

运算放大器

戴佳乐 PB18020556 苗立扬 PB19000132

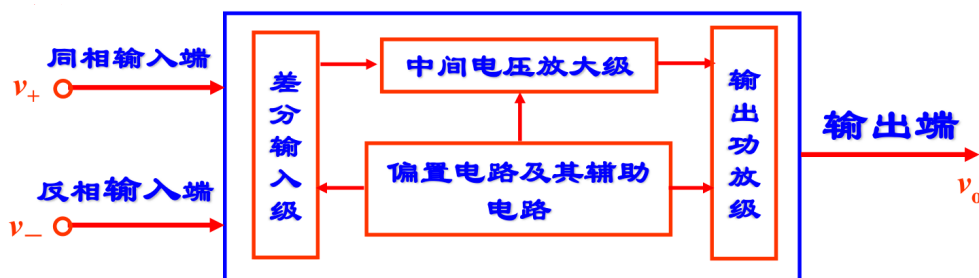
1 实验目的

1. 掌握集成运放的基本特性和工作原理。
2. 熟悉集成运放在模拟运算方面的应用。

2 实验原理

2.1 集成运算放大器

集成运算放大器，是具有两个输入端、一个输出端的高增益、高输入阻抗的多级直接耦合放大电路。集成运算放大器的方框图如下



输入级：高性能差放电路；输入电阻大、共模抑制比大、静态电流小。

中间级：复合管共射电压放大电路；提供电压放大。

输出级：互补对称输出电路。带载能力强、失真小。

偏置电路：电流源电路；提供合适的静态工作点。

2.2 反相比例运算电路

反相比例运算电路可以对反向后的输入信号进行比例运算，其原理图如图 1 所示

通过 R_F 引入负反馈，输出电压与输入电压反相并且比值受到反馈电阻和输入端 R_1 影响。输出电压和输入电压的关系为

$$V_o = -\frac{R_F}{R_1} V_i$$

2.3 反相比例求和运算电路

原理图如图 2 所示

输出电压和输入电压的关系为

$$V_o = -\frac{R_F}{R_1} V_{i1} - \frac{R_F}{R_2} V_{i2}$$

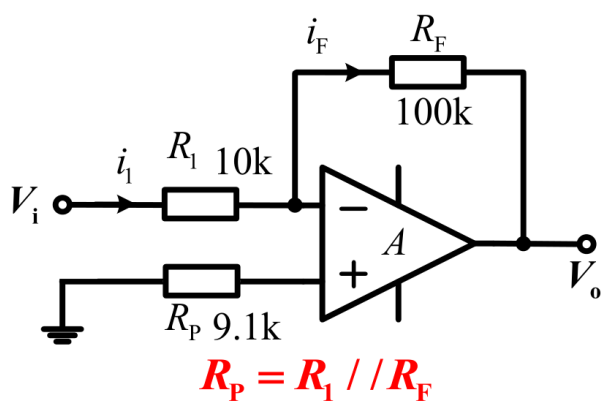


图 1: 反比例运算电路

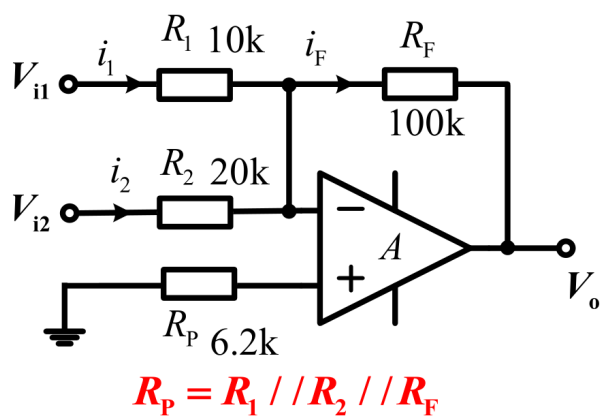


图 2: 反比例求和运算电路



2.4 同相比例运算电路

原理图如图 3 所示

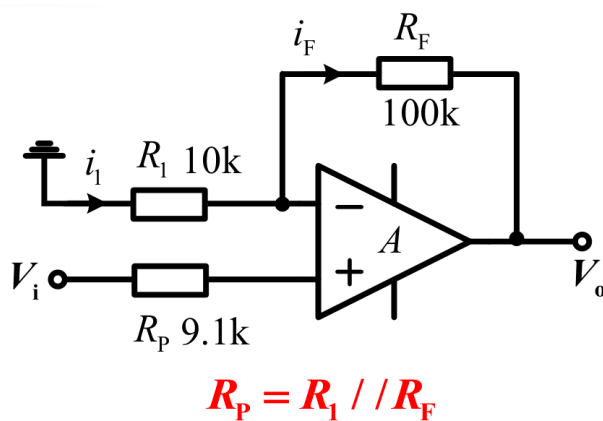


图 3: 同相比例运算电路

输出电压和输入电压的关系为

$$V_o = \frac{R_F}{R_1} V_i + V_i$$

2.5 差动放大器

原理图如图 4 所示

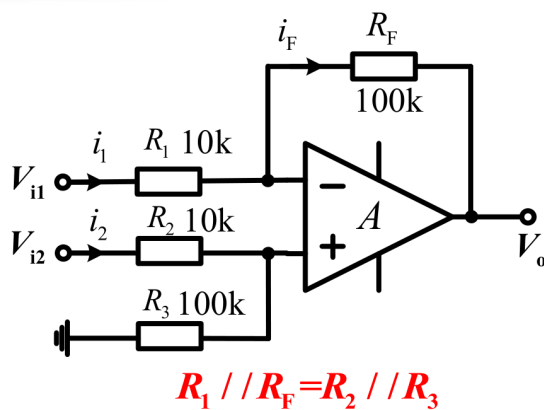


图 4: 差动放大器

输出电压和输入电压的关系为

$$V_o = \frac{R_F}{R_1} (V_{i1} + V_{i2})$$

2.6 积分电路

