



南京理工大学  
NANJING UNIVERSITY OF SCIENCE & TECHNOLOGY

# 电子线路综合实验 实验报告

学 院： 计算机科学与工程学院

班 号： 9181069502

姓 名： 黄海浪

学 号： 9181040G0818

实验编号：

指导老师：

年 月

# 目录

实验一 基本放大电路 .....	3
一、实验目的 .....	3
二、实验要求 .....	3
三、实验原理及电路 .....	3
四、实验内容及步骤 .....	4
五、实验结果与误差分析 .....	6
六、思考题 .....	6
实验二 集成运算放大器应用 .....	8
一、实验目的 .....	8
二、实验内容 .....	8
三、实验原理及电路 .....	8
四、实验步骤及结果 .....	9
1. 测量反相放大倍数 .....	9
2. 加法器 .....	10
3. 测量方波振荡频率 $f_0$ .....	10
4. 积分器 .....	10
五、实验结果与误差分析 .....	11
六、思考题 .....	11
附录 说明与截图 .....	13
实验一 .....	13
实验二 .....	16

# 实验一 基本放大电路

## 一、实验目的

1. 学习基本放大电路静态工作点及电压放大倍数的调整与测试方法。
2. 观察静态工作点，负载电阻改变对电路工作状态，输出波形及  $AV$  的影响。

## 二、实验要求

1. 复习三极管放大电路有关内容，掌握静态工作点调整原理。
2. 预读实验指导书明确实验内容及要求。

## 三、实验原理及电路

实验电路为图 1.2.1 方框中所示，电路的静态值通过调节可变电阻  $R_{v1}$  来获得，由我们已学过的知识可知，要使放大电路输入动态信号后具有良好的线性电压放大倍数和较大的动态范围输出，必须把静态工作点  $Q$  调定在如图 1.2.2 所示输出特性的中间位置，若将工作点设置过高或过低，在一定范围内都将影响输出波形的形状而出现削顶现象。

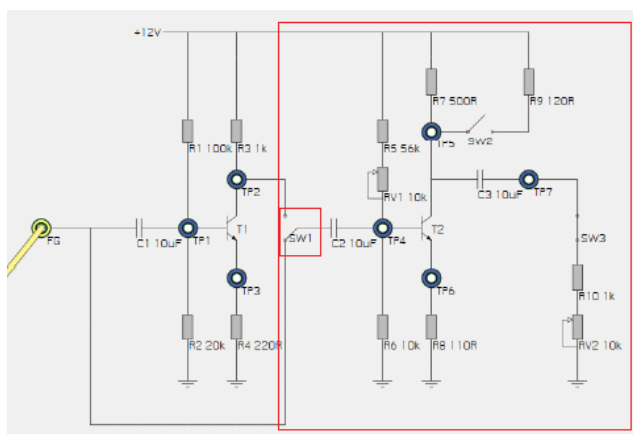


图 1.2.1 共射基本放大电路

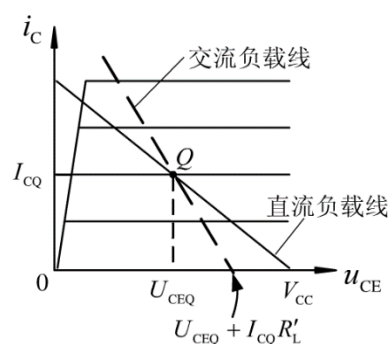


图 1.2.2 放大器输出特性

四、实验内容及步骤

1. 静态工作点调整

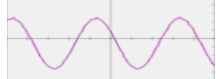

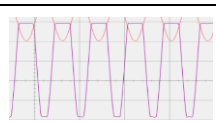
- 1) 点击负载开关，从出现的下拉列表中选择“两级交流放大器”硬件。使用两级交流放大电路的第二部分（图 1.2.1 方框中部分）。
- 2) 调整 SW1，使第二放大级的源是函数发生器。
- 3) 调整 SW2，使 R9 不连接到电路。
- 4) 调整 SW3，使负载不连接到电路。
- 5) 调整函数发生器输出正弦波。注：正弦波输出是通过从“补偿控制”下拉列表中选择“正弦”而得到的。
- 6) 调整 Rv1 使得在输入正弦波尽可能大的情况下保持输出不失真。
- 7) 找到满足 6) 要求的 Rv1 后将函数发生器输出调为 0，此时进行如下测试：

测量值				计算值		
$V_{BQ} (V)$	$V_{EQ} (V)$	$V_{CQ} (V)$	$R_B (K\Omega)$	$V_{BEQ} (V)$	$V_{CEQ} (V)$	$I_{CQ} (mA)$
1.42	0.794	8.11	62.7	0.67	7.32	7.78

2. 测交流电压放大倍数

- 1) 调整函数发生器输出正弦波。
- 2) 测量开路放大倍数：调整 SW3，使负载不连接到电路；用函数发生器产生一个低频小信号接入实验电路输入端，按表 1.2.1 调定输入信号幅度值  $V_i$  测出对应  $V_o$  值，填表记录测量结果（括号内为最大且不失真输出幅值时所对应的输入电压值）。

表 1.2.1

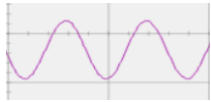
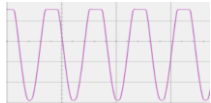
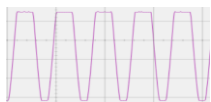
$V_i (mV)$	$V_o (mV)$	$A_v = V_o/V_i$	输出波形
202	851	4.21	
997	363?	3.64	
139?	398?	2.86	
(648)	271?	4.18	最大不失真输出

