**   **

计算机与大数据学院《电子线路综合实验》实验报告

专业：数智实验班 年级：24级 班级：1班

姓名：王智壹 学号：052403137实验时间：2025年6月20日

实验八 比例运算电路

实验目的：

1、了解集成运算放大器的结构和在线性区工作的特点；

2、掌握反相比例、同相比例运算电路的工作原理和设计要求；

3、了解电压跟随器的工作原理和应用场合。

实验原理：

请在观看完实验原理视频后回答以下问题：

1. 集成运算放大器能不能输入直流信号？为什么？（请思考耦合方式）

集成运算放大器内部的多级放大器采用直接耦合的方式连接，即可以放大交流信号也可以放大直流信号。

1. 集成运算放大器有两个输入端，它的输入级是什么电路？为什么要采用该电路？

差动放大电路，差动放大电路对共模信号有强抑制作用，减小干扰信号的影响。

1. 虽然画图时进行了简化，但是实际工作时，集成运放为什么需要两个直流电源*VCC*的共同作用？（请从输出级电路思考）

输出级电极是OCL电路，需要两个对称的正负电源提供静态工作点和放大所需的能量。

1. 根据理想集成运放的电压传输特性曲线，其在线性区有什么特性？

虚短和虚断

1. 为了让集成运放稳定地工作在线性区，可采取什么方法？应如何实现？

引入负反馈降低放大倍数，提高线性区范围。在集成运算放大器的输出端串联一个大电阻到反向输入端

6、请对下面两张电路图，分别回答以下问题：

（1）实现了什么运算？图中引入了何种类型的负反馈？

（2）电阻*R*2的作用？它的阻值应如何选择？

（3）请在作业纸上手写推导出电路的运算公式，并拍照截图放在下方。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示  AI 生成的内容可能不正确。 | 图示  AI 生成的内容可能不正确。 |

图示

AI 生成的内容可能不正确。

仪器选用重要说明

1、本次实验需要使用集成运算放大器，请在“Analog”组的“ANALOG\_VIRTUAL”中选择“OPAMP\_5T\_VIRTUAL”。该元件的符号标准有两种“ANSI”或“DIN”，管脚说明如下：

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 图形用户界面, 文本, 应用程序, 电子邮件  AI 生成的内容可能不正确。  图形用户界面, 文本, 应用程序  AI 生成的内容可能不正确。 | |  |  | | --- | --- | | ANSI标准：  图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。 | DIN标准：  图示, 工程绘图  AI 生成的内容可能不正确。 |   要求仅该元件采用ANSI标准, 其他元件仍采用DIN标准  (选择元件前点击“选项”-“全局偏好”-“元器件”更改标准)  +*V*CC和同相输入端位于同侧，而-*V*CC和反相端位于同侧。  建议如果记不住管脚，可双击该元件调出属性菜单，在“显示”中选择“显示符号管脚名称”，如左图所示。  重要说明：集成运放在画理论图时可省略不画*VCC*，但在使用时*VCC*必须连接且不能接反，否则无法正常工作。 |

2、驱动集成运放工作的两个直流电源*VCC*，要求在“Sources”组的“POWER\_SOURCES”中选择“DC\_POWER”，不要选VCC，否则仿真容易报错。

3、交流电源在“Sources”组的“POWER\_SOURCES”中选择“AC\_POWER”。

4、建议实验过程图要逐张保存（电路图可复制粘贴），方便检查和修改。

5、所有图片的截图规范请参照实验操作说明文档。

1. 反相比例运算电路

该电路的特点：单一信号从反相输入端进入集成运放

步骤1：已知电路如图1所示，若希望得到一个Au= - 4的反相比例运算电路，应选择*Rf* =（40）kΩ，*R*2=（8）kΩ。请用Multisim仿真软件画出设计好的仿真电路（建议将集成运放垂直翻转）。驱动芯片的正负直流电源（12V）必须连接且不能接错管脚。在输出端连接万用表（交流电压档），将示波器的通道A接输入端，通道B接输出端，要求波形颜色不同。截图放入图2的位置。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图1 反相比例运算电路（交流输入） | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图2 反相比例运算的仿真图（交流输入） |

步骤2：点击仿真运行， 双击示波器，检查该电路是否实现了对输入波形的反相放大。将输入输出波形截图放入图3的位置。双击输出端万用表（交流电压档），可得输出电压有效值*U*o=（2）V，可验证Au= -*U*o/0.5 =（-4）。

|  |  |
| --- | --- |
| 图形用户界面  AI 生成的内容可能不正确。  图3 反相比例运算的输入输出波形（含设置） | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图4 反相比例运算电路（直流输入）  注意：实际电路中，为了方便调整，常可采用*R*1与*Rf*并联的方式实现输入端的平衡 |

步骤3：用Multisim仿真软件画出图4的仿真电路。注意：输入信号为直流电压2V，在输出端连接万用表（直流电压档），截图放入图5的位置。

步骤4：按表1的要求同时调整两个可变电阻的阻值，将输出电压测量值记录在表1中。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图5 反相比例运算的仿真图（直流输入） | 表1 反相比例运算结果表（*Ui*=2V）   |  |  | | --- | --- | | 同时调整可变电阻 | *UO*（直流电压档） | | 20%（Au= -2） | -4.003V | | 40%（Au= -4） | -8.006V | | 60%（Au= -6） | -12.008V | | 80%（Au= -8） | -12.061V | | 100%（Au= -10） | -12.061V | |

