

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称: 电路与电子线路实验 I 电路实验

第 3 次实验

实验名称: 应用 Multisim 软件工具设计电路验证网络定理

院 (系): TVJ Group

专 业: L^AT_EX Design

姓 名: Teddy van Jerry

学 号: 123456

实 验 室:

实验组别:

同组人员:

实验时间: 2021 年 10 月 19 日

评定成绩:

评阅老师: Mentor Name

1 实验目的

1. 通过实验加深对参考方向、基尔霍夫定理、叠加定理、戴维南定理的理解；
2. Multisim 软件入门：元器件配置、电路连接、电路参数测试；
3. 通过学习对实验结果的分析对比，了解虚拟仿真与实物实验的差异。

2 实验原理

1. Multisim 仿真软件；
2. **基尔霍夫定理**包括电流定律（KCL）和电压定律（KVL），用公式表示为 $\sum I = 0$ 和 $\sum V = 0$ 。KCL 即流入节点电流等于流出电流，KVL 即环路一周电势降为零；
3. **叠加定理**：在线性电路中，任一支路的电流或电压等于电路中每一个激励源单独作用（令其他激励源为零值）时，在该支路所产生的电流或电压的代数和。注意：不考虑电流源时即将电流源被短路，考虑电压源则是将电压源断路；
4. **戴维南定理**（Thevenin's theorem）说明了线性含源单端口网络对外电路可等效于一个电压源串联一个电阻^[1]，这次试验直接用到的是两个电压源并联的公式

$$U = \frac{r_1 U_2 + r_2 U_1}{r_1 + r_2}, \quad (1)$$

式中 $r_{1,2}$ 分别为 $U_{1,2}$ 支路上的电阻值。而电阻即去掉电压源后的并联电阻。

3 实验内容

3.1 基尔霍夫定理、叠加定理的验证

(1) 按图 1 所示实验电路建立电路。按表 1 用电压表和电流表测量各电阻两端电压和各支路电流。分析说明测量结果。

理论数值计算：

满足 KCL 和 KVL 由以下方程组检验：

$$\begin{cases} V_1 = U_1 + U_3 \\ V_2 = U_2 + U_3 \\ I_1 + I_2 = I_3 \end{cases} \quad (2)$$

