



集成运算放大器组成的 RC文氏电桥振荡器实验报告

实验名称: 集成运算放大器组成的RC文氏电桥振荡器

系 别: 计算机科学与技术

实验者姓名: 陈 瑾

学 号: 37220222203552

实验日期: 2023年11月29日

实验报告完成日期: 2023 年 12 月 12 日

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、 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。其框图如图所示。



振荡器产生自激振荡必须满足两个基本条件：

- (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：

$$V_F = V_i \text{ 或 } |AF| = 1$$

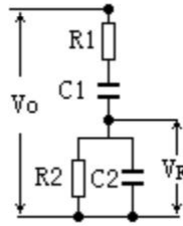
- (2) 相位平衡条件：反馈信号与输入信号应同相位，其相位差应为：

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

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，故又称为文氏电桥振荡器。

2、 RC 串-并联网络的选频特性

RC 串-并联网络如图所示



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：

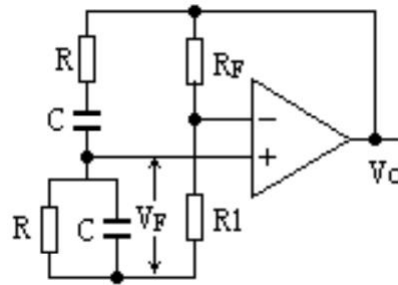
$$F_{(+)} = \frac{1}{3 + j(\omega RC - \frac{1}{\omega RC})}$$

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： $F_{max}=1/3$, $\phi_F = 0$

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：

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

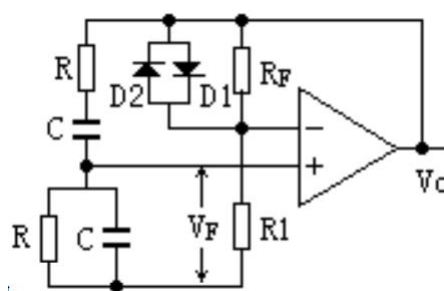
$$A_F = \frac{1}{V_{F(-)}} = \frac{R_1 + R_F}{R_1} = 1 + \frac{R_F}{R_1}$$

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 $|A_F (+)| > 1$ ，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 $|AF(+)| = 1$ ，达到振幅平衡条件。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。

二极管稳幅原理如图所示



当电路接通电源时，由于设计时令 $R_F > 3R_1$ ，则在 f_o 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 Q_1 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 Q_1 上升到 Q_2 点，则其等效的直流电阻较小；由图可见，二极管 D_1 、 D_2 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。

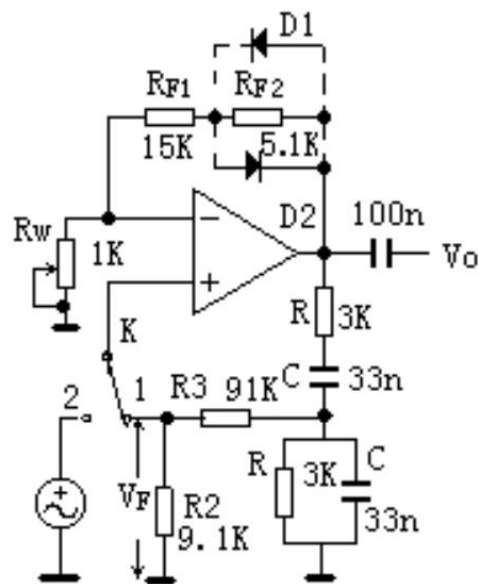
三、 实验仪器

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

分析振荡器电路的工作原理，并进行参数计算。



振荡器实验电路

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：

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

(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；

$$F_{(+)} = 1/3 \cdot R_2 / (R_2 + R_3) = 1/3 \cdot 9.1 / (91 + 9.1)$$

$$F_{(-)} = R_w / (R_{F1} + R_{F2} + R_w) = R_w / (15 + 1.5 + R_w)$$

由 $F_{(+)} = F_{(-)}$

得 $R_w = 0.62815 \text{ k}\Omega$

(2) 同相放大器的电压增益 $AVF = 1 + (R_{F1} + R_{F2}) / R_w = 33 \text{ k}\Omega$ ；

(3) 电路的振荡频率 $f_o = 1 / (2\pi RC) = 1.61 \text{ kHz}$ ；

2、振荡器参数测试

(1) 搭接电路，(D1、D2 不接，K 拨向 1) 经检查无误后，接通 $\pm 12\text{V}$ 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（允许略微失真）



读出输出电压

$$V_{p-p}=10.63V$$

(3) 测量 R_w 值;

$$R_w = 0.60112 \text{ k}\Omega$$

(4) 用李萨茹图形法测量振荡频率;

CH1通道还是观察振荡电路的输出波形，信号发生器选择正弦波输出，用示波器CH2 通道观察，示波器选择“X—Y”方式，调节信号发生器频率，在振荡电路的理论值 f_0 附近范围调节，直到示波器上出现李萨茹图形。越接近则转动越缓慢，调至最佳效果。



记下此时频率

$$f_o=1.542103400\text{kHz}$$

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	33.35	1.1990	0.3955	0.03595	35.95	0.0300	1.078
略微失真	35.35	1.2487	0.4087	0.03610	37.44	0.0289	1.082
停 振	33.35	1.1952	0.3915	0.01842	35.84	0.0154	0.552
良好正弦波 时理论值	35.36	1.1667	0.3889	0.03540	33.00	0.0303	1.000

4、观察自动稳幅电路作用

在上实验电路基础上，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} 的变化范围为

$$177.33\text{mV} \sim 10.21\text{V}$$

五、实验小结

通过本次实验，我们深入了解了集成运算放大器组成的RC文氏电桥振荡器的工作原理和特性。实验中，我们观察到了稳定的正弦波输出，验证了文氏电

桥振荡器的可行性。同时，我们也发现电阻和电容的值对振荡频率有显著影响，这为后续的优化设计提供了参考。此外，通过本次实验，我们还提高了动手实践能力、电路分析能力和问题解决能力。在未来的学习和实践中，我们将继续探索更多关于电子技术知识，并努力提升自己的综合素质。