



实验与创新实践教育中心

实验报告

课程名称： 模拟电子技术实验 实验名称： 实验七：波形发生电路

专业-班级： 21级自动化6班 学号： 210320621 姓名： 吴俊达

实验日期： 2023 年 6 月 1 日 评分： _____

教师评语：

助教签字： _____

教师签字： _____

日 期： _____

实验预习

实验预习和实验过程原始数据记录

预习结果审核：_____ 原始数据审核：_____

（包括预习时，计算的理论数据；需要完成预习报告中的仿真部分，可另附一预习仿真报告作为预习报告）

1、方波发生电路

分别求出 $R_f=10k\Omega$ ，以及 $R_f=100k\Omega$ 的 u_o 的周期时间。 $T_1=\underline{2.19ms}$ $T_2=\underline{21.9ms}$

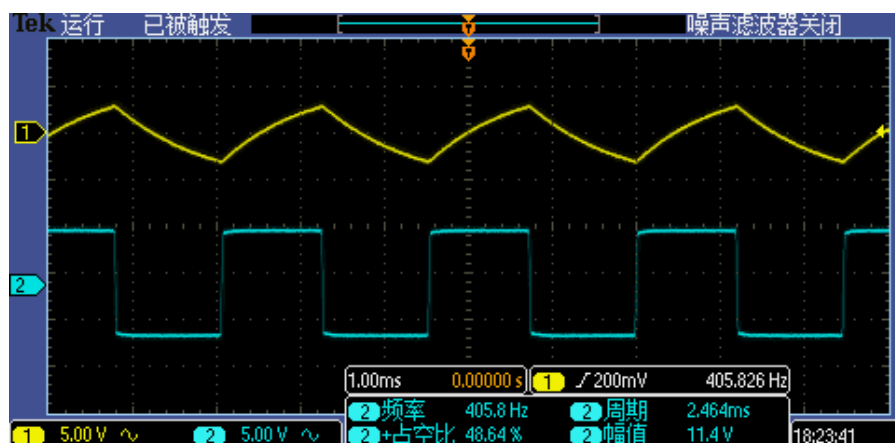
$$T_1 = 2R_f C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) = 2 \times 10^4 \times 0.1 \times 10^{-6} \times \ln 3 = 2.19ms$$

$$T_2 = 2R_f C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) = 2 \times 10^5 \times 0.1 \times 10^{-6} \times \ln 3 = 21.9ms$$

用示波器观测反相端 u_c 和输出电压 u_o 的波形，分别测出 $R_f=10k\Omega$ ，以及 $R_f=100k\Omega$ 的 u_o 的频率、周期时间、幅值、占空比，并记录 $R_f=10k\Omega$ 时的输出波形。

