

浙江大学

本科实验报告

课程名称：电子电路设计实验 II

姓 名：

学 院：信息与工程学院

专 业：电子科学与技术

学 号：

指导教师：施红军、李锡华、叶险峰

2020 年 8 月 14 日

浙江大学实验报告

专业： 电子科学与技术

姓名：

学号：

课程名称： 电子电路设计实验 II 指导老师： 施红军、李锡华、叶险峰

实验名称： 电流电压转换电路研究

一、实验目的

二、实验任务与要求

三、实验方案设计与实验参数计算（3.1 总体设计、3.2 各功能电路设计与计算、3.3 完整的实验电路……）

四、主要仪器设备

五、实验步骤与过程

六、实验调试、实验数据记录

七、实验结果和分析处理

八、讨论、心得

一、实验目的

- （1）熟悉电流信号转换成电压信号的原理。
- （2）掌握标准电流信号转换成电压信号的设计方法。

二、实验任务与设计要求

熟悉电流-电压转换电路的工作原理。设计出电流-电压转换电路。要求如下：

将标准电流信号 4mA~20mA 转换为标准电压信号 0V~10V，误差控制在 5%以内。

三、实验原理

在自动控制技术中，传感器输出的标准电流信号为 4mA~20mA，需要将其转换成 0V~10V 的电压信号，以便进一步处理。利用工作在线性区的运算放大器可以实现这个任务。图 1 给出了这样一种转换电路的例子。4mA 为满量程的 0%，对应的输出电压为 0V，12mA 为满量程的 50%，对应的输出电压为 5V，20mA 为满量程的 100%，对应的输出电压为 10V。

在图 1 中，运放 A_1 采用差分输入，电阻 R_1 跨接在电流源两端，此级电路将 4~20mA 的电流转换为一定的电压。第一级放大电路中，电阻 R_2 、 R_3 、 R_4 、 R_5 相等、放大倍数为 1，对应输出电压 $V_{o1} = -I_i R_1$ ，实现了电流到电压的转换。第二级放大电路实现从 V_{o1} 到 0V~10V 的电平变换，根据对第二级电路的分析有： $\frac{V_{o1}}{R_6} + \frac{V_f}{R_7} = -\frac{V_o}{R_f}$ ，由此可推出： $V_o = \frac{R_f R_1 I_i}{R_6} - \frac{R_f V_f}{R_7}$ 。只要合理选取 R_6 、 R_7 的阻值，调整 V_f 和 R_f 的值，就能使输入电流 I_i 从 4mA~20mA 变化时，对应输出 0~10V 的电压信号。

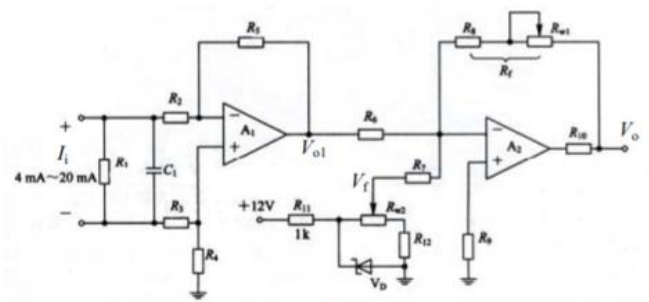


图 1 电流-电压转换电路原理图

四、实验方案设计和参数计算

4.1 总体设计

电流电压转换电路由两级放大电路构成，第一级放大电路将输入电流 4~20mA 转换为电压-0.8~-4V，，第二级放大电路将输入电压-0.8~-4V 转换为 0~10V。

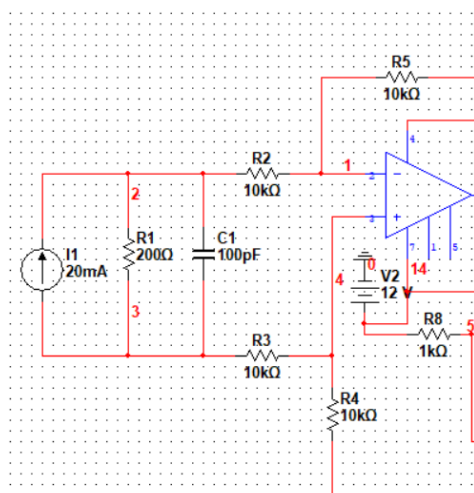
4.2 各功能电路的设计和计算

(1) 第一级放大电路设计

参数计算：取 $R_1 = 200\Omega$ ，可将电流信号 4mA~20mA 转换为电压信号为 0.8~4V，取 $R_2 = R_3 = R_5 = R_4 = 10k\Omega$ ，则第一级放大电路增益为 1，可得到 V_{o1} 为-0.8~-4V。电容 C 用来抑制高频干扰，取 $C = 100pF$ 。

参数值： $R_1 = 200\Omega$ ， $R_2 = R_3 = R_5 = R_4 = 10k\Omega$ ， $C = 100pF$ 。

电路图：



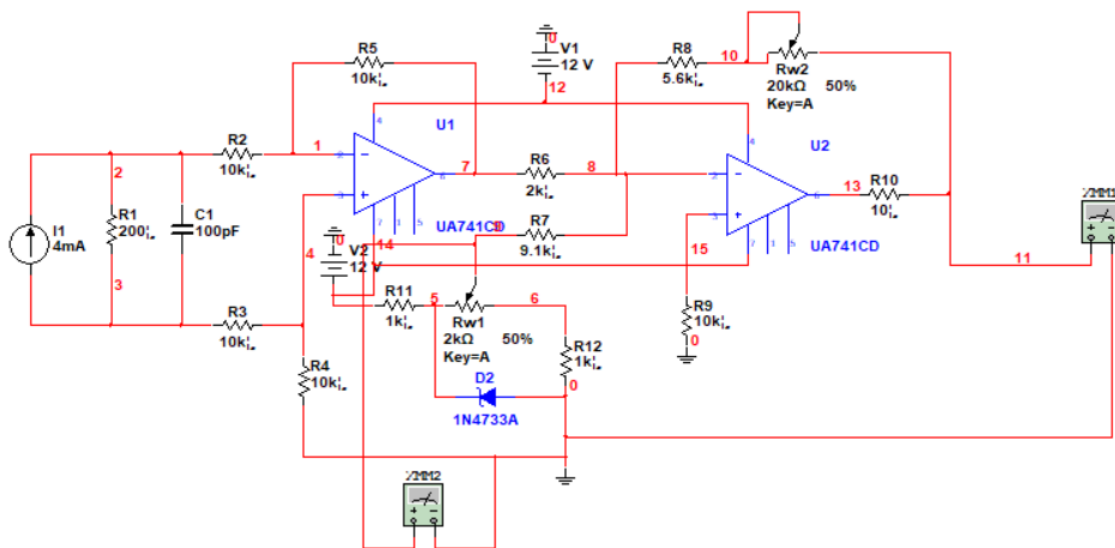
(1) 第二级放大电路设计

参数计算：根据第一级的输出电压为-0.8~-4V，第二级的放大倍数要求为 2.5 倍。根据公式 $V_o = \frac{R_f R_1 I_i}{R_6}$

极管 1N4733A, 取 $R_{w1} = 2k\Omega$, $R_{12} = 1k\Omega$, 则 $V_f = 1.7 \sim 5.1V$, 于是 $V_o = \left(\frac{0.2 \times (4 \sim 20)}{R_6} - \frac{1.7 \sim 5.1}{R_7} \right) \times R_f$, 当 $I_i = 4mA$ 时, $V_o = 0V$, $\frac{R_7}{R_6} = 2.125 \sim 6.375$, 取 $\frac{R_7}{R_6} = 4.5$, $V_f = 3.6V$, 于是可取 $R_6 = 2k\Omega$, 则 $R_7 = 9.1k\Omega$ 。当 $I_i = 20mA$ 时, $V_o = 10V$, 计算得 $R_f \approx 6.36k\Omega$, 可以用一个 $5.6k\Omega$ 的电阻串联上一个 $20k\Omega$ 的电位器得到。考虑到运放非理想运放, R_{10} 阻值对输出有较大影响, 故取 $R_{10} = 10\Omega$ 。另外取 $R_9 = 10k\Omega$, $R_{11} = 1k\Omega$ 。