原理图如图 5 所示

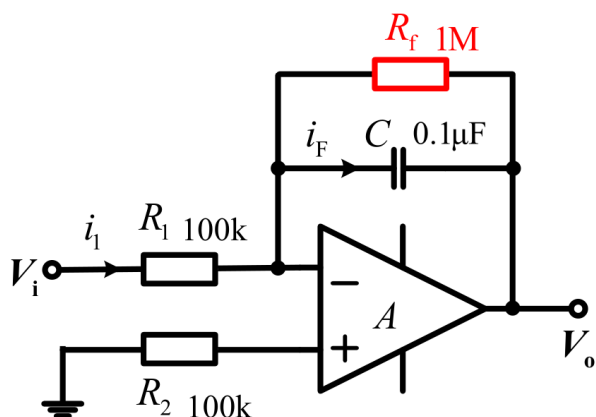


图 5: 积分电路

对输出信号 V_o 有

$$V_o = -V_c = -\frac{1}{R_1 C} \int_0^{t_1} u_i dt + V_c(0)$$

2.7 微分电路

原理图如图 6 所示

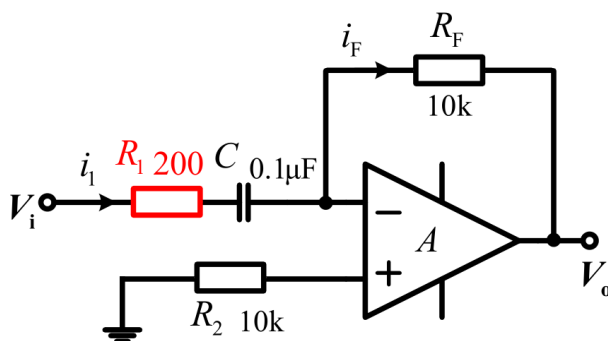


图 6: 微分电路

输出电压

$$V_o = -R_F C \frac{dV_i}{dt}$$

3 LM324 型集成电路

LM324 是四运放集成电路，它采用 14 脚双列直插塑料封装，示意图如图 7 所示。它的内部包含四组形式完全相同的运算放大器，除电源共用外，四组运放相互独立。

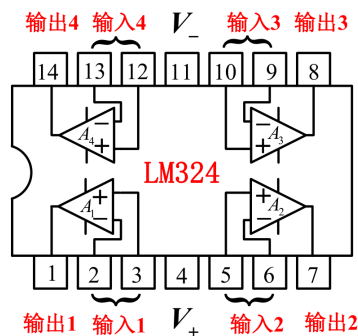


图 7: LM324 集成电路示意图

4 实验数据与数据分析

4.1 反比例运算电路

4.1.1 反比例运算电路实验数据

实验数据如表 1 所示：实验所得的 U_i 图与 U_o 图在示波器上的图像如实验报告纸所示。

表 1: 反向比例运算电路实验数据

V_i	V_o	A_v	A_v
0.1678	1.649	-9.83	-10

4.1.2 反比例运算电路数据分析

从实验中我们看到，反相电路的输出波形与输入波形大致相反，信号幅度显著放大，初步验证了该运算放大电路的作用。与此同时，通过对理论值与实验实际测量的放大倍数的对比，我们得出误差为

$$\delta = \left| \frac{-9.83 + 10}{10} \right| \times 100\% = 1.7\%$$

实验值与理论值吻合得很好。

4.2 反比例求和运算电路

4.2.1 反比例求和运算电路实验数据

实验数据如表 2 所示：

4.2.2 反比例求和运算电路数据分析

将测量得到的输出实际值与理论值对比，我们的误差最大不超过 $\left| \frac{9.4415 - 9.9229}{9.9229} \right| = 4\%$ 。考虑可能存在的电阻值误差与测量误差，我们得出结论，我们较好地验证了反向比例求和运算电路的关系式