注：?表示为仪器无法显示那么多位，计算时?当做 0 处理。下同

3. 测量有负载放大倍数

调整 SW3，使负载连接到电路；用函数发生器产生一个低频小信号接入实验电路输入端，调节 Rv2 到最大 10K 处，按表 1.2.2 调定输入信号幅度值  $V_i$  测出对应  $V_o$  值，填表记录测量结果（括号内为最大且不失真输出幅值时所对应的输入电压值）。

表 1.2.2

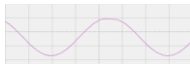

$V_i$ (mV)	$V_o$ (mV)	$A_v = V_o/V_i$	输出波形
207	835	4.03	
997	348?	3.49	
140?	387?	2.76	
(653)	260?	3.98	最大不失真输出

#### 4. 测量不同负载放大倍数

将低频信号源输出接入实验电路输入端，调整 SW3，使负载连接到电路，调节负载电阻  $R_{v2}$  到中间使其阻值约 5K，此时调节  $V_i$  使其输出波形恰不失真。然后按表 1.2.3 调定负载电阻  $R_{v2}$  测出对应  $V_o$  值，填表记录测量结果

表 1.2.3

$V_i = 648$  (mV)

$R_{v2}$	$V_o$ (mV)	$A_v = V_o/V_i$	输出波形
0k	190?	2.93	
5K	251?	3.87	恰不失真
10K	259?	3.99	

#### 5. 计算输出阻抗 $R_o$


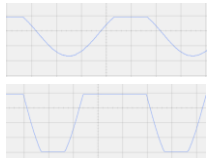
$$R_o = \frac{V_o' - V_o}{V_o} R_L = 521.8 \Omega$$

计算方法： $V_o' / V_o$  其实就是无负载放大倍数除以有负载放大倍数（ $V_i$  相互抵消）也就是  $(R_o / (R_L // R_o))$  所以明显该公式成立，取 1 次非失真和 1 次恰好不失真后平均可得  $A_{u'} = (4.18 + 4.21) / 2 = 4.195$ ， $A_u = (3.98 + 4.03) / 2 = 4.005$ ，那么  $R_o = [(4.195 / 4.005) - 1] R_L = 521.8 \Omega$ 。

#### 6. 观察静态工作点 $Q$ 变化对输出波形的影响

采用增大  $R_{v1}$  或减小  $R_{v1}$  的阻值，使静态工作点发生偏移，然后渐渐加大输入信号  $V_i$  幅度，按表 1.2.3 记录实验现象。（注意：测量静态值必须关闭输入信号  $V_i$ ）

表 1.2.3

$R_W$	静态工作点	波形	失真性质
增大	$V_{CEQ} = (7.69)$ $I_{CQ} = (7.18)$		先出现截止失真 后出现饱和失真
减小	$V_{CEQ} = (7.00)$ $I_{CQ} = (8.28)$		先出现截止失真 后出现饱和失真

## 五、实验结果与误差分析

实验结果分析：在测量输出阻抗  $R_o$  的实验中，计算得到

$$R_o = \frac{V_o' - V_o}{V_o} R_L = 521.8 \Omega$$

与理论值  $500 \Omega$  比较，得到相对误差为  $|R_o - 500| / 500 \times 100\% = 4.36\%$ ，在合理范围内，说明实验测量的输出阻抗合理。

误差分析：由于是网络实验，仪器的精确度问题，调节时会出现误差，网络状态不良导致数据迟缓等。以及网页数据位数显示不完全。

## 六、思考题

### 1. 通常希望放大器的输入电阻高一些好，还是低一些好？对输出电阻呢？

输入电阻根据放大电路对信号的需要而定。当信号源为电压源时，输入电阻大一些好；当信号源为电流源时，输入电阻小一些好。对输出电阻，若要保证输出电压信号恒定，输出电阻小些好。相反，要保证电流信号稳定，输出电阻大一些好。

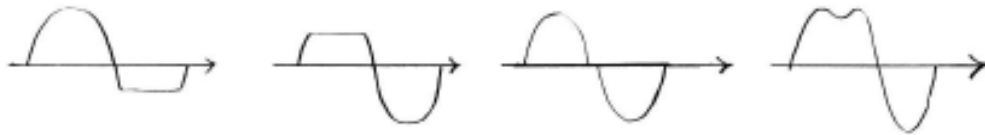
在本实验中，由于输入信号为电压源，因此希望输入电阻高一些，一方面减少偏置电流、噪声和温度的影响；另一方面可从信号源取得尽可能大的信号，减少了信号电压的损失；对输出电阻来说小一些好，从放大电路的输出端看过去，放大电路可等效为一个有一定内阻的信号源，信号源的内阻为输出电阻，希望它的值小一点，从而提高放大器带负载的能力。

### 2. 发现输出波形失真，是否说明静态工作点一定不合适？

造成放大器输出波形失真原因有：1. 静态工作点不合适；2. 输入信号超过放大器输入允许范围；3. 交流负载不合适，远小于额定阻抗。（负载阻抗太小）。因此，发现放大器输出波形失真，也可能是因为输入太大，不能说明静态工作点一定不合适。