叠加原理即表 1 中第一行与第四行相等。

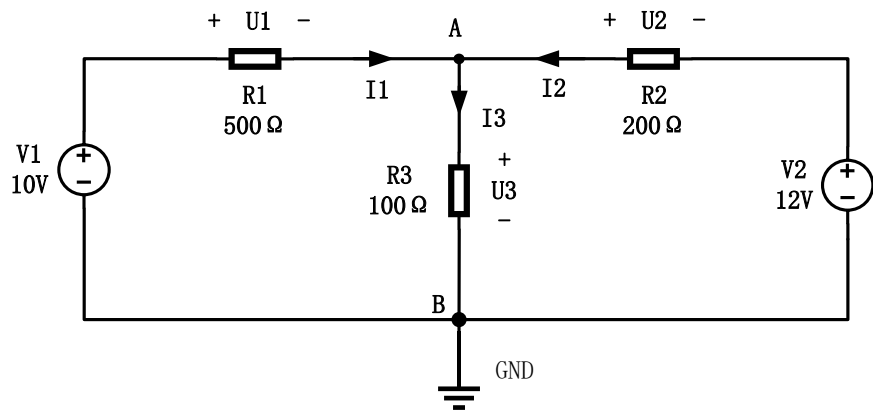


图 1: 实验电路

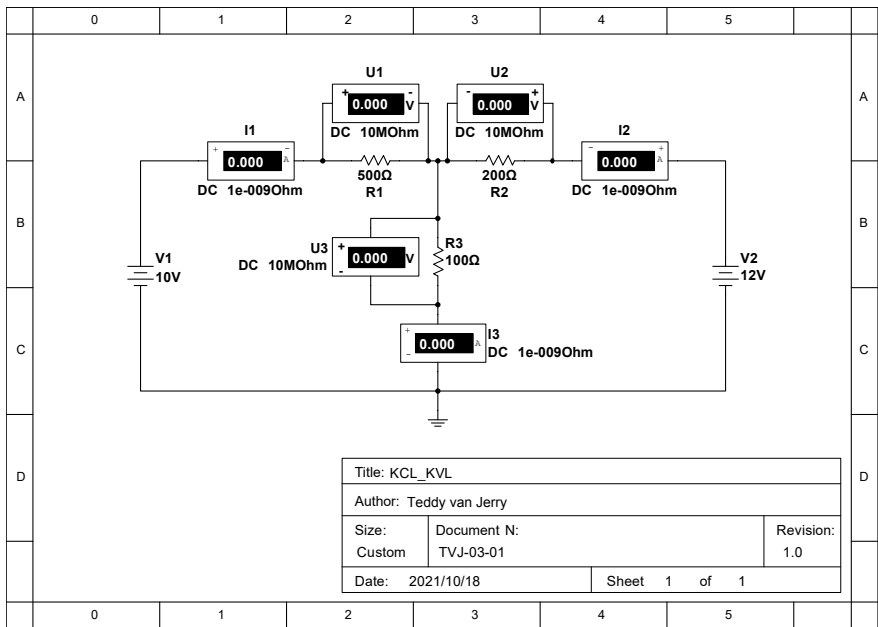


图 2: 仿真电路图

状态	测量参数					
	$U_1(V)$	$U_2(V)$	$U_3(V)$	$I_1(A)$	$I_2(A)$	$I_3(A)$
V_1 、 V_2 同时作用	5.294	7.294	4.706	0.011	0.036	0.047
V_1 单独作用	8.823	-1.177	1.177	0.018	-5.883m	0.012
V_2 单独作用	-3.529	8.471	3.529	-7.059m	0.042	0.035
叠加结果	5.294	7.294	4.706	0.011	0.036	0.047

表 1: 测量数据

实验结果分析：

$$\begin{cases} U_1 + U_3 = 5.294 + 4.706 = 10.00\text{V} = V_1 \\ U_2 + U_3 = 7.294 + 4.706 = 12.00\text{V} = V_2 \\ I_1 + I_2 = 0.011 + 0.036 = 0.047\text{A} = I_3 \end{cases} \quad (3)$$

由式 (3) 可知，式 (2) 成立，符合基尔霍夫定理预期。

表 1 中第一行与第四行相等，符合叠加原理预期。

对于电流表内外接法的问题，这里其实可以忽略，因为电压表内阻极大，约为待测电阻的 $10^4 \sim 10^5$ 倍，在电表的四位精度下几乎没有区别。不过严格讨论起来， $\sqrt{10^7 \times 10^{-9}} = 0.1\Omega \ll \min\{R_1, R_2, R_3\}$ ，故 R_1, R_2, R_3 属于大电阻，原则上应该采用电流表内接法。

