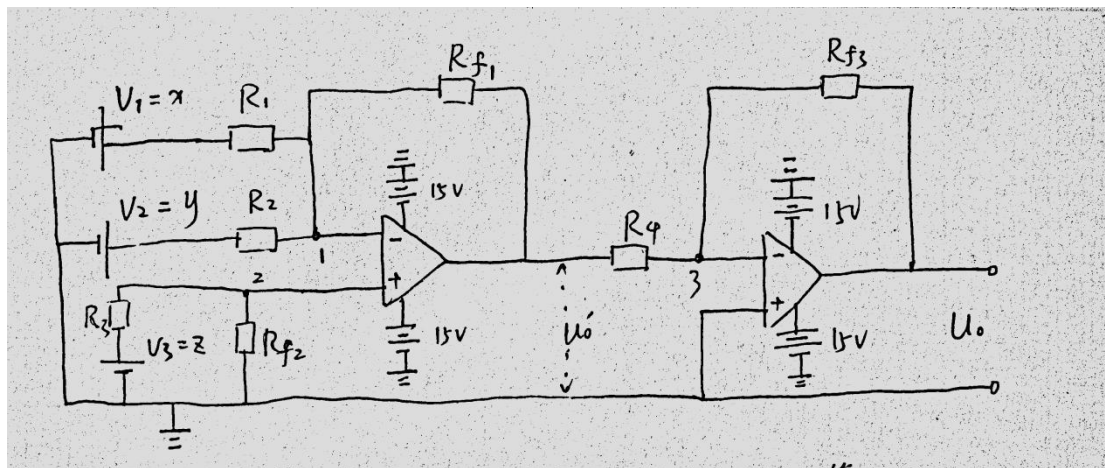


第一次仿真实验作业实验报告

傅世平 2021K8009926014

实验一:

(1) 电路原理图如下:



具体输出与输入信号关系如下:

分析第一个运放: 由虚短原理, 1,2节点电压相等,

$$\text{令 } U_1 = U_2 = U$$

由虚断原理, 在1,2节点处由KCL.

$$\begin{aligned} \text{1节点: } \begin{cases} \frac{U_1 - U}{R_1} = i_1 \\ \frac{U_2 - U}{R_2} = i_2 \\ \frac{U_o' - U}{R_{f1}} = i_3 \\ i_1 + i_2 + i_3 = 0 \end{cases} \quad \text{联立得} \\ U_o' = -\frac{R_{f1}}{R_1} U_1 + \frac{R_{f1}}{R_2} U_2 + \left(\frac{R_{f1}}{R_f} + \frac{R_{f2}}{R_2} + 1 \right) \frac{R_{f2}}{R_3 + R_{f2}} U_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{2节点: } \begin{cases} \frac{U_3 - U}{R_3} = i_4 \\ \frac{U}{R_{f2}} = i_5 \\ i_4 = i_5 \end{cases} \end{aligned}$$

第2个运放: 由虚短, 虚断, 写出3节点的KCL

$$\frac{U_o'}{R_4} = \frac{-U_o}{R_{f3}} \quad \text{得 } U_o = -\frac{R_{f3}}{R_4} U_o'$$