**3. 什么叫非线性失真，你能画一下非线性失真输出波形吗？**

一个理想的放大器，输出信号应正比于输入信号， $u = \beta u_i$ ，但实际情况中，由于放大器件的工作点会进入非线性区，使输入信号与输出信号不再保持线性关系、波形畸变不对称，这种失真就是非线性失真，其包含饱和失真、截止失真、交越失真、不对称失真，输出波形如下：



**4. 实验电路中基极电阻是否可以不接？为什么？怎样才能测量其阻值？**

共发射极放大电路中如果不接基极电阻，将无法准确设定电压放大倍数。电路的电压放大倍数将由信号源的输出电阻和发射极放大电路的集电极电阻的比值来决定，但是通常很难准确确定信号源的输出电阻。而且由于信号源的输出电阻可能较小，共发射极放大电路很容易出现饱和失真。

为测量基极阻值，可将其从电路中断开，用万用表来测量其阻值或使用伏安法测得数据，计算其阻值。

## 实验二 集成运算放大器应用

### 一、实验目的

1. 掌握集成运放功能和使用方法。
2. 掌握反相放大电路、反相加法器、方波振荡电路、积分电路的测试和计算方法。
3. 掌握集成运放在模拟运算方面的应用。
4. 掌握运算电路的组成及计算测试方法。

### 二、实验内容

1. 使用反相放大器测量其反相放大倍数。
2. 使用加法器测量电压并填表。
3. 使用方波振荡发生器测量方波振荡频率。
4. 使用积分器测量信号的有效值。

### 三、实验原理及电路

1. 反相放大器：输入端的极性和输出端相反极性。反相放大器电路具有放大输入信号并反相输出的功能。
2. 加法器：加法器分为同相加法器和反相加法器。
3. 方波发生器：电压比较器是它的重要组成成分。要产生振荡，就是输出的两种状态自动的转换，所以电路的输出必须通过一定的方式引回它的输出，以控制输出状态的转换；因为输出状态按一定时间间隔交替变化，即产生周期性变化，所以电路中要有延迟环节来确定每种状态维持的时间。
4. 积分器：积分器是用来将输入的信号进行累加处理后运算出结果。电容两端电压  $u_c$  和流过的电流  $i_c$  之间为微分和积分关系。

实验电路：



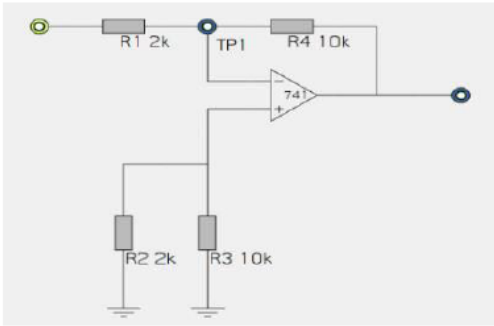


图 1.4.3 反相放大电路

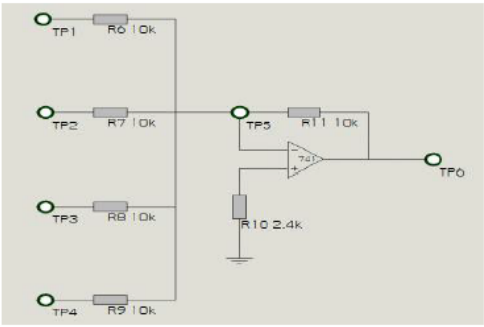


图 1.4.4 反相加法电路

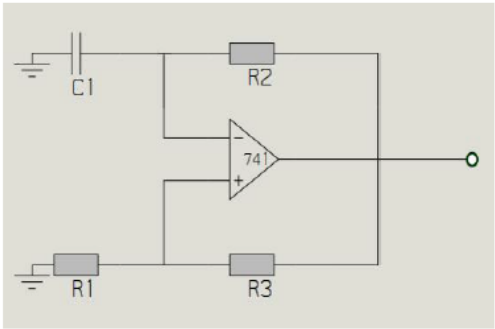


图 1.4.5 方波振荡电路

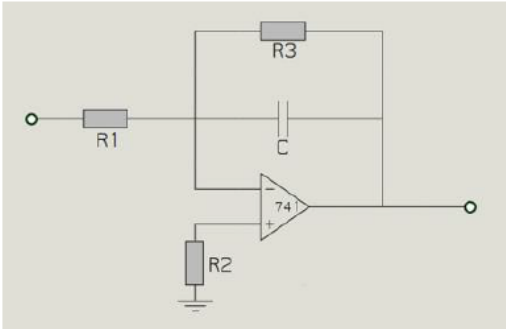


图 1.4.6 积分电路

## 四、实验步骤及结果

### 1. 测量反相放大倍数

选择“反向放大器”模块。  
 调整输入信号，使得输出电压满足要求。  
 按表 1.4.1 测定反相放大电压增益值。  
 反相放大电压增益表达式：

$$A_V = -\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_4}{R_1}$$

表 1.4.1

$V_o$ (V)	$V_i$ (mV)	$A_V = -V_o/V_i$	$A_V' = -R_4/R_1$	$(A_V' - A_V)/A_V' \%$
1.02	205	-4.98	-5	0.4%
2.04	394	-5.18	-5	-3.6%
4.07	804	-5.06	-5	-1.2%

