

## 集成运算放大器的应用 (二)

### 1 实验目的

- (1) 通过实验进一步了解运算放大器的基本特性;
- (2) 进一步学习并掌握运算放大器的应用;
- (3) 进一步练习插接, 掌握调试技术和测量频率的方法;
- (4) 研究振荡器的起振条件和振荡频率;
- (5) 观察负反馈对振荡波形的影响。

### 2 实验器材

直流稳压电源、示波器、信号发生器、万用表、面包板、运算放大器, 电阻, 电容, 二极管, 三极管。

### 3 实验原理

#### 3.1 RC 晶体管振荡器

如图所示是用晶体管组成的桥式正弦波振荡器电路, 由两部分组成, 虚线左边是振荡器反馈网络, 右边则是放大器部分。

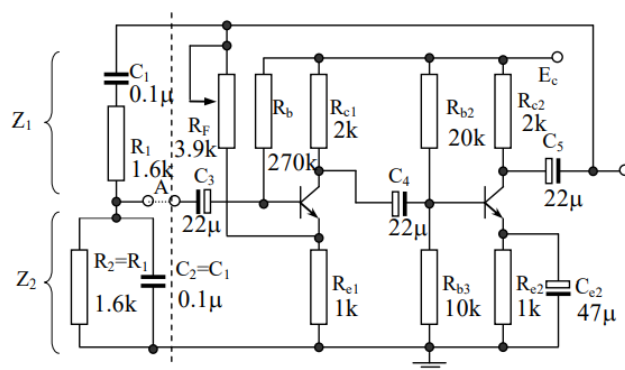


图 1: RC 桥式振荡器电路图

对于这样的电路起振条件为:  $|\dot{A}\dot{F}| \geq 1, \phi_A + \phi_F = 2n\pi \quad (n = 0, 1, 2, 3, \dots)$

这个条件将使得振荡器振幅越来越大, 为了达到稳幅振荡状态, 需要在放大器或反馈网络中引入由非线性元件组成的稳幅环节。

由于我们可以计算出在  $\omega = \frac{1}{RC}$  时,  $|\dot{F}| = \frac{1}{3}$ ,  $\phi_F = 0$

由于反馈网络特性确定, 所以需要放大器满足  $\phi_A = 2n\pi$ ,  $|A| \geq 3$ , 并要求有很大的输入阻抗和很小的输出阻抗, 以免影响反馈网络, 所以我们通常在放大器中引入较深的负反馈来达到要求。

### 3.2 利用运算放大器做积分运算

积分电路具有反相输入结构, 由于运放工作在线性区, 可以计算得  $u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt$ , 积分电路图如下所示:

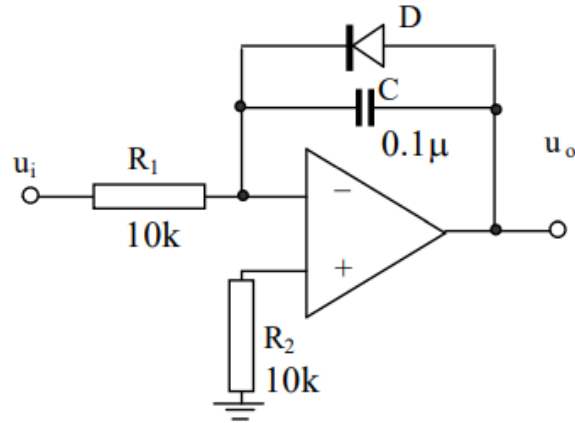


图 2: 积分电路图

### 3.3 利用运算放大器做微分运算

微分是积分的逆运算, 所以理论上只要将积分电路的电容和电阻对换位置, 就成了微分电路, 可以计算得  $u_o = -RC \frac{du_i}{dt}$ , 微分电路图如下所示:

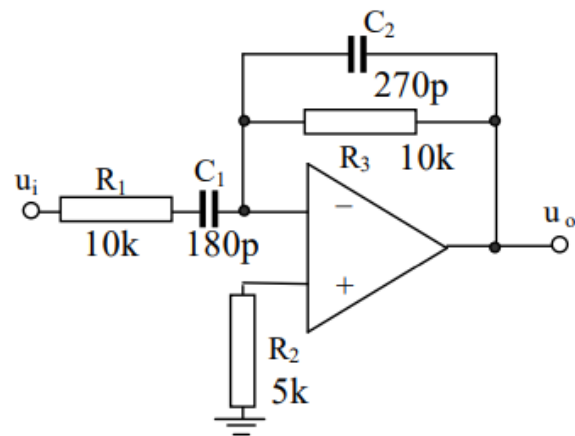


图 3: 微分电路图

## 4 实验内容

### 4.1 RC 晶体管振荡器

根据实验数据可得:  $R_F = 1.9275k\Omega$ ,  $u_o = 6.4V$ ,  $u_i = 2.0V$ ,  $f = 1.092kHz$

所以我们可得:  $A_F = \frac{u_o}{u_i} = 3.2 > 3$ , 我们与理论值比较可得:  $A_F = 1 + \frac{R_F}{R_P} \approx 2.93$ , 可见我们测的实际值与理论值相差不多

