

电子科技大学

《Multisim 与电路仿真设计》实验报告

实验 8: 函数发生器设计与仿真

学生姓名: 李聪 学号: 2019010398114

教师姓名: 张彪 日期: 2021-10-20

一、实验目的与任务

1、实验目的

理解信号发生器原理，掌握函数发生器设计方法；分析正弦波信号发生器；设计一个能同时输出正弦波、方波和三角波的函数发生器。

2、实验内容

• 三、实验内容:

• 1、正弦波振荡器分析

正弦波振荡器电路如图1所示，电阻R1和R2阻值未知。

- 如使振荡频率为1kHz，确定R1和R2的阻值。
- 改变R3的阻值，测试信号从起振到稳定过程的波形，测试振荡频率和输出电压幅值，完成表1。

问题1：解释表1中4个振荡波形不同的原因。

问题2：分析使电路正常振荡的R3取值范围（R5=10k，R6=10k）。

R3 (kΩ)	10	9	6	5
振荡频率 (Hz)	-	1k	998	1k
电压幅值 (V)	0	1.37	4.96	12.38

表1 正弦波振荡器实验数据

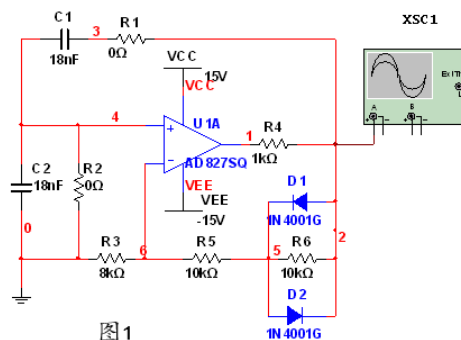


图1

* 2、函数发生器设计

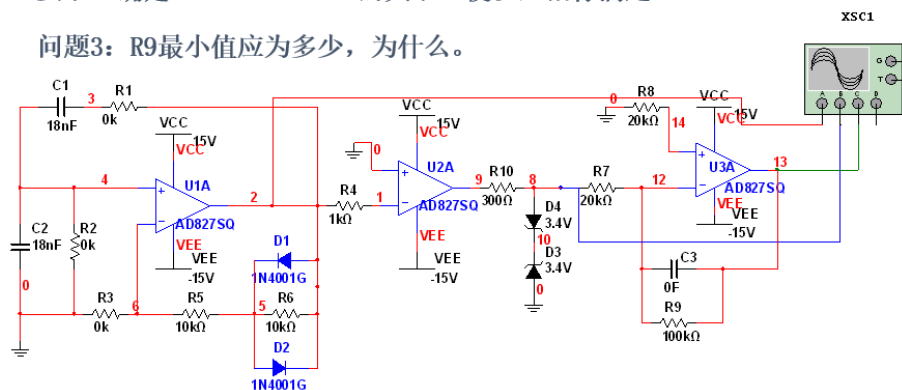
- * 设计一个能同时输出正弦波、方波和三角波的函数发生器

指标:

- * 频率 f_0 : 1.5kHz
- * 输出电压峰峰值: 正弦波4V, 方波8V, 三角波4V。

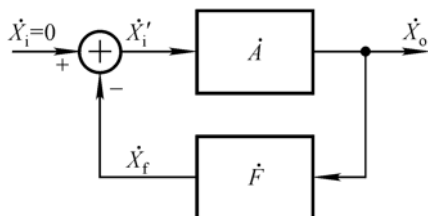
要求: 确定R1、R2、R3、C3的大小, 使以上指标满足。

问题3: R9最小值应为多少, 为什么。

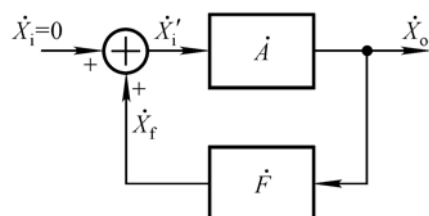


二、实验原理

1. RC正弦振荡电路



负反馈放大电路的自激振荡



正弦波振荡电路中的正反馈

在电扰动下, 对于某一特定频率 f_0 的信号形成正反馈

$$X_o \uparrow \rightarrow X_i' \rightarrow X_o \uparrow \uparrow$$

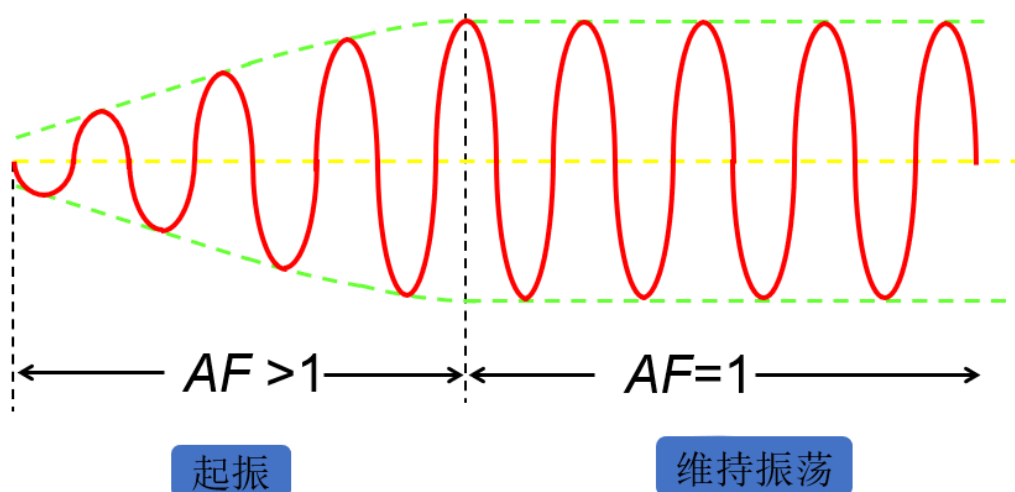
振荡平衡条件:

$$\dot{A}\dot{F} = -1$$

$$\dot{A}\dot{F} = 1$$

起振条件: $|\dot{A}\dot{F}| > 1$

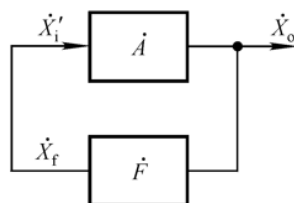
自激振荡电路的起振过程



由于半导体器件的非线性特性及供电电源的限制，最终达到动态平衡，稳定在一定的幅值。

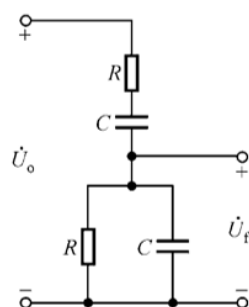
□ 振荡原理

- 1) **放大电路**：放大作用
- 2) **正反馈网络**：满足相位条件
- 3) **选频网络**：确定 f_0
- 4) **非线性环节（稳幅环节）**：稳幅

