

东南大学电工电子实验中心

实 验 报 告

课程名称: 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）： 电子科学与工程

专 业: 电子信息大类(无锡)

姓 名: 孙寒石 学 号: D2219117

实 验 室: 104 实验组别: 17

同组人员： 张扬 实验时间： 2020 年 9 月 7 日

评定成绩: 审阅教师:

一、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。

二、实验原理

(1) 下载安装 Multisim 软件及电子版使用说明；学习软件的使用方法，了解元件库、虚拟仪器、建立电路及文件的相关操作。

Multisim 的主窗口如同一个实际的电子实验台。屏幕中央区域最大的窗口就是电路工作区，在电路工作区上可将各种电子元器件和测试仪器仪表连接成实验电路。电路工作窗口上方是菜单栏、工具栏。从菜单栏可以选择电路连接、实验所需的各种命令。工具栏包含了常用的操作命令按钮。通过鼠标器操作即可方便地使用各种命令和实验设备。电路工作窗口两边是元器件栏和仪器仪表栏。元器件栏存放着各种电子元器件，仪器仪表栏存放着各种测试仪器仪表，用鼠标操作可以很方便地从元器件和仪器库中，提取实验所需的各种元器件及仪器、仪表到电路工作窗口并连接成实验电路。按下电路工作窗口的上方的“启动 / 停止”开关或暂停 / 恢复”按钮可以方便地控制实验的进程。

附上软件相关菜单的简介：

1. File（文件）菜单

File（文件）菜单提供 19 个文件操作命令，如打开、保存和打印等，File 菜单中的命令及功能如下：

New：建立一个新文件。

Open：打开一个已存在的*. msm10、*. msm9、*. msm8、*. msm7、*. ewb 或*. utsch 等格式的文件。

Close：关闭当前电路工作区内的文件。

Close All：关闭电路工作区内的所有文件。

Save：将电路工作区内的文件以 *. msm10 的格式存盘。

Save as：将电路工作区内的文件另存为一个文件，仍为 *. msm10 格式。

Save All：将电路工作区内所有的文件以 *. msm10 的格式存盘。

New Project：建立新的项目

Open Project：打开原有的项目

Save Project：保存当前的项目

Close Project：关闭当前的项目

Version Control：版本控制

Print：打印电路工作区内的电原理图。

Print Preview：打印预览。

Print Options：包括 Print Setup（打印设置）和

Print

Instruments（打印电路工作区内的仪表）命令。

Recent Files：选择打开最近打开过的文件。

Recent Projects：选择打开最近打开过的项目。

Exit：退出。

2. Edit（编辑）菜单

Edit（编辑）菜单在电路绘制过程中，提供对电路和

元件进行剪切、粘贴、旋转等操作命令，共 21 个命令，Edit 菜单中的命令及功能如下：

Undo：取消前一次操作。

Redo：恢复前一次操作。

Cut：剪切所选择的元器件，放在剪贴板中。

Copy：将所选择的元器件复制到剪贴板中。

Paste：将剪贴板中的元器件粘贴到指定的位置。

Delete：删除所选择的元器件。

Select All：选择电路中所有的元器件、导线和仪器仪表。

Delete Multi-Page：删除多页面。

Paste as Subcircuit：将剪贴板中的子电路粘贴到指定的位置。

Find：查找电原理图中的元件

Graphic Annotation：图形注释。

Order：顺序选择。

Assign to Layer：图层赋值。

Layer Settings：图层设置。

Orientation：旋转方向选择。包括：Flip Horizontal（将所选择的元器件左右旋转），Flip Vertical（将所选择的元器件上下旋转），90 Clockwise（将所选择的元器件顺时针旋转 90 度），90 CounterCW（将所选择的元器件逆时针旋转 90 度）。