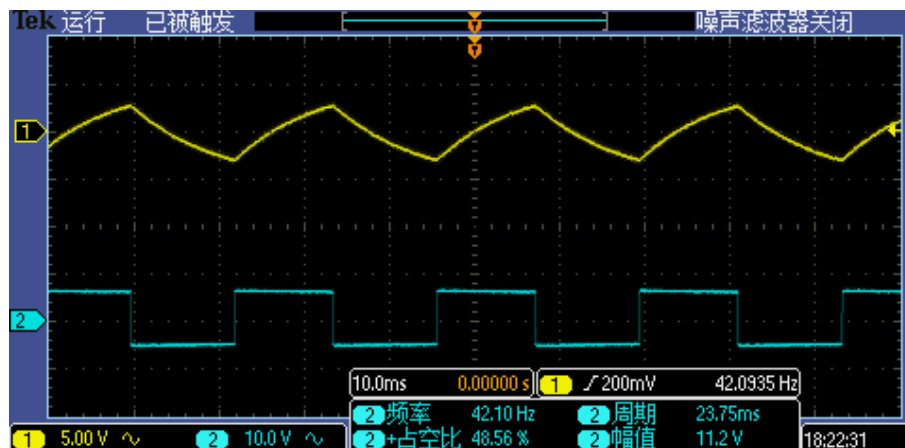
$R_f=10k\Omega$

频率 405.8Hz，周期 2.464ms，占空比 48.64%，幅值 $\pm 5.7V$



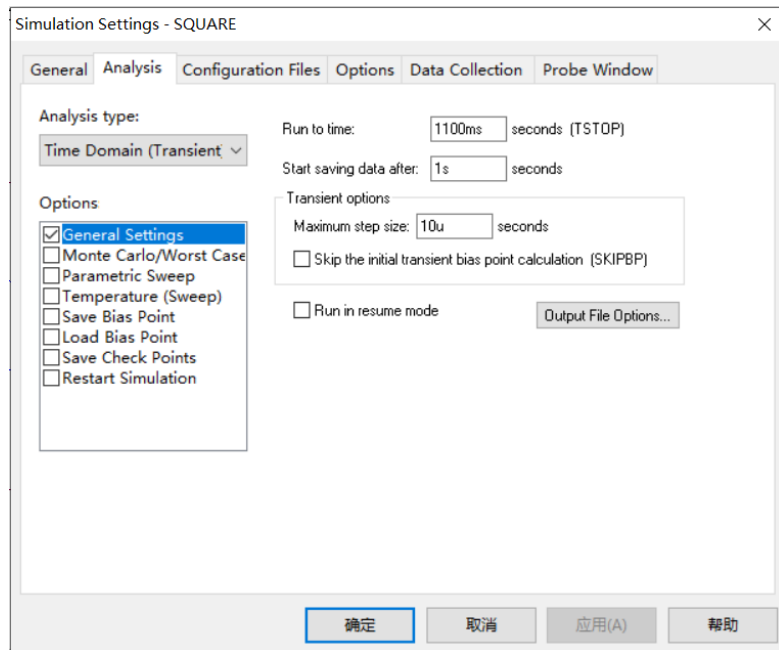
$R_f=100k\Omega$

频率 42.10Hz，周期 23.75ms，占空比 48.56%，幅值 $\pm 5.6V$



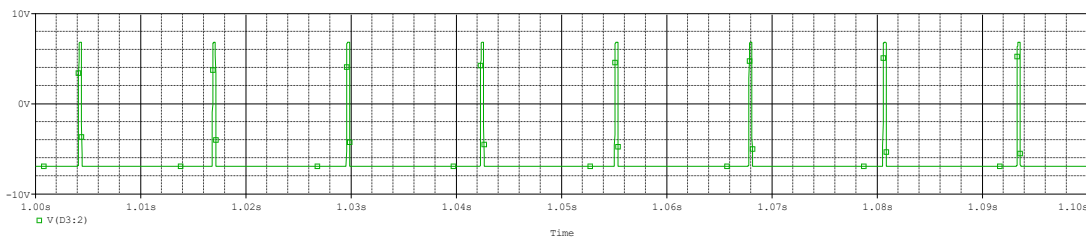
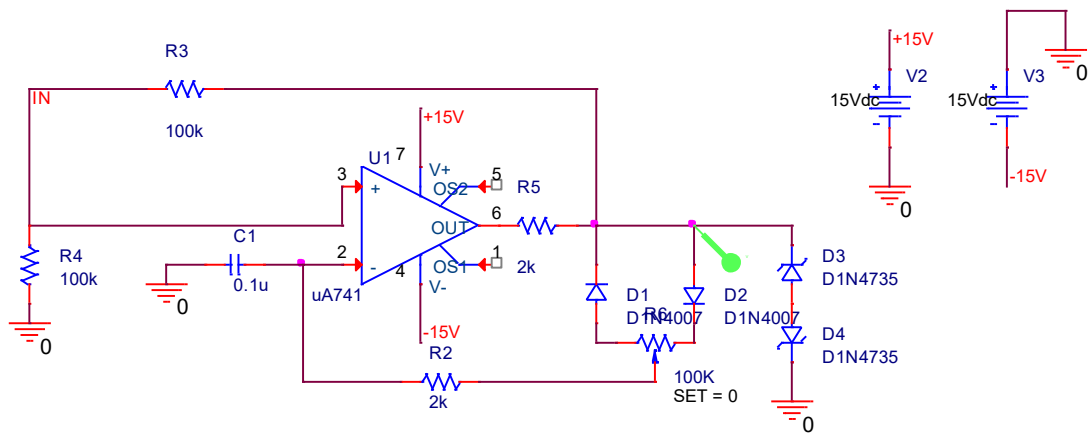
2、占空比可调的矩形波发生电路。

仿真电路图和仿真输出波形图（电位器 R_w 动端 b 点与 a 点电阻为 0）
参数



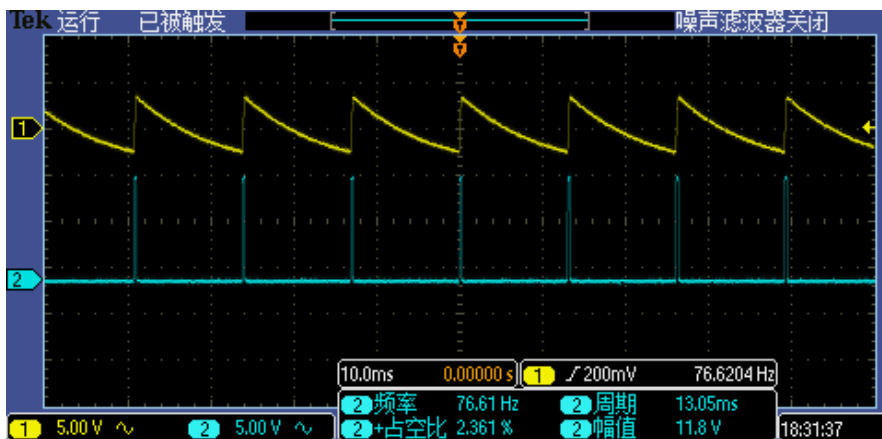
因为 PSpice 的元件库里没有 2DW231，所以用两只稳定电压为 6.2V*的稳压二极管 D1N4735 来代替。

(*实际电路中发现稳定电压可达 6.5-6.8V 左右，这也是导致第 2 个实验电路电阻需要调小些的原因)

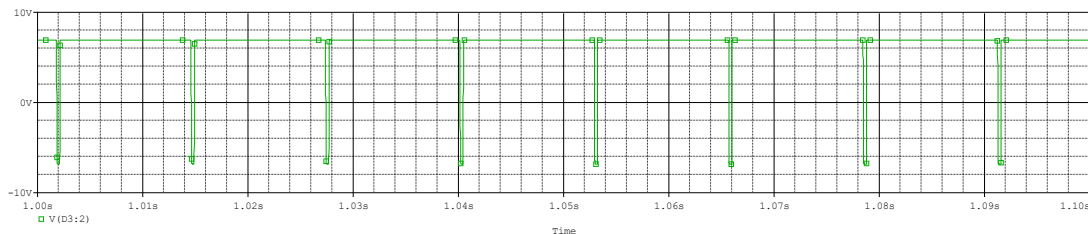
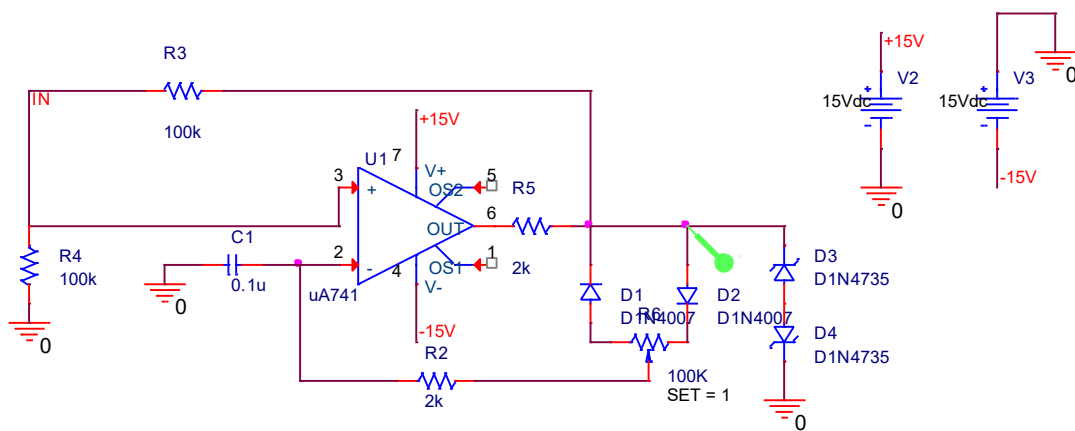