仿真运行结果：

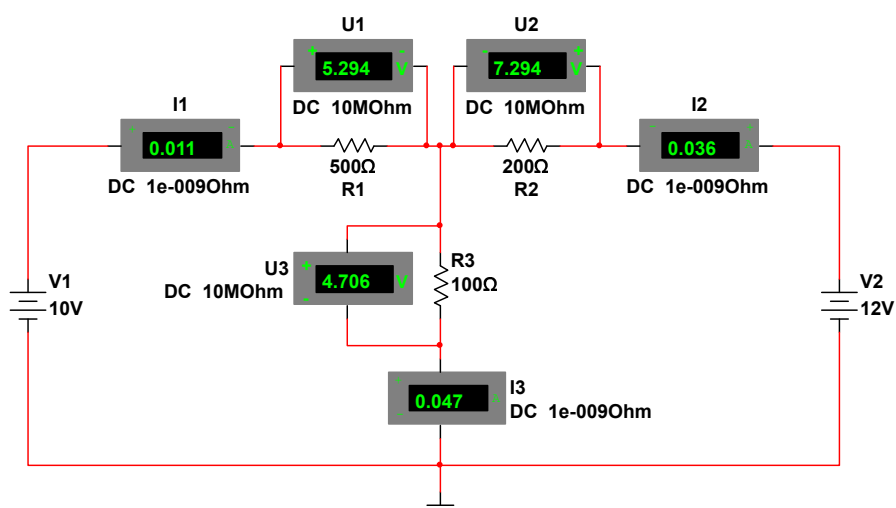


图 3: 运行结果

(2) 将 100Ω 电阻改成 1N4009 的二极管（正极连接到 A 点上），自行建立表格，测量数据，测量计算分析 KCL、KVL 和叠加定理是否成立。

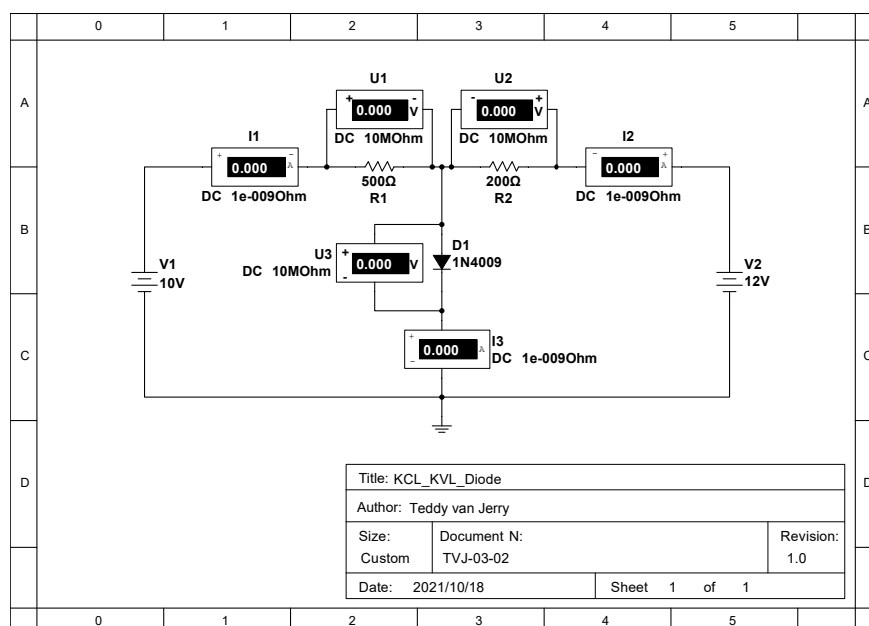


图 4: 仿真电路图

状态	测量参数					
	$U_1(\text{V})$	$U_2(\text{V})$	$U_3(\text{V})$	$I_1(\text{A})$	$I_2(\text{A})$	$I_3(\text{A})$
V_1 、 V_2 同时作用	9.001	11.001	0.999	0.018	0.055	0.073
V_1 单独作用	9.275	-0.725	0.725	0.019	-3.626m	0.725
V_2 单独作用	-0.913	11.087	0.913	-1.826m	0.055	0.054
叠加结果	8.362	10.362	1.638	0.017	0.051	0.779

表 2: 测量数据¹

理论数值计算:

KCL 和 KVL 情况与第 3.1 节 (1) 一致，而此时叠加原理将不满足，因为二极管不是线性元件。

实验结果分析:

$$\begin{cases} U_1 + U_3 = 9.001 + 0.999 = 10.00\text{V} = V_1 \\ U_2 + U_3 = 11.001 + 0.999 = 12.00\text{V} = V_2 \\ I_1 + I_2 = 0.018 + 0.055 = 0.073\text{A} = I_3 \end{cases} \quad (4)$$

¹此处也测量 U_3 可以估算出二极管电阻随电流的变化关系。

由式 (4) 可知, 式 (2) 成立, 符合基尔霍夫定理预期。

表 2 中第一行与第四行不等, 叠加原理不成立, 与预期相符合。

由文献^[2]可知 1N4009 的正向电阻随着电流增大而减小, 因此两个电源分别单独作用电流相加会大于两个电源同时作用, 这与试验结果表 2 中 I_3 的表现相吻合。

仿真运行结果:

