

实验 9 a 集成信号发生电路

实验目的

1. 了解用集成运算放大器构成的 RC 正弦波振荡电路的工作原理及调试方法。
2. 了解用集成运算放大器及电压比较器构成的矩形波、三角波发生器电路的工作原理及调试方法。
- *3. 了解脉冲波、锯齿波发生器电路的构成。

实验原理

利用集成运算放大器的优良特性，接上少量的外部元件，可以方便地构成性能良好的正弦波振荡器和各种波形发生器电路。由于集成运算放大器本身高频特性的限制，一般只能构成频率较低的 RC 振荡器，在集成电压比较器电路中引入正反馈，构成滞回比较器，就能产生方波、三角波、脉冲波和锯齿波。

1. RC 振荡电路

集成运算放大器输入端接上具有选频特性的可以构成文氏电桥振荡器，产生正弦波信号。 RC 文氏电桥的 RC 串并联电路如图 3.9a.1 (a) 所示。一般取 $R_1=R_2=R$ ， $C_1=C_2=C$ 时， RC 串并联电路有对称的选频特性曲线见图 3.9a.1 (b)。当频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ 时，可在 R 、 C 并联的两端得到最大的电压值 $U_{f+} = U_0/3$ ，把这个电压输入运算放大器的同相端作为正反馈信号，把电阻 R_3 、 R_4 的分压电压 U_{f-} 作为负反馈信号输入运算放大器的反相端。调节电阻 R_3 使负反馈电压 U_{f-} 接近正反馈电压 U_{f+} ，但又稍小于正反馈电压 U_{f+} ，这时电路满足振荡的幅值和相位条件，而且输出波形失真最小。如果负反馈电压远小于正反馈电压，电路满足振荡条件，但因正反馈过强，使输出波形严重失真。如果负反馈电压大于正反馈电压 $U_{f-} > U_{f+}$ ，则电路不满足振荡条件，不能起振。因为 RC 串并联电路在振荡频率 f_0 时的输出电压 U_{f+} 是输入电压 U_0 （即运算放大器的输出电压 U_0 ）的 $1/3$ ，所以为了得到不失真的振荡波形，产生负反馈电压 U_{f-} 的电阻 R_3 、 R_4 的分压比也应是 $1/3$ ，即 $R_4/(R_3+R_4) = 1/3$ 。