## 2. 加法器

选择“加法器”模块。利用理想化条件“Z”点（相加点）为虚地点，输入电压  $V_{i1}$ ,  $V_{i2}$ ,  $V_{i3}$ ,  $V_{i4}$  可独立地通过自身的输入回路实现代数相加运算，当选择电路参数  $R_1=R_2=R_3=R_4=R$  时输出电压

$$V_o = -\frac{R_F}{R_1}(V_{i1}+V_{i2}+V_{i3}+V_{i4})$$

按表 1.4.2 要求测定输入电压有效值  $V_{i1}$ ,  $V_{i2}$ ,  $V_{i3}$ ,  $V_{i4}$  测量  $V_o$  填表记录实验结果

表 1.4.2

$V_{i1}$	$V_{i2}$	$V_{i3}$	$V_{i4}$	$V_{i1}+V_{i2}+V_{i3}+V_{i4}$	$V_o$ (V)	$A_f=V_o/V_{i1}+V_{i2}+V_{i3}+V_{i4}$
4.43	3.71	3.00	-4.42	6.72	-6.69	-1.00
1.10	0.049	-1.03	-1.03	-0.91	0.983	-1.08

## 3. 测量方波振荡频率 $f_0$

选择“方波发生器”模块。  
方波的频率理论计算如下：

$$f_0 = \frac{1}{2R_2C_1 \ln\left(\frac{2R_1+R_3}{R_3}\right)}$$

表 1.4.3

开关状态	理论值 $f_0$	测量值 $f_0$
SW1 打开	45.5	46.4
SW1 关闭	500.6	495.5

## 4. 积分器

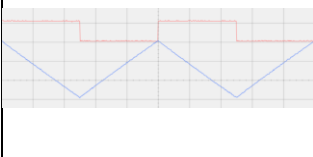
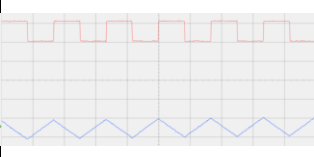
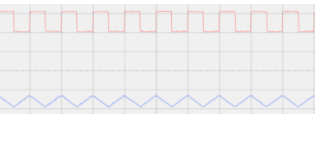



选择“积分器”模块。

断开 SW1a, SW1b。合上 SW2。

用连续方波输入，并按表 1.4.4 保持方波  $V_i$  为 50mV 不变，改变频率，用示波器观察频率与输出波形间的关系，并测量输出信号的有效值，记录实验结果

表 1.4.4

f (Hz)	100	300	500
$V_o$ (V)	0.267	0.204	0.255

波形			
f (Hz)	1000	2000	2000
$V_o$ (V)	0.228	0.226	0.254
波形			

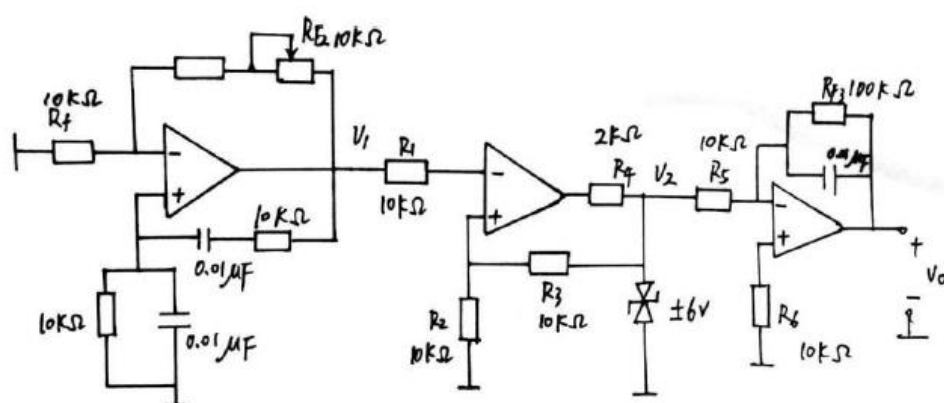
## 五、实验结果与误差分析

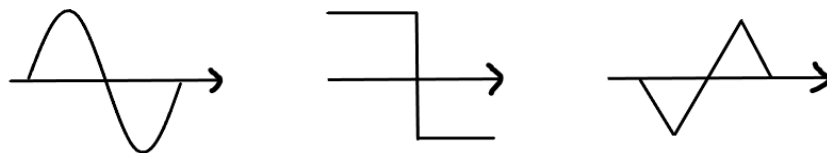
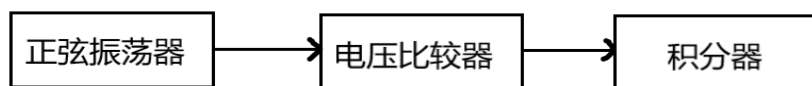
1. 在测量反相放大倍数实验中，电路放大倍数的实际测量与理论计算值有较小的误差，通过所测实验数据计算得到的  $A_v$  与理论值  $A_v'$  误差较小(0.4%, -3.6%, -1.2%)，实验结果合理。2. 加法器实验中，通过实验测得  $V$  记录并计算  $A_f$ ，得到结果  $A_f = V_o / (V_{i1} + V_{i2} + V_{i3} + V_{i4})$  合理。3. 测量方波振荡频率  $f_0$  中，两测量值非常接近，相对误差约为 1%，实验结果合理。

