

集成运算放大器组成的 RC文氏电桥振荡器实验报告

：集成运算放大器组成的RC文氏电桥振荡器

 计算机科学与技术

 苏廷君

 37220232203813

 2024年12月5日

2024 12 11 

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；**

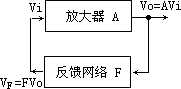
**2.列出仿真结果。**

**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，如多歇振荡器、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。振荡器产生自激震荡必须满足两个

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：

VF =Vi 或 |AF| =1

1. 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：

  A  F  2n （n=0、1、2……）

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-并联网络的选频特性**

RC 串-并联网络如图 2（a）所示，其电压传输系数为：

R2

F()  VF() 

1 jR2C2  1

Vo R1 1  R2

(1 R1  C2 )  j(C2R1 1 )

jC1

1 jR2C2

R2 C1

C1R2

当 R1=R2=R，C1=C2=C 时，则上式为：

F()  1

3  j(RC 

若令上式虚部为零，即得到谐振频率 fo 为：fo=

1 )

RC

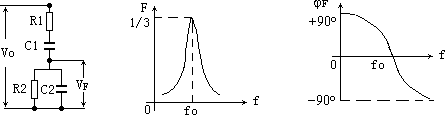
1

2RC

当 f=fo 时，传输系数最大，且相移为 0，即：Fmax=1/3， 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-并联网络具有选频特性。对频率 fo 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

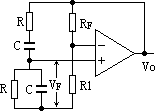
平衡条件： A  F  2n ，要求放大器为同相放大。



（a） （b） （c）

图 2 RC 串-并联网络及幅频、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，R C 串-并联网络输出接放大器同相端，构成正反馈，并具有选频作用。RF 和 R1 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：

Vf()  Vf() 

Vo

R1 R1 RF

在深度副反馈情况下：

AF  1

 R1 RF  1 RF

图 3 运放 RC 文氏电桥振荡器原理图

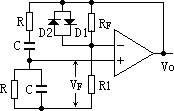
VF() R1 R1

因此，改变 RF 或者 R1 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

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

VF（-）决定。因此，若能自动改变 RF 和 R1 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 RF>3R1，则在 fo 点VF >Vi，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，Vo 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 Vo 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， 图 4 二极管稳幅原理图

随着 Vo 的逐渐增大，RD 减少，从而使总的反馈电阻 RF 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

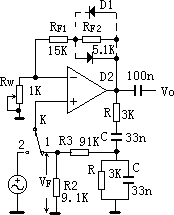
**1、示波器 1 台**

**2、函数信号发生器 1 台**

**3、数字万用表 1 台** 图 5 二极管特性曲线

**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 RF1、RF2 及RW 构成同

相放大器，调整 RW 即可调整放大器的增益；RC 串-并

联网络构成选频网络；选频网络的输出端经 R2、R3 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()  VF()  1  R 2

而负反馈系数为：

F

() 

Vo 3 R 2  R3

Rw

RF1  RF2  Rw

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 Rw 的理论值；

F（+）=1/3\*R2/（R2+R3）=1/3\*9.1/(91+9.1) F（-）=Rw/(RF1+RF2+Rw)=Rw/(15+1.5+Rw)

由 F（+）=F（-）

得 Rw = 0.62815 kΩ

（2） 同相放大器的电压增益 AVF = 1+(RF1+RF2)/Rw = 33kΩ；

（3）电路的振荡频率 fo = 1/(2ΠRC)= 1.61 kHz ；

**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±12V 电源；
2. 调节 Rw，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 Vp-p；Vp-p=10.63V

测量 Rw 值；Rw = 0.60112 kΩ

1. 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。fo=1.542103400kHz

**3、振幅平衡条件的验证**

在振荡器电路中，调节 Rw，使输出波形为最佳正弦波时，保持 Rw 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=100mV）则电路变为同相放大器，用毫伏表测量 Vi、Vo、VA、VF，填入表 1；

将电路恢复为振荡器（开关 K 拨向 1 位置），调节 Rw，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 Vi、Vo、VA、VF，填入表 1；

将电路恢复为振荡器（开关 K 拨向 1 位置），调节 Rw，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 Vi、Vo、VA、VF，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 | | |
| Vi（mV） | Vo（V） | VA（V） | VF（V） | A=Vo/Vi | F（+）=VF/Vo | 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 Rw，观察输出波形的变化情况，测量出输出正弦波电压 Vp-p 的变化范围。

177.33mV~10.21V

**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。