实际测试：

频率 76.61Hz，周期 13.05ms，占空比 2.361%，幅值 ±5.9V

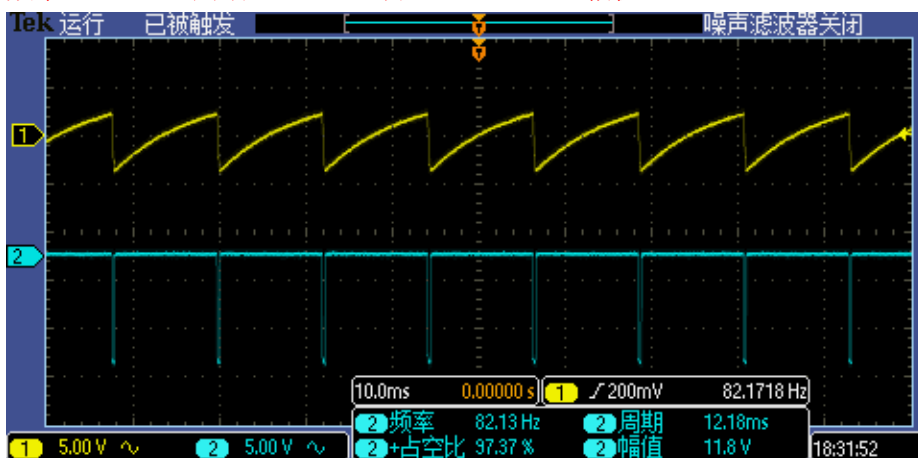


仿真电路图和仿真输出波形图（电位器 R_w 动端 b 点与 c 点电阻为 0）



实际测试：

频率 82.13Hz，周期 12.18ms，占空比 97.37%，幅值 $\pm 5.9V$



调节电位器，幅值在 $\pm 5.7V \sim \pm 5.9V$ 范围内变化，周期在 12ms-13ms 变化，占空比调节范围 2.37%-97.37%。

3、三角波发生电路。

① 分析图 5 的电路工作原理，回答下面问题：

(1) 运放 A_1 和 A_2 是否工作在线性范围内？

A_1 不是, A_2 是

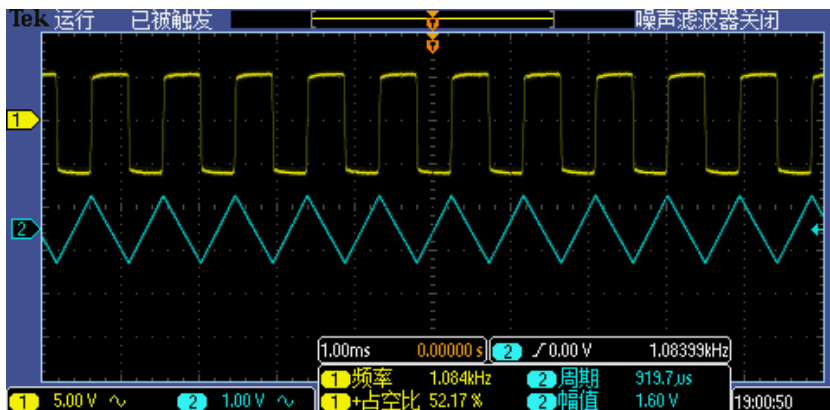
(2) 要求 V_o 的幅值为 $\pm 1V$, 周期时间为 $1ms$, 理论计算出 R_1 和 R_4 的电阻值各为多少？

$R_1 = \frac{1}{6.2} \times 100k = 16.13k\Omega$ $R_4 = 155k\Omega$ (按照稳定电压 $6.2V$ 计算)

(3) 用示波器观测 u_{o1} 和 u_o 的波形, 并在同一个时序下, 画出两电压波形。要求测出 u_{o1} 的频率、占空比以及 u_o 的周期、幅值。

u_{o1} 的频率、占空比: $1.082kHz, 52.14\%$

u_o 的周期、幅值、有效值: 929.3 微秒, $\pm 0.80V, 454mV$



4、锯齿波发生电路

① 分析图 6 的锯齿波发生电路的工作原理，回答下面问题：

(1) 电容 C 的充电回路和放电回路各是什么？充电和放电的时间常数是否相同？

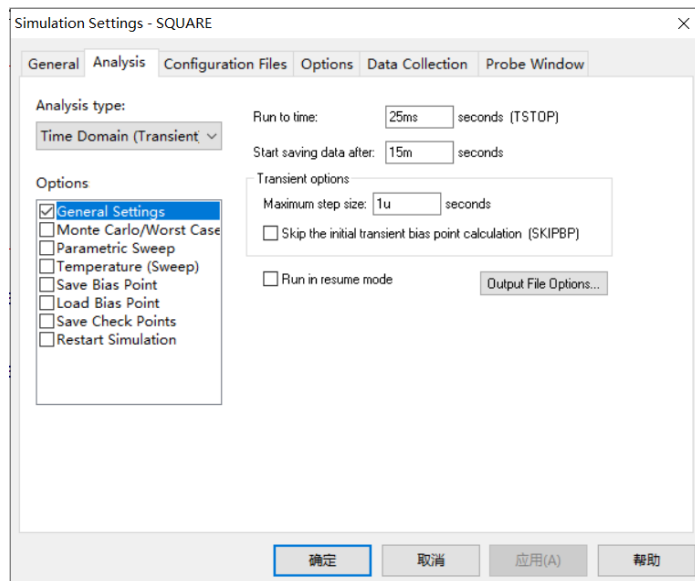
答: 充电回路是电流由 C 经 R_4 、 R_3 到 $-15V$, 放电回路是电流经过 D 流经 C . 充放电时间常数不同。

(2) 将电阻 R_4 所接的电源为 $-15V$, 为获得 u_o 的峰峰值为 $2V$ (即 $\pm 1V$), 周期时间为 $1ms$ 的锯齿波, 仿真估算出 R_4 和 R_1 的大小: $R_1 = \frac{1}{6.2} \times 100k = 16.13k\Omega$

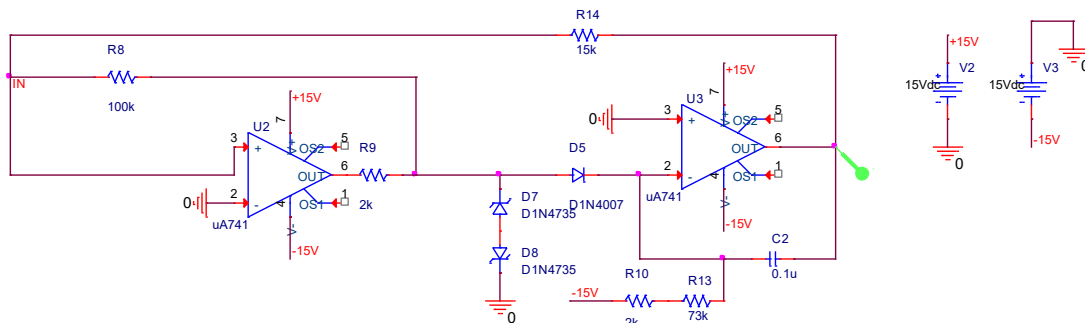
$R_4 = 73k\Omega$ (按照稳定电压 $6.2V$ 计算)

(3) 取上述估算的 R_4 和 R_1 的电阻, 仿真电路图和仿真输出波形图如下:

参数

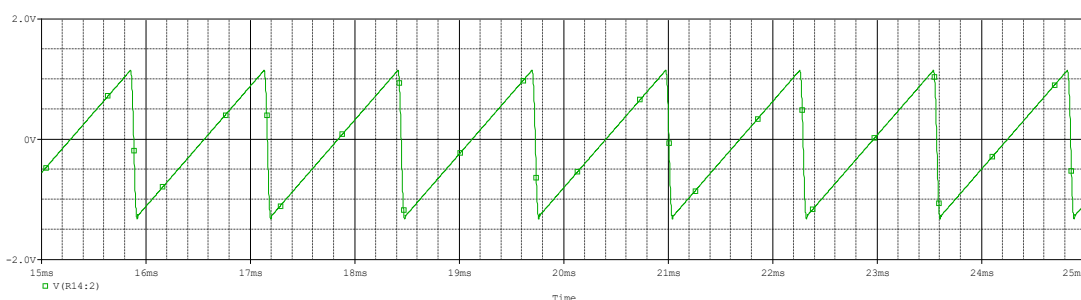


按照理论计算值，设定 $R_{14}=15k\Omega$ ， $R_{13}=73k\Omega$ ：

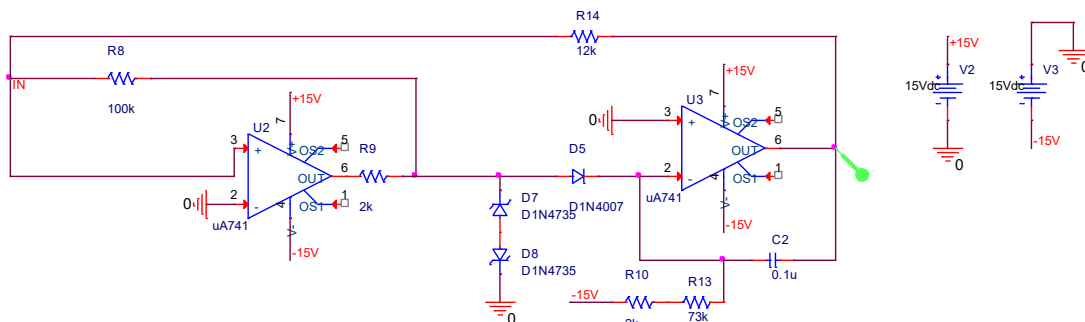


（采用固定电阻，因为使用可调电阻 R_{var} 时出现奇怪的问题：其上电流为其应有值的两倍）

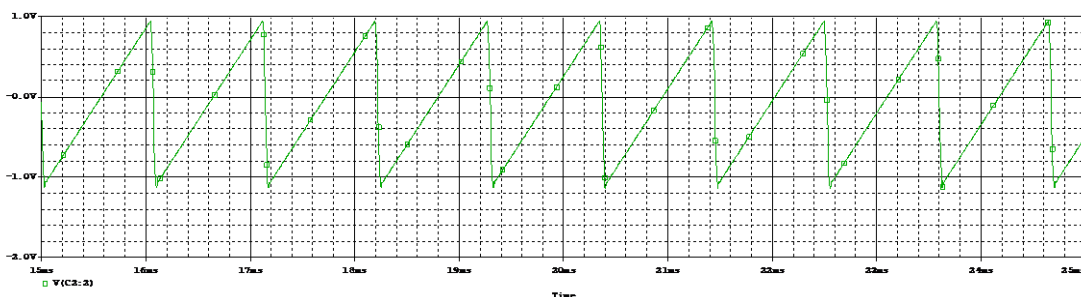
波形如下。可见峰-峰值大于 2V，因此充放电时间也偏长，周期大于 1ms。



修改 R_{14} 使之减小为 $12k\Omega$ ， R_{13} 不变。



波形如下。峰峰值在 2V 左右，周期因为充电时间的缩短也变短了，更接近 1ms。

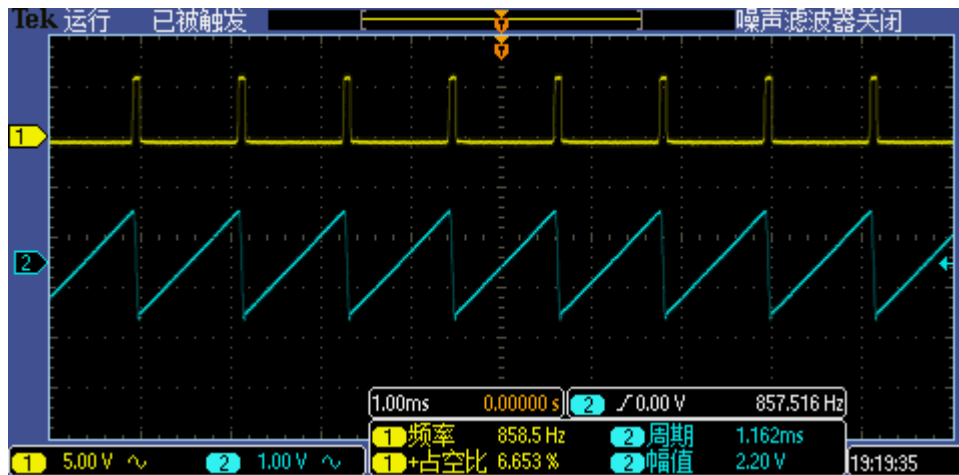


可见，具体实验中若峰峰值和周期都偏大，则可以不用调整 R_{13} ，减小 R_{14} 能将两者都明显减小且效果更为明显。

实际测量中：

u_{o1} 的频率、占空比：**858.5Hz，6.653%**

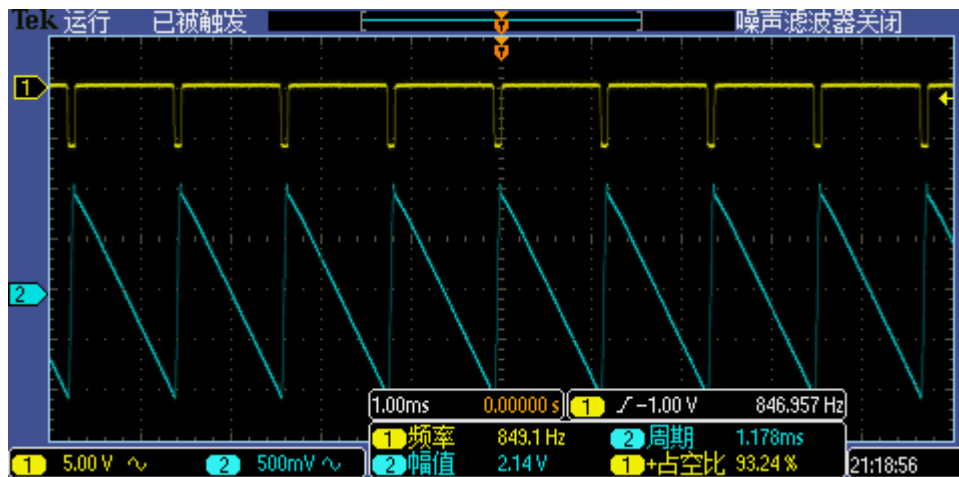
u_o 的周期、幅值、有效值：**1.162ms，±1.10V，596mV**



