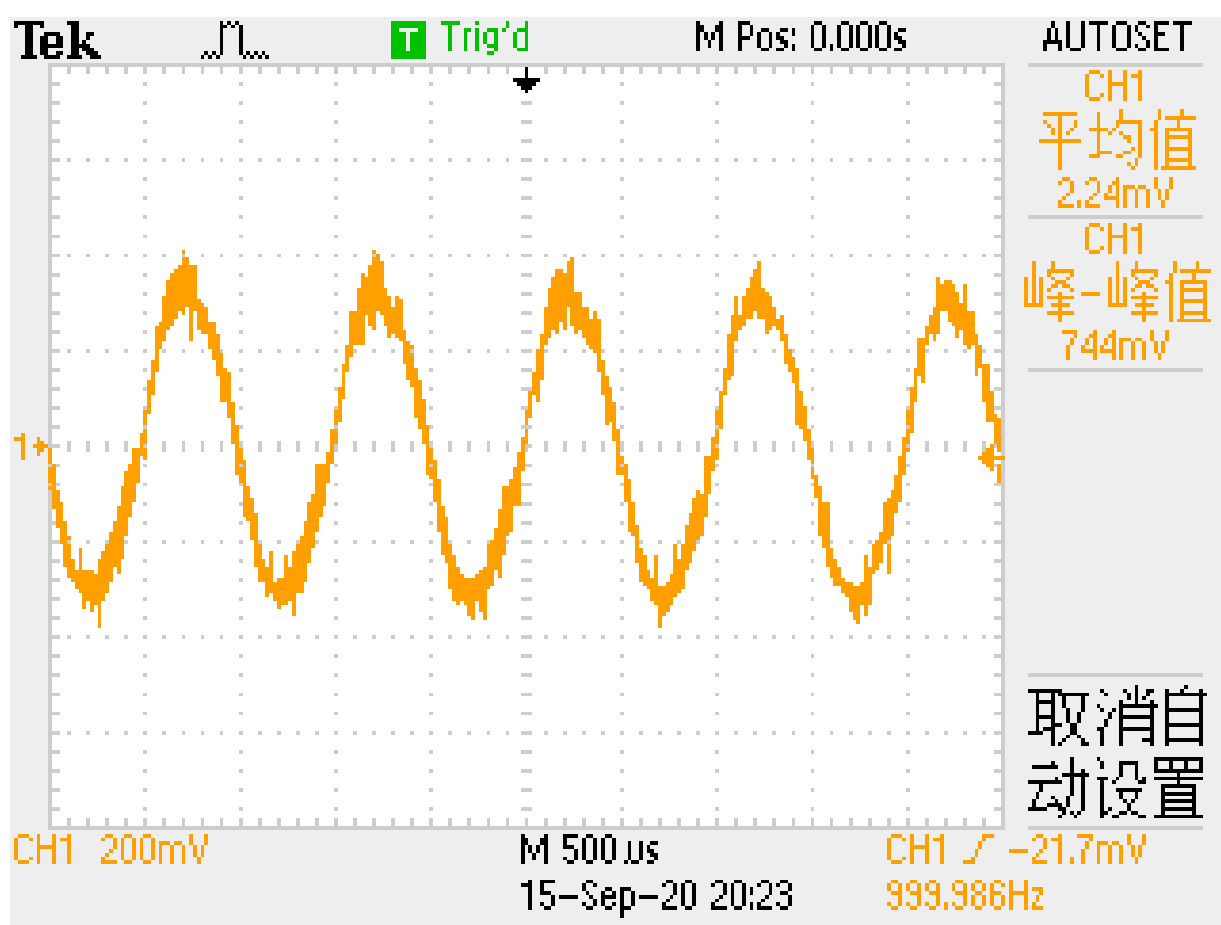
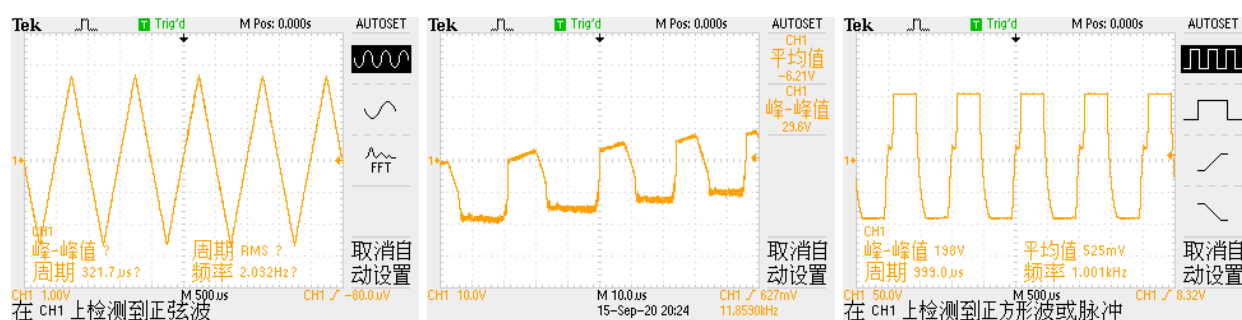


图 17: 微分电路, 锯齿波, 电阻电容都没有断开



(a) 微分电路, 锯齿波, 断开电容

(b) 微分电路, 锯齿波, 断开电阻

(c) 微分电路, 锯齿波, 断开电容电阻

之后是积分电路, 按照之前设计的搭建好后, 有反馈电阻时得到了下面的图像, 没有反馈电阻电路根本没有图像, 示波器只有一条直线。这是因为没有那个电阻电容没有办法正常放电, 电容上的电压只会越来越大, 直至运算放大器达到饱和电压, 从此以后只输出饱和电压。最开始通电的时候应当能看见图像是锯齿波但是在不停地向下移动, 但是交流电频率太高无法捕捉到开始的几个周期, 因为一个周期的时间太短了。