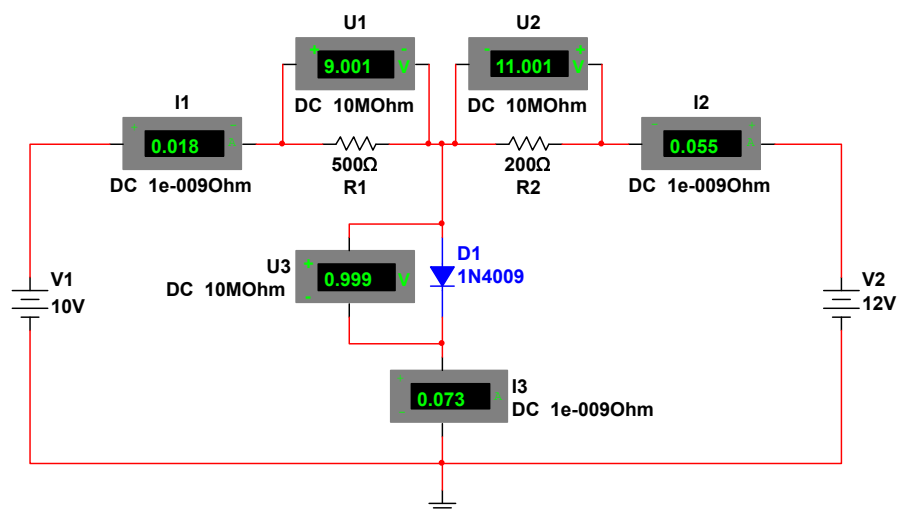


图 5: 运行结果

3.2 设计电路，验证戴维南定理

(1) 将图 1 中电阻 $R_3(100\Omega)$ 断开，测量电路 A、B 端口开路电压 U_{oc} 。

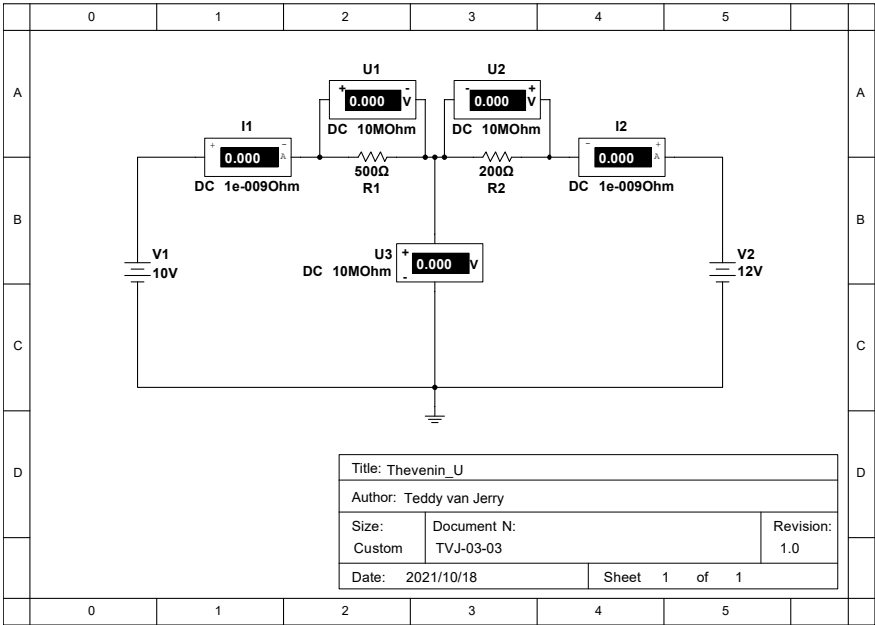


图 6: 仿真电路图

理论数值计算：
由公式 (1) 可以得到其理论电压值 11.4V。

仿真运行结果：

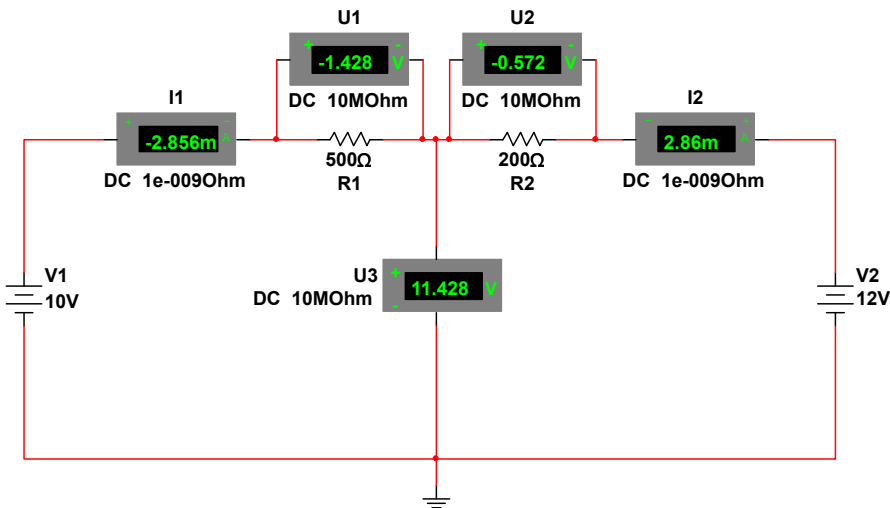


图 7: 运行结果

(2) 将电阻 R_3 短路，测得 AB 端口短路电流 I_{sc} ，计算等效电阻 R_o 。