参数值: $R_6 = 2k\Omega$, $R_7 = 9.1k\Omega$, $R_8 = 5.6k\Omega$, $R_9 = 10k\Omega$, $R_{10} = 10\Omega$, $R_{11} = 1k\Omega$, $R_{12} = 1k\Omega$, $R_{w1} = 2k\Omega$, $R_{w2} = 20k\Omega$,

4.3 完整的实验电路



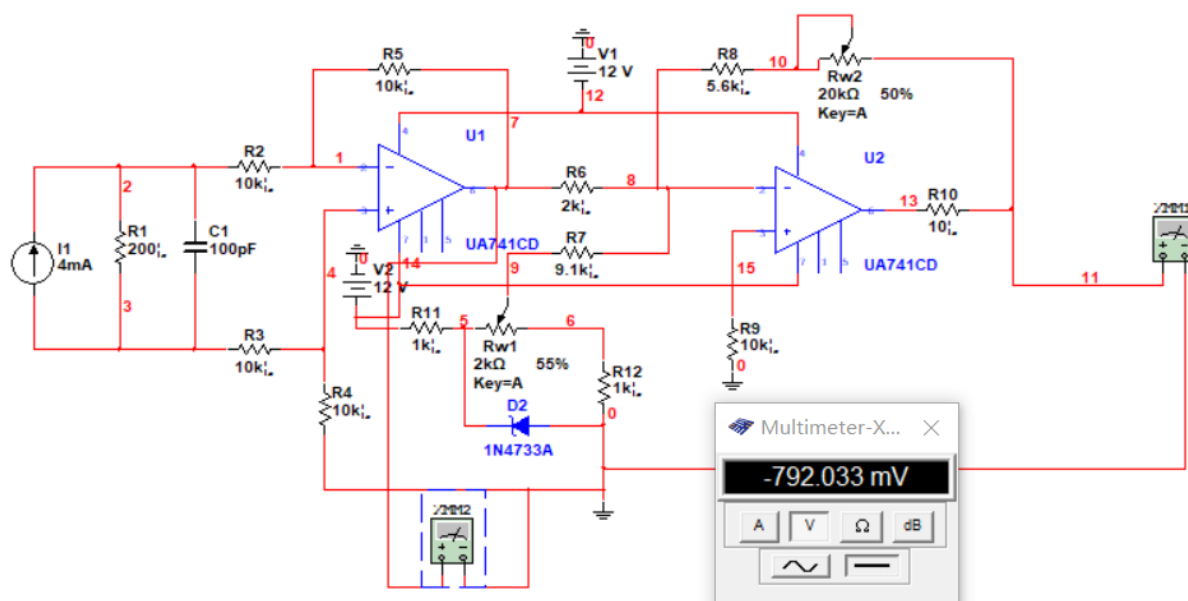
五、主要仪器设备

Multisim10、AD9

六、实验步骤及实验结果

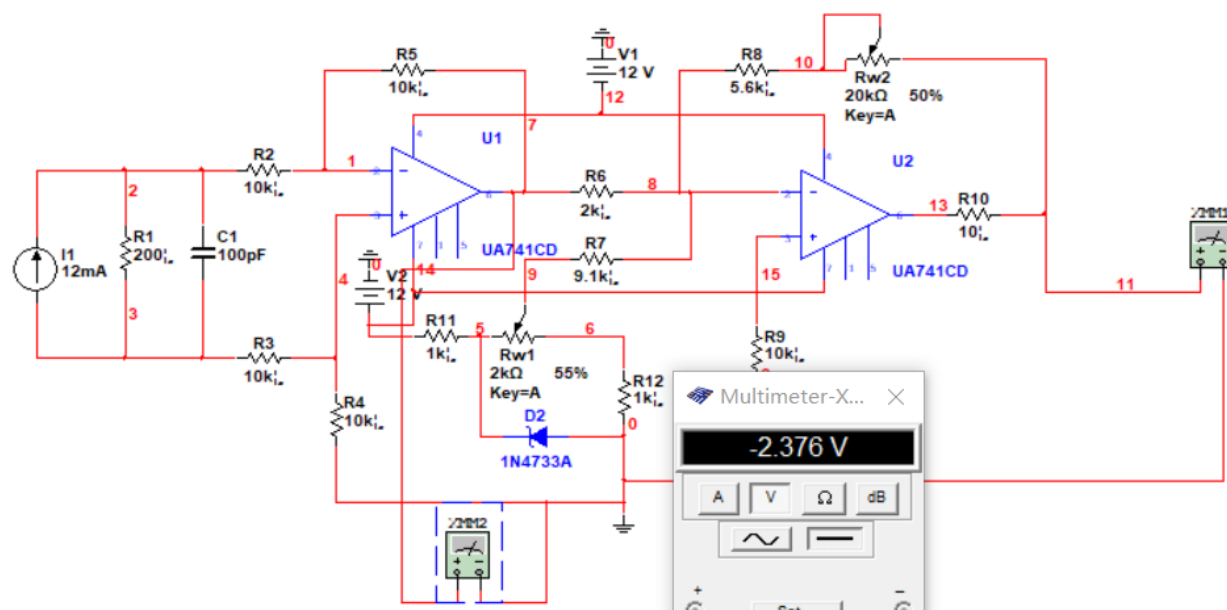
6.1 V_{o1} 测试

(1) 输入 4mA 电流



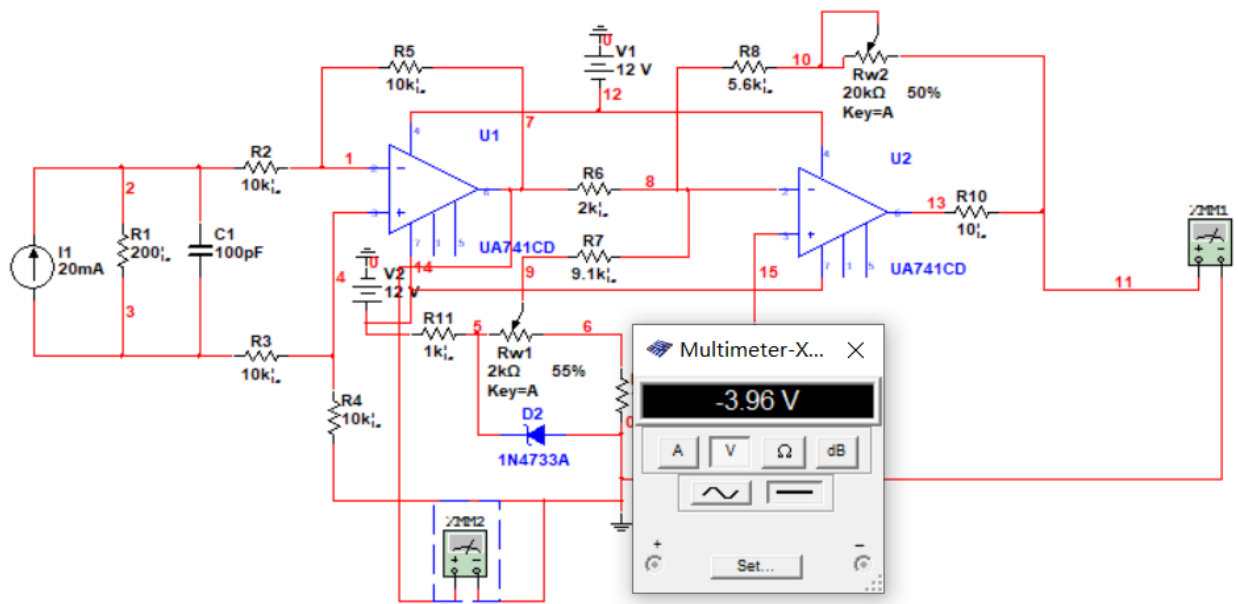
分析: $V_{o1} = -0.792V$, 与理论值-0.8V 相对误差 1%。

