**   **

计算机与大数据学院《电子线路综合实验》实验报告

实验时间：2025年6月20日

实验九 加减运算电路

实验目的：

1、进一步熟悉集成运算放大器的结构和在线性区工作的特点；

2、掌握反相加法、同相加法和减法运算电路的工作原理和设计要求；

3、初步了解利用多个集成运放进行组合运算的相关知识。

实验原理：

请在观看完实验原理视频后回答以下问题：

|  |  |
| --- | --- |
| 1、请问右图实现的是什么运算？引入了何种类型的负反馈？电阻*R*3的作用和计算公式是什么？  请在作业纸上手写推导出该电路的运算公式，并拍照截图放在下方。 | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。 |

白板上的文字

AI 生成的内容可能不正确。

|  |  |
| --- | --- |
| 2、请问右图实现的是什么运算？引入了何种类型的负反馈？根据输入端电阻平衡条件，5个电阻满足什么约束？请在作业纸上手写推导出该电路的运算公式，并拍照截图放在下方。 | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。 |

白板上的文字

AI 生成的内容可能不正确。

|  |  |
| --- | --- |
| 3、请问右图实现的是什么运算？根据输入端电阻平衡条件，4个电阻满足什么约束？请用叠加原理在作业纸上手写推导出该电路的运算公式，并拍照截图放在下方。 | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。 |

白板上写着字

AI 生成的内容可能不正确。

|  |  |
| --- | --- |
| 4、请问：  (1) A1和A2分别实现了什么运算？  (2)该电路与上面第2题的电路相比较，有什么优点？  (3)请写出*U*O1和*U*O2的计算公式，并拍照截图放在下方。 | 图示, 示意图  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。

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”。

要求仅该元件采用ANSI标准, 其他所有元件仍采用DIN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”。

2、重要说明：集成运放在画图时可省略不画*VCC*，但在使用时*VCC*必须连接且不能接反，否则无法正常工作。

3、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。

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、为了显示的简洁，可以在“选项”下的“电路图属性”中不显示元器件的RefDes。

6、所有图片的截图规范请参照实验操作说明文档。

1. 反相加法运算电路

该电路的特点：多个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，若想实现*U*O=(-3*U*I1)+(-2*U*I2)，请问：*R*1=（20）kΩ；*R*2=（30）kΩ；*R*3=（10）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）。*U*I1和*U*I2采用直流信号输入（详见表1）。请仔细检查驱动芯片工作的正负直流电源（12V）是否连接。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图1 反相加法运算电路 | 表1 反相加法运算结果表   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 输入*U*I1 | 1V | 2V | 2V | | 输入*U*I2 | 2V | 2V | 1V | | *U*O测量值 | -7.007V | -10.007V | -8.007V | | *U*O理论值 | -7V | -10V | -8V | | 误差绝对值 | 0.007V | 0.007V | 0.007V | |

步骤2：在输出端连接好万用表（直流电压档），按照表1改变*U*I1和*U*I2的大小，完成测量。请检查测量值与理论值是否吻合，并将表1第一列的仿真电路图（含万用表测量结果）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2 表1第一列的仿真电路图（含万用表测量结果）

步骤3：请用叠加原理验证表1第一列的运算结果。请画出图2电路中*U*I1和*U*I2单独作用的分图，截图放入图3和图4的位置。从两图中可读出*U*O’=（-3.007）V，*U*O”=（-4.007）V，*U*O= *U*O’+ *U*O”=（-7.014）V，与表1第一列的测量值基本一致（注意：分开计算会使得误差翻倍）。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图3 *U*I1单独作用的分图（含万用表测量结果） | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图4 *U*I2单独作用的分图（含万用表测量结果） |

1. 同相加法运算电路

该电路的特点：多个信号从同相输入端进入集成运放

步骤1：已知电路如图5所示，请先写出该电路的计算公式：*U*O=（3）*U*I1+（1）*U*I2。请用Multisim仿真软件画出图5的仿真电路（建议将集成运放垂直翻转）。*U*I1和*U*I2采用直流信号输入（详见表2）。请仔细检查驱动芯片工作的正负直流电源（12V）是否连接。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图5 同相加法运算电路 | 表2同相加法运算结果表   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 输入*U*I1 | 1V | 2V | 3V | | 输入*U*I2 | 2V | 2V | 2V | | *U*+测量值 | 1.249V | 1.999V | 2.749V | | *U*O测量值 | 4.995V | 7.995V | 10.995V | | *U*O理论值 | 5V | 8V | 11V | |

步骤2：请在同相输入端（*U*+）和输出端连接好万用表（直流电压档），按照表2改变*U*I1和*U*I2的大小，完成测量。请检查测量值与理论值是否吻合，并将表2第一列的仿真电路图（含万用表测量结果）截图放入图6的位置。

图示, 示意图

AI 生成的内容可能不正确。

图6 表2第一列的仿真电路图（含万用表测量结果）

步骤3：请用叠加原理验证表2第一列的运算结果。请画出图6电路中*U*I1和*U*I2单独作用的分图，截图放入图7和图8的位置。从两图中可读出*U*O’=（2.995）V，*U*O”=（1.995）V，*U*O= *U*O’+ *U*O”=（4.990）V，与表2第一列的测量值基本一致。（注意：分开计算会使得误差翻倍）。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图7 *U*I1单独作用的分图（含万用表测量结果） | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图8 *U*I2单独作用的分图（含万用表测量结果） |