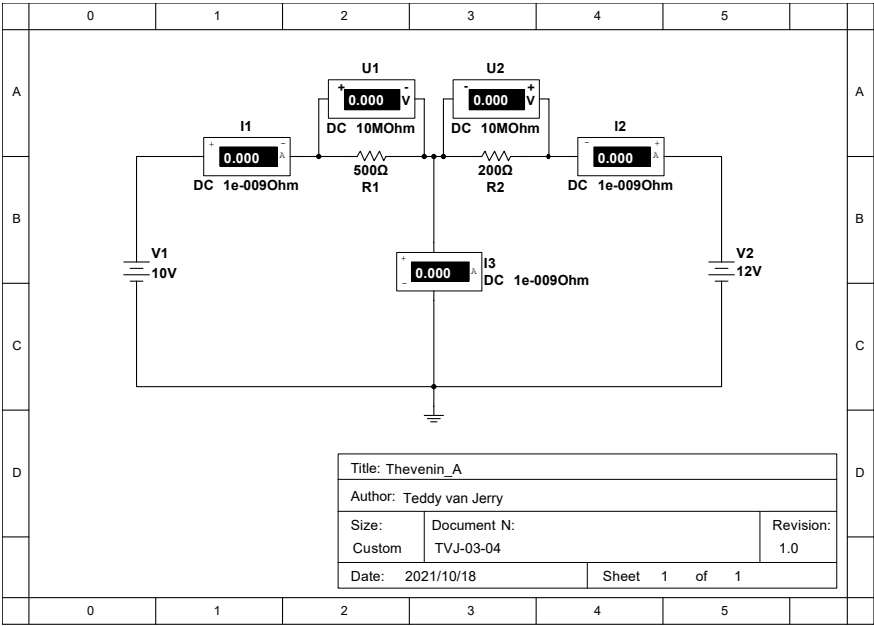


图 8: 仿真电路图

理论数值计算：

由公式 (1) 可以得到其理论电压值约为 11.4V，理论电阻值约为 143Ω，理论电流为 0.080A。

仿真运行结果：

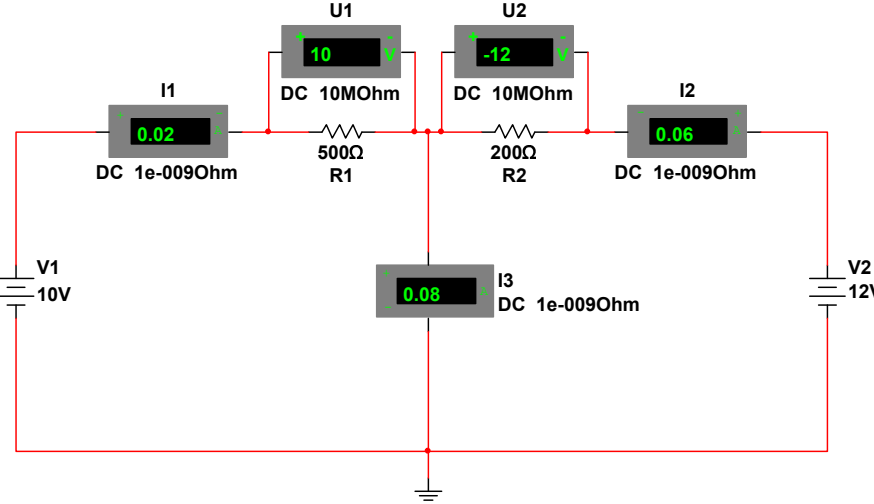


图 9: 运行结果

(3) 建立等效电路，验证戴维南定理。

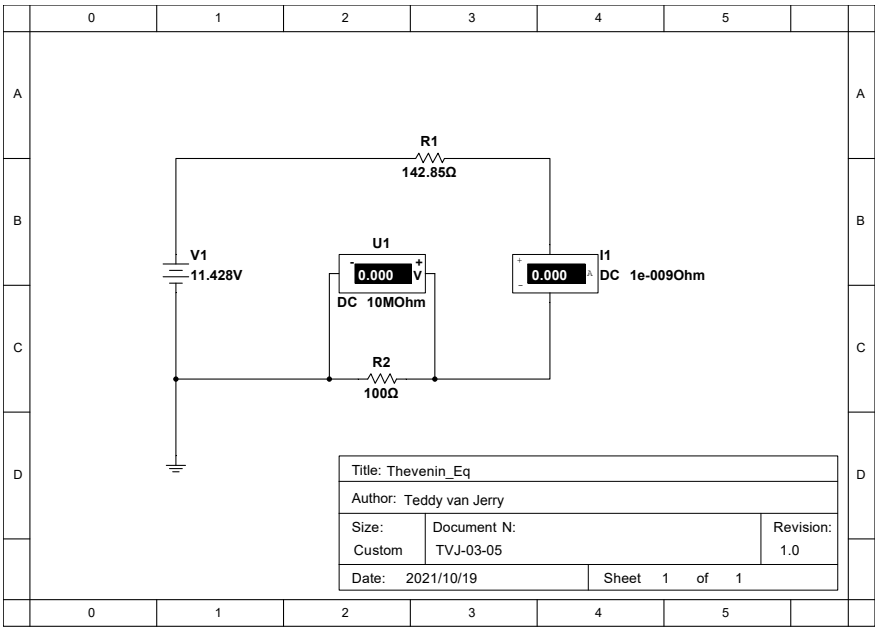


图 10: 仿真电路图

$U_{OC}(V)$	$I_{SC}(A)$	$R_o(\Omega)$	$U(V)$	$I(A)$
11.428	0.08	142.85	4.706	0.047

表 3: 实验数据

理论数值计算：