反接后：

u_{o1} 的频率、占空比：846.7Hz，93.25%

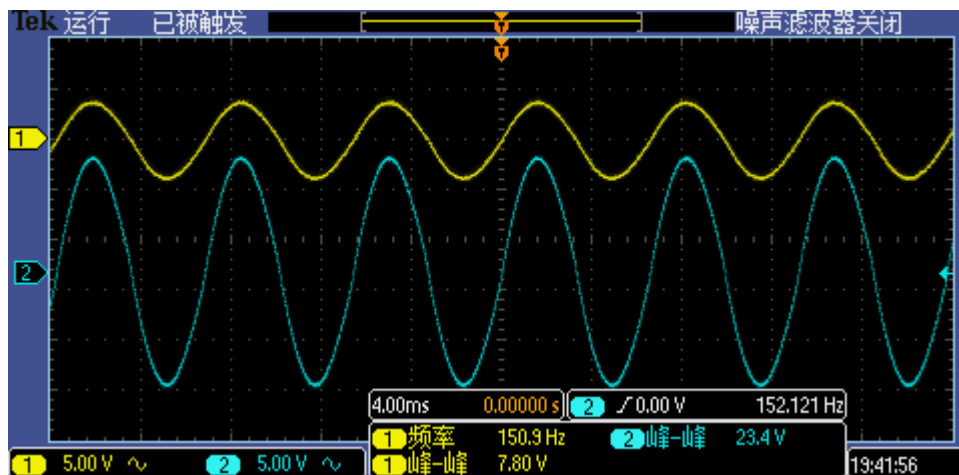
u_o 的周期、幅值、有效值：1.181ms， $\pm 1.07V$ ，586mV



5、RC 桥式正弦波振荡电路

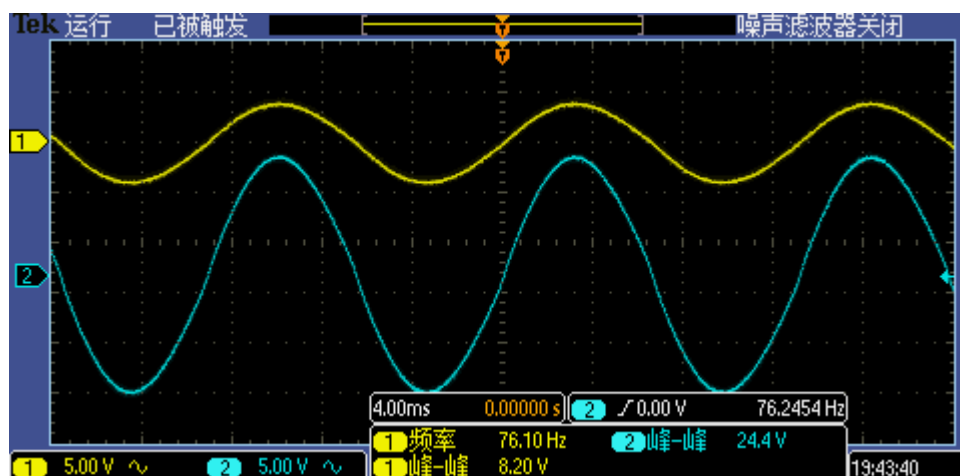
用示波器测出 u_o 和 u_f 的波形，画在同一坐标系中，要求体现两个波形之间的相位关系
($R_1=R_2=R=10k\Omega$)

振荡频率 151.9Hz (图为 150.9Hz)， u_f 峰峰值为 7.80V， u_o 峰峰值为 23.4V

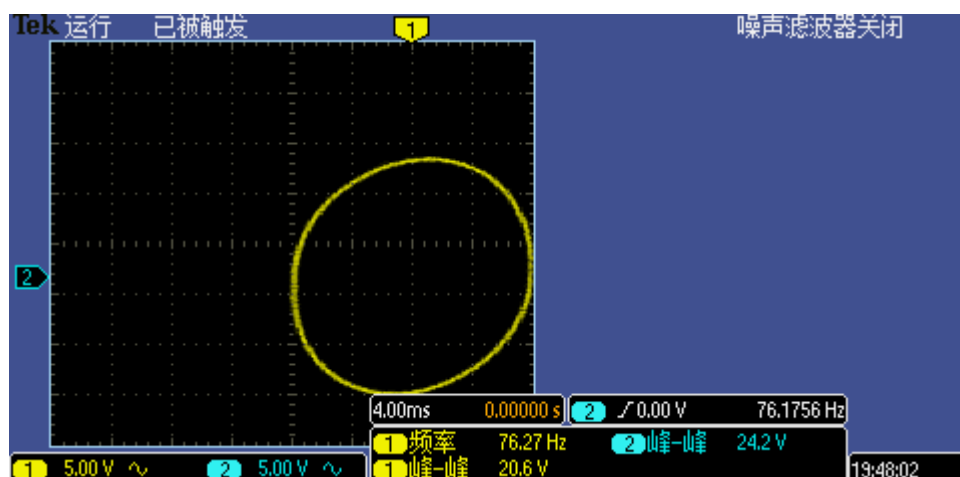


($R_1=R_2=R=20k\Omega$)

振荡频率 76.18Hz, u_f 峰峰值为 8.20V, u_o 峰峰值为 24.2V



李沙育图：(信号发生器的信号频率 76.175Hz)



一、实验目的

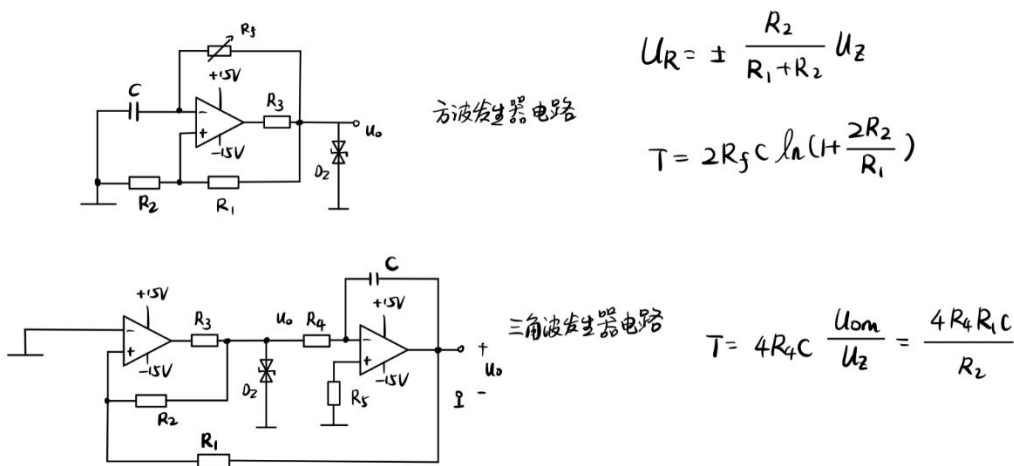
1. 掌握利用运算放大器设计方波发生器、矩形波发生器、三角波发生器、锯齿波发生器的方法；
2. 掌握利用运算放大器的正反馈原理设计各种波形发生电路的方法。