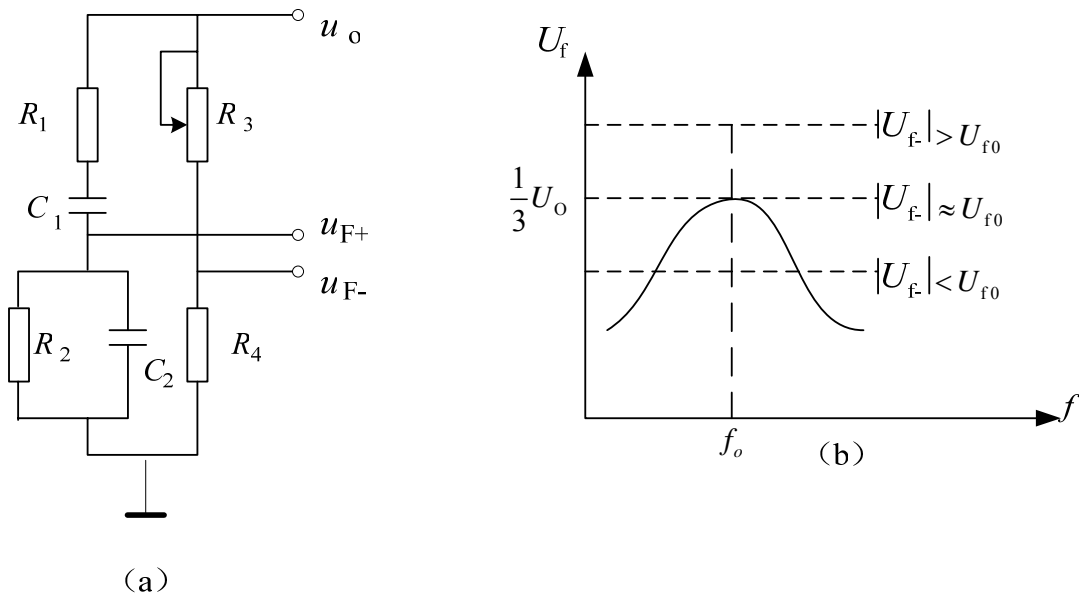


图 3.9a.1 文氏电桥

实用上要始终精确保持 $|U_{f-}|$ 与 $|U_{f+}|$ 接近是困难的,为此在电阻 R_3 的一部分阻值上并联二极管,电路如图 3.9a.2。当输出电压降幅度增大时,二极管两端电压也增大,使二极管的导通电阻减小,负反馈增强,阻止输出电压 U_O 的增加;反之,当输出电压 U_O 减小时,负反馈减弱,使输出电压 U_O 幅值增大,这样就起到了稳定输出电压幅度的作用。除了二极管,常用的稳幅元件还有热敏电阻等。

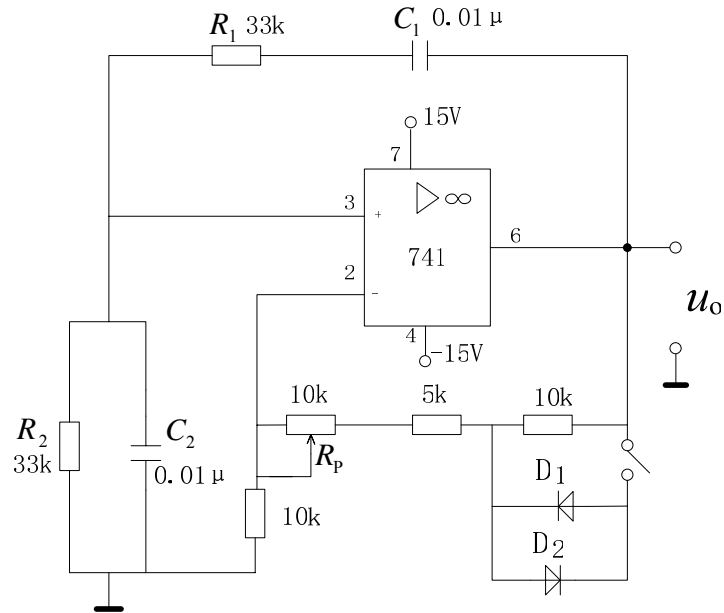
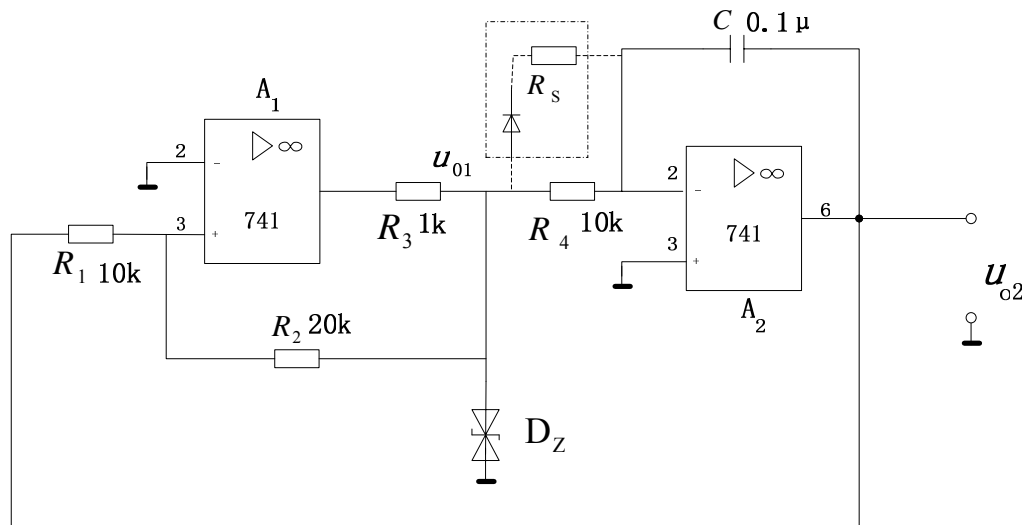