由公式 (1) 可以得到其理论电压值约为 11.4V，理论电阻值约为 143Ω。

实验结果分析：

理论计算值与实验值一致，电压源并联公式 (1) 成立。

表 3 中负载电压和电流与表 1 中一致，与戴维南定理预期符合。

仿真运行结果：

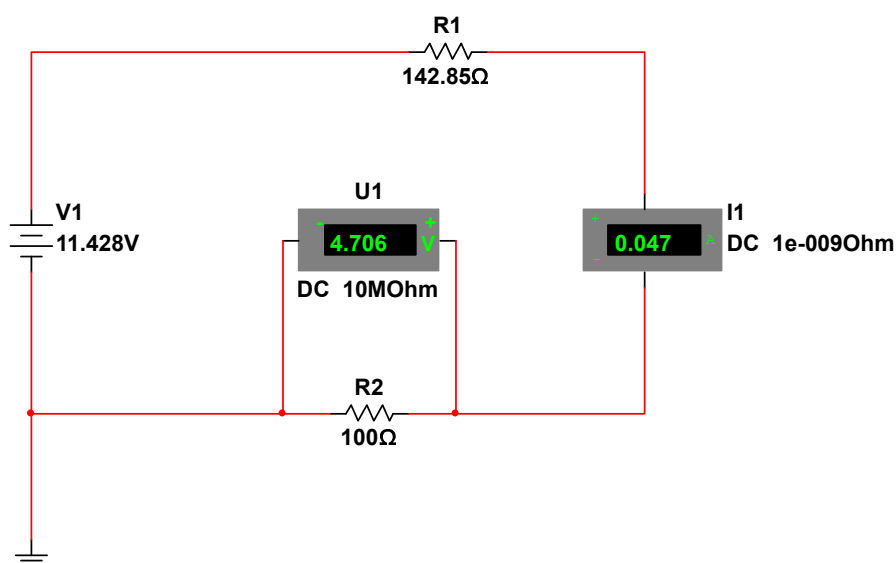


图 11: 运行结果

4 实验使用仪器设备（使用软件）

我使用 Multisim 14.0（我自己安装了新版本，没有使用学校的 13.0 版本），保存文件后缀为 `ms14`。

报告撰写使用 Visual Studio Code 配合 $\text{L}^{\text{A}}\text{T}_{\text{E}}\text{X} 2_{\epsilon}$ 。