Title Block Position：工程图明细表位置。

Edit Symbol/Title Block：编辑符号/工程明细表。

Font：字体设置。

Comment：注释。

Forms/Questions：格式/问题。

Properties：属性编辑。

3. View（窗口显示）菜单

View（窗口显示）菜单提供 19 个用于控制仿真界面上显示的内容的操作命令，View 菜单中的命令及功能如下：

Full Screen：全屏。

Parent Sheet：层次。

Zoom In：放大电原理图。

Zoom Out：缩小电原理图。

Zoom Area：放大面积。

Zoom Fit to Page：放大到适合的页面。

Zoom to magnification：按比例放大到适合的页面。

Zoom Selection：放大选择。

Show Grid：显示或者关闭栅格。

Show Border：显示或者关闭边界。

Show Page Border：显示或者关闭页边界。

Ruler Bars：显示或者关闭标尺栏。

Statusbar：显示或者关闭状态栏。

Design Toolbox：显示或者关闭设计工具箱。

Spreadsheet View：显示或者关闭电子数据表。扩展显示窗口。

Circuit Description Box：显示或者关闭电路描述工具箱。

Toolbar：显示或者关闭工具箱。

Show Comment/Probe：显示或者关闭注释/标注。

Grapher：显示或者关闭图形编辑器。

4. Place（放置）菜单

Place（放置）菜单提供在电路工作窗口内放置元件、连接点、总线和文字等 17 个命令，Place 菜单中的命令及功能如下：

Component：放置元件。

Junction：放置节点。

Wire：放置导线。

Bus：放置总线。

Connectors：放置输入 / 输出端口连接器。

New Hierarchical Block：放置层次模块。

Replace Hierarchical Block：替换层次模块。

Hierarchical Block form File：来自文件的层次模块。

New Subcircuit：创建子电路。

Replace by Subcircuit：子电路替换。

Multi-Page：设置多页。

Merge Bus：合并总线。

Bus Vector Connect：总线矢量连接。

Comment：注释。

Text：放置文字。

Grapher：放置图形。

Title Block：放置工程标题栏。

5. MCU（微控制器）菜单提供在电路工作窗口内 MCU 的调试操作命令，MCU 菜单中的命令及功能如下：

No MCU Component Found：没有创建 MCU 器件。

Debug View Format：调试格式。

Show Line Numbers：显示线路数目。

Pause：暂停。

Step into：进入。

Step over：跨过。

Step out：离开。

Run to cursor：运行到指针。

Toggle breakpoint：设置断点。

Remove all breakpoint：移出所有的断点。

6. Simulate（仿真）菜单

Simulate（仿真）菜单提供 18 个电路仿真设置与操作

命令， Simulate 菜单中的命令及功能如下：

Run：开始仿真。

Pause：暂停仿真。

Stop：停止仿真。

Instruments：选择仪器仪表。

Interactive Simulation Settings...：交互式仿真设置。

Digital Simulation Settings...：数字仿真设置。

Analyses：选择仿真分析法。

Postprocess：启动后处理器。

Simulation Error Log/Audit Trail：仿真误差记录/查询索引。

XSpice Command Line Interface：XSpice 命令界面。

Load Simulation Setting：导入仿真设置。

Save Simulation Setting：保存仿真设置。

Auto Fault Option：自动故障选择。

VHDL Simlation：VHDL 仿真。

Dynamic Probe Properties：动态探针属性。

Reverse Probe Direction：反向探针方向。

Clear Instrument Data：清除仪器数据。

Use Tolerances：使用公差。

7. Transfer（文件输出）菜单

Transfer 菜单提供 8 个传输命令，Transfer 菜单中的命令及功能如下：

Transfer to Ultiboard 10：将电路图传送给 Ultiboard10。

Transfer to Ultiboard 9 or earlier：将电路图传送给 Ultiboard 9 或者其它早期版本。

Export to PCB Layout：输出 PCB 设计图。

Forward Annotate to Ultiboard 10：创建 Ultiboard 10 注释文件。

Forward Annotate to Ultiboard 9 or earlier：创建 Ultiboard 9 或者其它早期版本注释文件。

Backannotate from Ultiboard：修改 Ultiboard 注释文件。

Highlight Selection in Ultiboard：加亮所选择的 Ultiboard

Export Netlist：输出网表。

8. Tools（工具）菜单

Tools（工具）菜单提供 17 个元件和电路编辑或管理命令，Tools 菜单中的命令及功能如下：