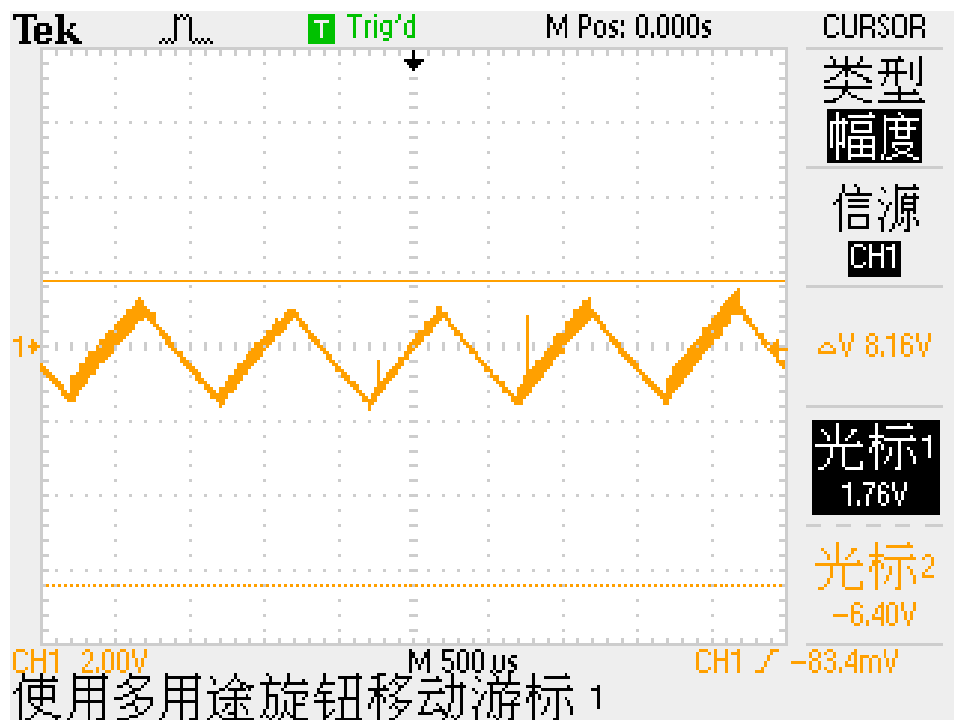


图 19: 积分电路，有反馈电阻，输入方波信号

最后是我设计的 RC 正弦波振荡电路，设计好之后先在输出端通直流电，一段时间后拿掉直流电源，使用示波器测量输出端，测到的图像如下

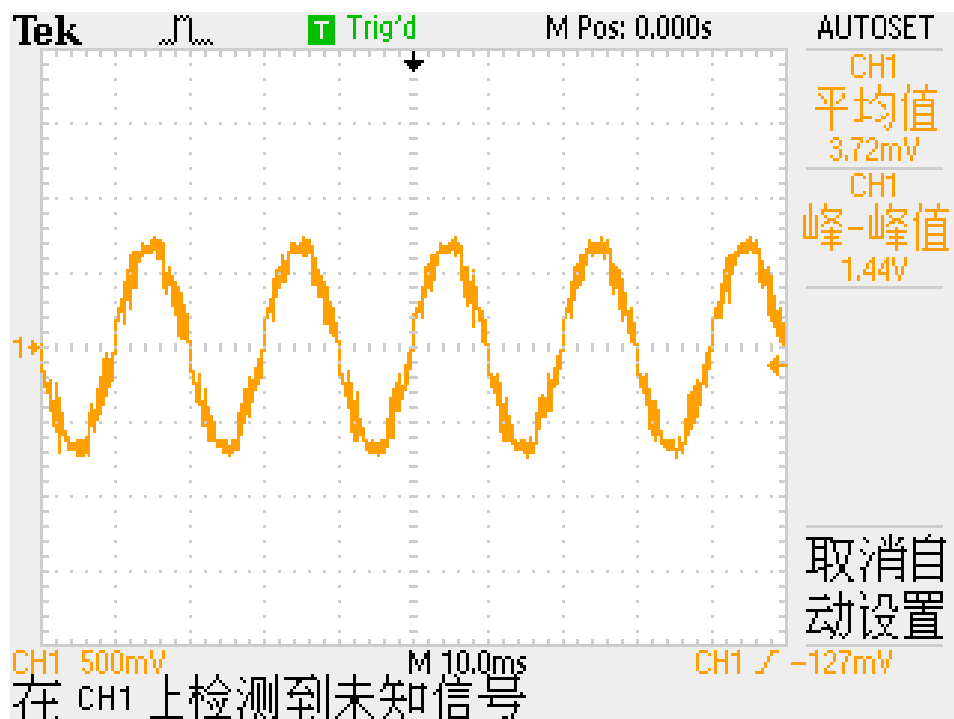


图 20: 正弦波振荡电路测出的示波器图像

【实验中遇到的问题及解决方法】

实验中问题最大的是第一个设计带通滤波器的实验，刚开始我们找了好久电路是不是有问题，然后换了元器件，问题没有解决，又换了几次解决了。可能是实验材料里有一些损坏的元器件。

四、参考文献

近代物理实验讲义