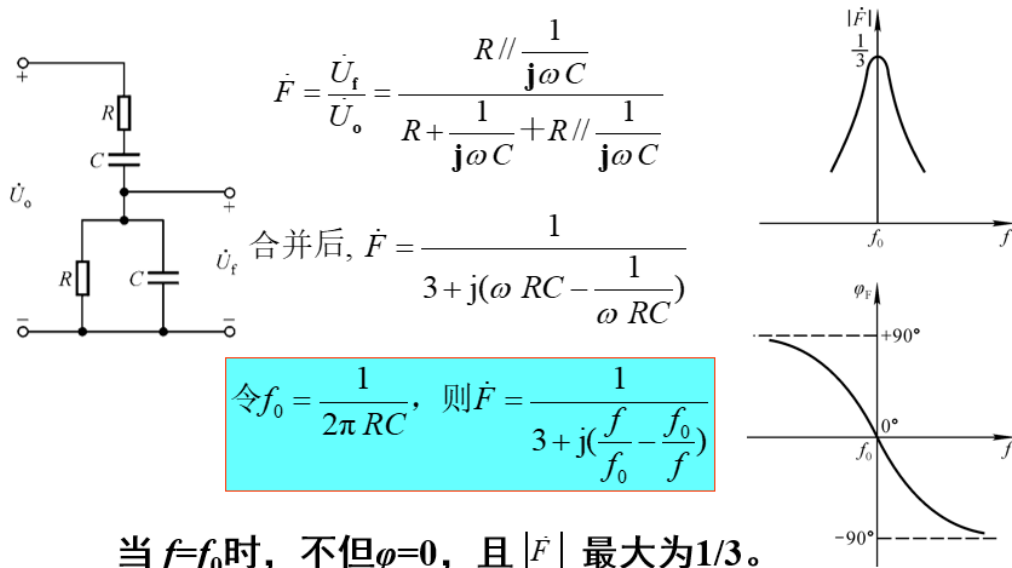


合二为一：RC串并联网路

RC串并联选频及正反馈网络



RC串并联选频网络的频率响应



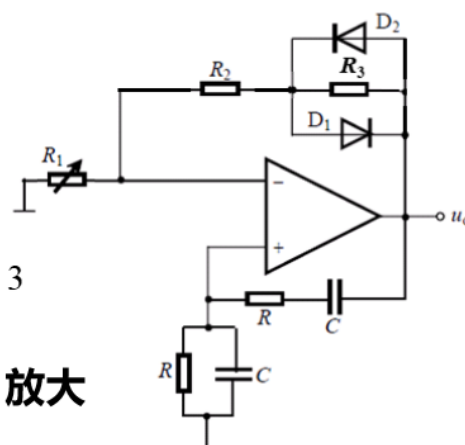
起振条件: $|\dot{A}\dot{F}| > 1$, 放大电路如何选择?

□ 振荡电路

振荡频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

放大电路的放大倍数 $A = 1 + \frac{R_2 + R_3 // r_D}{R_1} \geq 3$

R3需保证起振时(二极管未导通) 放大倍数大于3



二极管D1、D2的作用:

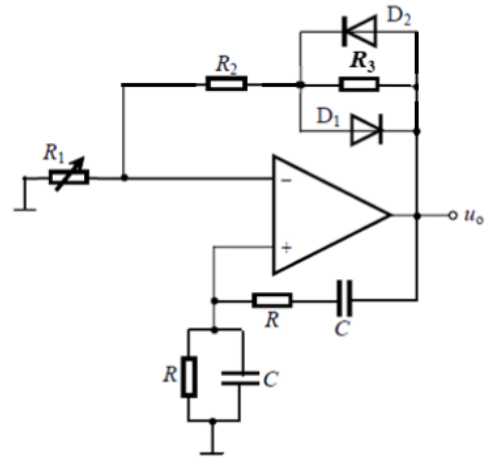
其动态电阻 r_D 随输出电压增大而减小, 可以改变放大电路的放大倍数, 保证稳定时放大倍数等于3, 实现稳幅。

□ 参数选择

振荡频率 $f_0 = \frac{1}{2\pi RC}$

可选择 $C = 0.01\mu F \sim 0.1\mu F$

根据 C 可以确定 R ，调节 R 或 C 可以改变振荡频率。



选择 R_1 和 R_2 ，调节 R_1 使电路振荡，同时波形失真小，输出电压大小满足要求。

□ 参数选择

输出电压幅值

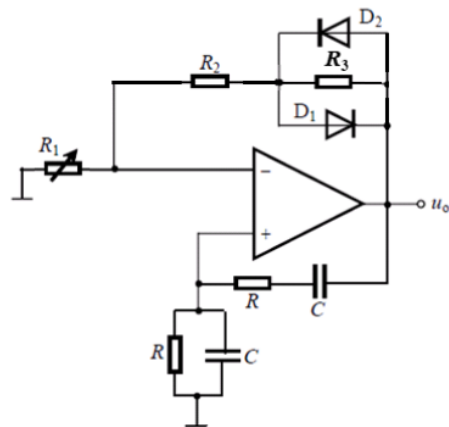
$$U_- = U_+ = \frac{1}{3} U_{om}$$

$$U_D + U_{R_2} = \frac{2}{3} U_{om}$$

$$U_{R_2} = \frac{U_-}{R_1} \cdot R_2 = \frac{R_2}{3R_1} U_{om}$$

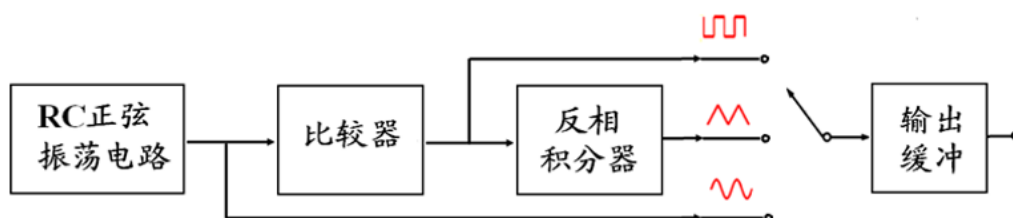
$$U_D + \frac{R_2}{3R_1} U_{om} = \frac{2}{3} U_{om}$$