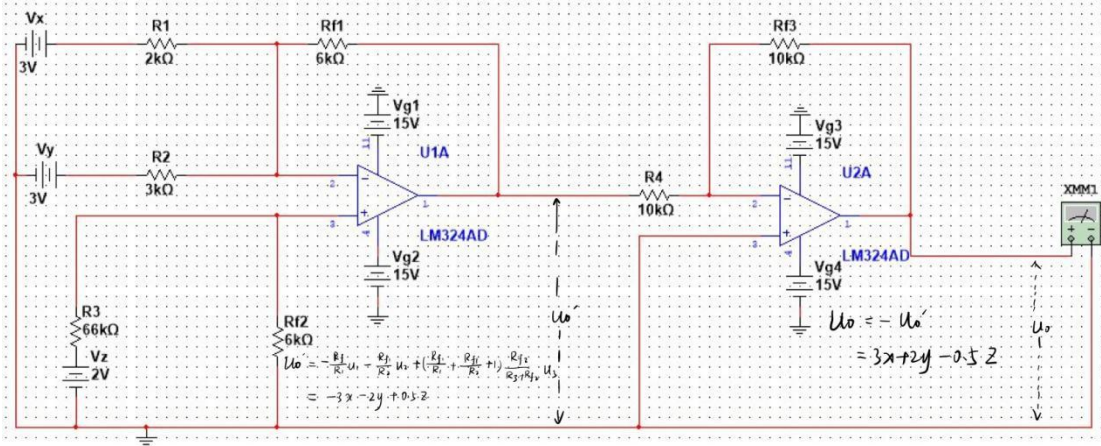
$$\text{得 } U_o = \frac{R_{f3}}{R_4} \left[\frac{R_{f1}}{R_1} U_1 + \frac{R_{f1}}{R_2} U_2 - \left(\frac{R_{f1}}{R_1} + \frac{R_{f1}}{R_2} + 1 \right) \frac{R_{f2}}{R_3 + R_{f2}} U_3 \right]$$

$$\text{即 } U_o = \frac{R_{f3}}{R_4} \left[\frac{R_{f1}}{R_1} x + \frac{R_{f1}}{R_2} y - \left(\frac{R_{f1}}{R_1} + \frac{R_{f1}}{R_2} + 1 \right) \frac{R_{f2}}{R_3 + R_{f2}} z \right]$$

$$\text{当 } \begin{cases} \frac{R_{f1}}{R_1} = 3 \\ \frac{R_{f1}}{R_2} = 2 \\ \left(\frac{R_{f1}}{R_1} + \frac{R_{f1}}{R_2} + 1 \right) \frac{R_{f2}}{R_3 + R_{f2}} = 0.5 \\ \frac{R_{f3}}{R_4} = 1 \end{cases}$$

$$\text{时, } U_o = 3x + 2y - 0.5z$$

仿真电路图如下：



本次实验共使用两个运算放大器，第一个运算放大器既起到了“反向加法器”的作用，又起到了“减法器”的作用；但这样得到的信号为 $3x+2y-0.5z$ ，与原题相反，因此通过第二个反向放大器，实现了将信号乘-1的操作，最终得到想要的结果。

得到的实验结果如下：

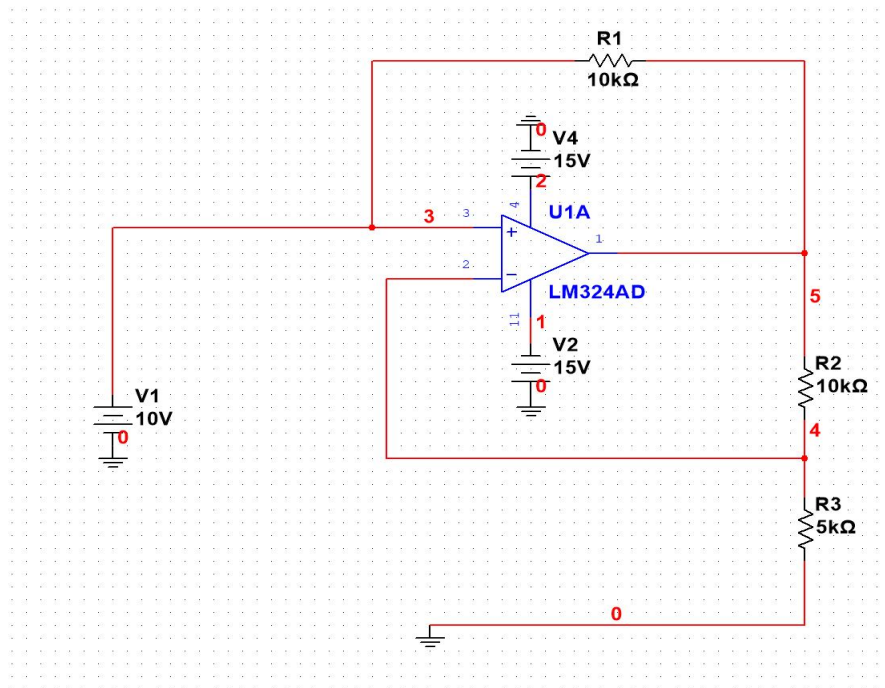
	1			2			3			4		
	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z
	1	1	1	1	3	2	-2	2	0	3	3	2
理论输出	4.5			8.0			-2.0			14.0		
仿真输出	3.995			7.995			-2.004			13.994		