请回答以下问题：

1、为什么集成运放既能对交流信号运算也能对直流信号运算？

因为集成运放内部采用直接耦合的连接方式。

2、为什么表1的最后两行数据会运算错误？

集成运放的输出电压受限于直流电源+VCC的大小，比例设置过大就无法运算。

1. 同相比例运算电路

该电路的特点：单一信号从同相输入端进入集成运放

步骤1：已知电路如图6所示，若希望得到一个Au=4的同相比例运算电路，应选择*Rf* =（30）kΩ，*R*2=（7.5）kΩ。请用Multisim仿真软件画出设计好的仿真电路（建议将集成运放垂直翻转）。驱动芯片的正负直流电源（12V）必须连接且不能接错管脚。在输出端连接万用表（交流电压档），将示波器的通道A接输入端，通道B接输出端，要求波形颜色不同。截图放入图7的位置。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图6 同相比例运算电路（交流输入） | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图7 同相比例运算的仿真图（交流输入） |

步骤2：点击仿真运行， 双击示波器，检查该电路是否实现了对输入波形的同相放大。将输入输出波形截图放入图8的位置。双击输出端万用表（交流电压档），可得输出电压有效值*U*o=（2）V，可验证Au= *U*o/0.5 =（4）。

步骤3：将图6中的交流电源替换为直流电源（ DC\_POWER 1V），在输出端连接万用表（直流电压档），截图放入图9的位置。按照表2的要求，调整直流电源大小，完成测量内容。

|  |  |
| --- | --- |
| 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。  图8同相比例运算输入输出波形（含设置） | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图9 同相比例运算电路（直流输入） |

表2 同相比例运算结果表（Au=4）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ui*= -0.5V | *Ui*=0.5V | *Ui*=1V | *Ui*=2V | *Ui*=3V | *Ui*=4V |
| *UO*=-2.005V | *UO*=1.995V | *UO*=3.995V | *UO*=7.995V | *UO*=11.995V | *UO*=12.06V |

请回答以下问题：

1、为什么表2的最后一列数据会运算错误？

集成运算的输出电压受限于直流电源+VCC 的大小，输入电压过大同样无法运算。

1. 电压跟随器

电压跟随器(*UO*=*Ui*)是同相比例运算的一种特例，此时需令图6的*Rf* =（0），*R*1=（∞），*R*2=（0）。

步骤1：请用Multisim仿真软件画出该电路，输入信号采用交流电源（0.5Vrms，1kHz）。驱动芯片的正负直流电源（12V）必须连接且不能接错管脚。将示波器的通道A接输入端，通道B接输出端。截图放入图10的位置。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图10 电压跟随器（交流输入） | 图表, 折线图  AI 生成的内容可能不正确。  图11电压跟随器的输入输出波形（含设置） |

步骤2：点击仿真运行， 双击示波器，检查该电路是否实现了对输入波形的同相跟随。由于输入波形和输出波形几乎重合，为了方便观测，可以把通道A的位移上移1格，通道B的位移下移1格。将输入输出波形截图放入图11的位置。

步骤3：由于该电路具有很大的输入电阻和很小的输出电阻，因此也常用于解决负载不匹配问题。请分别画出表3中第一列电路的仿真图，用万用表（直流电压档）测量负载*R*L=1kΩ在两张图中获得的输出电压*U*o，将电路图和万用表的显示结果截图放入表3的第二列。注意：集成运放要工作，正负直流电源（12V）必须连接且不能接错。截图规范请参照实验操作说明文档。

表3 电压跟随器结果表

|  |  |
| --- | --- |
| 电路图 | 仿真图（含万用表读数*U*o） |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。 | 图示  AI 生成的内容可能不正确。 |
| 图示  AI 生成的内容可能不正确。 | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。 |

请回答以下问题：

1、为什么表3的第二行中负载可以获得接近*U*S的输出电压？

电路中间加入一个电压跟随器，利用其输入电阻大（采集能力强）和输出电阻小（带负载能力强）的优点，可以使得 1kΩ 获得接近 US 的电压。

实验小结：（可总结收获、所犯错误，解决方案、心得体会等）

在做反相比例运算电路的部分时，我觉得最有意思的是通过调节电阻比值，输出电压和输入之间的关系会非常直观地反映出来。刚开始仿真的时候，我对负反馈的作用不是很理解，只是机械地照着图连线，但在观察到波形反转并且幅值扩大之后，我对“反相比例”这个名字有了更直观的感受。尤其是当输入电压是直流的时候，可以直接在万用表上看到线性变化的输出，也让我更加确信这类电路确实能同时处理交流和直流信号。

在做同相比例放大电路的时候，我一开始没能把反馈电阻Rf和输入电阻R2的比值控制好，结果放大倍数完全不对，波形也出现了失真，后来重新计算电阻值并在Multisim中调整之后，输出波形才和预期一致，和输入波形保持同相放大的关系。

实验最后一部分是电压跟随器的搭建，这部分最让我惊讶的是它的输入输出波形几乎完全重合，说明它确实起到了缓冲作用。当我尝试把电压源直接接到负载时，输出电压明显下降，而加上电压跟随器后电压几乎保持不变，这也让我理解了什么叫做“输入阻抗大、输出阻抗小”的实际意义。

整个实验虽然过程中有点小插曲，但总体上帮助我巩固了对运放基本特性的认识，也锻炼了我在仿真过程中独立发现问题和动手解决问题的能力。我觉得相比单纯地看教材，动手画电路图、调参数、观察波形的过程更能让我真正掌握这些电路是怎么工作的。未来在学习更复杂的模拟电路时，我也会更加注重实际运行中的细节和电路本身的稳定性。