$$U_{om} = \frac{3R_1}{2R_1 - R_2} \cdot U_D$$



函数发生器

□ 整体方案

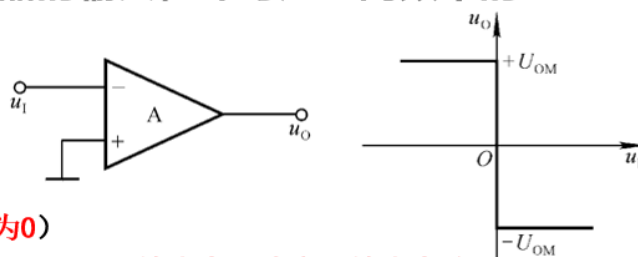


- 采用RC桥式正弦振荡电路产生正弦信号
- 正弦信号通过比较器电路产生方波
- 方波信号利用反相积分电路变换为三角波

□ 正弦波—方波

正弦信号作为比较器的输入，即可产生同频率的方波信号。

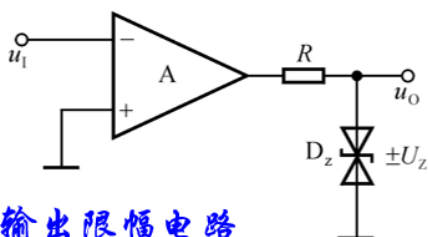
过零比较器



(1) $U_T=0$ (门限电压 U_T 为0)

(2) $U_{OH}=+U_{OM}$, $U_{OL}=-U_{OM}$ (输出电压决定于输出电路)

(3) $u_I > 0$ 时 $u_O = -U_{OM}$; $u_I < 0$ 时 $u_O = +U_{OM}$ (输出电压跃变的方向)



输出限幅电路

$$U_{OH} = -U_{OL} = U_Z$$

□ 方波—三角波

积分运算电路

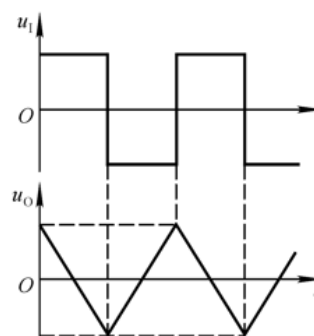
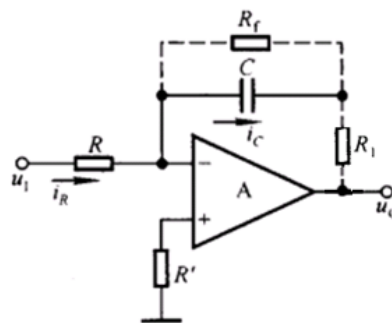
$$u_o = -\frac{1}{RC} \int u_i dt$$

若 u_i 在 $t_1 \sim t_2$ 为常量,

$$\text{则 } u_o = -\frac{1}{RC} \cdot u_i(t_2 - t_1) + u_o(t_1)$$

调整 R 或 C 的大小, 可以改变三角波幅度。

R_f 用于减小电路低频放大倍数, 使之不至于太大。



参数选择

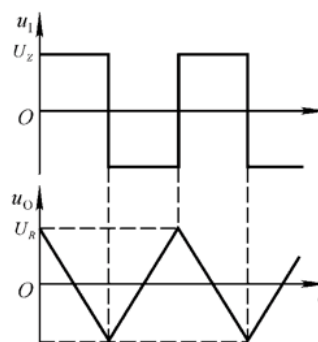
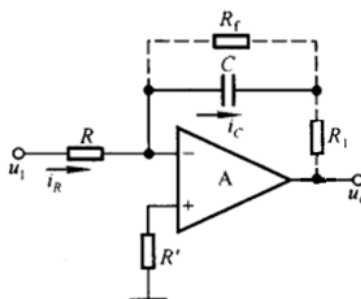
三角波峰峰值 $U_R = \frac{U_I}{RC} \cdot \frac{T}{2}$
T为信号周期