(2) 输入 12mA 电流



分析: $V_{o1} = -2.376V$, 与理论值-2.4V 相对误差 1%。

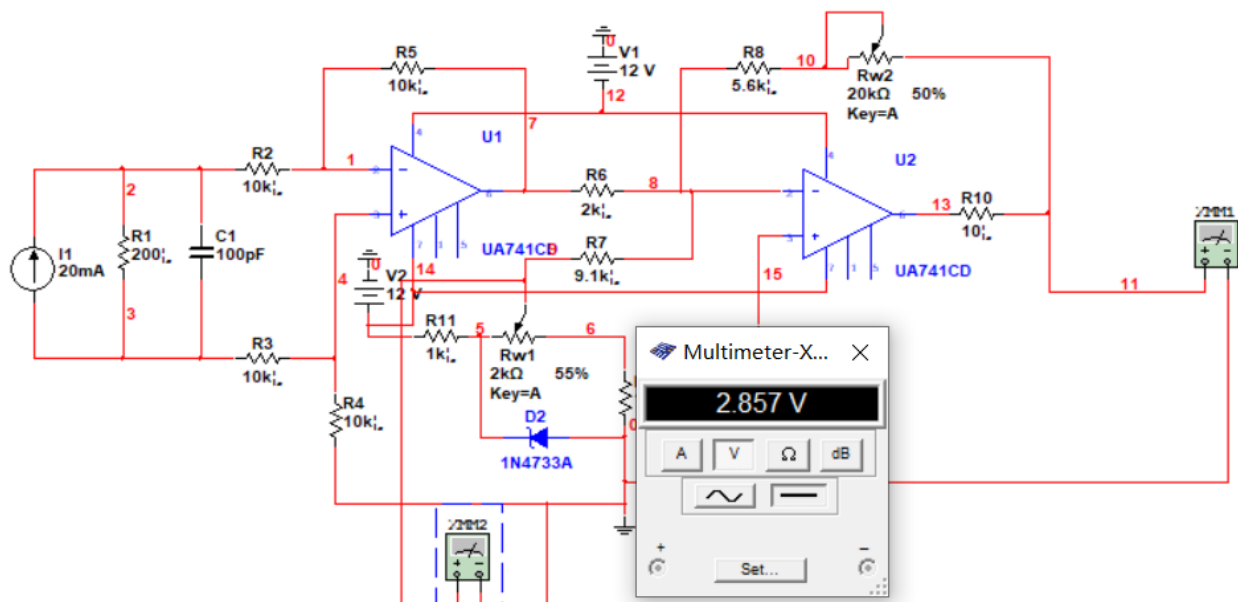
(3) 输入 20mA 电流



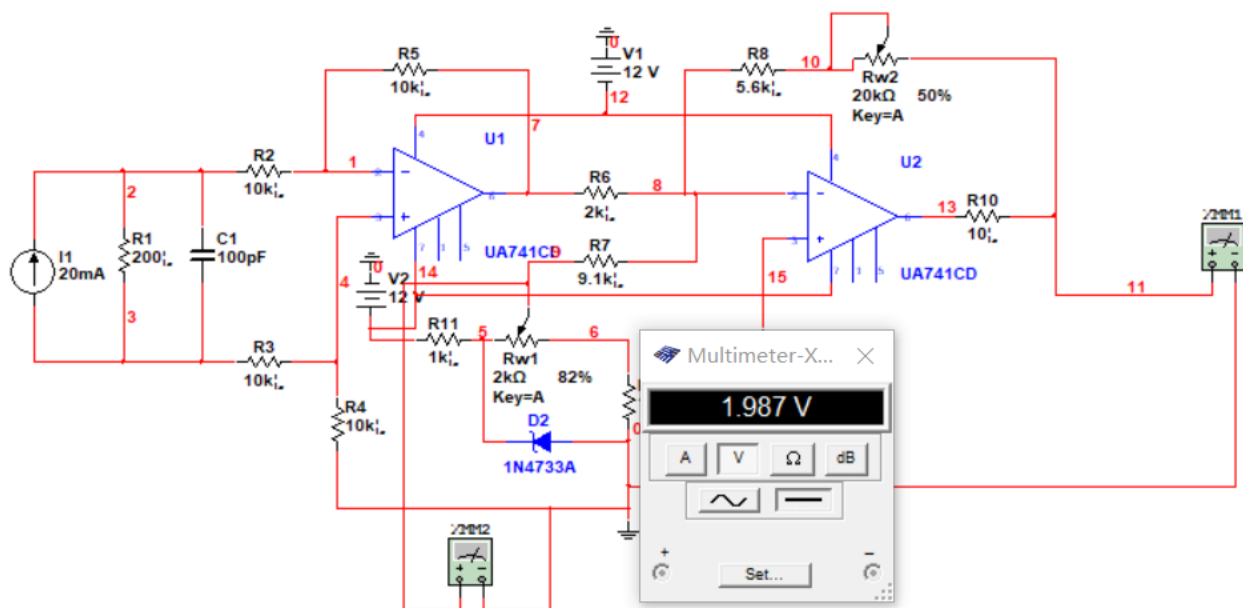
分析: $V_{o1} = -3.96V$, 与理论值 $-4V$ 相对误差 1%。