根据理论计算  $f = \frac{1}{2\pi RC} \approx 1.061kHz$ , 而我们实际测得  $f = 1.092kHz$ , 可见振荡频率实际值与理论值也十分吻合

下图为 RC 振荡器自激振荡后波形图:

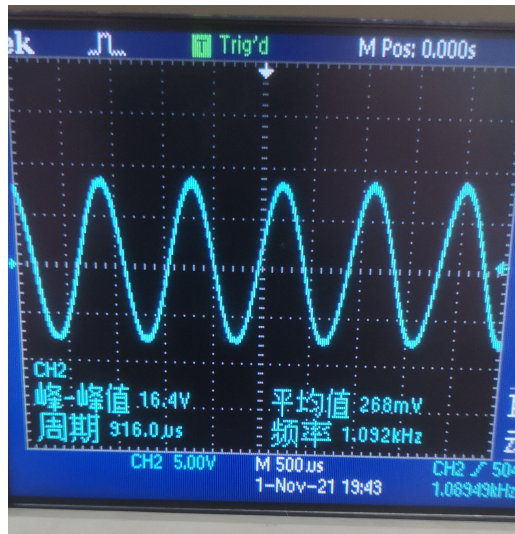


图 4: RC 振荡器自激振荡波形图

### 4.2 利用运算放大器做积分运算

输入方波后积分计算波形图如图所示:

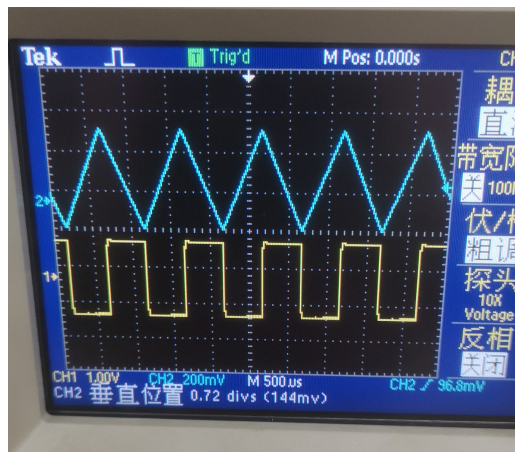


图 5: 方波积分计算波形图

由图中可见输入方波相位与输出的三角波的相位相反 (即方波处于高电平时三角波为上升期, 方波处于低电平时三角波为下降期)

我们可以得到实验数据为:  $T = 2 \times 416\mu s = 832\mu s$ ,  $u_{p-p} = 508mV$ , 我们输入的  $u_i = 0.5 \times 2.0V = 1.0V$

因此我们实测的输出三角波的斜率为:  $k = \frac{508mV}{416\mu s} = 1.221 \times 10^3 V/s$ , 而理论计算应该为:  $k = \frac{u_i}{RC} = \frac{1.0V}{10^{-3}s} = 1.0 \times 10^3 V/s$ , 可见实测值与理论值相差也不大

#### 4.3 利用运算放大器做微分运算

输入方波后微分计算波形图如图所示:

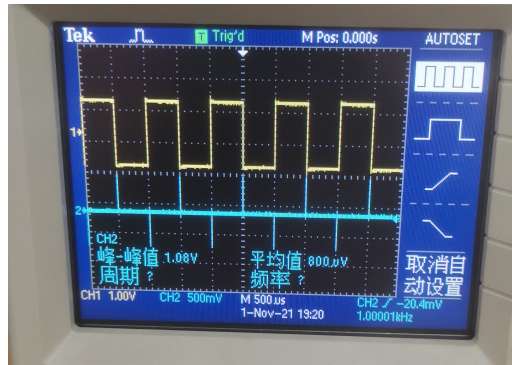


图 6: 方波微分计算波形图

可见在每个方波的高电平和低电平时, 输出均为  $0V$ , 而当方波处于上升沿或者下降沿时, 输出会出现一个峰值, 且相位与输入方波相反, 即上升沿处的输出为负值, 下降沿处的输出为正值。

## 5 思考题

### 1. 运放哪些应用是分别利用了运放的线性特性、非线性特性?

答: 线性特性应用: 理想运算放大器的虚短路与虚断路特性, 反比例放大器, 同比例放大器, 反相与同相加减法电路, 有源低通滤波器, 有源高通滤波器等; 非线性特性应用: 方波发生器, 滞回比较器, 双向限幅比较器等。

### 2. 在本电路中采用什么措施可以使电路自动起振并能使振幅稳定?

答: 在本电路中使得  $|\dot{A}\dot{F}| > 1$ ,  $|\dot{F}| = \frac{1}{3}$ ,  $|\dot{A}| > 3$ , 以及  $\phi_A = 2n\pi$  ( $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ ), 这时的条件可以使得电路自动起振; 为了达到稳幅振荡状态, 需要在放大器或反馈网络中引入由非线性元件组成的稳幅环节, 以及增加负反馈调节网络来稳定振幅。