Component Wizard：元件编辑器。

Database：数据库。

Variant Manager：变量管理器。

Set Active Variant：设置动态变量。

Circuit Wizards：电路编辑器。

Rename/Renumber Components：元件重新命名/编号。

Replace Components...：元件替换。

Update Circuit Components...：更新电路元件。

Update HB/SC Symbols：更新 HB/SC 符号。

Electrical Rules Check：电气规则检验。

Clear ERC Markers：清除 ERC 标志。

Toggle NC Marker：设置 NC 标志。

Symbol Editor...：符号编辑器。

Title Block Editor...：工程图明细表比较器。

Description Box Editor...：描述箱比较器。

Edit Labels...：编辑标签。

Capture Screen Area：抓图范围。

9. Reports（报告）菜单

Reports（报告）菜单提供材料清单等 6 个报告命令，Reports 菜单中的命令及功能如下：

Bill of Report:材料清单。

Component Detail Report:元件详细报告。

Netlist Report:网络表报告。

Cross Reference Report:参照表报告。

Schematic Statistics:统计报告。

Spare Gates Report:剩余门电路报告。

10. Option（选项）菜单

Option（选项）菜单提供 5 个电路界面和电路某些功能的设定命令，Options 菜单中的命令及功能如下：

Global Preferences...：全部参数设置。

Sheet Properties:工作台界面设置。

Customize User Interface...:用户界面设置。

11. Windows（窗口）菜单

Windows（窗口）菜单提供 9 个窗口操作命令，Windows 菜单中的命令及功能如下：

New Window：建立新窗口。

Close：关闭窗口。

Close All：关闭所有窗口。

Cascade：窗口层叠。

Tile Horizontal：窗口水平平铺。

Tile Vertical：窗口垂直平铺。

Windows...:窗口选择。

12. Help（帮助）菜单

Help（帮助）菜单为用户提供在线技术帮助和使用指导，Help 菜单中的命令及功能如下：

Multisim Help：主题目录。

Components Reference：元件索引。

Release Notes: 版本注释。

Patents...: 专利权。

Check For Updates...: 更新校验。

About Multisim: 有关 Multisim 的说明。

File Information...: 文件信息。

(2) 复习基尔霍夫定理

基尔霍夫定理: 电路中电流和电压分别应遵循的基本规律。基尔霍夫定理包括基尔霍夫电流定理和基尔霍夫电压定理。

基尔霍夫电流定理 (KCL): 任意时刻, 流进和流出电路中节点的电流的代数和等于零, 即 $\sum I = 0$ 。

基尔霍夫电压定理 (KVL): 在任何一个闭合回路中, 所有的电压降之和等于零, 即 $\sum V = 0$ 。

(3) 复习叠加定理

在线性电路中, 任一支路的电流或电压等于电路中每一个独立源单独作用 (令其他独立源为零值) 时, 在该支路所产生的电流或电压的代数和。

(4) 复习戴维南定理, 掌握戴维南定理验证实验方法

对外电路来讲, 任何复杂的线性有源一端口网络都可以用一个电压源和一个等效电阻的串联来等效。此电压源的电压等于一端口的开路电压 U_{oc} , 而电阻等于一端口的全部独立电源置零后的输入电阻 R_0 。

实验中往往采用电压表测开路电压 U_{oc} , 用电流表测端口短路电流 I_{sc} , 等效电阻 R_0 等于开路电压 U_{oc} 除以短路电流 I_{sc} , 即 $R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ 。

(5) 计算各测量值的理论值。

验证电阻电路的基尔霍夫定理和叠加定理的理论值

状态	理论值					
	U1	U2	U3	I1	I2	I3
V1、V2 同时作用	6.101V	-4.101V	3.899V	0.0185A	0.0205A	0.0390A
V1 单独作用	8.319V	1.681V	1.681V	0.0252A	-8.405mA	0.0168A
V2 单独作用	-2.218V	-5.782V	2.218V	-6.721mA	0.0289A	0.0222A
叠加结果	6.101V	-4.101V	3.899V	0.0185A	0.0205A	0.0390A

验证有二极管的电路的基尔霍夫定理和叠加定理的理论值(理想二极管)

状态	理论值					
	U1	U2	U3	I1	I2	I3
V1、V2 同时作用	10V	-8V	0V	0.0303A	0.04A	0.0743A
V1 单独作用	10V	0V	0V	0.0303A	0A	0.0303A
V2 单独作用	0V	-8V	0V	0A	0.04A	0.04A
叠加结果	10V	-8V	0V	0.0303A	0.04A	0.0743A

验证戴维等效电路的理论值：

$$U_{oc} = 8.755V$$

$$I_{sc} = 0.0743A, R_{eq} = 117.833\Omega$$

(6) 根据测试要求建立测量表格。(见下文)

