

浙江大学实验报告

专业：信息工程
姓名：李昕
学号：3230103034
日期：2024 年 12 月 3 日
地点：东 4-216

课程名称：电子电路设计实验 I 指导老师：施红军, 叶险峰, 邓靖靖 成绩：
实验名称：晶体管共射放大电路的设计、仿真与测试 实验类型：设计型实验 同组学生姓名：罗启航

一、实验目的

- 研究由集成运放构成的比例、加法、减法等基本运算电路的组成与功能，加深对集成运放线性应用电路结构和性能特点的理解，掌握其设计方法。
- 研究放大电路增益带宽积与单位增益带宽的关系。
- 了解运算放大器构成的基本运算电路在实际应用时的局限性和应考虑的问题。

二、实验任务和要求

- 提出合理指标，用给定电路结构设计电路，并进行仿真
- 对电路进行验算，将验算结果与仿真结果比较
- 进行波形测量，与仿真值进行比较

三、实验原理

1. 理想运算放大器

在工程设计与分析时，往往把运算放大器视为理想运放，就是将运放的各项技术指标理想化。满足下列条件的运算放大器称为理想运放。

- 开环差模电压增益 $A_{ud} = \infty$
- 输入电阻 $R_i = \infty$
- 输出电阻 $R_o = 0$
- 共模抑制比 $CMRR = \infty$
- 带宽 $BW = \infty$
- 失调、温漂、内部噪声均为零等。

2. 理想运放在线性应用时的两个重要特性

由上述理想技术指标容易导出运放工作在线性区时的两个重要特性。

- (1) “虚短”： $U_+ = U_-$ 。即运放的同相输入端和反相输入端的电位“无限”接近，就象短路一样，但不是真正的短路。
- (2) “虚断”： $I_+ = 0, I_- = 0$ 。即同相输入端和反相输入端的偏置电流趋于零，就象断路一样，但不是真正的断路。

这两个特性使得集成运放构成的深度负反馈电路的分析和设计大大简化，而且与实测结果的误差很小。

3. 基本运算电路

3.1 反相放大器

反相放大器是最常用的信号放大电路之一，其电路结构如图 1 所示。这是一个电压-并联负反馈电路，其主要技术指标为：

- 闭环电压增益 $A_{uf} = \frac{u_o}{u_i} = -\frac{R_F}{R_1}$
- 输入电阻 $R_i = R_1$
- 输出电阻 $R_o = 0$

若取 $R_F = R_1$ ，则 $A_{uf} = -1$ ，为倒相器，可作为信号的极性转换电路。 R_p 是直流平衡电阻，取 $R_p = R_1 \parallel R_F$ 。利用叠加原理，可以求出由输入偏置电流 I_+ 和 I_- 产生的输出失调电压为： $u'_o = I_+ R_F - I_- R_F$ 。当 $R_p = R_1 \parallel R_F$ 时，有 $u_o = (I_+ - I_-) R_F = I_{os} R_F$ ，可以看出 R_p 可减小输入偏置电流引起的运算误差。

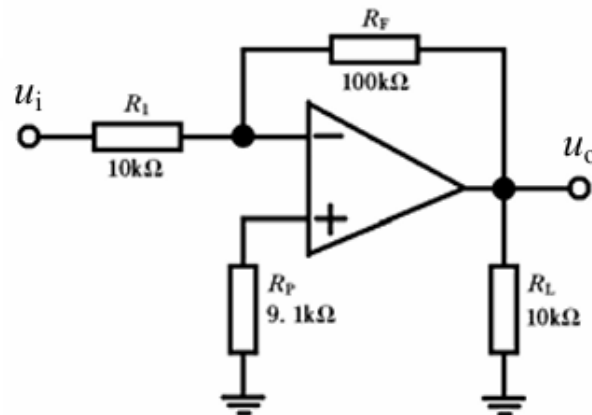


图 1: 反相放大器电路

3.2 反相权重加法器

图 2 所示为反相权重加法器电路。其输出电压可表示为：

$$u_o = -\left(\frac{R_F}{R_1} u_{i1} + \frac{R_F}{R_2} u_{i2}\right)$$

这实际上是反相放大器的扩展应用，对多输入信号情况可以以此类推。 R_p 为直流平衡电阻，取 $R_p = R_1 \parallel R_2 \parallel R_F$ 。

