

实验九 集成运算放大器组成的 RC 文氏电桥振荡器

一、实验目的

- 1、掌握产生自激振荡的振幅平衡条件和相位平衡条件。
- 2、了解文氏电桥振荡器的工作原理及起振条件和稳幅原理。

二、预习要求

- 1、复习 RC 桥式振荡器的工作原理，并按实验内容 1 要求，进行参数的理论计算；
- 2、根据计算的参数值，对电路进行 EWB 或者 PSpice 仿真。列出相关结果。将振荡电路加入稳幅元件后，再次进行仿真，查看加和不加的区别。
- 3、熟悉验证振幅平衡条件的实验方法。

三、实验报告要求

- 1、画出实验电路，标明元件参数；
- 2、列出仿真结果。
- 3、列表整理实验数据，计算验证结果，并与理论值进行比较，分析误差原因；
- 4、说明自动稳幅原理。

四、实验原理

1、产生自激振荡的条件

所谓振荡器是指在接通电源后，能自动产生所需的信号的电路，如多谐振荡器、正弦波振荡器等。

当放大器引入正反馈时，电路可能产生自激振荡，因此，一般振荡器都由放大器和正反馈网络组成。其框图如图 1 所示。振荡器产生自激振荡必须满足两个基本条件：

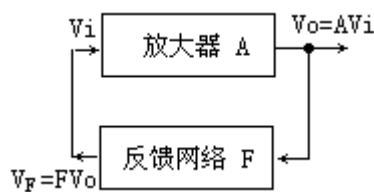


图 1 自激振荡器框图

- (1) 振幅平衡条件：反馈信号的振幅应该等于输入信号的幅度，即：

$$V_F = V_i \quad \text{或} \quad |AF| = 1$$

- (2) 相位平衡条件：反馈信号与输入信号应同相位，其相位差应为：

$$\varphi = \varphi_A + \varphi_F = \pm 2n\pi \quad (n=0, 1, 2, \dots)$$

为了振荡器容易起振，要求 $|AF| > 1$ ，即：电源接通时，反馈信号应大于输入信号，电路才能振荡，而当振荡器起振后，电路应能自动调节使反馈信号的振幅应该等于输入信号的幅度，这种自动调节功能称为稳幅功能。电路振荡产生的信号为矩形波信号，这种信号包含着多种谐波分量，故也称为多谐振荡器。为了获得单一频率的正弦信号，要求在正反馈网络具有选频特性，以便从多谐信号中选取所需的正弦信号。本实验采用 RC 串-并联网络作为正反馈的选频网络，其与负反馈的稳幅电路构成一个四臂电桥，如图 3 所示，故又称为文氏电桥振荡器。

2、RC 串-并联网路的选频特性

RC 串-并联网路如图 2 (a) 所示，其电压传输系数为：

$$F_{(+)} = \frac{V_{F(+)}}{V_o} = \frac{\frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}}{R_1 + \frac{1}{j\omega C_1} + \frac{R_2}{1 + j\omega R_2 C_2}} = \frac{1}{(1 + \frac{R_1}{R_2} + \frac{C_2}{C_1}) + j(\omega C_2 R_1 - \frac{1}{\omega C_1 R_2})}$$

当 $R_1=R_2=R$, $C_1=C_2=C$ 时，则上式为：

$$F_{(+)} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}$$

若令上式虚部为零，即得到谐振频率 f_o 为： $f_o = \frac{1}{2\pi RC}$

当 $f=f_o$ 时，传输系数最大，且相移为 0，即： $F_{max}=1/3$, $\varphi_F = 0$

传输系数 F 的幅频特性和相频特性如图 2 (b) (c) 所示。由此可见，RC 串-并联网路具有选频特性。对频率 f_o 而言，为了满足振幅平衡条件 $|AF|=1$ ，要求放大器 $|A|=3$ 。为满足相位平衡条件： $\varphi_A + \varphi_F = 2n\pi$ ，要求放大器为同相放大。