三、实验内容

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。

电路图：

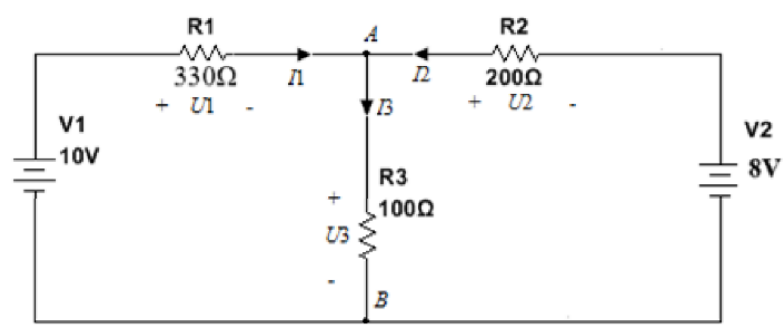
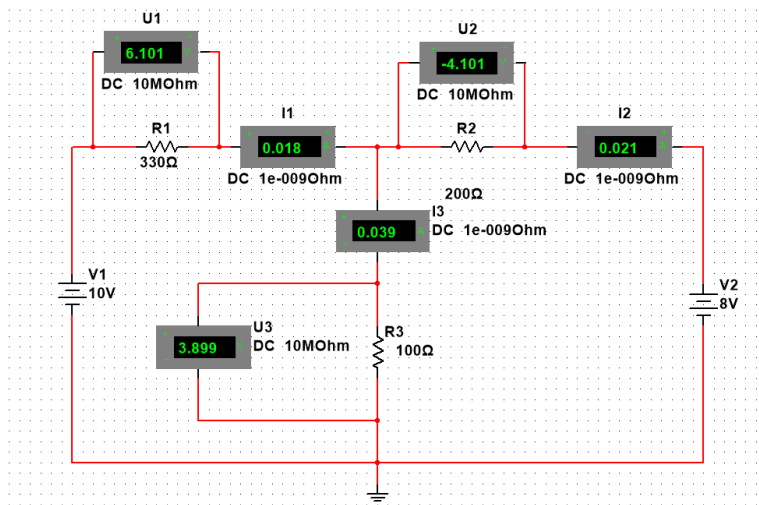


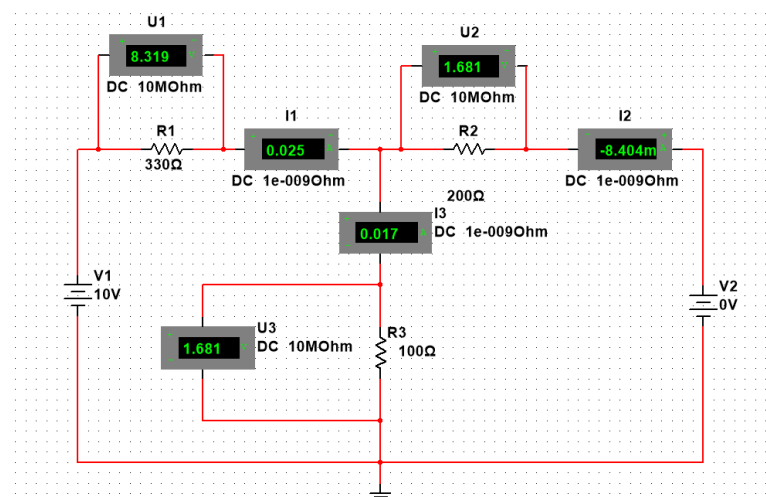
图 1 实验电路

实验图：

V1、V2 同时作用：



V1 单独作用：



V2 单独作用：

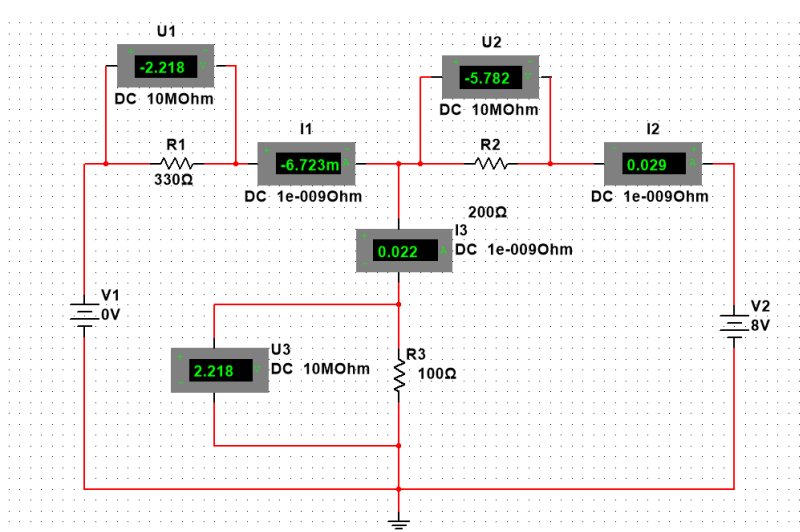


表 1 测量数据

状态	测量电路					
	U1	U2	U3	I1	I2	I3
V1、V2 同时作用	6.101V	-4.101V	3.899V	0.018A	0.021A	0.039A
V1 单独作用	8.319V	1.681V	1.681V	0.025A	-8.404mA	0.017A
V2 单独作用	-2.219V	-5.781V	2.219V	-6.723mA	0.029A	0.022A
叠加结果	6.100V	-4.100V	3.900V	0.018A	0.021A	0.039A

