



重慶理工大學

实验报告

| 实验课堂表现 | | | 实验报告成绩 | 实验总成绩 |
|--------|-------|-------|--------|-------|
| A () | B () | C () | | |

实验名称: 运算放大器的基本应用设计

专业班级: _____

学 号: _____

姓 名: _____

联系电话: _____

指导老师: _____

实验时间: _____

电气与工程学院 电工电子技术实验中心

Zero

【成绩】

【教师签名】

【实验目的】

- ① 掌握集成运算放大器的正确使用方法。
- ② 熟悉由运算放大器组成的负反馈放大电路的特性和设计方法。
- ③ 进一步掌握电压增益、输入电阻、输出电阻及频率特性的测试方法。

【实验原理及内容】集成运算放大器是一种具有高电压放大倍数的直接耦合多级放大电路。当外部接入不同的线性或非线性元器件组成输入和负反馈电路时，可以灵活地实现各种特定的数学关系。在线性应用方面，可以组成比例、加法、减法、积分、微分等模拟运算电路。

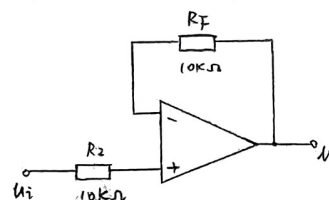
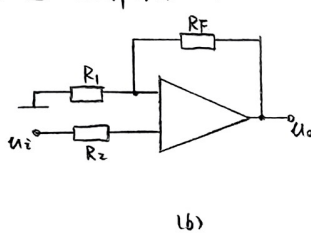
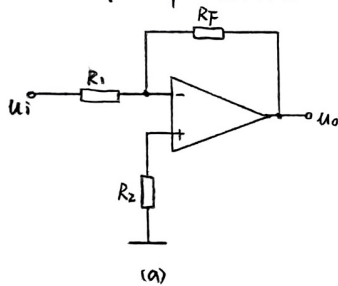
(1) 理想运放在线性应用时的两个重要特性。

① 输入电压 u_o 与输入电压 u_i 之间满足关系式 $u_o = A_{ud}(u_+ - u_-)$ 。由于 $A_{ud} = \infty$ ，而 u_o 为有限值，因此， $u_+ - u_- \approx 0$ ，即 $u_+ \approx u_-$ ，称为“虚短”。

② 由于 $R_i = \infty$ ，故流进运放两个输入端的电流可视为 0，即 $I_b = 0$ ，称为“虚断”。这说明运放对其前级的索取电流极小。

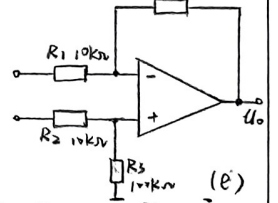
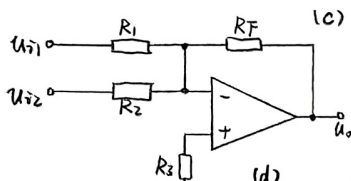
(2) 基本运算电路二形式 a: $u_o = -\frac{R_F}{R_1} u_i$ b: $u_o = (1 + \frac{R_F}{R_1}) u_i$ $R_2 = R_1 \parallel R_F$ c: $R_1 \rightarrow \infty$, $u_o = u_i$, $R_2 = R_F$

(3) 为了减小输入级偏置电流引起的运算误差，在同相输入端应接入平衡电阻 $R_2 = R_1 \parallel R_F$ 。



(4) $R_2 = R_F$ ，用以减小失调和起保护作用。一般 R_F 取 $10k\Omega$ 。

(d) $u_o = -(\frac{R_F}{R_1} u_{i1} + \frac{R_F}{R_2} u_{i2})$ $R_3 = R_1 \parallel R_2 \parallel R_F$



(e) $R_1 = R_2$, $R_3 = R_F$: $u_o = \frac{R_F}{R_1} (u_{i2} - u_{i1})$

(5) 积分器可以对周期性连续变化的电压波形进行积分，从而起到波形变换作用。本次实验是将方波转换成三角波。 R_F 起放电作用，防止积分器永远保持在某一饱和状态。 $u_o = -\frac{1}{R_1 C} \int u_i dt$