可选择 $C = 0.01 \mu F \sim 0.1 \mu F$

根据 C 及输入输出信号的比值可以确定 R (需要调试)。

要求电路的转折频率远远小于信号工作频率 f_o 。

$$\frac{1}{2\pi R_f C} \ll f_o$$



三、实验步骤

根据实验内容，搭建相应的仿真电路，在分别记录 R3 取值 9k、6k 和 5k 时的 3 张数据，输出电压波形及振荡频率。用频率计数器测试振荡频率，示波器需显示信号从零到稳定的过程，光标测试稳定后的峰峰值。

再根据 DDS 指标，计算 R1、R2、R3、C3 的大小记录 1 张 4 通道示波器电压测试图片（包含电压波形和测试频率。用频率计数器测试振荡频率，示波器 3 个通道用不同颜色分别测试正弦波、方波和三角波，2 个光标分别测试正弦波和三角波最大值，横坐标 200uS/格，纵坐标三个通道都设置为 2V/格）。

四、实验数据和数据分析

图 1、2、3 表示电阻 R3 取 9k，6k，5k 时的自激振荡电路的起振过程。 $AF = (R5+R6)/R3$ ，起振的过程中 AF 值 > 1 ，对比三张图片，R3 越小， AF 越大电路就越快达到动态平衡 $AF=1$ 的状态。