6.2 调节 R_{w1} , 将 V_f 调整为 2V

(1) V_f 原先值

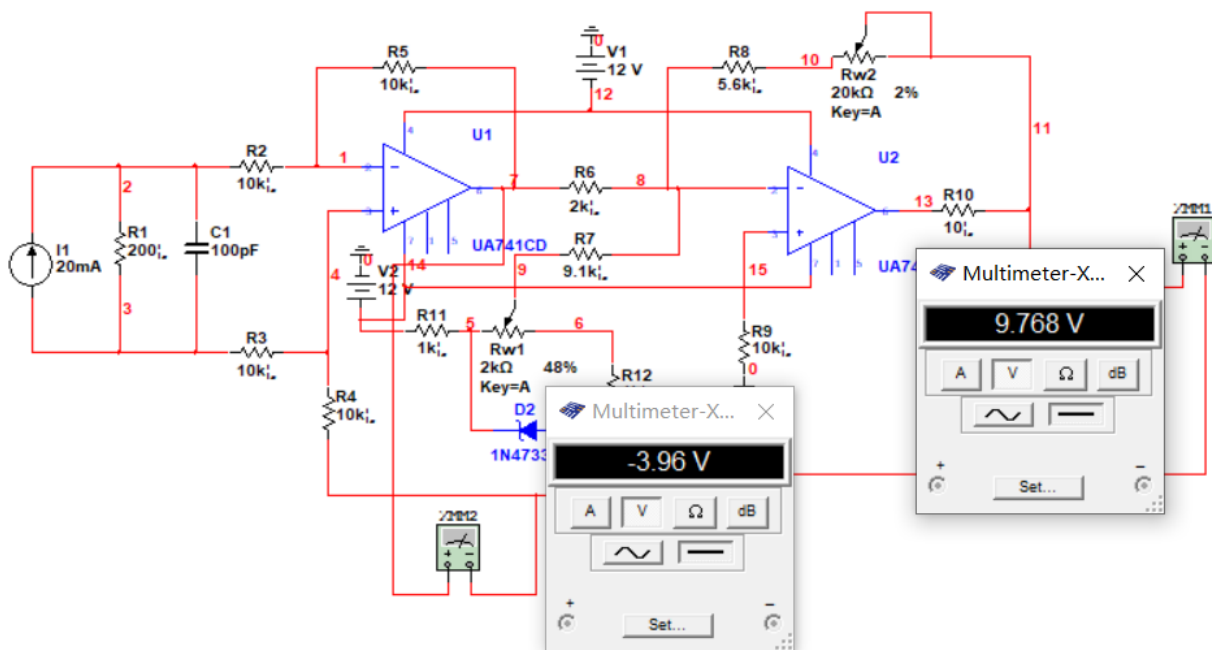


(2) 调节电位器 R_{w1}



分析：当电位器接入电路约 82%时，可以将 V_f 调整为 2V。

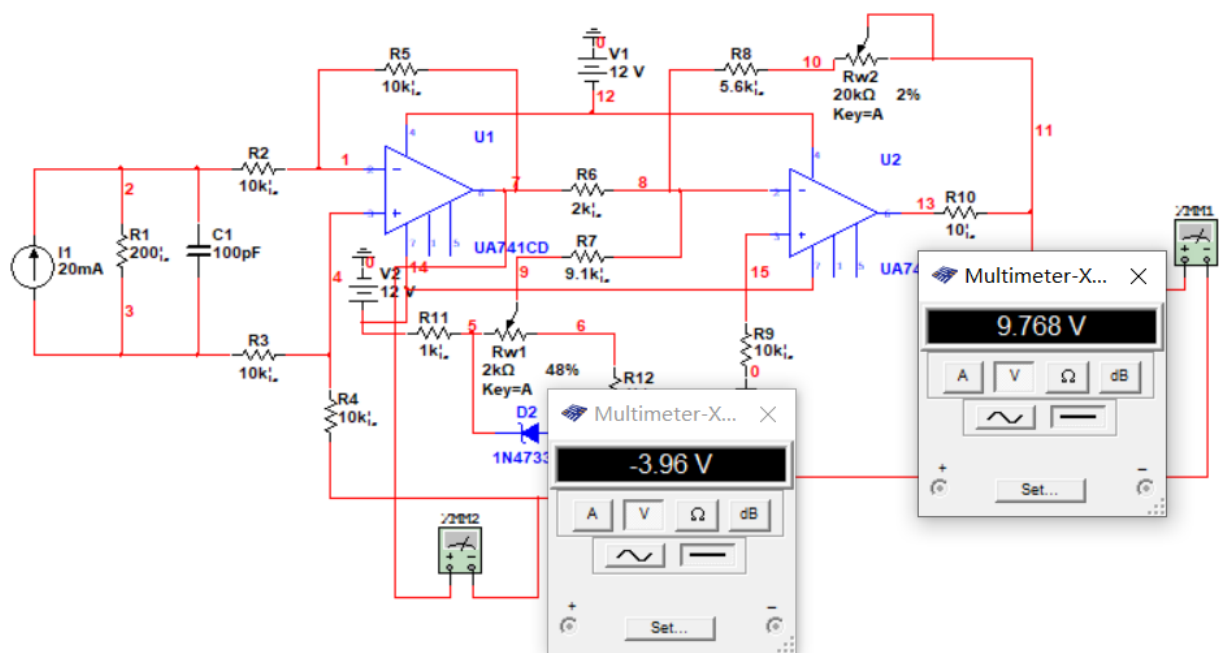
6.3 调整 I_i 为 20mA，调节 R_{w2} ，使 A2 的输出电压 $V_o=10V$



分析：此时输出电压为 9.768V，与理论值相对误差为 2.32%。此时 $V_{o1}=-3.96V$ ，理论值 $V_{o1}=-4V$ ，相对误差为 1%。

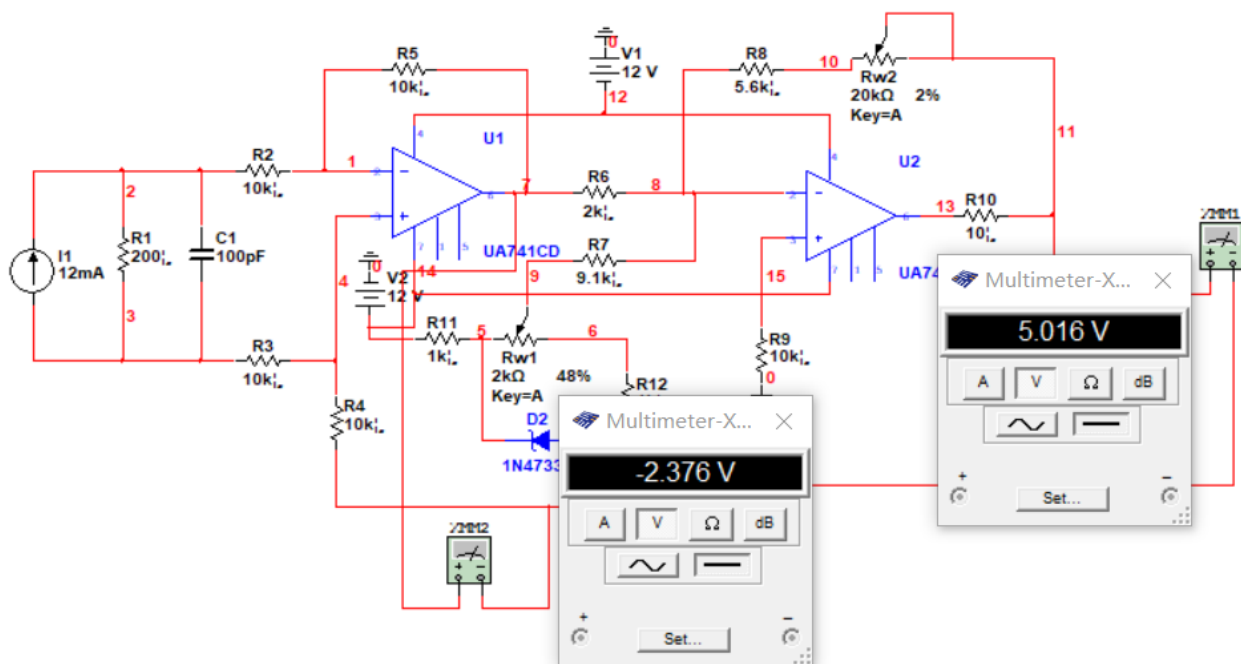
6.4 进行电路联调，当 I_i 在 4mA~20mA 之间变化时，观察输出 V_o 是否为 0V~10V