定理验证：

KVL：

$$\begin{cases} U1 + U3 - 10 = 6.101 + 3.899 - 10 = 0 \\ U2 + 8 - U3 = -4.101 + 8 - 3.899 = 0 \end{cases}$$

可以发现回路电压降代数和为零，KVL 成立

KCL：

$$I1 + I2 = 0.018 + 0.021 = 0.039 = I3$$

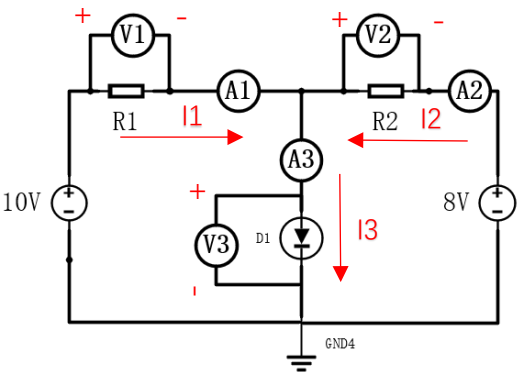
可以发现节点处流进电流与流出电流相等，KCL 成立

叠加定理：

根据表格可以发现 V1、V2 同时作用与叠加结果基本相等，所以可以得出结论，在线性电路中叠加定理成立。

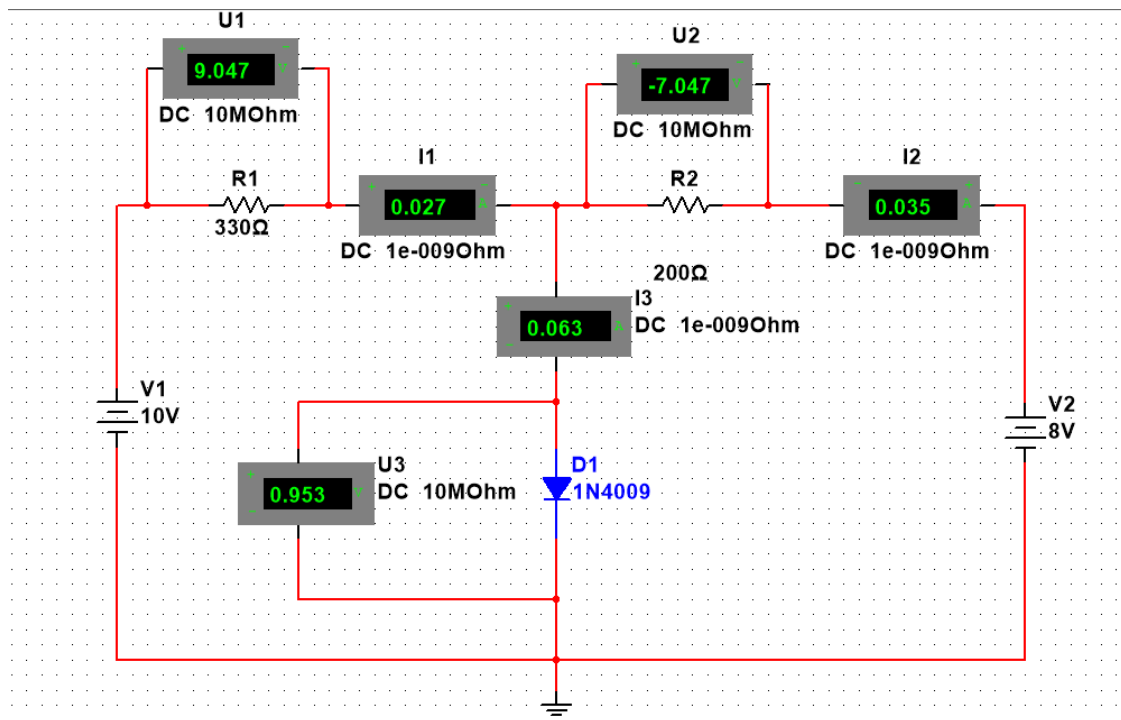
(2) 将 100Ω 电阻改成 1N4009 的二极管（正极连接到 A 点上），自行建立表格，测量数据，测量计算分析 KCL、KVL 和叠加定理是否成立。

