

4.2 波形发生电路设计

4.2.1 实验目的

- (1) 掌握正弦波、方波和三角波发生电路的特点和分析方法。
- (2) 学会波形发生电路主要参数的设计和测试方法

4.2.2 实验仪器与设备

- (1) 函数信号发生器 1 台
- (2) 双踪示波器 1 台
- (3) 数字万用表 1 块
- (4) LM324 集成运放芯片、电阻、电位器、电容若干。

4.2.3 预习要求

- (1) 分析正弦波、方波和三角波发生电路的工作原理。
- (2) 了解 LM324 集成运放各引脚功能。

4.2.4 实验原理

集成运放作为一种高增益放大器，只要加入适当的反馈网络，利用正反馈原理，满足振荡条件，就可以很方便地组成如正弦波、方波、三角波、锯齿波等各种振荡电路。其频率稳定和波形准确度等都超过了分离元件，因此得到越来越广泛的应用。但受集成运放带宽的限制，它所产生的振荡信号频率不高，一般在低频范围。

以集成运放为核心的波形发生电路，可以首先设计正弦波振荡器，接着使用电压比较器获得矩形波，最后再用积分器将矩形波转换成三角波。在输出部分加切换开关，选择不同的波形输出。

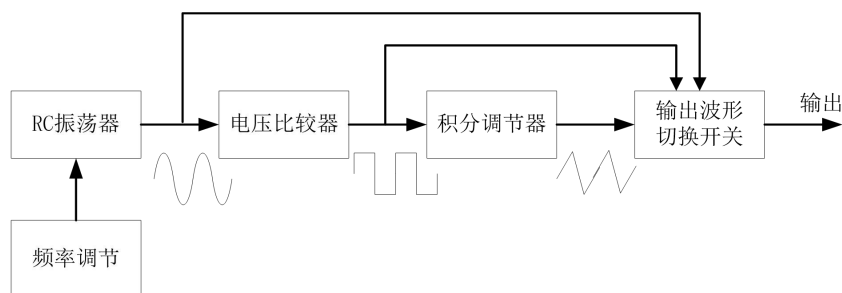


图 4.2.1 波形发生电路系统框图

1 RC 桥式(文氏桥)正弦波振荡电路

(1) 基本原理

文氏桥振荡电路又称 RC 串并网络正弦波振荡电路。它适用于产生 $f \leq 1\text{MHz}$ 的低频振荡信号。文氏桥振荡器作为反馈回路，接于运放同相输入端，同时接入适当的负反馈，控制运放增益，组成正弦波振荡器。图 4.2.2 为典型的文氏桥振荡电路。

图 4.2.2 中 RC 串并网络引入同相输入端形成正反馈，并决定振荡频率，使得在 $f = f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$ 时，因串、并网络引入的相移 $\varphi_F = 0$ ，从而满足自激振荡相位平衡条件

$\varphi = \varphi_F = \varphi_A = 0$ ， φ_A 即运放相移，低频时 $\varphi_A = 0$ 。

振幅平衡条件为 $AF=1$ ，在 $f = f_0$ 时， $F = \frac{1}{3}$ 。对振荡器而言， A_{uf} 为负反馈放大器增益。

同相比例放大电路 $A_{uf} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$ 。

电路的起振条件是： $A_{uf} \geq 3$ ，即 $1 + \frac{R_F}{R_1} \geq 3$ 或 $\frac{R_F}{R_1} \geq 2$ 。