若取 $R_1 = R_2 = R_F$ ，则输出电压为： $u_o = -(u_{i1} + u_{i2})$ ，为简单的反相加法器。

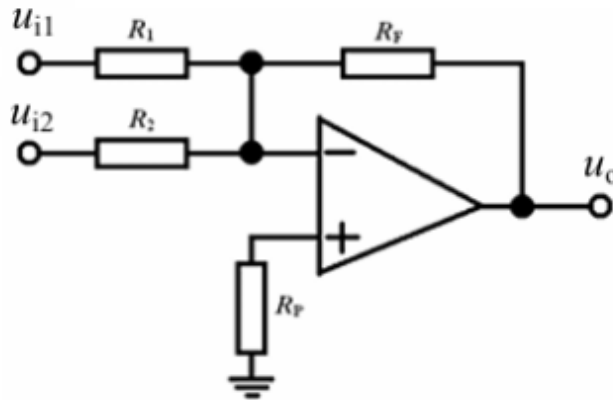


图 2: 反相权重加法器电路

四、 实验方案设计及仿真

1. 设计反相放大电路，要求 $R_i \geq 15k\Omega, |A_v| = 15V/V$

由反向放大， $A_v = \frac{R_f}{R_1}$ ，要使 $A_v = 15V/V$ ，取 $R_1 = 18k\Omega \Rightarrow R_f = 270k\Omega$

2. 设计并安装一个算术运算电路，实现 $V_o = -(V_{i1} + 0.5V_{i2})$

2.1 理论值计算

由反相权重加法器， $V_o = -(\frac{R_F}{R_1} V_{i1} + \frac{R_F}{R_2} V_{i2})$ ，对比要求，有 $\frac{R_F}{R_1} = 1, \frac{R_F}{R_2} = \frac{1}{2}$

取 $R_1 = 18k\Omega, R_F = 18k\Omega, R_2 = 36k\Omega, \Rightarrow R_p = R_1 \parallel R_2 \parallel R_F = 7.2k\Omega$