电路图：

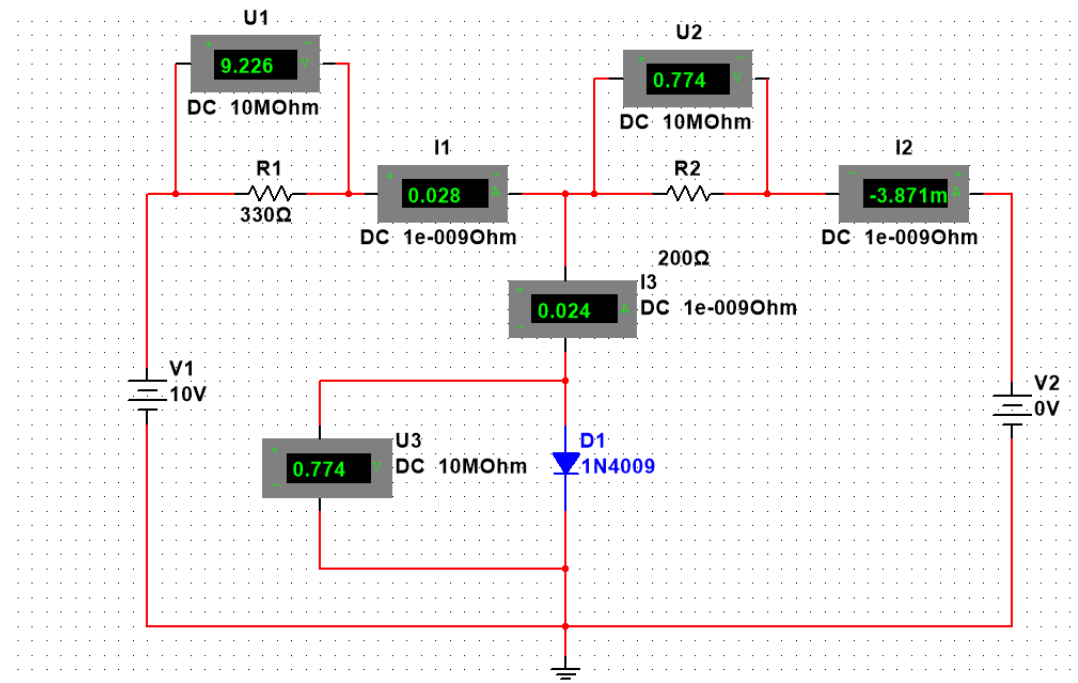


实验图：

V1、V2 同时作用：



V1 单独作用：



V2 单独作用：

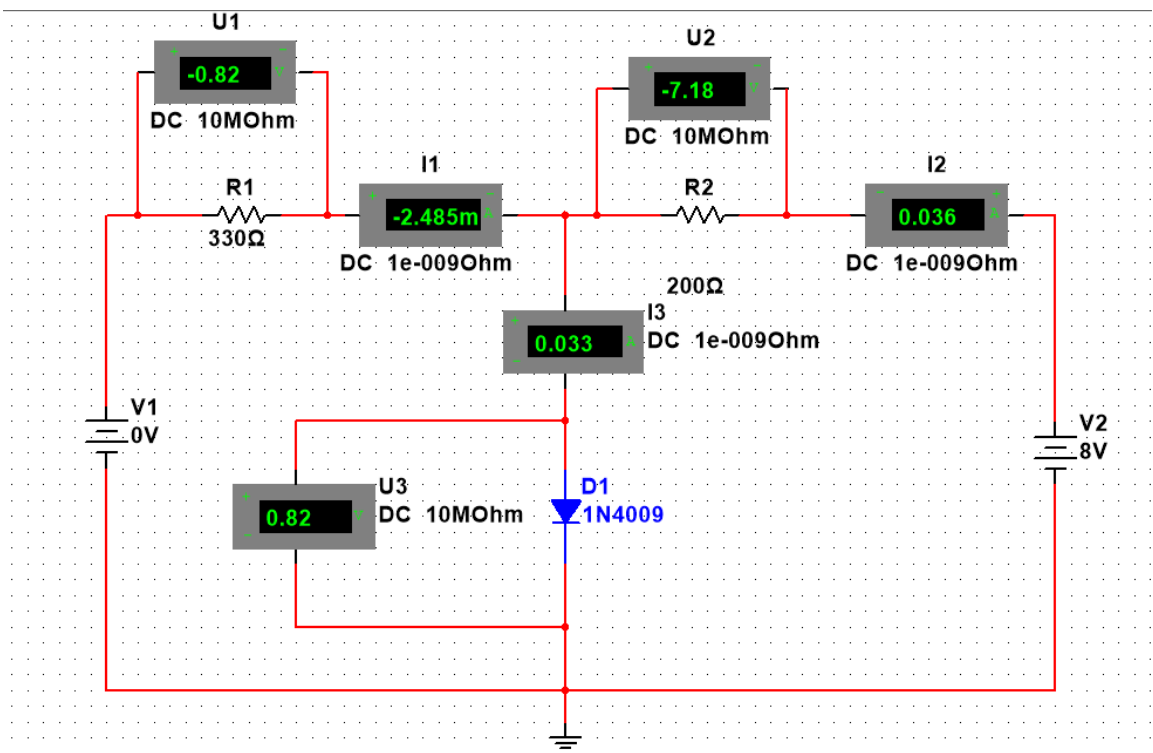


表 2 测量数据

状态	测量电路					
	U1	U2	U3	I1	I2	I3
V1、V2 同时作用	9.047V	-7.047V	0.953V	0.027A	0.035A	0.063A
V1 单独作用	9.226V	0.774V	0.774V	0.028A	-3.871mA	0.024A
V2 单独作用	-0.28V	-7.18V	0.82V	-2.485mA	0.036A	0.033A
叠加结果	8.946V	-6.406V	1.594V	0.026A	0.032A	0.057A