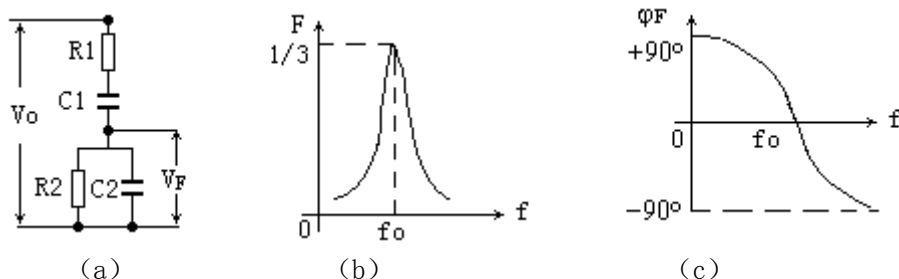


图 2 RC 串-并联网路及幅频、相频特性

3、自动稳幅

由运算放大器组成的 RC 文氏电桥振荡器原理图如图 3 所示，RC 串-并联网路输出接放大器同相端，构成正反馈，并具有选频作用。 R_F 和 R_1 分压输出接放大器的反相端，构成电压串联负反馈，以控制放大器的增益。负反馈系数为：

$$V_{F(-)} = \frac{V_{F(-)}}{V_o} = \frac{R_1}{R_1 + R_F} \quad \text{在深度负反馈情况下：}$$

$$A_F = \frac{1}{V_{F(-)}} = \frac{R_1 + R_F}{R_1} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

因此，改变 R_F 或者 R_1 就可以改变放大器的电压增益。

由振荡器起振条件，要求 $|AF_{(+)}| > 1$ ，当起振后，输出电压幅度将迅速增大，以至进入放大器的非线性区，造成输出波形产生平顶削波失真现象。为了能够获得良好的正弦波，要求放大器的增益能自动调节，以便在起振时，有 $|AF_{(+)}| > 1$ ；起振后，有 $|AF_{(+)}| = 1$ ，达到振幅平

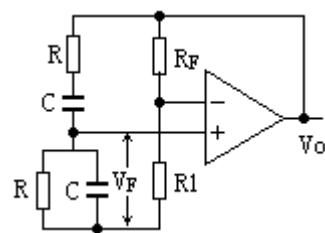


图 3 运放 RC 文氏电桥振荡器原理图

平衡条件。那么如何能自动地改变放大器的增益呢？由于负反馈放大器的增益完全由反馈系数 $V_{F(-)}$ 决定。因此，若能自动改变 R_F 和 R_1 的比值，就能自动稳定输出幅度，使波形不失真。

自动稳幅的方法很多，通常可以利用二极管、稳压管和热敏电阻的非线性特征，或场效应管的可变电阻特性来自动地稳定振荡器的幅度。下面以二极管为例说明其稳幅原理。

二极管稳幅原理如图 4 所示，当电路接通电源时，由于设计时令 $R_F > 3R_1$ ，则在 f_0 点 $V_F > V_i$ ，满足起振条件，振荡器振荡，由二极管正相特性曲线（如图 5）可见，由于起振时， V_o 较小，二极管两端的电压较小，二极管工作在 Q1 点，则其等效的直流电阻较大；随着振荡器输出电压 V_o 增大，二极管两端的电压较大，二极管由 Q1 上升到 Q2 点，则其等效的直流电阻较小；由图 4 可见，二极管 D1、D2 并联在 R_F 两端，随着 V_o 的逐渐增大， R_D 减少，从而使总的反馈电阻 R_F 减小，负反馈增强，放大器增益下降，达到自动稳幅的目的。

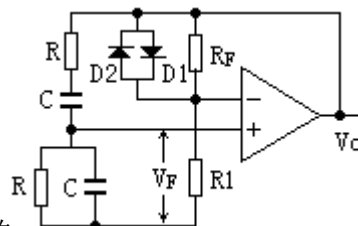


图 4 二极管稳幅原理图

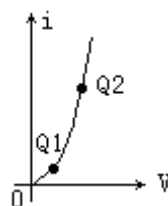


图 5 二极管特性曲线

三、实验仪器

1、示波器	1 台
2、函数信号发生器	1 台
3、数字万用表	1 台
4、多功能电路实验箱	1 台

四、实验内容

1、电路分析及参数计算

分析图 6 振荡器电路的工作原理，并进行参数计算。

图 6 电路中，运算放大器和 R_{F1} 、 R_{F2} 及 R_w 构成同相放大器，调整 R_w 即可调整放大器的增益；RC 串-并联网路构成选频网络；选频网络的输出端经 R_2 、 R_3 构成分压电路分压送运算放大器的同相端，构成正反馈，D1、D2 为稳幅二极管。