误差分析：1. 可能与测量仪器的精确度，网络实验中具体设备精度问题 2. 可能与网络环境截图时变化波动有关。

## 六、思考题

- 画出实现正弦波一方波一三角波函数发生器电路？绘出三路输出之间的对应波形？



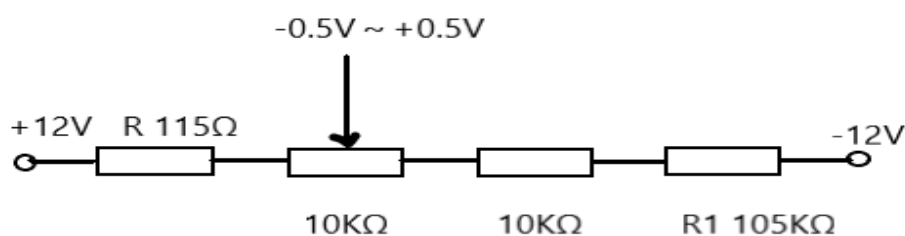


2. 当  $R_F=100\text{K}\Omega$  时，在理想反相放大电路中，若考虑到运算放大器的最大输出幅度时（ $\pm 12\text{V}$ ）， $V_i$  的大小不应超过多少伏？

$$A_V = -\frac{R_4}{R_1} = -50 \quad V_{im} = 12/50 = 0.24\text{V}$$

为  $100\text{K}\Omega$  时理想电压放大倍数为  $-50$ ，又因为最大输出幅度为  $\pm 12\text{V}$ ，所以  $V_i$  的大小不应超过  $0.24\text{V}$ 。

3. 加法器实验中若采用直流信号输入，有一固定直流输出  $1\text{V}$ ，给定两个  $10\text{K}\Omega$  变阻器和若干电阻，自行设计一个简易可调直流信号源（约  $-0.5\text{V} \sim +0.5\text{V}$ ），可以确保集成运放（ $\pm 12\text{V}$ ）工作在线性区。