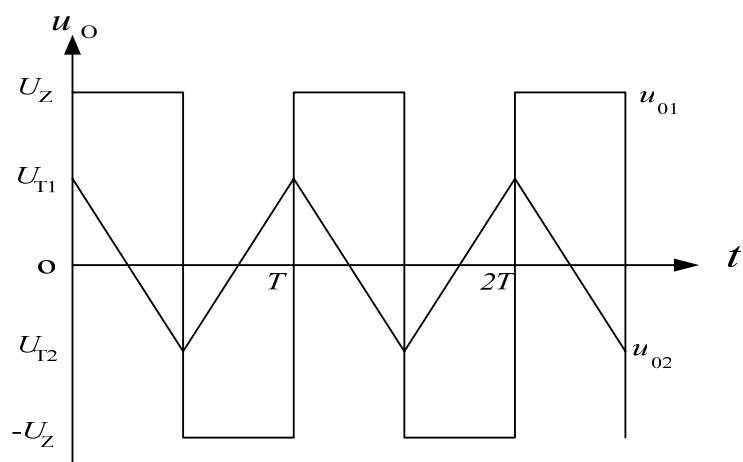
图 3.9a.2 文氏电桥振荡器电路

2. 矩形波、三角波发生器电路

利用过零电压比较器,引入正反馈和储能元件,如电容器等,就能构成各种波形的信号发生器电路,图 3.9a.3 (a) 就是利用运算放大器 A_1 作为同相滞回比较器, A_2 作为反相积分器构成的矩形波、三角波发生器。



(a) 电路



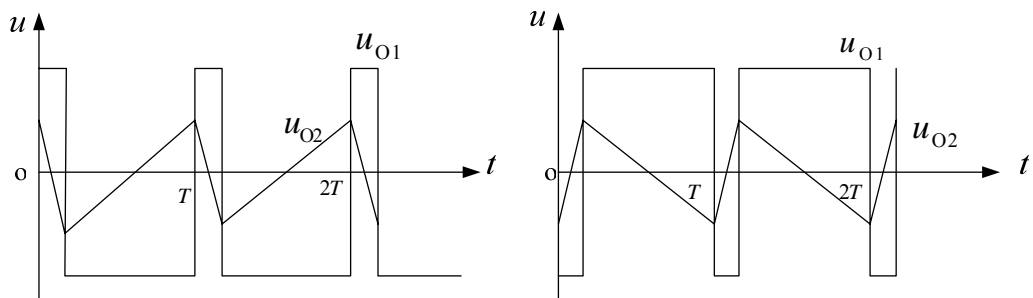
(b) 波形

图 3.9a.3 矩形波、三角波发生器

当滞回比较器 A_1 的输出经限流电阻 R 被双向稳压管箝位在 $+U_Z$ 时，积分器 A_2 反向积分，当其输出 u_{O2} 降到滞回比较器的下门限电压 U_{T2} 时， A_1 的输出电压 u_{O1} 翻转到 $-U_Z$ ，这时积分器 A_2 又正向积分，当其输出 u_{O2} 上升到滞回比较器 A_1 的上门限电压 U_{T1} 时， A_1 的输出电压 u_{O1} 又翻转到 $+U_Z$ ，完成一个周期。如此周而复始，可以得到矩形波 u_{O1} 以及三角波 u_{O2} ，如图 3.9a.3 (b) 所示。

3. 脉冲波、锯齿波发生器电路

把图 3.9a.3 (a) 虚线框中电阻 ($1k\Omega$) 和二极管接入电路，使积分器反向积分时的时间常数减小，而正向积分时的时间常数不变，就形成脉冲波、锯齿波发生器，输出波形如图 3.9a.4 所示，其反向脉冲波宽度可通过 R_S 调节。若将二极管反接，则反向积分时间常数不变，正向积分时间常数变小，使锯齿波及矩形脉冲波的方向变反。