(1) 输入电流为 20mA 时



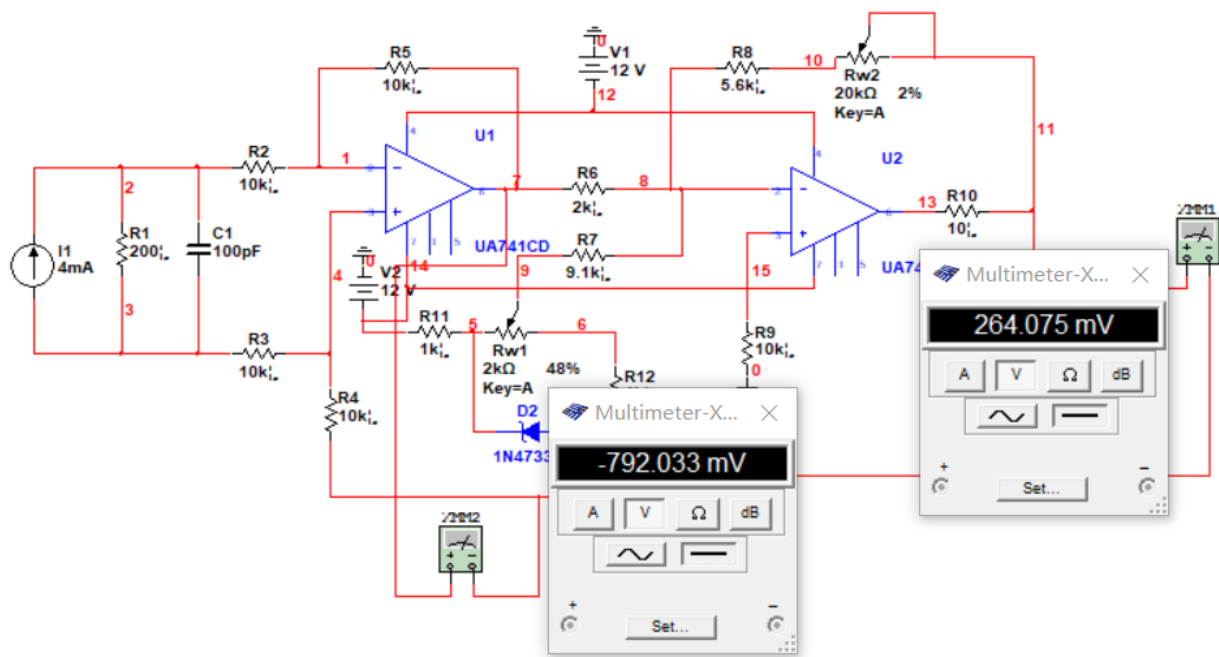
分析：此时输出电压为 9.768V，与理论值相对误差为 2.32%。

(2) 输入电流为 12mA 时，通过调整 R_{w1} ，可以得到：



分析：此时输出电压为 5.016V，与理论值相对误差为 0.32%。

(3) 输入电流为 4mA 时

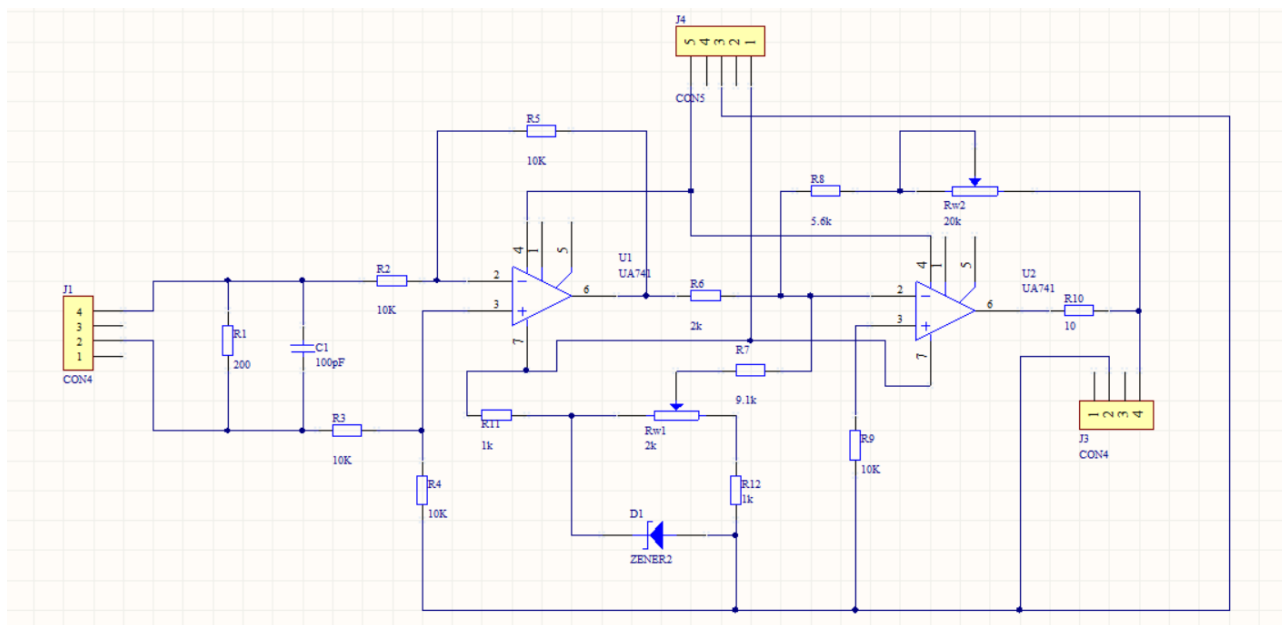


分析：此时输出电压为 264.075mV，与理论值 0V 相差较小。

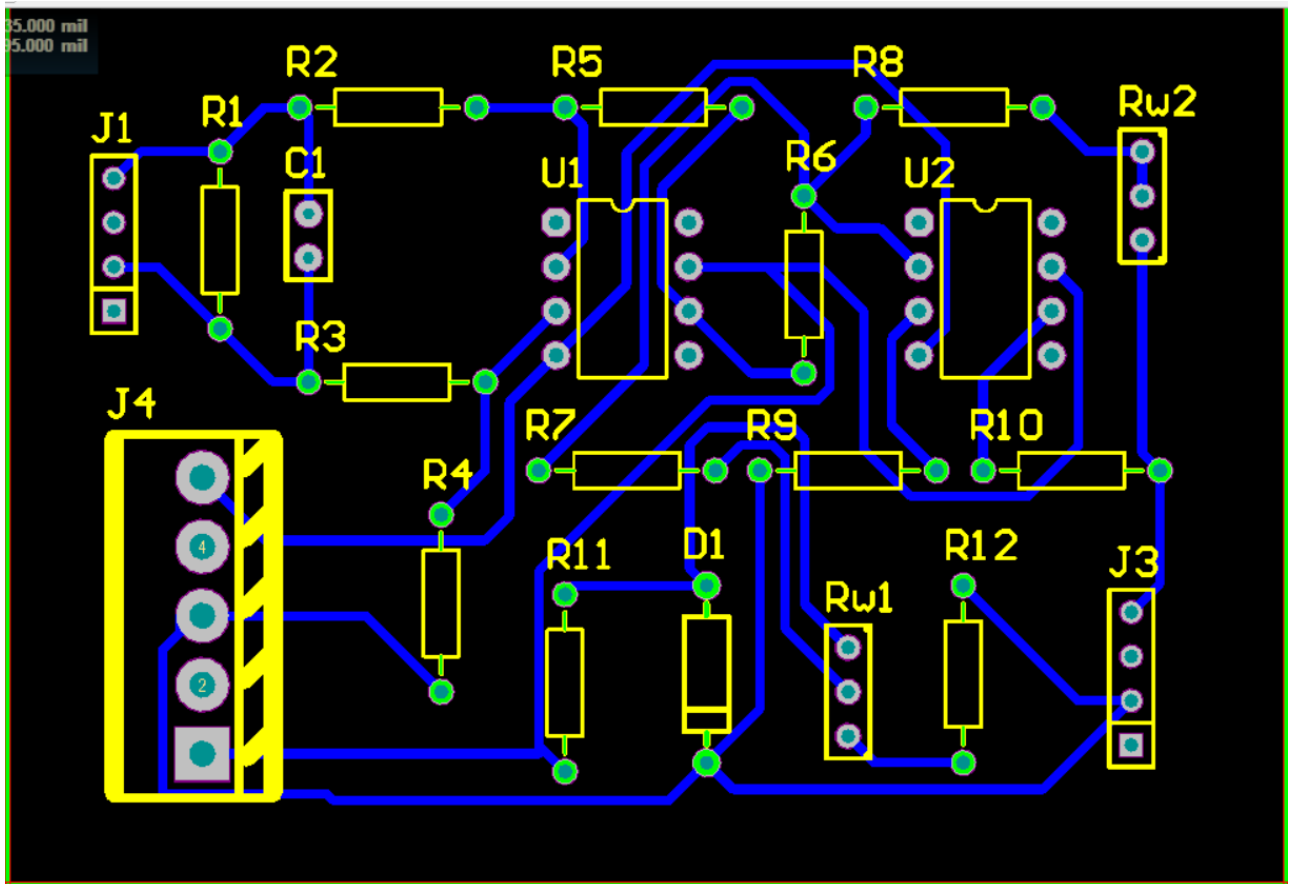
由以上仿真可见，在 Rw1 接入 48%，Rw2 接入 2%时，输入电流 4-12mA 可以输出电压 0-10V。设计基本可以达到预期效果。