图 1

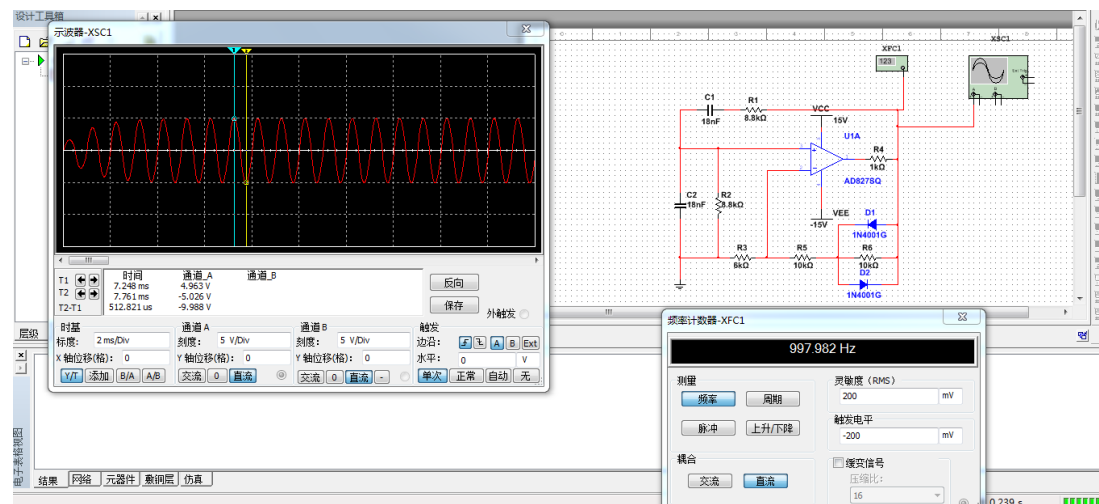


图 2

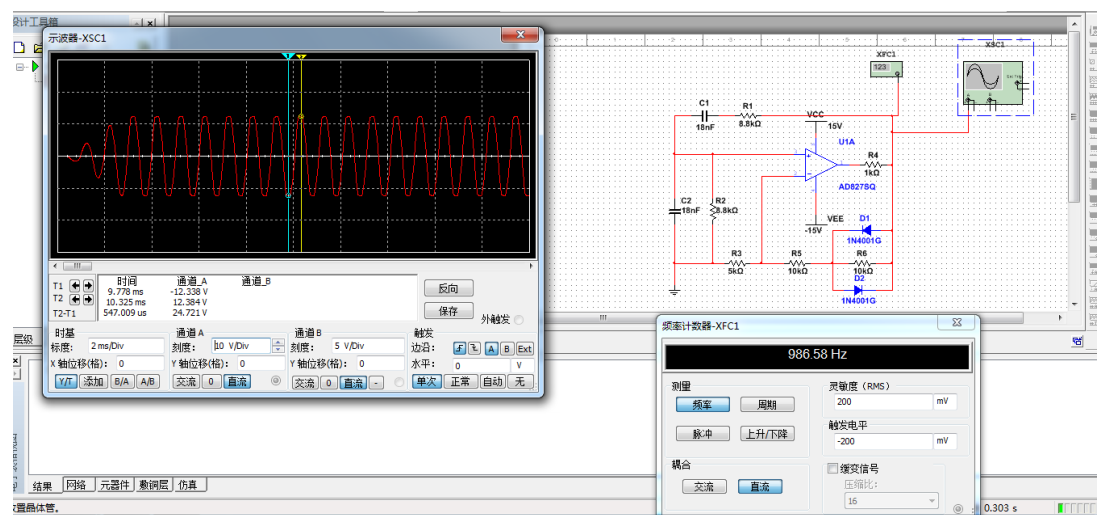


图 3

方波与正弦波相位相同，因为三角波是方波的微分，正弦波幅值由反馈电阻决定，方波幅值由稳压管决定，三角波幅值由反馈电容决定。

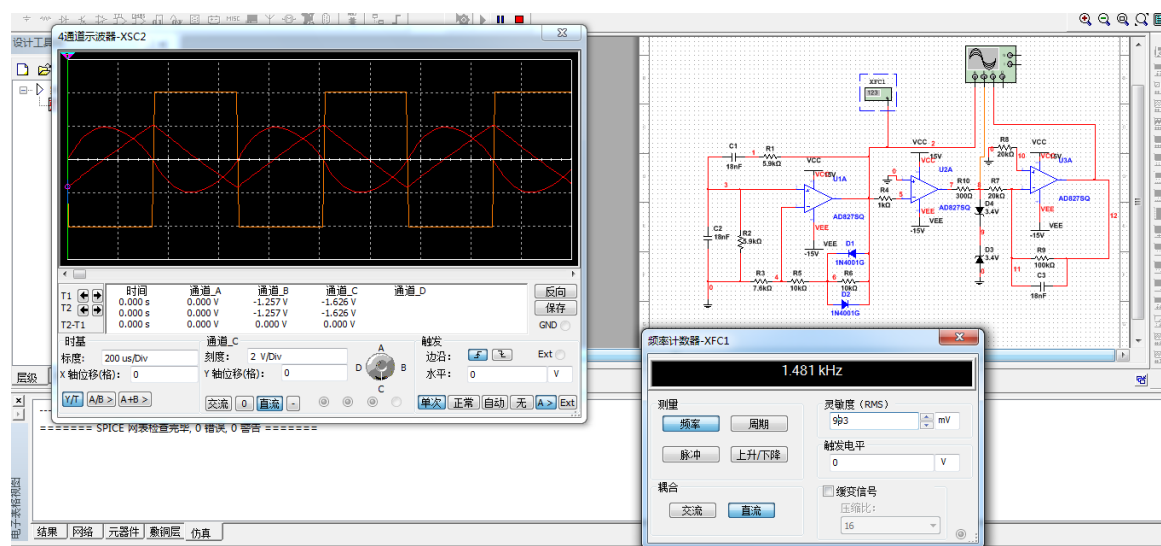


图 4

五、回答问题

问题 1：解释表 1 中 4 个振荡波形不同的原因。

$AF = (R5 + R6) / R3$, $R3$ 的值越小, AF 越大, 振荡越快, 当 $R3 = 10k$, $AF = 2$ 不满足放大倍数 $AF + 1 > 3$ 的起振条件。

问题 2：分析使电路正常振荡的 $R3$ 取值范围 ($R5 = 10k$, $R6 = 10k$)。

起振条件: $AF + 1 > 3$, $AF = (R5 + R6) / R3$, 联立上述两个式子, 得到 $R3 < 10k$

问题 3: $R9$ 最小值应为多少, 为什么?

$$U_R = \frac{U_I}{RC} \cdot \frac{T}{2} \quad C = 0.01\mu F \sim 0.1\mu F \quad \frac{1}{2\pi R_f C} \ll f_o$$

$U_R = 4$, $U_I = 8$, $C = 0.1\mu F$, $T = 0.67ms$, 带入的 R 最小值 $35.5k\Omega$

六、总结

通过本次实验, 我理解信号发生器原理, 掌握函数发生器设计方法; 分析正弦波信号发生器; 设计一个能同时输出正弦波、方波和三角波的函数发生器, 在实验的过程中, 我错把正弦波 4V 的峰峰值做成了 4V 的峰值, 重新计算更改参数之后, 顺利的做出了 DDS, 为我以后的学习打下了基础。