表 2: 反相比例求和运算电路实验数据

V_{i1}	0.28271	0.38074	0.47918	-0.2813	-0.38014	-0.47906
V_{i2}	0.42847	0.62612	1.02623	-0.4276	-0.62594	-1.02623
V_o	-4.8974	-6.8499	-9.4415	4.9358	6.9007	9.8719
V_o	-4.9695	-6.938	-9.9229	4.951	6.9311	9.9218

4.3 同相比比例运算电路

4.3.1 同相比比例运算电路实验数据

实验数据如表 3 所示:

表 3: 同相比比例运算电路实验数据

V_i	V_o	A_v	A_v
0.1682	1.82	10.82	11

实验所得的 U_i 图与 U_o 图在示波器上的图像如实验报告纸所示。

4.3.2 同相比比例运算电路数据分析

从实验中我们看到, 同相电路的输出波形与输入波形大致相同, 信号幅度显著放大, 初步验证了该运算放大电路的作用。与此同时, 通过对理论值与实验实际测量的放大倍数的对比, 我们得出误差为

$$\delta = \left| \frac{11 - 10.82}{11} \right| \times 100\% = 1.6\%$$

实验值与理论值吻合得很好。

4.4 差动放大电路

4.4.1 差动放大电路实验数据

实验数据如表 2 所示:

表 4: 差动放大电路实验数据

V_{i1}	0.18281	0.47861	0.67627	-0.18261	-0.47855	-0.67617
V_{i2}	0.52688	0.82376	1.0259	-0.52675	-0.8237	-1.0258
V_o	3.4222	3.4317	3.4733	-3.3853	-3.3949	-3.38
V_o	3.4407	3.4515	3.4963	-3.4414	-3.4515	-3.4963

4.4.2 差动放大电路数据分析

将测量得到的输出实际值与理论值对比，我们的误差最大不超过 $|\frac{3.380-3.4963}{3.4963}| = 3\%$ 。考虑可能存在的电阻值误差与测量误差，我们得出结论，我们较好地验证了差动放大电路的关系式

4.5 积分电路

搭载电路如图 5 所示。接入方波后，输出电压的交流电成分为近似的三角波，与实验分析的结果一致，其中三角波斜率与电压的关系符合理论分析的结果，为 $-\frac{U}{RC} = 0.5$ ，与实验测得的 0.5 相近。

通过该波形，我们较好验证了积分电路的波形与输入电压的积分关系。

4.6 微分电路

搭载电路如图 6 所示。接入三角波后，输出电压的交流电成分为近似的方波，与实验分析的结果一致，其中方波大小与电压的关系符合理论分析的结果，为 $-\frac{U}{RC} \times 4 = 8$ ，与实验测得的 8.625 相近。

通过该波形，我们较好验证了微分电路的波形与输入电压的积分关系。

5 思考题

5.1 如何判断集成运算放大器的好坏？为了不损坏集成运算放大器，实验中应注意什么问题？

良好的集成运放符合虚短与虚断的性质。测量集成运放两输入端的电压，若电压相同，电流很小，说明集成运放工作在正常工作区且无损坏。反之，说明运放出现了故障，有 PN 结被击穿损坏。

为了不损坏集成运放，实验中需要注意接入电源的极性与电压的大小，避免 PN 结在过高偏置下被击穿失去功能。

5.2 在反相比值求和电路图 7-2 中，如果 V_{i1} 和 V_{i2} 均采用直流信号，并选定 $V_{i2} = -1V$ ，考虑到运算放大器的最大输出幅度为 $\pm 12V$ ， V_{i1} 的绝对值不应超过多少伏？

考虑输出与输入电压的关系为

$$V_o = -\frac{R_F}{R_1}V_{i1} - \frac{R_F}{R_2}V_{i2} = -10V_{i1} - 5V_{i2}$$

V_{i1} 最大为 $+1.7V$ ，最小为 $0.7V$

所以 V_{i1} 的绝对值不超过 $1.7V$

5.3 设计两个能实现下列运算关系的运算电路。

5.3.1 $V_o = 2V_{i1} + 2V_{i2} - 4V_{i3}$

将 V_{i1} 与 V_{i2} 接入反相求和运算电路，设置 $R_1 = 100k\Omega$ ， $R_2 = 100k\Omega$ ， $R_F = 200k\Omega$ ， $R_P = 40k\Omega$ 得到 $-2V_{i2}-2V_{i1}$ 。随后将该电压与 V_{i3} 接入另一反相比值放大器，设置 $R_1 = 100k\Omega$ ， $R_2 = 25k\Omega$ ， $R_F = 100k\Omega$ ， $R_P = 17k\Omega$ ，得到所需电压。

5.3.2 $V_o = 2V_{11} - 3V_{12}$

将 V_{11} 接入反相比值运算电路，设置 $R_1 = 10k\Omega$, $R_F = 20k\Omega$, $R_P = 6.7k\Omega$ 得到 $-2V_{11}$ ，再将 $-2V_{11}$ 与 V_{12} 接入反相求和电路，设置 $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 33k\Omega$, $R_F = 100k\Omega$, $R_P = 19.8k\Omega$ ，此时反向求和运放得到的就是我们所需的电压。