1. 减法运算电路

该电路的特点：多个信号从不同输入端进入集成运放

步骤1：已知电路如图9所示，请先写出该电路的计算公式：*U*O=（3）*U*I2 -（3）*U*I1。请用Multisim仿真软件画出图9的仿真电路（建议将集成运放垂直翻转）。*U*I1和*U*I2采用直流信号输入（详见表3）。请仔细检查驱动芯片工作的正负直流电源（12V）是否连接。

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图9 减法运算电路 | 表3减法运算结果表   |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | 输入*U*I1 | 1V | 2V | 3V | | 输入*U*I2 | 2V | 2V | 2V | | *U*O测量值 | 2.995V | -4.669mV | -3.005V | | *U*O理论值 | 3V | 0V | -3V | |

步骤2：请在输出端连接万用表（直流电压档），按照表3改变*U*I1和*U*I2的大小，完成测量。请检查测量值与理论值是否吻合，并将表3第一列的仿真电路图（含万用表测量结果）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 表3第一列的仿真电路图（含万用表测量结果）

步骤3：请用叠加原理验证表3第一列的运算结果。请画出图10电路中*U*I1和*U*I2单独作用的分图，截图放入图11和图12的位置。从两图中可读出*U*O’=（-3.005）V，*U*O”=（5.995）V，*U*O= *U*O’+ *U*O”=（2.990）V，与表3第一列的测量值基本一致。

|  |  |
| --- | --- |
| 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图11 *U*I1单独作用的分图（含万用表测量结果） | 图示, 示意图  AI 生成的内容可能不正确。  图12 *U*I2单独作用的分图（含万用表测量结果） |

1. 同相加法的另一种实现方式

步骤1：已知电路如图13所示，若想实现*U*O=4*U*I1+5*U*I2，请问：*R*1=（25）kΩ；*R*2=（20）kΩ；*R*3=（10）kΩ；*R*5=（25）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）。*U*I1和*U*I2采用直流信号输入（详见表4）。注意：两个集成运放可以共用正负直流电源（12V）。

图示, 示意图

AI 生成的内容可能不正确。

图13 反相加法+反相比例=同相加法

步骤2：请在*U*O1和*U*O2分别连接万用表（直流电压档），按照表4改变*U*I1和*U*I2的大小，完成测量。请检查测量值与理论值是否吻合，并将表4第一列的仿真电路图（含万用表测量结果）截图放入图14的位置。

表4 反相加法+反相比例运算表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 输入*U*I1 | 输入*U*I2 | *U*O1测量值 | *U*O2测量值 | *U*O2理论值 |
| 0.5V | 1V | -7.012V | 7.009V | 7V |
| 1V | 0.5V | -6.512V | 6.509V | 6.5V |
| 1V | 1V | -9.012V | 9.008V | 9V |

图示, 示意图

AI 生成的内容可能不正确。

图14 表4第一行的仿真电路图（含万用表测量结果）

实验讨论：

1、使用叠加原理得到的𝑈𝑂测量值与理论值的误差为什么会更大？

叠加原理是多个分图叠加，多个分图的误差也随之被叠加，所以和理论值误差更大。

2、请问用单个集成运放实现同相加法运算有什么不足之处？

无法灵活调整输出电压与输入电压的比例关系。

实验小结：（可总结收获、所犯错误，解决方案、心得体会等）

进行加减运算电路的仿真实验之前，我对运算放大器的认识还停留在比较基础的比例放大方面，而这次实验让我第一次接触到了反相加法、同相加法和减法这几类复合型运算电路。一开始在搭建反相加法电路时，我对多个输入端如何接入同一个反相端还不太理解，觉得电路图有点“乱”，但在看完原理视频和老师提供的计算公式之后，才意识到这其实就是经典的并联输入结构，通过不同电阻值实现各自信号的加权比例。

做同相加法时我遇到了一个比较棘手的问题，就是电阻比值设置不当导致输出不在线性范围内，刚开始我以为是输入信号太大，换了几个数值测试都不行，最后才发现是输入端电阻没有按照等效电阻公式来设定。调好之后，不论单独输入还是组合输入，输出电压都和理论值非常接近。

减法运算电路让我最印象深刻的是，两个输入端分别接在反相和同相端，虽然初看感觉奇怪，但实际上正是利用这种结构实现了两个信号之间的差值。测试的时候我发现只要电阻值对称，测量值和理论值几乎没有差距，这让我更理解了“电阻平衡”这个设计原则的意义。

最后一部分用两个运放实现的同相加法算是对整个实验的一个综合挑战，虽然结构上看起来更复杂，但逻辑上其实是先把信号加权反相加，再反相一次变成正相输出。我觉得这种设计非常巧妙，而且相比单个运放，输出比例可以更自由地设置，也更稳定。

总的来说，这次实验不仅让我加深了对集成运放基本结构和工作机制的理解，也让我初步掌握了如何通过组合电阻实现不同输入信号的加减运算。更重要的是，我也在过程中体会到动手搭建和亲自调试的乐趣，明白了“看会了不代表做出来”，只有自己一步步调试才能真正掌握原理。希望接下来的模拟电路学习中，能继续积累经验，把仿真做得更加规范、准确。