根据标称值，修正 $R_p = 7.5k\Omega$

2.2 Orcad 仿真

在 orcad 软件中绘制电路图如下

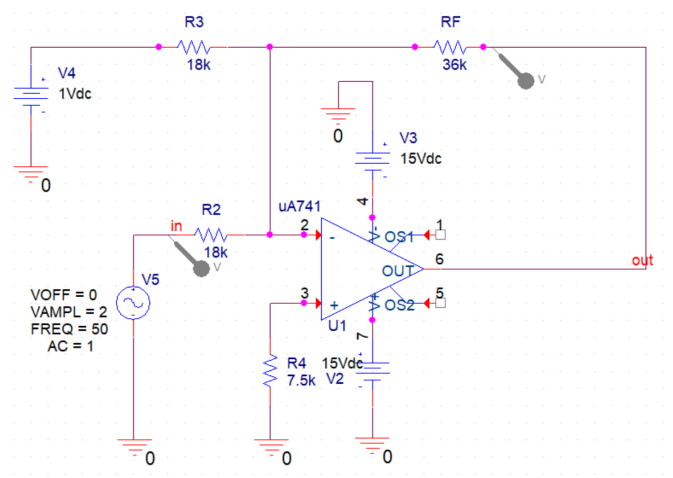


图 3: 算术运算电路-仿真电路图

仿真得到的波形如下：

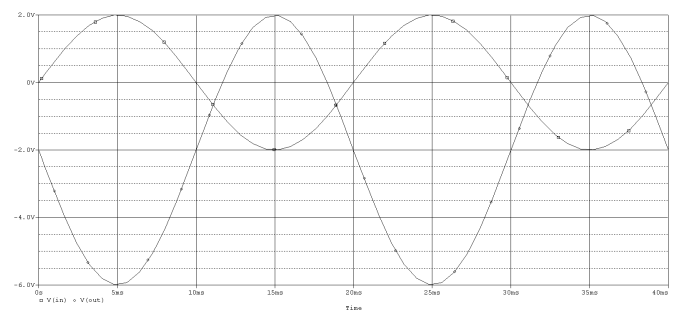


图 4: 仿真波形

3. 增益带宽积研究

实验电路图如图 5所示。

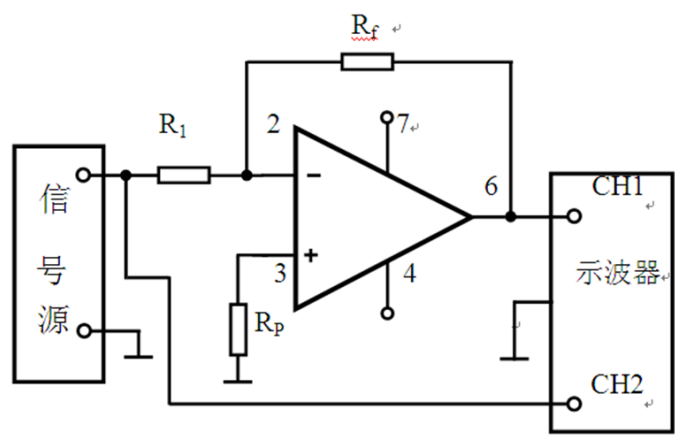


图 5: 增益带宽积研究电路图

进行 orcad 仿真，计算下图的理论值：

三组仿真使用的电路图为：

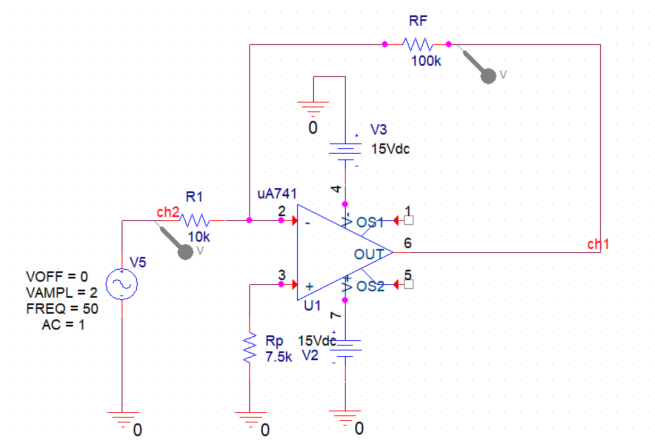


图 6: 仿真电路图

3.1 $R_1 = 10k\Omega, R_F = 10k\Omega$

仿真得到的波形如下：

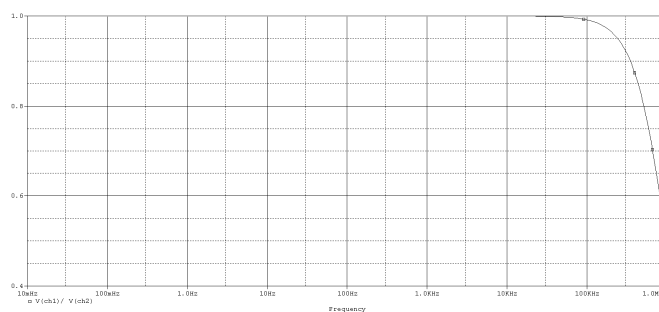
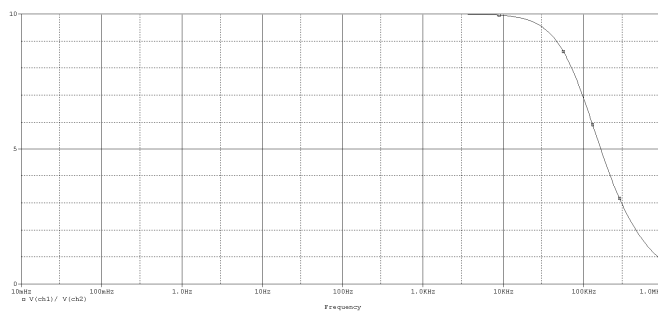


