



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： 苏廷君

学 号： 37220232203813

实验日期： 2024年12月5日

实验报告完成日期： 2024 年 12 月 11 日

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。

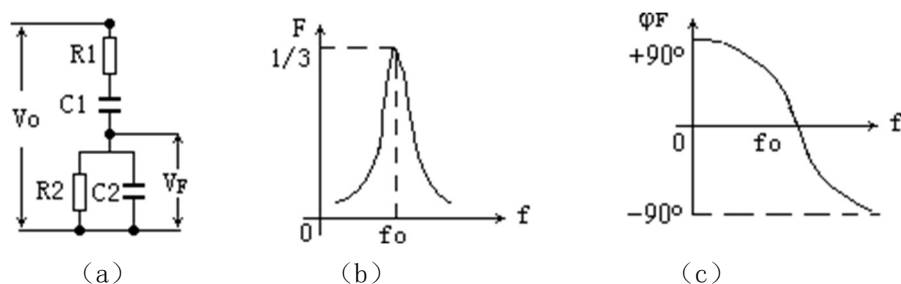


图2 RC 串-并联网路及幅频、相频特性

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

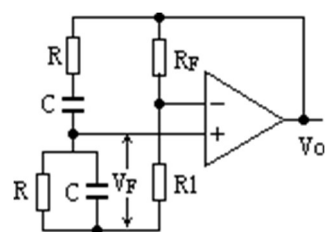


图3 运放 RC 文氏电桥振荡器原理图

145

- (1) 按图 6 搭接电路, (D1、D2 不接, K 拨向 1) 经检查无误后, 接通 $\pm 12\text{V}$ 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, 测量输出电压 V_{p-p} ; $V_{p-p}=10.63\text{V}$

测量 R_w 值； $R_w = 0.60112 \text{ k}\Omega$

(3)

(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。 $f_o = 1.542103400 \text{ kHz}$

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	100	1.1990	0.3955	0.03595	35.95	0.0300	1.078
略微失真	100	1.2487	0.4087	0.03610	37.44	0.0289	1.082
停 振	100	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，测量输出正弦波电压 V_{p-p} 的变化范围。

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

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。

五、实验小结

通过本次实验，我们深入掌握了由集成运算放大器组成的 RC 文氏电桥振荡器的工作原理与特性。实验过程中，我们成功观测到稳定的正弦波输出，充分验证了文氏电桥振荡器的实际可行性。同时，我们还注意到电阻和电容参数对振荡频率有显著影响，这为后续优化设计提供了重要依据。

此外，通过此次实验，我们显著提升了动手实践能力、电路分析能力以及解决问题的综合能力。未来的学习与实践中，我们将继续深入探索电子技术领域的相关知识，并不断提升自身的综合素质，为更高层次的技术研究与应用打下坚实基础。