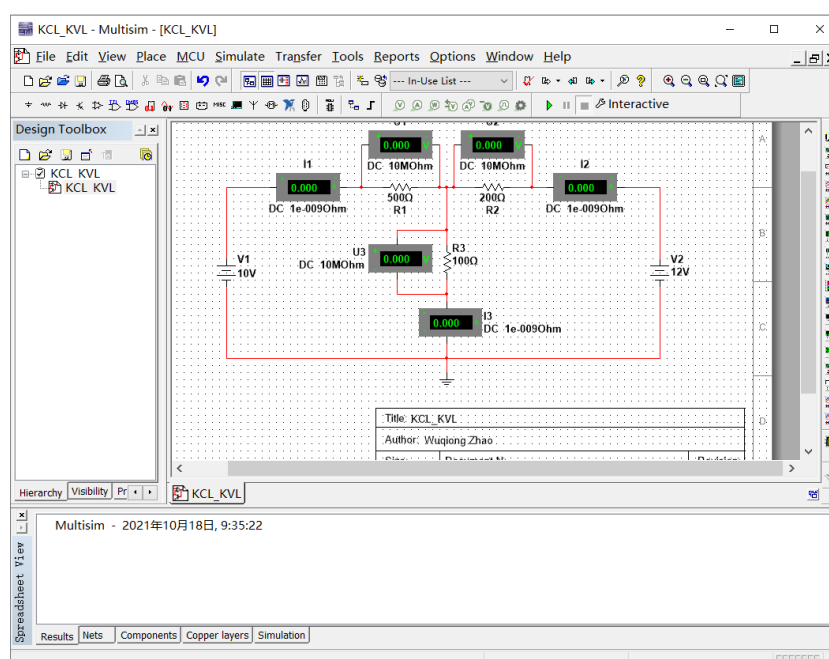


图 12: Multisim 14.0 设计界面

5 实验总结

实验结果均符合预期，没有明显的误差问题。实验中的问题与思考包括电流表的内外接法（第 3.1 节 (1)）、二极管叠加效果的分析（第 3.1 节 (2)）。

首次使用 Multisim，根据文献^[3] 指导进行非常顺利，不过我试图添加 Title Block 的时候遇到了问题，通过资料^[4] 找到了解决方案。

此外，我也编写了实验报告 L^AT_EX 模板，创建了 SEU-Circuit-Report.cls，提升了 L^AT_EX 编写的技能。

参考文献

- [1] 王志功, 沈永朝, 赵鑫泰. 电路与电子线路基础. 电路部分[M]. 2 版. 北京: 高等教育出版社, 2015.
- [2] Diode Data Book[A/OL]. Fairchild. 1978. http://bitsavers.trailing-edge.com/components/fairchild/_dataBooks/1978_Fairchild_Diode_Data_Book.pdf.
- [3] 电工电子实验中心. 2021~2022 学年秋季学期电路与电子线路实验 I 电路实验教学计划和要求[A]. 南京: 东南大学, 2021.
- [4] Multisim Help Documents[Z]. 2014.

附录：L^AT_EX 模板使用说明

报告模板下载：https://github.com/Teddy-van-Jerry/SEU_Circuit_Report。

L^AT_EX 文档编译使用 XeLaTeX + Biber。

文档信息只需要修改以下部分，就可以自动生成封面页即对应内容

```
1 %% 使用实验报告模板类（字体大小 12pt 最适合）
2 \documentclass[12pt]{SEU-Circuit-Report}
3
4 %%%%%%%%%%% 报告基本信息 %%%%%%%%%%%
5 \expno{3} % 实验序号
6 \expname{应用Multisim软件工具设计电路验证网络定理} % 实验名称
7 \exphouse{TVJ Group} % 学院
8 \expmajor{\LaTeX\ Design} % 专业
9 \expauthor{Teddy van Jerry} % 姓名
10 \expID{123456} % 学号
11 \explab{} % 实验室
12 \expgroup{} % 实验组别
13 \expmates{} % 同组人员
14 \expdate{2021年10月19日} % 实验日期
15 \expgrade{} % 成绩评定
16 \expptutor{Mentor Name} % 评阅老师
17 %%%%%%%%%%%
```

Word 版报告模板中的电路图以 Visio 格式内嵌，右击选择打开，再导出为 PDF，可以再使用 Acrobat Pro 裁去白边框（Remove White Margin）并导出成 eps 格式。

在报告中插入 Multisim 矢量图需要先将 Multisim 选中内容复制到 Word，再将 Word 当作压缩包打开，在 word/media 中找到对应的 emf 图片，在 <https://cloudconvert.com/emf-to-eps> 或 <https://www.aconvert.com/image/emf-to-eps> 中转换成 eps 即可插入。