定理验证：

KVL:

$$\begin{cases} U1 + U3 - 10 = 9.047 + 0.953 - 10 = 0 \\ U2 + 8 - U3 = -7.047 + 8 - 0.953 = 0 \end{cases}$$

可以发现回路电压降代数和为零，KVL 成立

KCL:

$$I1 + I2 = 0.027 + 0.035 = 0.062 \approx I3$$

可以发现节点处流进电流与流出电流近似相等（仅仅偏差 0.001），可以看作 KCL 成立

叠加定理：

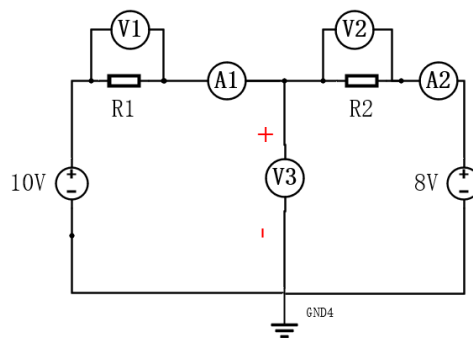
根据表格可以发现 V1、V2 同时作用与叠加结果不相等，所以可以得出结论，在非线性电路中叠加定理不成立。

2. 设计电路，验证戴维南定理

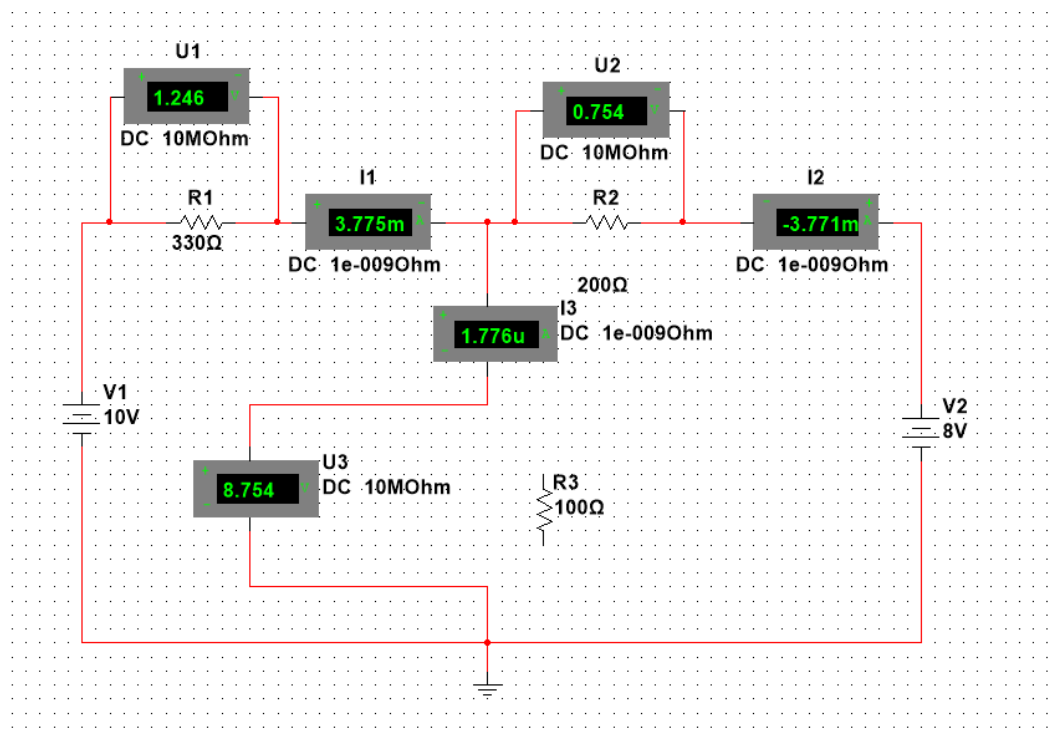
(1) 将图 2 中电阻 $R3(100\Omega)$ 断开，测量电路 A、B 端口开路电压 U_{oc} 。