二、实验设备及元器件

序号	名称	数量	型号
1	线性直流稳压电源	1 台	DP832A
2	手持万用表	1 台	Fluke 287C
3	示波器	1 台	Tek MSO2012B
4	信号发生器	1 台	Tek AFG1062 或 DG4062
5	二极管	2 只	1N4007×2
6	电阻	若干	12kΩ×2 4.7kΩ×2 100kΩ×2

7	电容	若干	0.01μF×1 0.1μF×1
8	集成运放	2 只	μA741 或 LM741
9	双向稳压管	1 只	2DW231 (6.2V×1)
10	电位器	6 只	10kΩ×2 100kΩ×2 220kΩ×2
11	短接桥和连接导线	若干	P8-1 和 50148
12	实验用 9 孔插件方板	1 块	300mm×298mm

三、实验原理（重点简述实验原理，画出原理图）



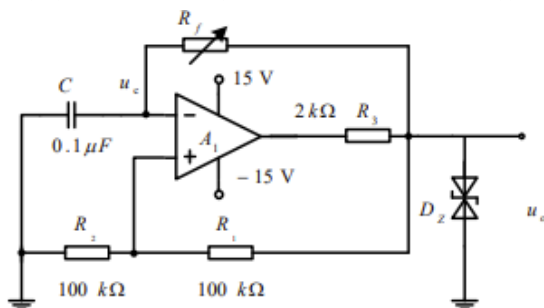
四、实验过程

（叙述具体实验过程的步骤和方法，记录实验数据在原始数据表格，如需要引用原始数据表格，请标注出表头，如“实验数据见表 1-1”）

待

1. 方波发生电路

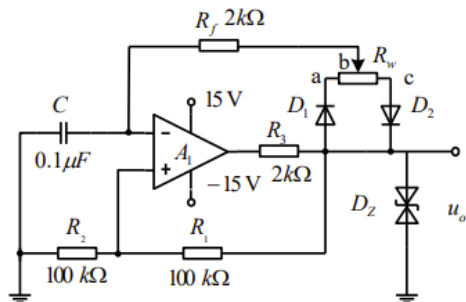
选择元器件，按图 7-3 接线，构成方波发生电路，运放使用 LM741 或者 μA741，采用 +15V 和 -15V 供电，DZ 为双向稳压管 2DW231。分析图 7-3 的工作原理，请理论计算，分别求出 $R_f=10k\Omega$ ， $R_f=100k\Omega$ 的 u_o 的周期时间 T_1 和 T_2 ，并填入表 7-2 中 ② 用示波器观测输出电压 u_o 和反相端 u_c 的波形，分别测出 $R_f=10k\Omega$ ，以及 $R_f=100k\Omega$ 的 u_o 的频率、周期时间、幅值、占空比，并记录 $R_f=10k\Omega$ 时的输出波形 u_o 。



2. 占空比可调的矩形波发生电路

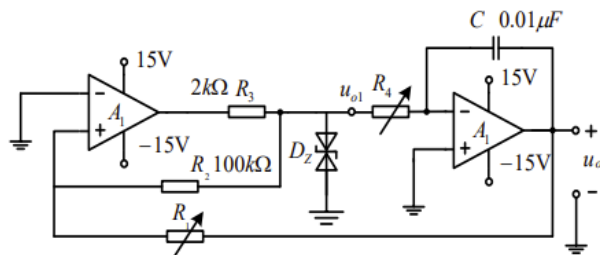
图 7-4 为可调占空比矩形波发生器电路图，其中 D_1 和 D_2 为二极管 1N4007， R_w 为 $100\text{ k}\Omega$ 电位器。运放使用 LM741 或者 $\mu\text{A}741$ ，采用 +15V 和 -15V 供电。DZ 为双向稳压管 2DW231。

- ① 电位器 R_w 动端 b 点与 a 点电阻为 0 时，用示波器观察并记录输出电压 u_o 的波形，需要测试出 u_o 的频率、周期、幅值、占空比(d)。
- ② 电位器 R_w 动端 b 点与 c 点电阻为 0 时，用示波器观察并记录电压 u_o 和 u_c 的波形，要测试出 u_o 的频率、周期、幅值、占空比(d)



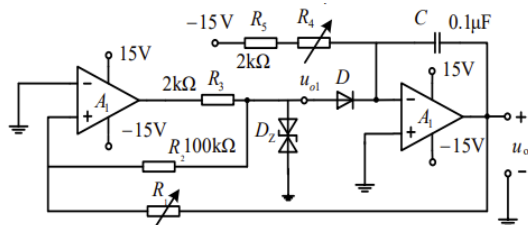
3. 三角波发生电路

如图 7-5 所示，选择元器件，构成三角波发生电路，其中 R_1 为 $100\text{ k}\Omega$ 电位器， R_4 为 $220\text{ k}\Omega$ 电位器，运放 A_1 和 A_2 使用 LM741 或者 $\mu\text{A}741$ ，采用 +15V 和 -15V 供电。



取上述计算的 R_1 和 R_4 的电阻，验证理论计算结果是否正确。并用示波器观测 u_{o1} 和 u_o 的波形，并在同一个时序下，画出两电压波形。要求测出 u_{o1} 的频率、占空比以及 u_o 的周期、幅值。

4. 锯齿波发生电路 如图 7-6 所示，选择元器件，构成锯齿波发生电路，其中 R_1 和 R_4 为 $220\text{ k}\Omega$ 电位器，二极管 D 为 1N4007，运放 A_1 和 A_2 使用 LM741 或者 $\mu\text{A}741$ ，采用 +15V 和 -15V 供电。

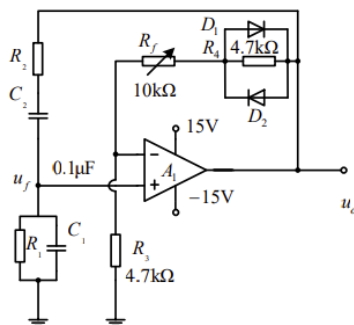


调节电位器 R_4 和 R_1 使得达到前面的估算值，然后将电位器接入电路，微调电位器，使得输出 u_o 的峰值为 2V（即 $\pm 1\text{V}$ ），周期时间为 1ms 的锯齿波。并在同一时序下，记录 u_{o1} 和 u_o 电压波形。要求测出 u_{o1} 的频率、占空比以及 u_o 的周期、幅值。

保持电位器不变，将电阻 R_4 所接的电源更改为 +15V，并将二极管 D 反接，并观察 u_{o1} 和 u_o 的波形变化，并在同一时序下，记录波形，要求测出 u_{o1} 的频率、占空比以及 u_o 的周期、幅值。