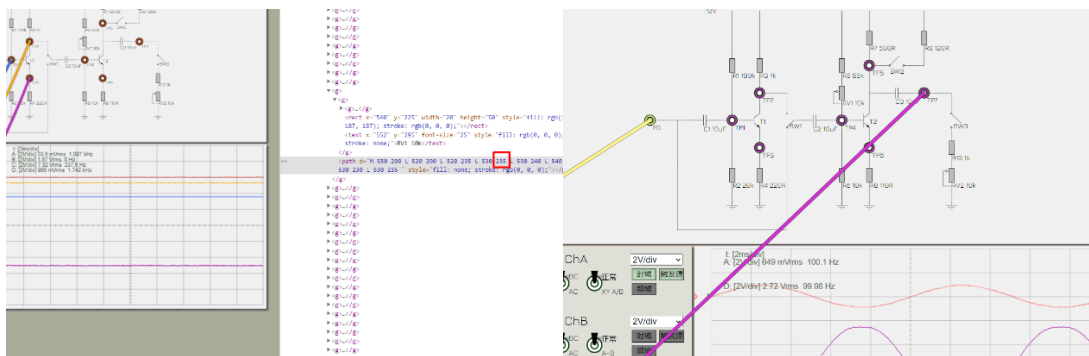


如图所示，可得可调直流信号源。

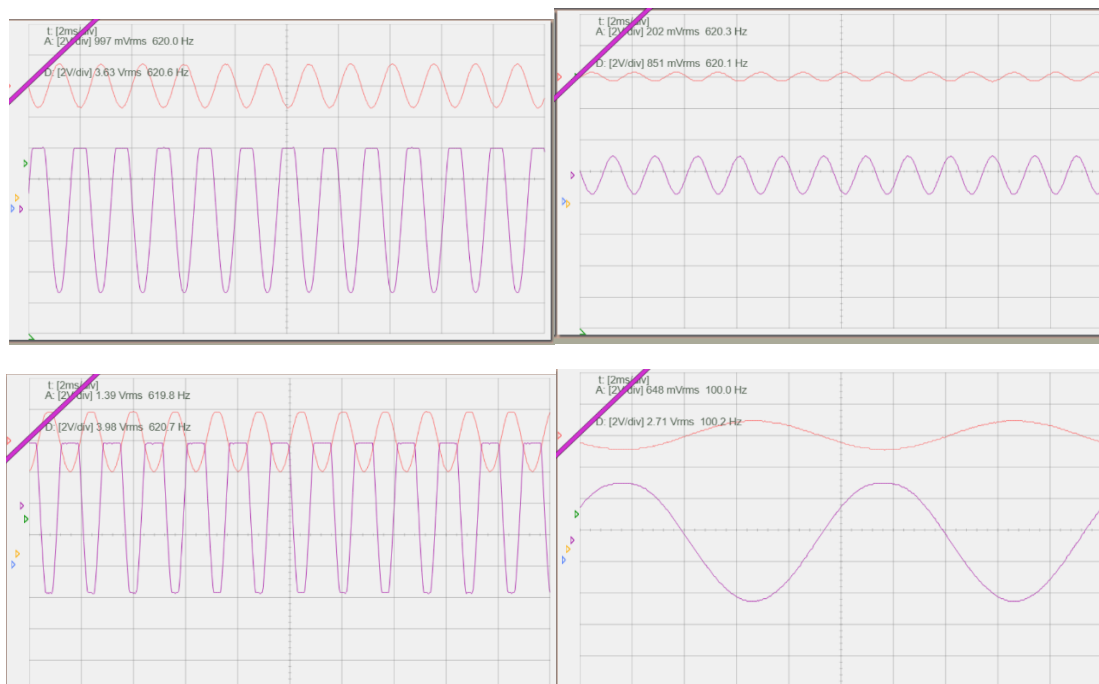
## 附录 说明与截图

### 实验一

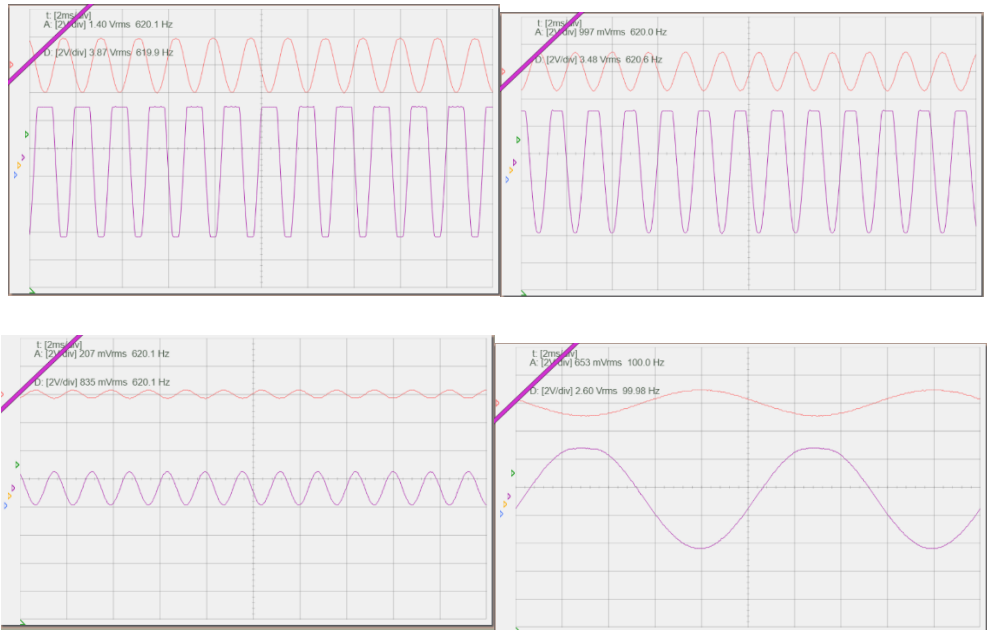
电阻调节，使用html 里面的按比例进行计算电阻，所以电阻为正确结果。  
Html 中电阻变化范围：235—265，调节为 244.84375，计算得到 R 为 6.71875 k  
如图：