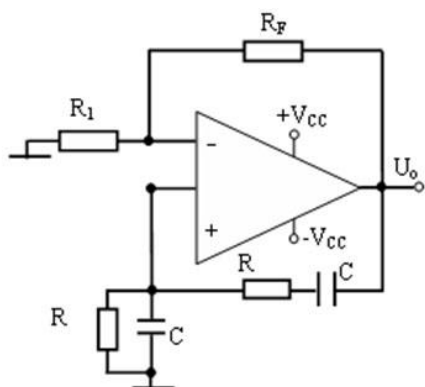


图 4.2.2 文氏振荡器图

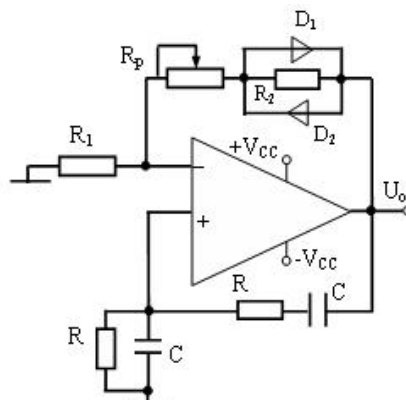


图 4.2.3 具有稳幅部分的文氏振荡器

该电路依靠集成运放的非线性进行限幅，故波形会产生较大失真。为此，实际电路中设置自动稳幅部分。典型的电路如图 4.2.3 所示。图中负反馈电路中的二极管 D_1 、 D_2 即为自动限幅元件， R_2 是为克服硅二极管“死区”而设置的。

(2) 选择电路参数

① 根据设计要求的振荡频率，计算 RC 之积，即 $RC = \frac{1}{2\pi f_0}$ 。

为使选频网络的选频特性尽量不受运放输入、输出电阻的影响，应按下列关系初选 R 值，

$$R_i \gg R \gg R_o$$

R_i 运放同相端输入电阻(约几百千欧以上)， R_o 为其输出电阻(约几百欧以下)。因此，可初选 R 值，然后计算 C 值，电容 C 值取标称值后，再复算 R 值并取标称值。注意选用稳定性较好、精度较高的电阻（E24 系列 RJ 型电阻）和介质损耗小的电容（如 CB 型电容）。

② 确定 R_1 和 R_F 值。

由起振幅值条件知： $R_F \geq 2R_1$ $R_F = R_p + R_2/r_d$ ， r_d 表示二极管导通时动态电阻。通常取 $R_F = 2.1R_1$ ，这样既能保证起振，又不致引起严重的波形失真。本设计 R_1 可用一固定电阻与可调电位器串联，以便调整。

③ 确定稳幅电路及元件值

图 4.2.3 中，稳幅电路由两个反向并联的二极管与 R_2 并联组成。在振荡过程中， D_1 、 D_2 交替导通和截止。如果由于外界因素使振幅增大时，二极管 r_d 将减小，即 R_F 值减小，负反馈系数自动变大，负反馈作用加强，从而抑制了振幅上升。反之也能达到稳幅的目的。

选用稳幅二极管应注意两点：

- 从提高振幅的温度稳定性考虑，宜选用硅二极管。
- 为了保证上下振幅对称，两个稳幅二极管特性参数必须匹配。

2 方波发生电路

正弦波信号通过电压比较器电路将变换成方波，为了将输出电压限制在特定值，可在运放输出端接双向稳压二极管，做双向限幅，电路如图 4.2.4 所示。

3 三角波发生电路

将方波信号输入到积分电路，将变换成三角波，如图 4.2.5 所示。积分时间常数为 $R_A C_1$ ，调节 R_A 阻值，改变积分时间常数，从而改变三角波的峰一峰值。在积分电容上并联一个电阻 R_F ，目的是防止电路的低频电压增益过大。

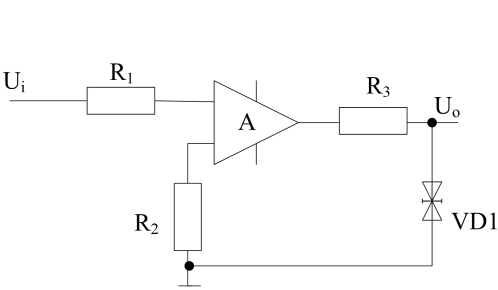


图 4.2.4 方波发生电路

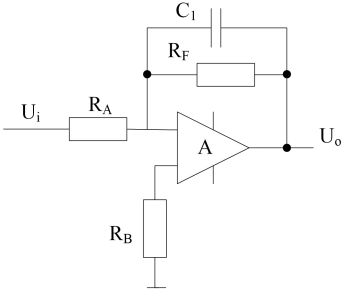


图 4.2.5 三角波发生电路

4 运放的选择

为简化实验线路，波形发生电路可采用 LM324 集成运算放大器，LM324 内集成了 4 组运算放大器，正电源或正负双电源工作。电源电压范围宽，正电源为 $+3\sim+30\text{ V}$ ，正负电源为 $\pm 1.5\text{ V}\sim\pm 15\text{ V}$ 。本设计中正负电源可以选择为 $\pm 12\text{ V}$ 。LM324 集成块引脚排列如图 4.2.6 所示。