误差分析：

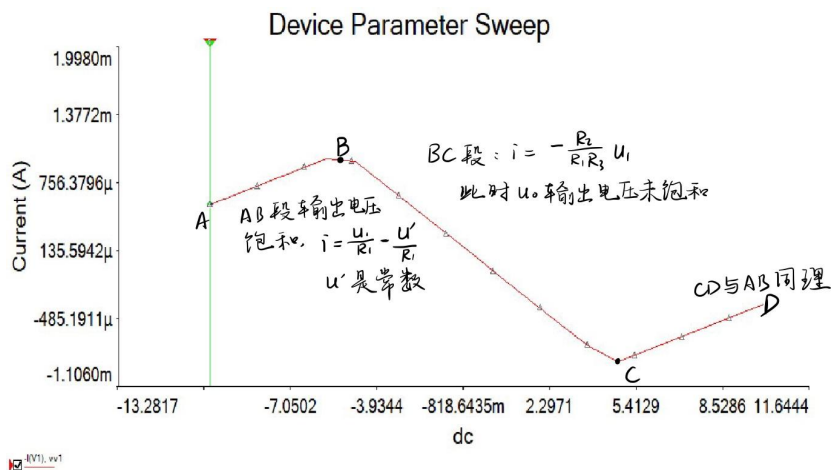
- 出现误差首先的原因，是运算放大器输出电压可能达到饱和。这使可以通过调整供电电压解决。其次，我通过尝试其他型号的运算放大器，当使用 3288RT 时，我发现得到的仿真结果与真实结果完全相同，因此我认为也可以通过更换运算放大器来避免出现饱和电压；
- 在模拟时，我首先使用了十欧姆级的电阻，最终得到的结果与预期相差很大。因此我更换了百欧姆级，千欧姆级，万欧姆级，最终发现千欧姆级得到的误差最小；
- 对比其他同学的电路，我发现有的电路（比如先使用反向加法器，再使用反相减法器）最终的误差很小。所以我推测采用更精确的电路可能会减小误差。

实验 2：

仿真电路如下图所示：

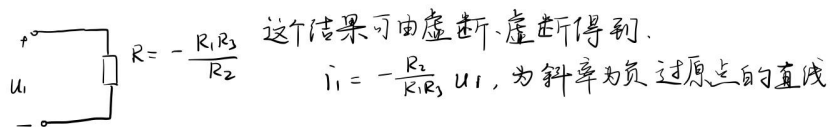


u-i 图像如下图所示:

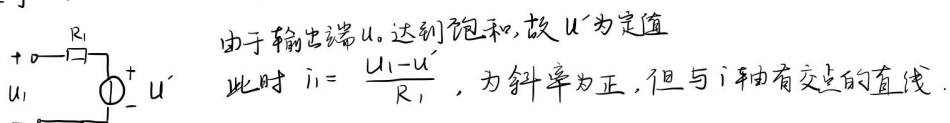


等效电路以及转折点的原因如下:

处于BC段时, 原电路等效为负电阻:



处于AB, CD段同理, 以CD为例



B, C点转折, 是因为B, C点的输入电压恰好使运算放大器饱和.