(a) 正向

(b) 反向

图 3.9a.4 二极管正向和反向连接时的输出波形

实验仪器设备

1. 通用示波器	0~20MHz 双踪	1 台
2. 直流稳压电源	0~30V 0~1 A 双路	1 台
3. 函数信号发生器	2Hz~2MHz 5V _{p-p}	1 台
4. 万用电表		1 只
5. 实验电路板		1 块



实验步骤

1. 集成运算放大器构成 RC 振荡电路

(1) 按图 3.9a.2 所给的参数 ($R_1=R_2=33\text{k}\Omega$ $C_1=C_2=0.01\mu\text{F}$) 在实验电路板上接线, 集成运算放大器 741 的 7 脚接 15V 正电压, 4 脚接 -15V 负电压。两组电源串联的公共点接实验板上的接地端。

(2) 二极管不接入, 用示波器观察该电路的输出波形。调节负反馈电位器得到饱和失真的波形(平顶)和最大不失真的正弦波, 记录在表 3.9a.1 中。

表 3.9a.1 RC 振荡电路失真和失真输出波形

失真输出波形	不失真输出波形
	

(3) 在示波器上读出波形的峰值 $U =$ V, 周期 $T =$ V, 据此计算频率 $f =$ Hz。

(4) 用示波器观察不同 RC 参数时的振荡频率, 记录在表 3.9a.2 中。

表 3.9a.2 RC 振荡电路参数与频率的关系

电阻/k Ω	33	3	10
电容/ μF	0.01	0.01	0.1
f_o 计算值(示波器)/Hz			
f_o 实测值(频率计)/Hz			

(5) 用函数信号发生器的外测档测出不同 RC 参数时的振荡频率, 与示波器测定的频率作比较, 并与理论值相比较, 分析偏差的原因。

(6) 接入稳幅二极管 D1、D2, 调节负反馈电位器 R_p , 观察输出波形变化情况。

2. 集成运算放大器构成的矩形波、三角波发生器

(1) 按图 3.9a.3 (a) 所给的参数在实验电路板上接线, 集成运算放大器 741 的 7 脚接 15V 正电压, 4 脚接 -15V 负电压。两组电源串联的公共点接实验板上的接地端。

(2) 用双踪示波器同时观察该电路用不同 RC 参数时 u_{O1} 及 u_{O2} 的输出波形, 并读出其峰值和周期, 标注在表 3.9a.3 的坐标上。再用函数信号发生器的外测档测出不同 RC 参数时的振荡频率, 与示波器测定的频率作比较, 并与理论值相比较, 分析偏差的原因。

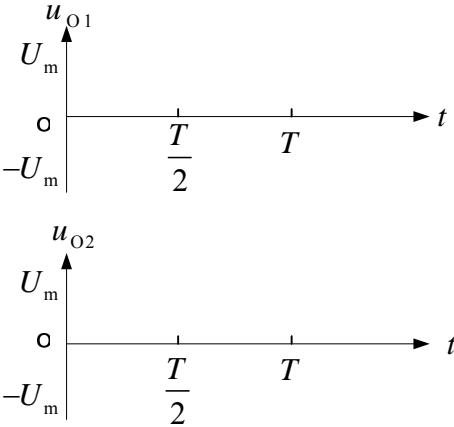
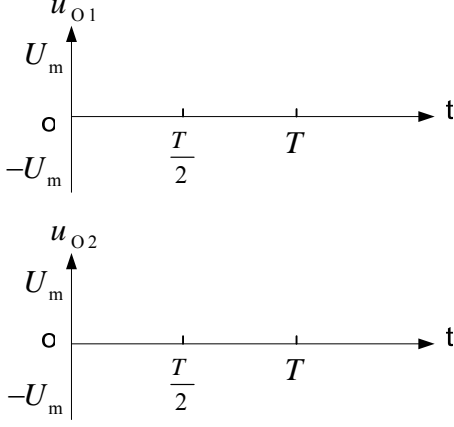
表 3. 9a. 3 观察不同参数的矩形波和三角波