图 7: $R_1 = 10k\Omega, R_F = 10k\Omega$ 波形

测得的理想放大倍数 $A_v = 1$, 用光标测得 $f_H = 22.603kHz$

3.2 $R_1 = 10k\Omega, R_F = 100k\Omega$

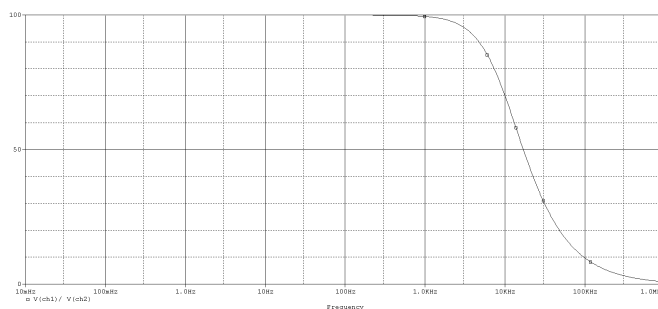
电路图同上。波形如图：

图 8: $R_1 = 10k\Omega, R_F = 100k\Omega$ 波形

测得的理想放大倍数 $A_v = 9.999$, 用光标测得 $f_H = 117.490Hz$

3.3 $R_1 = 10k\Omega, R_F = 1M\Omega$

电路图同上。波形如图：

图 9: $R_1 = 10k\Omega, R_F = 1M\Omega$ 波形

测得的理想放大倍数 $A_v = 99.949$, 用光标测得 $f_H = 12.023Hz$

五、 实验仪器设备

- (1) 电路板
- (2) 万用表
- (3) 示波器

六、 集成运算放大器电路测试步骤、实验数据记录

1. 反相放大电路的测试

根据理论计算结果，搭建反相电路。在 u_i 处连接输入电压，测得的输入输出波形如图 10所示：

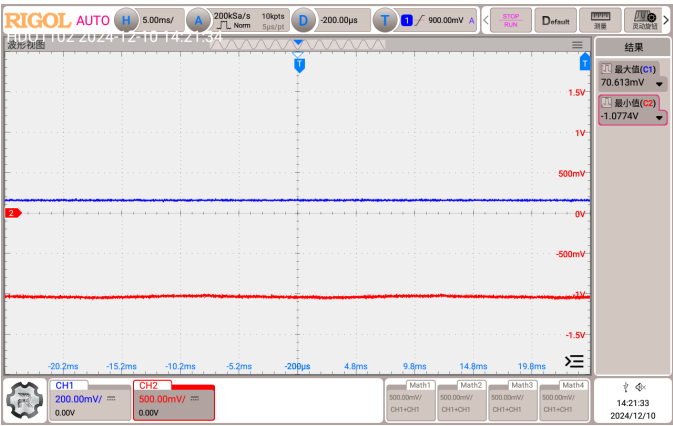


图 10: 波形 1

记录的结果如下：

u_i	u_o	$A_v(\text{理论})$	$A_v(\text{实际})$
70.613mV	-1.08V	15	15.294

表 1: 增益测量

该结果与理论计算值较为接近。

2. 算术运算电路的测试

根据实验要求， V_{i1} 输入直流、 V_{i2} 输入正弦信号，测得的波形如下图。将输出波形分别调整为直流耦合与交流耦合，其差值作为直流分量。图 11光标即为直流和交流耦合下的电压峰值。

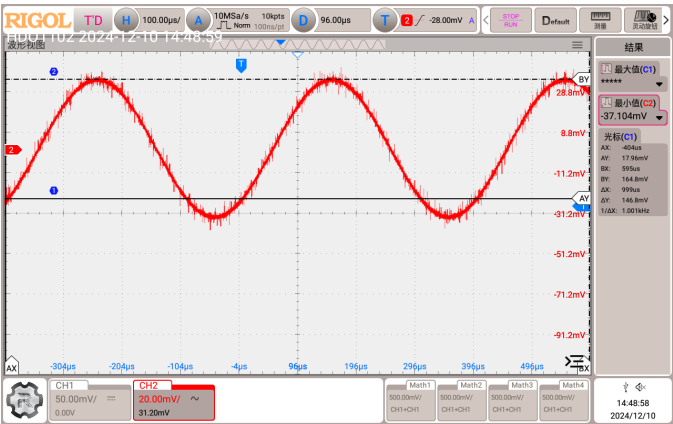


图 11: 波形 3

测得结果如下：

$\Delta V(\text{理论})$	$\Delta V(\text{实际})$
60mV	58.72mV

表 2: 增益测量

3. 增益带宽积

	R_1	R_f	$u_i(\text{mV})$	$u_o(\text{mV})$	A_v	$f_H(\text{kHz})$	$A_v \cdot BW(\times 10^3)$
1	10 k Ω	10 k Ω	54.476	55.724	1.023	393	402.039
2	10 k Ω	100 k Ω	51.978	536.04	10.313	66.8	688.908
3	10 k Ω	1 M Ω	54.322	4905.6	90.306	7.52	679.101

表 3: 电阻和放大因子

观察可以发现，第一组的 f_H 测量不准确，误差较大，剩下两组的 $A_v \cdot BW$ 值极接近。

七、心得与体会

本次实验中，我们独立实现了实验的仿真，并在真实电路中进行搭建和测量，总体上误差不大。并且，我也了解了运算放大器构成的基本运算电路，以及其在实际应用时的局限性和应考虑的问题。