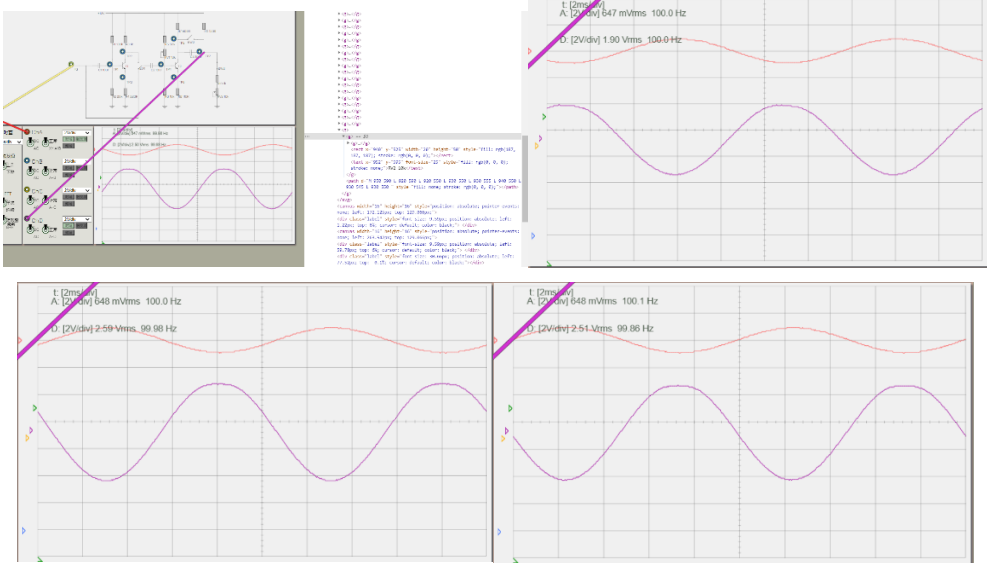
### 实验 1 表格 2 截图



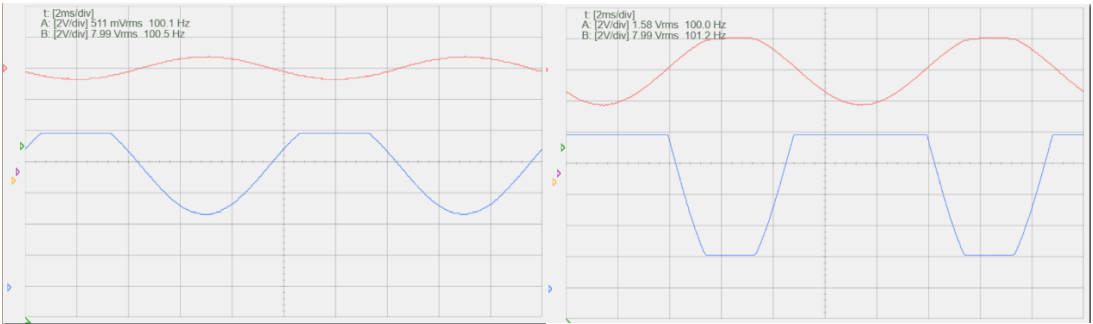
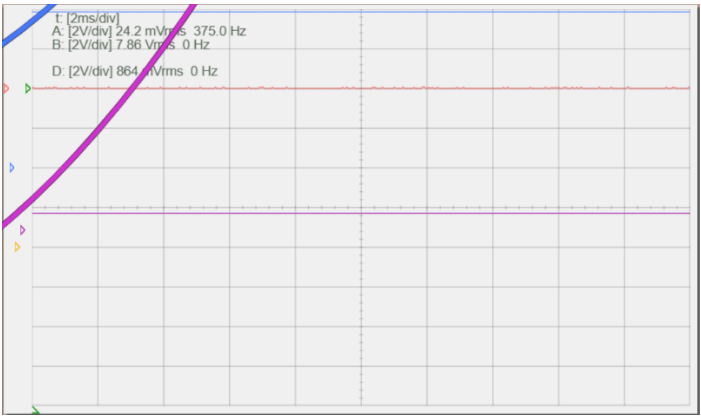
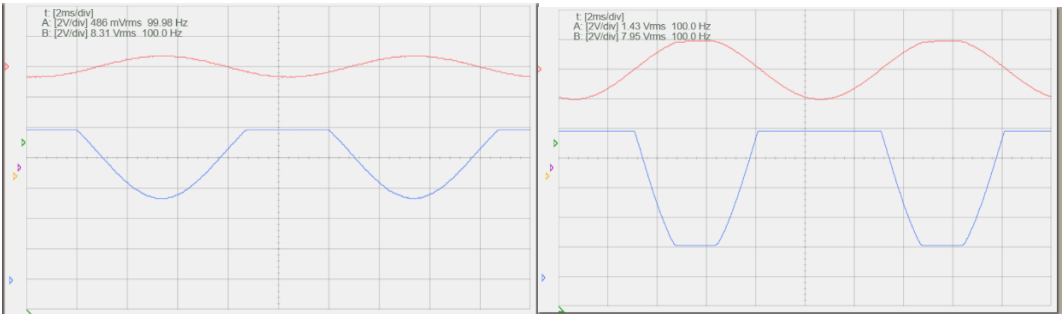
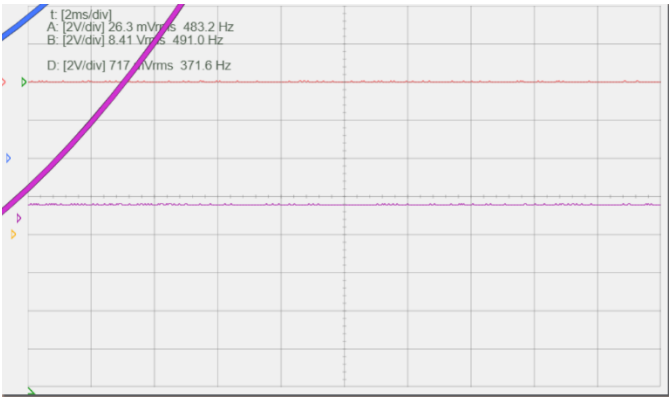
实验 1 表格 3 截图