5. RC 桥式正弦波振荡电路

按图 7-7 接好电路，其中 $R_1=R_2=R=10k\Omega$ ， $C_1=C_2=C=0.1\mu F$ 。



振荡电路调整：开启+15V 和-15V 直流稳压电源给运放 A1 供电，将示波器调至适当的 档位后接至输出端 u_o 处，观察振荡电路输出端 u_o 的波形。若无正弦波输出，可缓慢调节 R_f ，使得电路产生振荡，观察电路输出波形的变化，解释所观察到的现象。然后仔细调节 R_f ，使 电路输出较好的基本不失真的正弦波形，进行测量。

6. 设计实验

使用实验室现有的元器件 $\mu A741$ 等，设计一个波形发生电路，实现以下功能：

- 1) 独立产生幅值为 $\pm 6.2V$ ，占空比为 50%的方波电压，频率设计在 700Hz~1kHz 之间。
- 2) 然后，将此方波电压转换为一个三角波，幅值为 $\pm 2V$ 左右。

五、实验数据分析

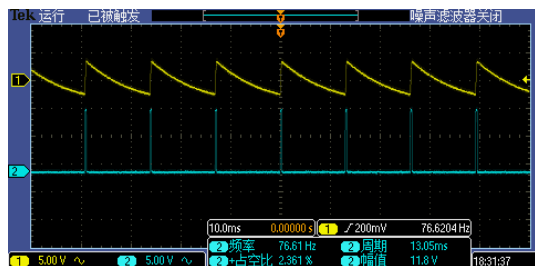
（按指导书中实验报告的要求用图表或曲线对实验数据进行分析和处理，并对实验结果做出判断，如需绘制曲线请在坐标纸中进行）

1、方波发生器电路

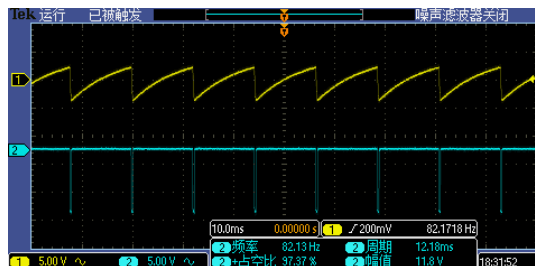
输出电压参数	计算周期	频率 (Hz)	周期 (ms)	幅值 (V)	占空比 (%)	$R_f=10k\Omega$ 的输出电压波形
$R_f=10k\Omega$	2.19	405.8	2.464	± 5.7	48.64%	
$R_f=100k\Omega$	21.9	42.10	23.75	± 5.6	48.56%	

2、占空比可调的矩形波发生电路(需要测试出 u_o 的频率、周期、幅值、占空比)

分别记录 $R_{ab}=0$ 与 $R_{bc}=0$ 的 u_o 波形。



$R_{ab}=0$



$R_{bc}=0$

左图：频率 76.61Hz，周期 13.05ms，占空比 2.361%，幅值 $\pm 5.9V$

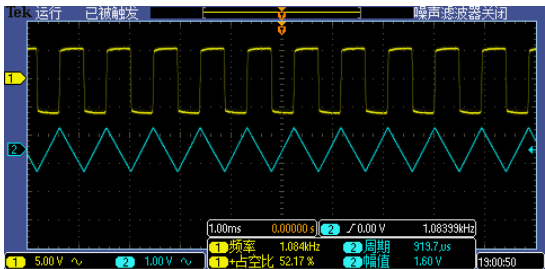
右图：频率 82.13Hz，周期 12.18ms，占空比 97.37%，幅值 $\pm 5.9V$

表 7-3 占空比可调矩形波发生电路测试表格

幅值 U_{om}/V	周期 T	调整电位器 R_w 时，周期时间 T 是否变化	一个周期内， u_o 大于 0 的占空比 d 的可调范围：
$\pm 5.7V \sim \pm 5.9V$	12ms-13ms	是	2.37%-97.37%

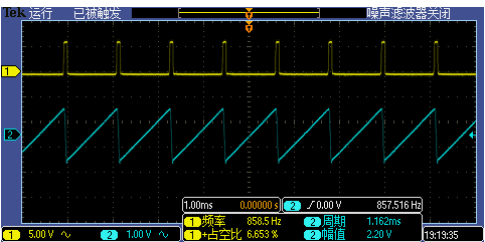
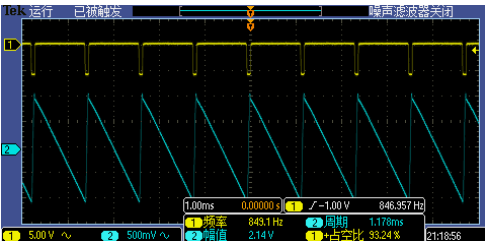
3、三角波发生电路

表 7-4 三角波发生电路测试表格

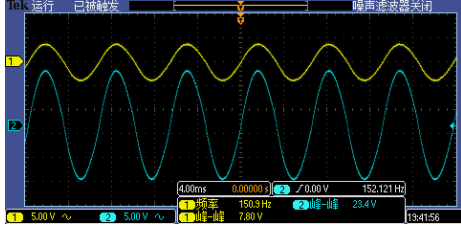
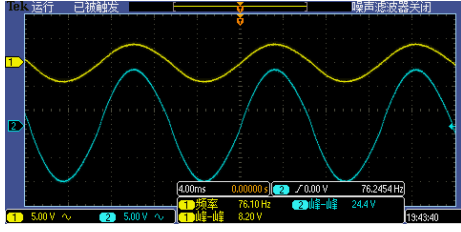
①	运放 A_1 和 A_2 是否工作在线性范围内？为什么？	答： <u>A_1 不是， A_2 是</u>
②	$R_1 = \underline{1/6.2 \times 100k = 16.13k \Omega}$ $R_4 = \underline{155k \Omega}$ (按照稳定电压 6.2V 计算)	
③	记录同一时序下的 u_{o1} 和 u_o 波形 	u_{o1} 测量： 频率 = <u>1.082kHz</u> 占空比 = <u>52.14%</u> u_o 的测量： 周期 = <u>929.3µs</u> 有效值 = <u>454mV</u>