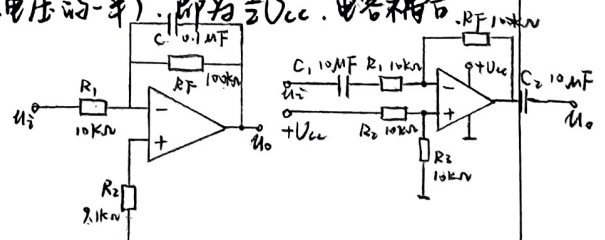
(9) 运算放大器的两个输入端必须加直流偏压(等于电源电压的一半)，即为 $\frac{1}{2}U_{CC}$ 。电容耦合。

a: 反相比例运算电路 b: 同相比例运算电路

c: 电压跟随器 d: 反相加法运算电路

e: 减法运算电路 f: 积分运算电路

g: 单电源供电的交流放大电路



【实验设备】

- ① 1台信号发生器
- ② 1台双踪示波器
- ③ 1块数字万用表
- ④ 1台模拟电路实验箱
- ⑤ 1块 $\mu A741$
- ⑥ 若干电阻、电容元件

【实验方案及步骤】

- a:
1. 按照电路图将实物依次正确连接, 要看清运放组件各管脚的位置。(图a)
 2. 接通±12V电源, 输入端对地短路, 切忌-输入端短路, 进行调零和消振。
 3. 输入正弦信号, 用示波器测量 u_i 和 u_o , 并比较它们的相位关系, 记入下表1。

表1 反相放大电路记录表

$u_i = 0.1V$, $f = 1kHz$

| | 电压值/V | 波形 | A_u | |
|-------|--------|-------------|-------|-----|
| | | | 实测值 | 计算值 |
| u_i | 0.099 | 波形均见下文实验电路图 | -9.96 | -10 |
| u_o | -0.986 | | | |

- b:
1. 同a中的步骤1。(图b)
 2. 设计同相放大电路, 实现 $u_o = 11u_i$, 将测试结果记入表中。(表2)

表2 同相放大电路记录表

$u_i = 0.1V$, $f = 1kHz$

| | 电压值/V | 波形 | A_u | |
|-------|--------|----|-------|-----|
| | | | 实测值 | 计算值 |
| u_i | 0.0997 | 图a | 11.11 | 11 |
| u_o | 1.108 | | | |

- c:
1. 同a中二步骤1。(图c)
 2. 电压跟随器, 将测试结果记入表中(表3)

表3 电压跟随器实验记录表

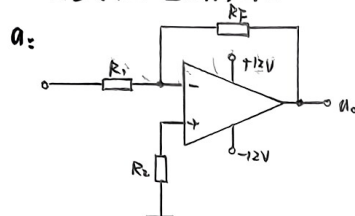
| | 电压值/V | 波形 | A_u | |
|-------|--------|----|-------|-----|
| | | | 实测值 | 计算值 |
| u_i | 0.0999 | 图a | 1.011 | 1 |
| u_o | 0.101 | | | |

- d:
1. 同a中二步骤1。(图d)
 2. 设计一反相加法运算电路, 实现 $u_o = -(10u_{i1} + 10u_{i2})$, 加直流输入信号 u_{i1} , u_{i2} (数值自定, 但要保证运放在线性区), 测量输入电压 u_{i1} , u_{i2} 及输出电压 u_o 并自拟表格记录。

- e:
1. 同a中二步骤1。(图e)
 2. 设计一减法运算电路, 实现 $u_o = 10(u_{i2} - u_{i1})$, 加直流输入信号 u_{i1} , u_{i2} (数值自定, 但要保证运放工作在线性区), 测量输入电压 u_{i1} , u_{i2} 及输出电压 u_o 并自拟表格记录。

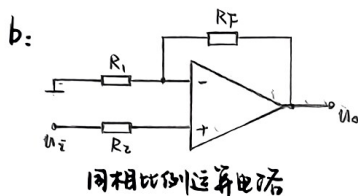
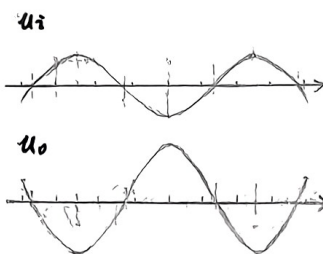
- f:
1. 同a中二步骤1。(图f)
 2. 输入正弦信号 u_i , 用示波器观察 u_i 和 u_o 波形并记录。

【实验电路图】



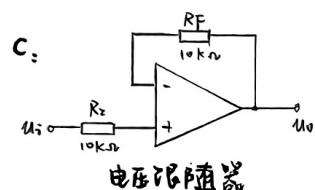
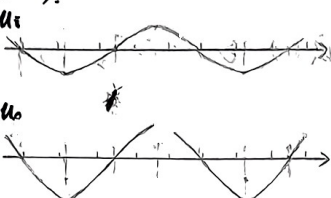
反相比例运算电路

波形:



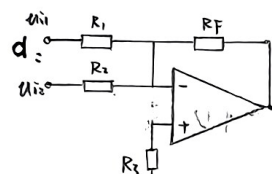
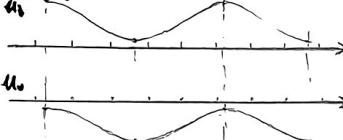
同相比例运算电路

波形:

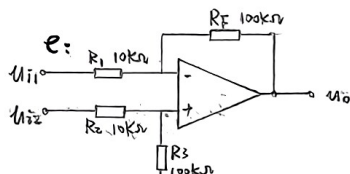


电压跟随器

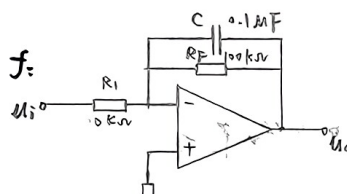
波形:



反相加法运算电路



减法运算电路



积分运算电路

【实验数据处理及分析】

a: $A_u = \frac{u_o}{u_i}$

实测值: $A_u = \frac{-0.986}{0.099} \approx -9.96$

计算值: $A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{-10u_i}{u_i} = -10$

b: $A_u = \frac{u_o}{u_i}$

实测值: $A_u = \frac{1.108}{0.099} \approx 11.11$

计算值: $A_u = \frac{u_o}{u_i} = \frac{11u_i}{u_i} = 11$

c: $A_u = \frac{u_o}{u_i}$

实测值: $A_u = \frac{0.101}{0.099} \approx 1.011$

计算值: $A_u = \frac{u_o}{u_i} = 1$

d: $u_o = -(10u_{i1} + 10u_{i2})$

| u_{i1} | u_{i2} | u_o | |
|----------|----------|---------|-----|
| | | 实测值 | 理论值 |
| 0.5V | 0.2V | -6.981V | -7V |
| 0.4V | 0.2V | -5.981V | -6V |
| 0.6V | 0.3V | -8.981V | -9V |

① 实测值: -6.981V

理论值: $u_o = -7V$

② 实测值: -5.981V

理论值: $u_o = -6V$

③ 实测值: -8.981V

理论值: $u_o = -9V$

e: $u_o = 10(u_{i2} - u_{i1})$

| u_{i1} | u_{i2} | u_o | |
|----------|----------|---------|-----|
| | | 实测值 | 理论值 |
| 0.5V | 0.2V | -2.987V | -3V |
| 0.4V | 0.2V | -1.987V | -2V |
| 0.6V | 0.3V | -2.987V | -3V |

① 实测值: -2.987V

理论值: $u_o = -3V$

② 实测值: -1.987V

理论值: $u_o = -2V$

③ 实测值: -2.987V

理论值: $u_o = -3V$

分析: ①上述实测值与理论值较为接近, 其中实验测得的系数比理论值稍大, 可见实际情况与理论较为相符。

②偏大的可能是由电路构造上的系统误差、人误差、电路板上电阻标称值与实际值存在差异。

③通过实验可知, 证实理想集成运放外加负反馈电路后, 其输出电压与输入电压之间的关系只与外接电路参数有关, 而与集成运放电路无关。

【实验结论】

1. 基本了解由集成运算放大器组成的比例、加法、减法和积分等基本运算电路的功能。
2. 初步掌握利用 Multisim 等仿真软件辅助实验。
3. 理想集成运放连接了负反馈电路之后，输出电压与输入电压只与外接电路元件参数有关，与理想集成运放无关。

【思考题】

- ① 在反相加法器中，如 u_{i1} 和 u_{i2} 均采用直流信号，并设定 $u_{i2} = -1V$ 。当考虑到运算放大器的最大输出幅度 ($\pm 2V$) 时，计算 u_{i1} 大小的范围是多少？

$$u_o = -(10u_{i1} + 10u_{i2})$$

$$\begin{cases} |u_o| \leq 2 \\ u_{i2} = -1 \end{cases}$$

$$\Rightarrow u_{i1} \in [-0.2, 2.2] (V)$$

u_{i1} 大小的范围是 $-0.2V \sim 2.2V$ 。

- ② 在积分电路中， $R = 100k\Omega$ ， $C = 4.7\mu F$ ， $u_i = 0.5V$ 。要使输出电压 u_o 达到 $5V$ ，需多长时间 (设 $u_c(0) = 0$)？

$$\text{时间常数 } RC = 100 \times 10^3 \times 4.7 \times 10^{-6} = 0.47s.$$

$$V_c = u_i \cdot e^{\frac{t}{RC}} = 1.08s.$$

- ③ 为了不损坏集成块，实验中应注意什么问题？

a. 不要接错电源极性。

b. 静电敏感的集成块在实验过程中不要用手触摸。

c. 输入信号幅值要在运算放大器允许范围之内。