实验 1 表格 4 截图

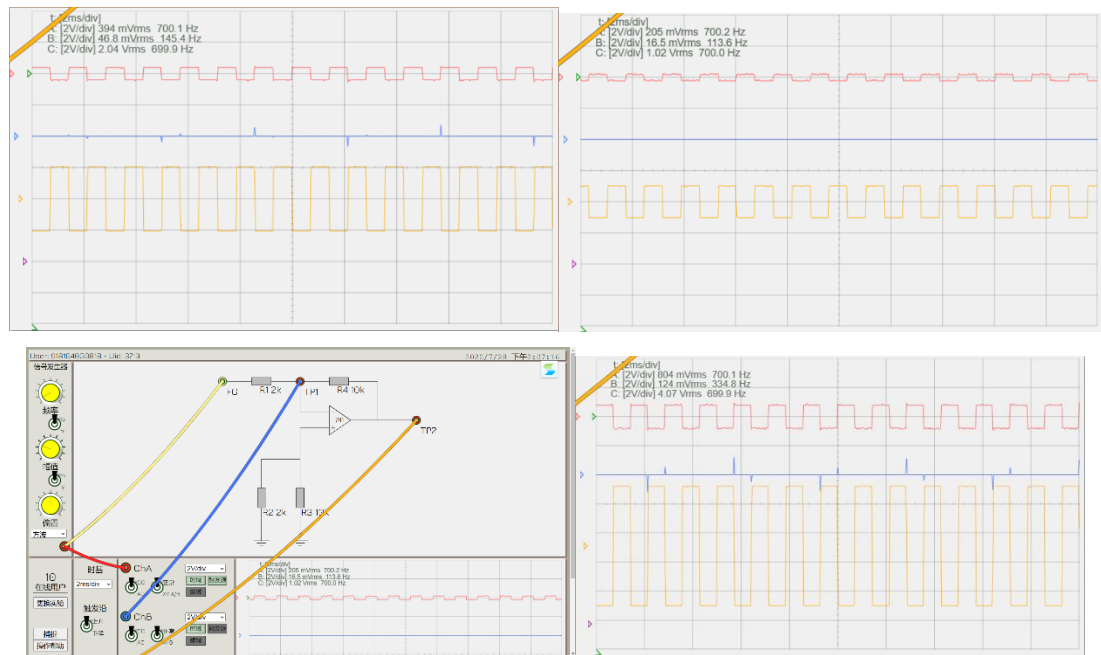


实验 1 最后截图

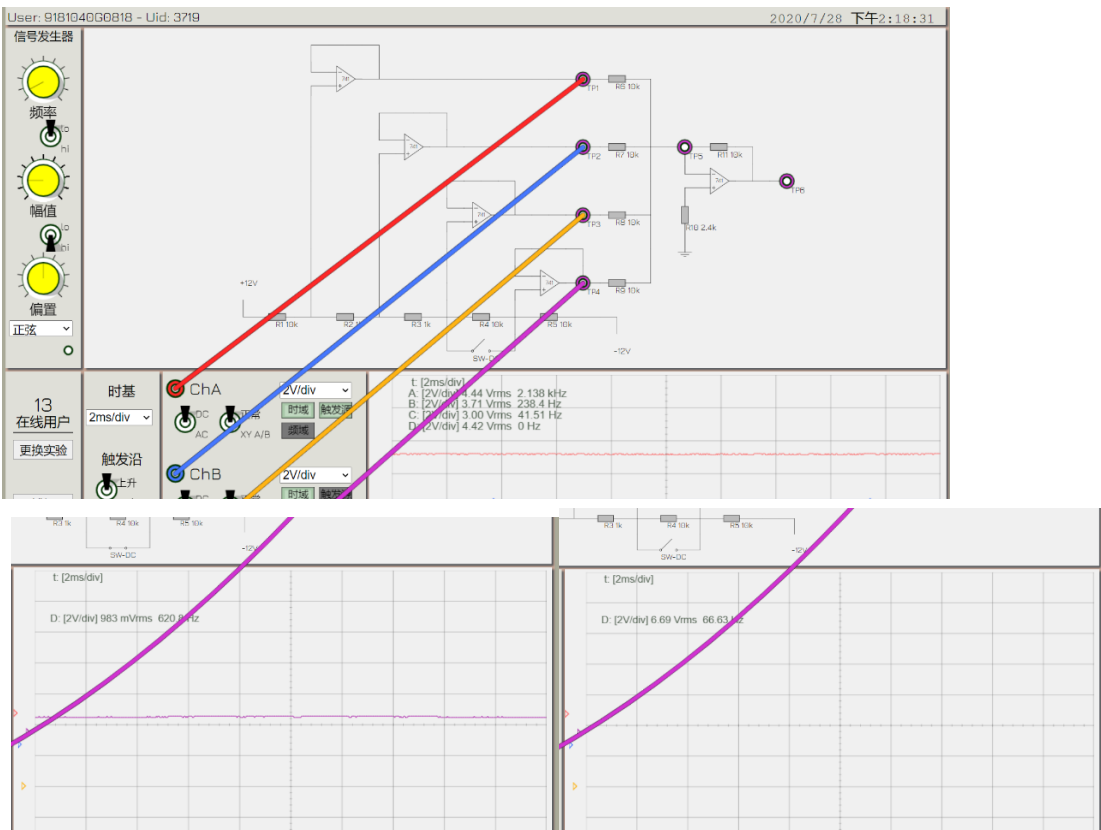


实验二

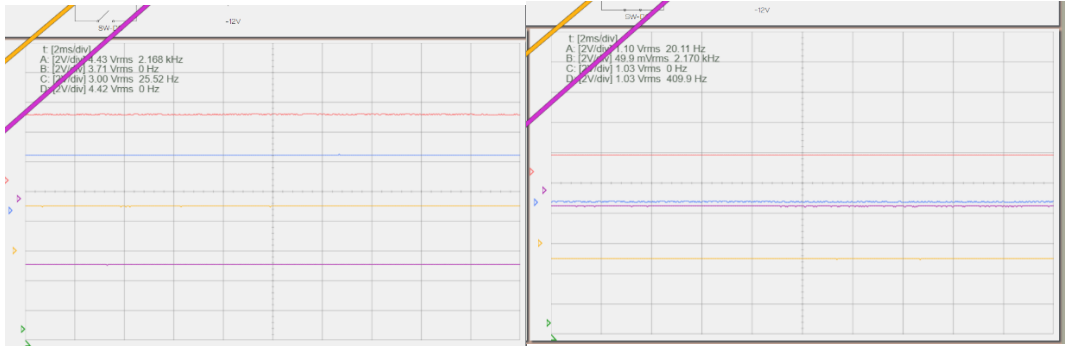
表格 1



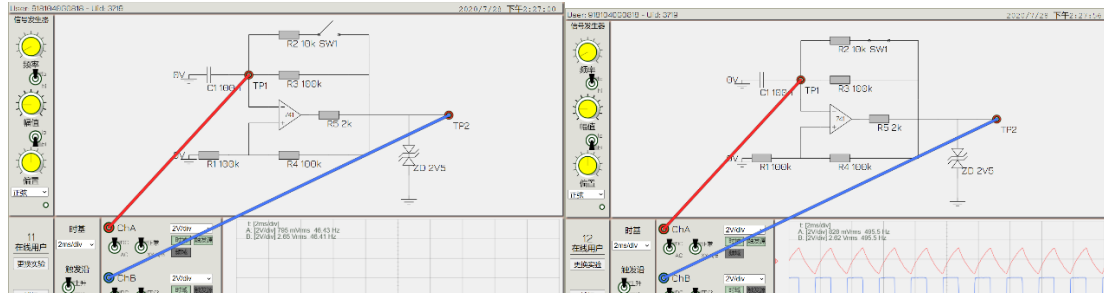
表格 2







表格 3



表格 4