在不接稳幅二极管时，在谐振频率点，正反馈系数为：

$$F_{(+)} = \frac{V_{F(+)}}{V_o} = \frac{1}{3} \cdot \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

而负反馈系数为：

$$F_{(-)} = \frac{R_w}{R_{F1} + R_{F2} + R_w}$$

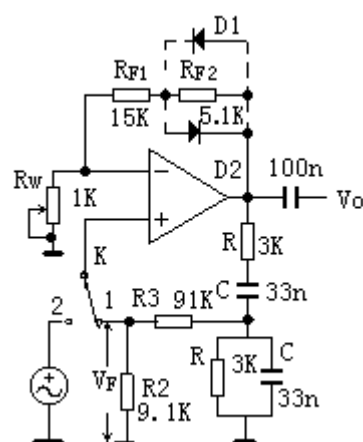


图 6 振荡器实验电路

(1) 为保证电路能稳定振荡，则要求： $F_{(+)} = F_{(-)}$ 由此，根据电路参数，计算 R_w 的理论值；

(2) 同相放大器的电压增益 $A_{VF} =$ _____；

(3) 电路的振荡频率 $f_0 =$ _____；

2、振荡器参数测试

(1) 按图 6 搭接电路，(D1、D2 不接，K 拨向 1) 经检查无误后，接通 $\pm 12V$ 电源；

(2) 调节 R_w ，用示波器观察输出波形，在输出为最佳正弦波，测量输出电压 V_{p-p} ；

(3) 测量 R_w 值;

(4) 用李萨茹图形法测量振荡频率;

李萨茹图形测量信号频率方法: 将示波器 CH1 接振荡器输出, CH2 接信号发生器正弦波输出, 令示波器工作在“外扫描 X-Y”方式; 当调节信号发生器频率时, 若信号发生器频率与振荡器频率相同时, 示波器将出现一椭圆; 通过此方法可测量未知信号频率。

3、振幅平衡条件的验证

在振荡器电路中, 调节 R_w , 使输出波形为最佳正弦波时, 保持 R_w 不变, 将开关 K 拨向 2 位置, 则, 即输入正弦信号 (频率为振荡频率, 幅度 $V=100\text{mV}$) 则电路变为同相放大器, 用毫伏表测量 V_i 、 V_o 、 V_A 、 V_F , 填入表 1;

将电路恢复为振荡器 (开关 K 拨向 1 位置), 调节 R_w , 使输出波形略微失真, 再将开关拨向 2 位置, 电路又变为同相放大器, 用毫伏表测量 V_i 、 V_o 、 V_A 、 V_F , 填入表 1;

将电路恢复为振荡器 (开关 K 拨向 1 位置), 调节 R_w , 使输出波形停振, 再将开关拨向 2 位置, 电路又变为同相放大器, 用毫伏表测量 V_i 、 V_o 、 V_A 、 V_F , 填入表 1;

表 1: 振幅平衡条件验证

工作状态	测量值				测量计算值		
	V_i (mV)	V_o (V)	V_A (V)	V_F (V)	$A=V_o/V_i$	$F_{(+)}=V_F/V_o$	$AF_{(+)}$
良好正弦波	100						
略微失真	100						
停 振	100						
良好正弦波时理论值							

4、观察自动稳幅电路作用

在图 6 基础上, 接入稳幅二极管 D1、D2, 调节电位器 R_w , 观察输出波形的变化情况, 测量出输出正弦波电压 V_{p-p} 的变化范围。

5、在图 6 的基础上, 设计一个约从 100-20KHz 频率可调的正弦波发生电路, 并对设计的电路进行仿真。