6.5 AD 电路原理图及 PCB 版图

AD 电路原理图：

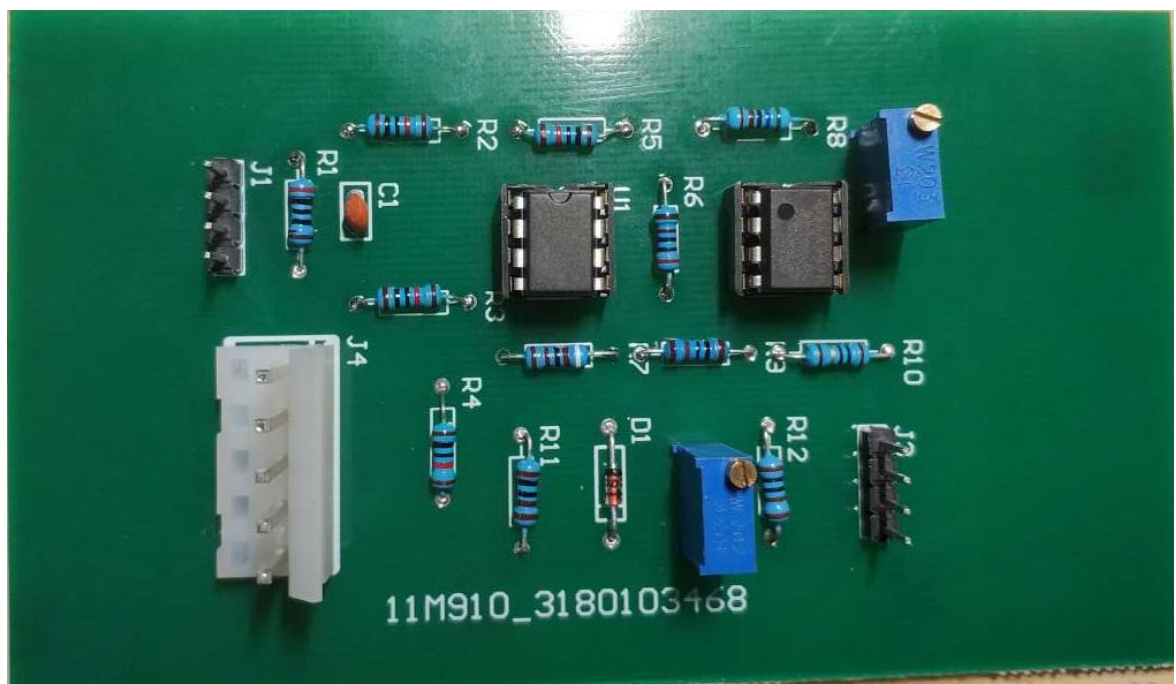


PCB 版图:



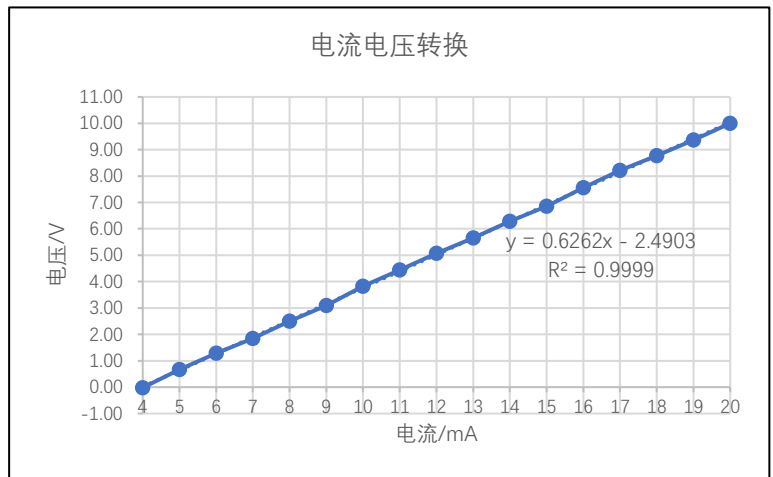
PCB 版图中稳压管正负极接反，在实际电路焊接中已改正。

6.6 焊接



6.7 数据测试

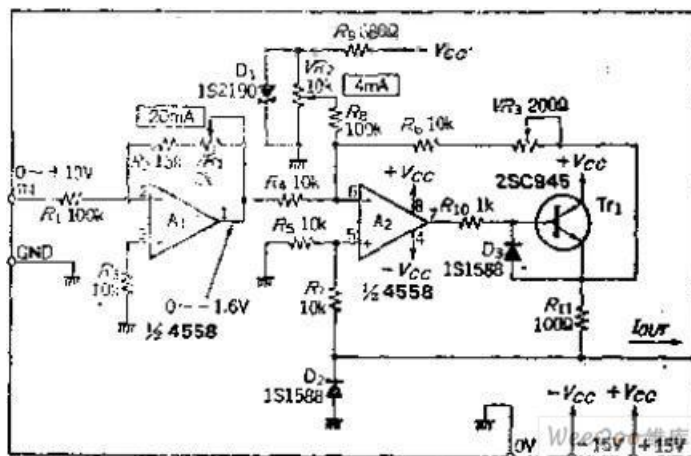
电流 /mA	电压/V	理论值 /V	相对误差/%
4	-0.02	0	/
5	0.67	0.625	7.20
6	1.29	1.25	3.20
7	1.84	1.875	-1.87
8	2.50	2.5	0.00
9	3.09	3.125	-1.12
10	3.82	3.75	1.87
11	4.44	4.375	1.49
12	5.07	5	1.40
13	5.65	5.625	0.44
14	6.28	6.25	0.48
15	6.86	6.875	-0.22
16	7.56	7.5	0.80
17	8.21	8.125	1.05
18	8.77	8.75	0.23
19	9.37	9.375	-0.05
20	10.00	10	0.00