4、锯齿波发生电路

表 7-5 锯齿波发生电路测试表格

①	分析图 6-6 的锯齿波发生电路的工作原理，电容 C 的充电回路和放电回路各是什么？充电和放电的时间常数是否相同？	答：充电回路是电流由 C 经 R_4, R_3 到 -15V，放电回路是电流经过 D 流经 C 。充放电时间常数 <u>不同</u> 。
②	$R_1 = \underline{1/6.2 \times 100k = 16.13k \Omega}$ $R_4 = \underline{73k \Omega}$ (按照稳定电压 6.2V 计算)	
③	记录同一时序下的 u_{o1} 和 u_o 波形 	u_{o1} 测量： u_{o1} 的频率、占空比： 858.5Hz, 6.653% u_o 的测量： u_o 的周期、有效值： 1.162ms, 596mV
④	将电阻 R_4 所接的电源更改为 +15V，并将二极管 D 反接 记录同一时序下的 u_{o1} 和 u_o 波形 	u_{o1} 测量： u_{o1} 的频率、占空比： 846.7Hz, 93.25% u_o 的测量： u_o 的周期、有效值： 1.181ms, 586mV

5、RC 桥式正弦波振荡电路。

	U_{opp}	U_{fpp}	$ F $	f_o	u_o 和 u_f 的波形
$R=10k\Omega$	23.4V	7.80V	0.333	150.9Hz	记录同一时序下的 u_{o1} 和 u_f 波形 
$R=20k\Omega$	24.4V	8.20V	0.336	76.10Hz	记录同一时序下的 u_{o1} 和 u_o 波形 

结合上面的实验结果，根据理论知识，分析 RC 不同取值对振荡频率 f_o 的影响。

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

6、设计性实验

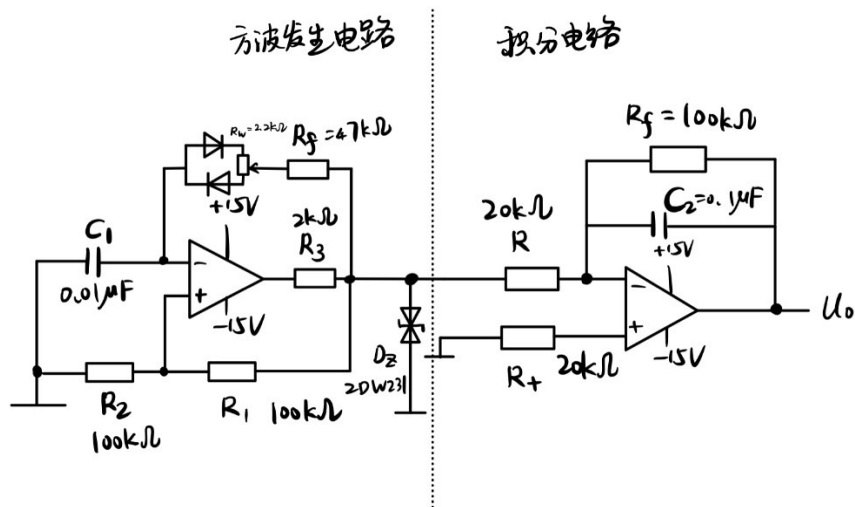
使用实验室现有的元器件 $\mu A741$ 等，设计一个波形发生电路，实现以下功能：

- 1) 独立产生幅值为 $\pm 6.2V$ ，占空比为 50% 的方波电压，频率设计在 700Hz~1kHz 之间。
- 2) 然后，将此方波电压转换为一个三角波，幅值为 $\pm 2V$ 左右

要求：

- ① 画出设计的电路图，说明工作原理；

电路图如下。前级为独立的方波发生电路，后级为积分电路。（前级中，二极管配合滑动变阻器用于调节占空比）



- ② 写出电路参数的计算过程；

前级为方波发生电路。

取 $R_f = 47k\Omega$ ， $R_w = 2.2k\Omega$ ， $R_2 = R_1 = 100k\Omega$ ， $C = 0.01\mu F$ ，有

$$f = \frac{1}{(2R_f + R_w)C \ln\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)} = \frac{1}{96.2 \times 10^3 \times 0.01 \times 10^{-6} \times \ln 3} = 946.2 \text{ Hz}$$

后级为积分电路。

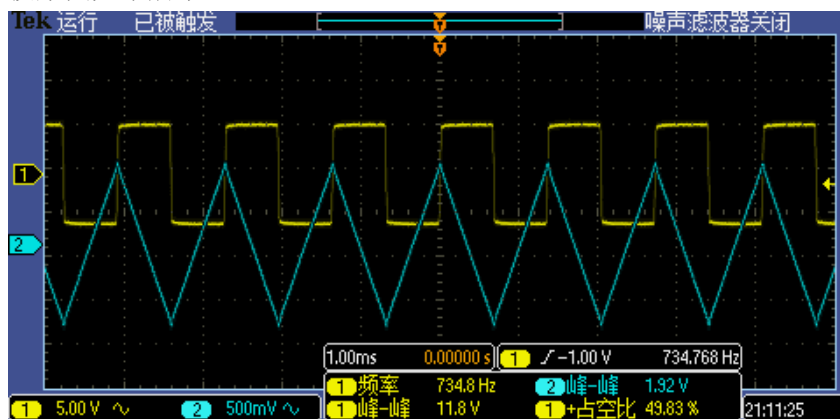
选择 $R = 20 \text{ k}\Omega$ ， $C_2 = 0.1 \mu\text{F}$ 。则峰峰值为： $\frac{1}{RC_2} u \times \frac{1}{f} = 3.27 \text{ V}$ （也就是幅值为 $\pm 1.6 \text{ V}$ ，接近 2 V ）

（在实际实验的时候，我是先设计了方波发生器再结合方波发生电路的实际输出频率来定后级 RC 的取值。实测前级方波发生器频率为 734.8 Hz ，这样设计所得峰峰值的计算结果为

$$\frac{1}{20 \times 10^3 \times 0.1 \times 10^{-6}} \times 6.2 \times \frac{1}{734.8} = 4.21 \text{ V}，\text{也就是幅值为 } \pm 2.1 \text{ V}，\text{接近 } 2 \text{ V}）$$

③ 搭建出电路，测试方波电压波形和三角波电压波形，并在同一时序下绘制波形图。

波形图如下所示：



六、问题思考

（回答指导书中的思考题）

1. 方波发生器电路中 C 的数值增大时，频率 f 和占空比 d 是否变化？改变 R_2 是否引起 f 和 d 的变化？为什么？

答：频率 f 会发生变化，占空比不会改变。

因为周期与 C 的大小有关，而因为充放电回路一致，所以时间常数一致，占空比恒为 50% 。改变 R_2 会改变 f ，因为周期与 R_2 有关。

2. 分析比较三角波发生器和锯齿波发生器的共同特点和区别；

答：共同特点：都是将滞回电压比较器与积分电路结合。

区别：三角波发生器电容的充放电回路的时间常数是相同的，而锯齿波发生器的电容的充放电回路不同，时间常数不同，因此电压的上升和下降是不对称的。

3. 若仿真时稳压管选择了 3.3 V 的稳压管，实验结果有什么不同？（选择一种类型电路说明）

答：在方波发生器电路中，若选择了 3.3 V 的稳压管，则输出电压的幅值会降低到 3.3 V 。

七、实验体会与建议

无。