$R_1=10k \quad R_4=10k \quad C=0.1\mu F$	$R_1=10k \quad R_4=20k \quad C=0.1\mu F$
$f= \quad \text{Hz} \quad U_m= \quad \text{V}$	$f= \quad \text{Hz} \quad U_m= \quad \text{V}$
$R_1=10k \quad R_4=10k \quad C=0.022\mu F$	$R_1=20k \quad R_4=10k \quad C=0.1\mu F$
$f= \quad \text{Hz} \quad U_m= \quad \text{V}$	$f= \quad \text{Hz} \quad U_m= \quad \text{V}$

*3. 脉冲波、锯齿波发生器电路

把虚线框中的电阻 $1k\Omega$ 和二极管接入图 3. 9a. 3 电路中，用双踪示波器同时观察 u_{O1} 及 u_{O2} 波形，并记录在表 3. 9a. 4 中。

表 3. 9a. 4 观察脉冲波、锯齿波

$R_S=470\Omega$ 二极管正向连接	$R_S=1k\Omega$ 二极管反向连接
 <p>Graphs showing output voltages u_{O1} and u_{O2} versus time t for a diode connected in forward bias with $R_S=470\Omega$. The vertical axis is labeled with U_m and $-U_m$, and the horizontal axis is labeled with $T/2$ and T.</p>	 <p>Graphs showing output voltages u_{O1} and u_{O2} versus time t for a diode connected in reverse bias with $R_S=1k\Omega$. The vertical axis is labeled with U_m and $-U_m$, and the horizontal axis is labeled with $T/2$ and T.</p>

实验报告要求

1. 记录 RC 正弦波振荡电路，矩形波，三角波发生器电路，脉冲波、锯齿波发生器电路的波形及实验数据。
2. 分析上述三种电路频率与电路参数的关系。
3. 分析上述三种电路幅度与电路参数的关系。
4. 分析脉冲波、锯齿波波形与二极管方向的关系。
5. 分析矩形波、三角波波形的对应关系。
6. RC 正弦波振荡电路中，若输出波形产生饱和失真，应增加还是减小负反馈电位器 R_p 的阻值？当振荡停止时，怎样处理？
7. 若矩形波、三角波发生器电路中双向稳压管的电压由 $6V$ 增大到 $8V$ 时，矩形波、三角波的峰值、周期将如何变化。

实验现象

1. 当 RC 文氏电桥振荡电路不起振，示波器上没有正弦波，有可能是负反馈电路中可调电位器阻值太小，负反馈过大使电路不起振。应调大电位器阻值。
2. 脉冲波、锯齿波发生器电路中，若将二极管反接，输出的脉冲波、锯齿波就会反相，产生负脉冲。

实验结果分析

1. 为什么 RC 文氏电桥振荡器能产生正弦波信号?

答: 因为该电路具有正反馈环节、文氏电桥选频环节和和改善波形失真的负反馈环节。

2. 为什么图 3.9.3 的电路能产生矩形波、三角波?

答: 该电路由两个单元电路构成, 一个为同相滞回比较器, 它输出正负两个固定电压并形成矩形波。另一个为反相积分运算电路它跟随反相输入电压作正向和反向积分, 产生三角波。用积分运算电路的输出反馈到比较器的同相输入端, 当正负斜坡电压使比较器同相端过零时, 比较器翻转, 形成矩形波输出。

实验相关知识

相关知识点

自激振荡	E5060401
起振条件	E506040101
稳定条件	E506040102
<i>RC</i> 振荡电路	E5060402
基本结构	E506040201
工作原理	E506040202
滞回电压比较器	E506030403

注意事项

1. 集成运算放大器 741 正常工作需要加两组 15V 的直流电压，管脚 7 加正 15V，管脚 4 加负 15V。
2. RC 振荡电路输出波形失真，正反馈过强，调节负反馈电阻（减小阻值）。
3. RC 振荡电路没有输出波形，可能是负反馈过强，调节负反馈电阻（增加阻值）。
4. 矩形波—三角波发生器没有输出波形，可能是两块 741 中有一块坏了。