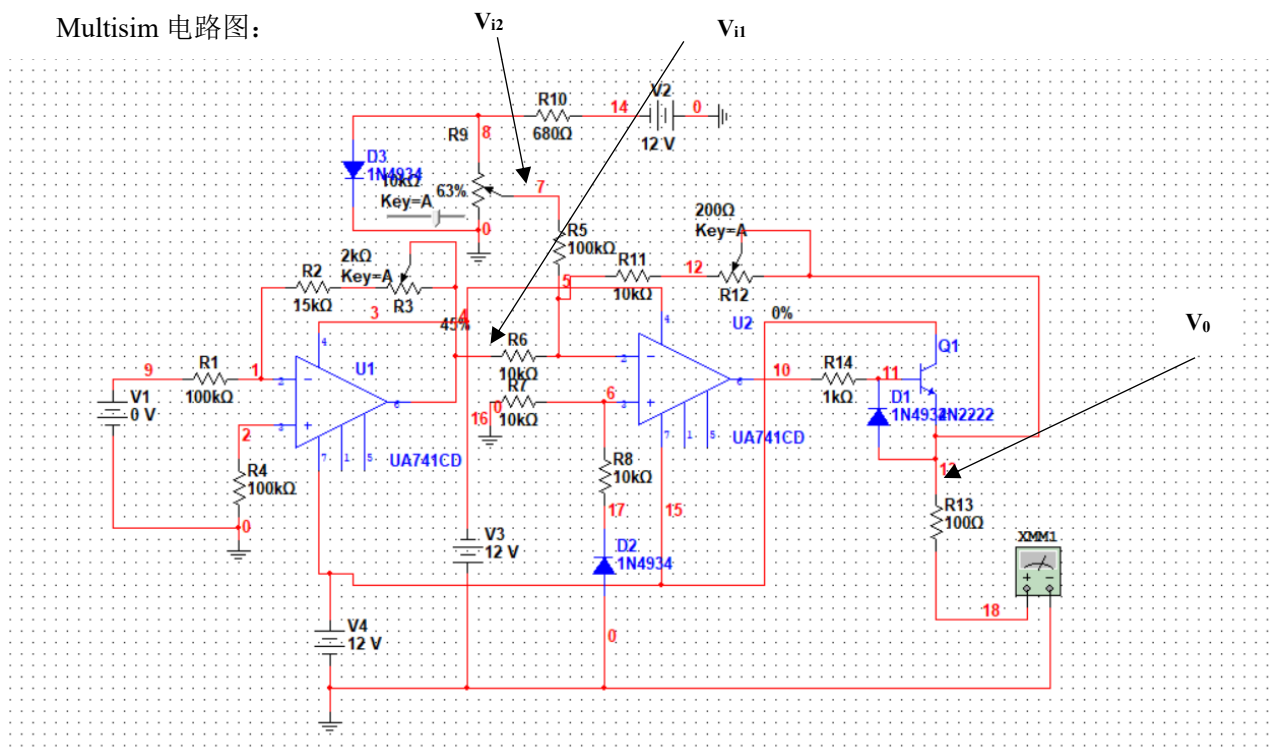
由以上数据可见，除输入电流 5mA 得到的电压误差>5%以外，其余各点电流误差均在 5%以内。实验过程一切顺利，未出现异常现象。

七、思考题

电路原理图: 来自网络, 电路设计参考自此图。网上能找到的参考资料大多是 0~10V 电压转换为 0~5mA 电流。唯一符合题意的参考电路图只有下图。在理解的基础上我将参数进行了推算, 证明此电路设计符合要求, 并将其转换为了 Multisim 电路图。



Multisim 电路图：



设计思路：

常规电压电流转换电路设计中，电流与电压呈线性关系，一般通过运放和三极管的组合电路实现。要使输入 0~10V 电压输出 4~20mA 电流，则真正转换电路的电压输入应从不为 0 的值开始。若以 R_{13} 上的电流为输出电流，范围为 4~20mA，当 R_{13} 为 100Ω 时， V_o 的值应为 0.4~2V。通过第一级放大电路得到的电压值从 0 开始，故 V_{i2} 应通过运放提供给 V_o 0.4V 的电压分量， V_{i1} 通过运放应提供 0~1.6V 的电压分量，两者相加得到 V_o 。当第二级放大电路增益为 -1 时，可以推算出 V_{i1} 的范围为 (0~1.6)V；取 $R_5=100k$ 时，第二级放大电路反馈电阻为 10k 时，可以推算出 V_{i2} 的稳定值为 4V。

故第一级电路应是电压衰减电路，将 0~10V 的电压转换为 (0~1.6)V 的电压。第二级电路为反相加法器，将第一级得到的电压 V_{i1} 和通过电位器 R_9 得到的电压 V_{i2} 通过运放相加后得到 V_o ，再通过电阻 R_{13} 转换为 4~20mA 电流， R_{13} 上的电流即为输出电流。

参数计算：

(1) 第一级电路

第一级电路输入电压 0~10V，输出电压 (0~1.6)V，增益 $A = -\frac{R_2+R_3}{R_1} = -0.16$ 。取 $R_1 = R_4 = 100k\Omega$ ，则 R_2 可取 15k， R_3 可取 2k 的电位器。

(2) 第二级电路

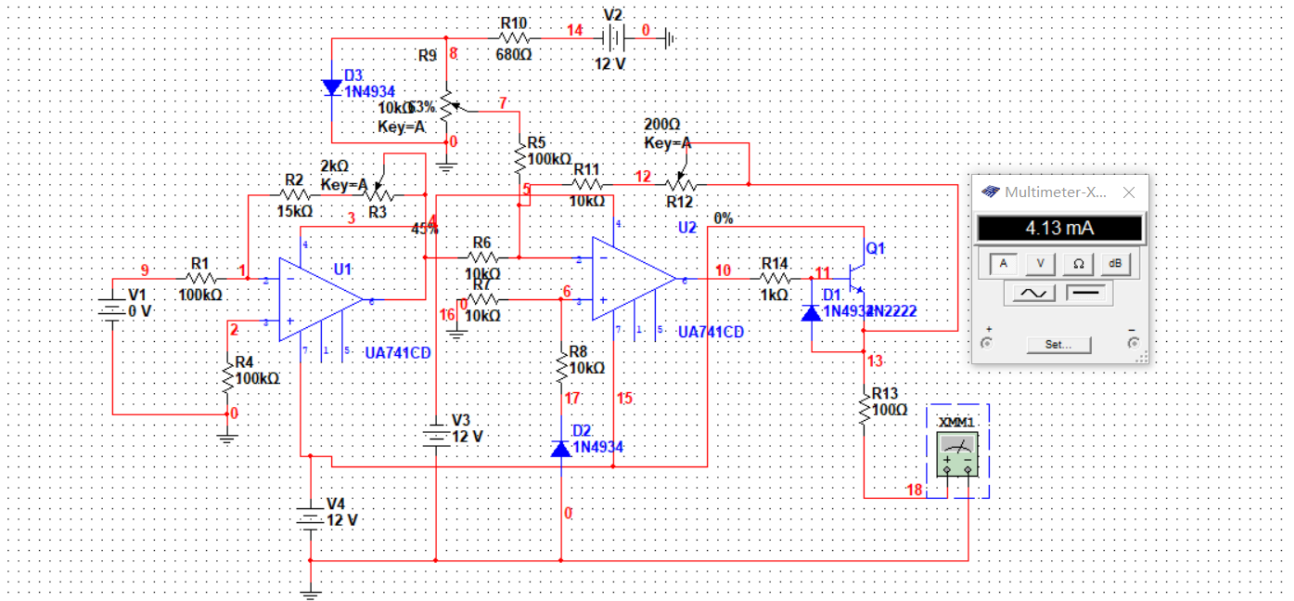
第二级电路为反相加法器。取 $R_6 = R_7 = R_8 = R_{11} = 10k\Omega$ ，由 V_o 的计算公式

$V_o = -\left(\frac{R_{11}+R_{12}}{R_6}V_{i1} + \frac{R_{11}+R_{12}}{R_5}V_{i2}\right)$ 可以计算出此时 V_o 的取值范围：

$$V_o = \left((0\sim 1.6) \times \frac{(10\sim 10.2)}{10} + \frac{(10\sim 10.2)}{100} \times 4\right) = 0.4\sim 2.04V, \text{ 基本符合要求}$$