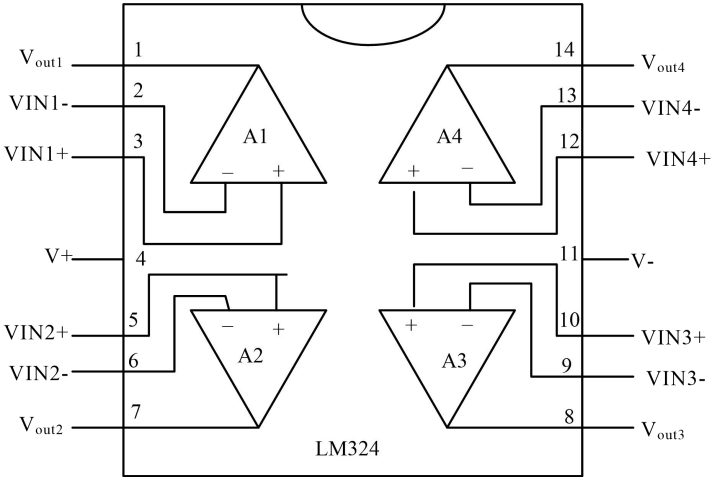


图 4.2.6 LM324 管脚排列图

4.2.5 实验内容

1.设计课题

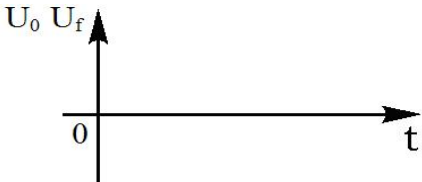
设计一个正弦波一方波一三角波信号发生电路。要求频率范围 $160\text{ Hz}\sim 16\text{ kHz}$ ，正弦波信号峰峰值在 $5\text{-}10\text{ V}$ 内可调。

2.设计步骤与要求

(1) 参考实验原理确定实验电路图，自行设计元器件参数，在模拟电路实验箱上连接电路。

(2) 调节电位器，使 RC 桥式正弦波振荡电路起振，继续调节电位器，使 U_o 幅值最大且不失真（无明显失真）。利用示波器观察正弦波输出及同相输入端反馈信号的大小和波形，记录在表 1 中。

表 1 正弦波振荡电路测试结果

参数	$R\ (\text{k}\Omega)$		U_o 与 U_f 波形
	$C\ (\mu\text{F})$		
频率 $f\ (\text{Hz})$	计算值		
	示波器测量		
峰峰值	$U_o\ (\text{V})$		
	$U_f\ (\text{V})$		
可调范围	$U_{o1}\ (\text{V})$		

(2) 正弦波信号作为过零比较器的输入信号，得到方波信号，用示波器测量方波电路输入输出波形及峰峰值。

表 2 方波电路测试结果

峰峰值	正弦波 $U_i\ (\text{V})$		U_o 与 U_i 波形
	方波 $U_o\ (\text{V})$		

(3) 调节 R_A 阻值或 C 容值大小，改变积分电路时间常数，测试三角波峰峰值，。

表 3 三角波电路测试结果

参数	$R\ (\text{k}\Omega)$			U_o 与 U_i 波形
	$C\ (\mu\text{F})$			
峰峰值	方波 $U_i\ (\text{V})$			
	三角波 $U_o\ (\text{V})$			

4.2.6 注意事项

- (1) 集成运放各引脚正确接线，正负电源不要接反。
- (2) 连线完成并检查无误后，再打开电源开关。
- (3) 电路可分为 4 部分，正弦波振荡电路、方波发生电路、跟随器电路、三角波发生电路，可分级接线、调试。
- (4) 可在基本电路基础上，进行其他功能设计，如信号输出幅值可调，过零比较

器增加保护电路功能等。

4.2.7 思考题

- (1) RC 桥式正弦波振荡电路由几部分构成？
- (2) 为什么 RC 串并联电路的 R/C 在变化时应尽量保持相等？
- (3) 还有哪些方法可以产生方波、三角波？

4.2.8 实验报告要求

- (1) 画出系统设计原理图，标明所选元器件参数。
- (2) 记录、整理实数据，绘制正弦波、方波、三角波的输出曲线图。
- (3) 说明在完成实验过程中出现的问题和解决办法。