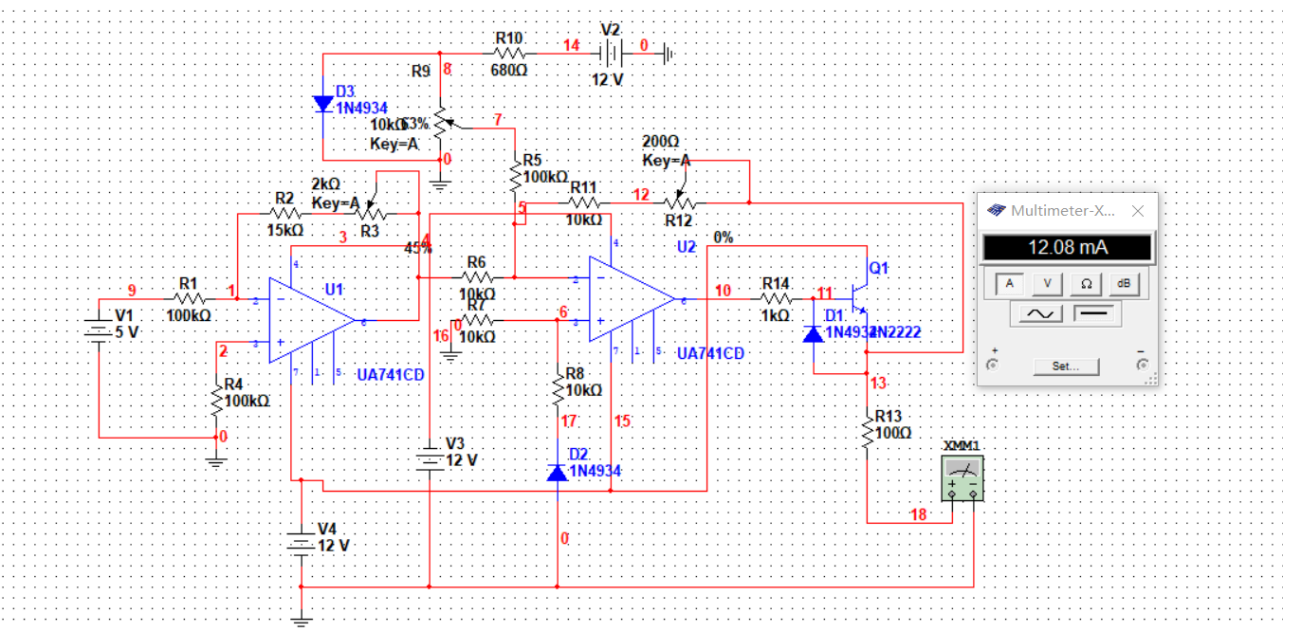
电路仿真：

(1) 输入 0V 时

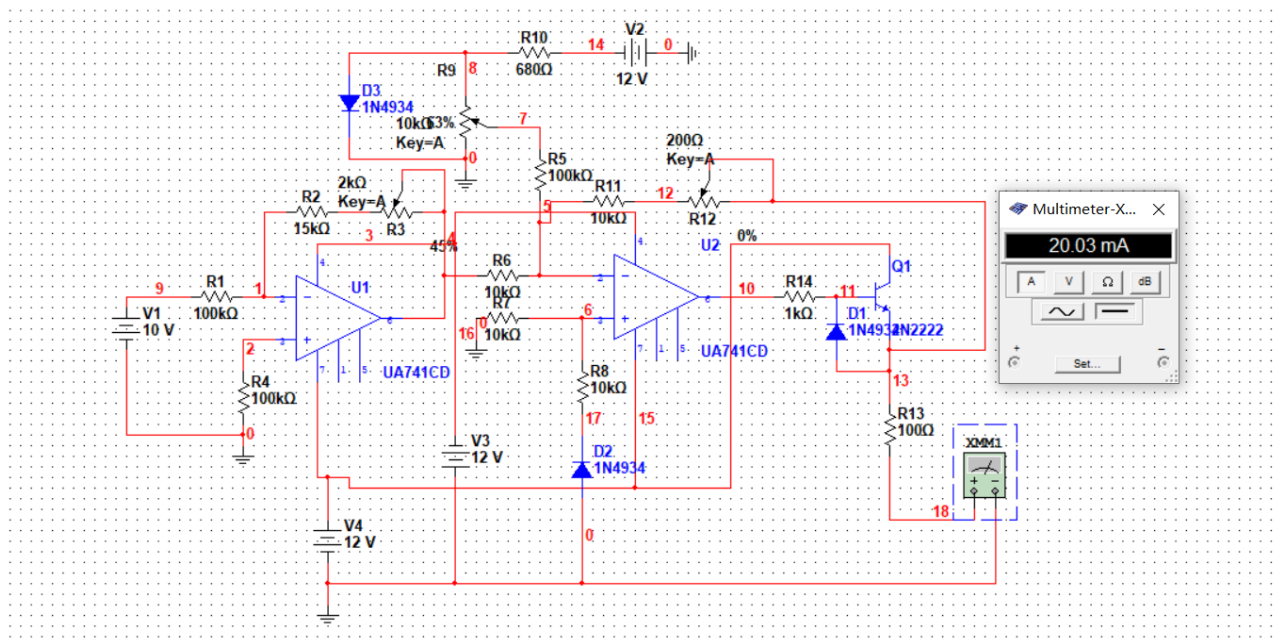


分析：此时输出电流 4.13mA，与理论值相对误差 3.25%。

(2) 输入 5V 时



(3) 输入 10V 时



电路设计基本符合要求。

八、实验心得

(1) 仿真部分

电流电压转换电路因为有老师提供的帮助文档，设计起来相对容易，但是在 Multisim 仿真过程中，我发现，第二个运放输入端和输出端的电阻对实验结果有较大影响，当电阻的比例设计符合实验要求时，其阻值大小对结果的影响也是不可忽略的，需要不断调整电阻大小才能得到符合预期的结果，主要原因应该时运放非理想运放，可能在实际电路测试中也需要调整现在设计的电阻值。电压电流转换电路设计比较困难，老师没有提供文档且网上参考资料较少，唯一可以供参考的便是那张模糊的电路图，虽然设计是参考了那张电路图，但自己仿真过之后也理解了电压电流转换电路设计的思想。

另外谢谢施老师在PCB版图设计上提出的修改意见。在整个实验过程我觉得PCB版图是相当重要的，如果版图设计错了，仿真做成功了也没有地方可以测试电路。

(2) 焊接和测试部分

焊接过程基本是根据图纸来的，使用的是前期设计好的参数，除了运放端的电位器由 2k 改成了 20k，

其余参数与前期仿真时一致。完成试验后我已经将前面的仿真内容更新，所有涉及到运放端电位器的部分全部换成了 20k。焊接时我本来想先焊完第一级放大器测试后再焊第二级的，在老师的建议下改成了全部焊完再测试，我觉得全部焊完再测试其实是有一定风险的，如果电路复杂些，其中一个点错了很有可能要花大量的时间去纠正。这次可以如此顺利地完成实验，我觉得还是前期仿真的功劳。

在测试阶段，也没有碰到什么麻烦，先调整稳压管处的电位器使输入 4mA 电流时输出 0V 电压，此后该电位器保持不变。当输入 20mA 电流时，去调整运放端的电位器使输出 10V 电压，然后将输入电流调整为 12mA，验证输出是否为 5V 电压。如此，测试基本完成，然后输入电流由 4~20mA 递增，记录输出电压数据，由此实验完成。

这里谢谢老师让我把运放端的电位器换成了 20k，做完实验后想想虽然 2k 的设计是合理的，但是实际电路与仿真还是有较大差异，选择较大的电位器可以有更多的调整空间，避免了电位器不合适需要从焊好的板子上取下来的风险。