理论值： $U_{oc} = 8.755V$

电路图：



实验图：

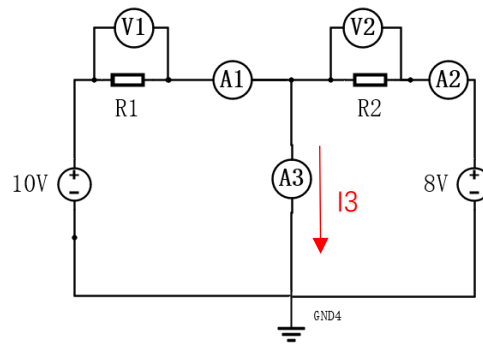


由可见开路电压测量值为 $U_{oc} = 8.755V$ 。

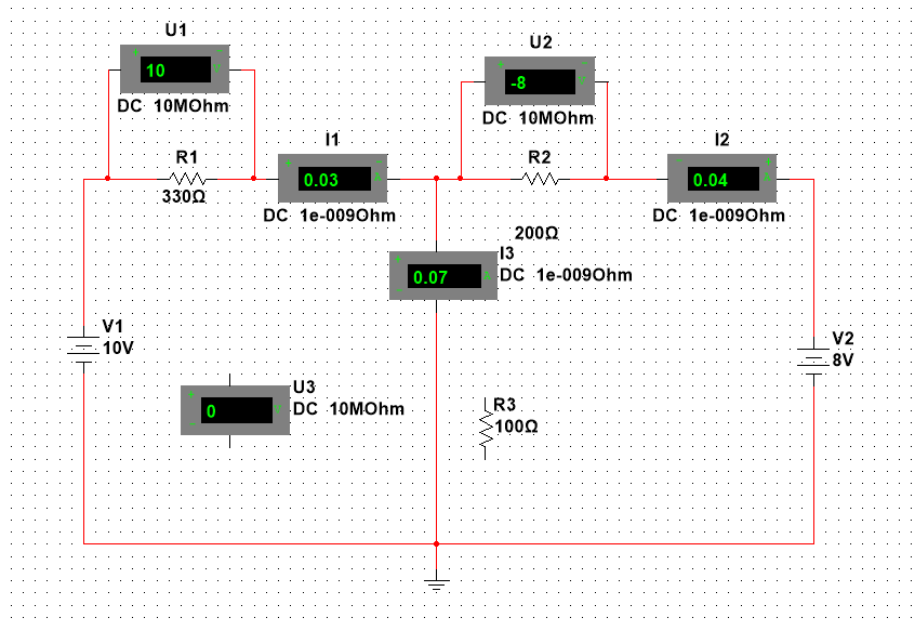
(2) 将电阻 $R3$ 短路，测得 AB 端口短路电流 I_{sc} ，计算等效电阻 R_0 。

理论值： $I_{sc} = 0.0743A$ ， $R_0 = 117.833\Omega$

电路图：



实验图：

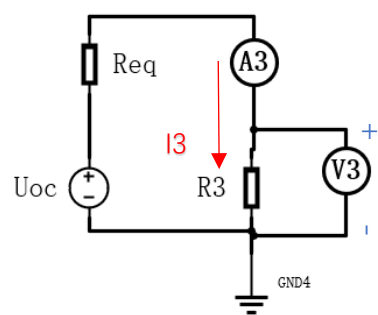


结果分析：

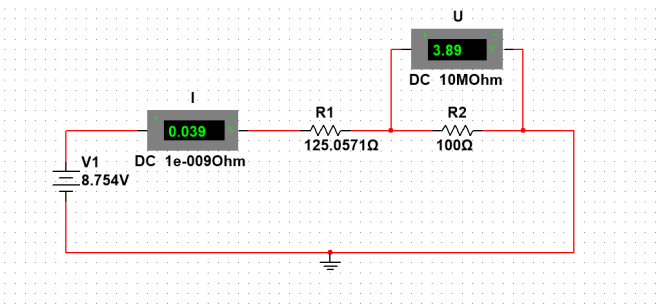
如图可见，短路电流测量值为 $I_{sc} = 0.07A$ ，由公式 $R_0 = \frac{U_{oc}}{I_{sc}}$ 计算得到： $R_0 = 125.071\Omega$

(3) 调用直流电压源 (DC_POWER)，设置相应参数，使其 Value (数值) 等于测得的 U_{oc} 的值；调用电阻，设置相应参数，使其 Value 等于计算的 R_0 的值。他们一起与 $R_3(100\Omega)$ 串联成一个等效电路，用电压表和电流表测出电阻 R_3 两端的电压和流过的电流，对比分析，验证戴维南定理。

电路图：



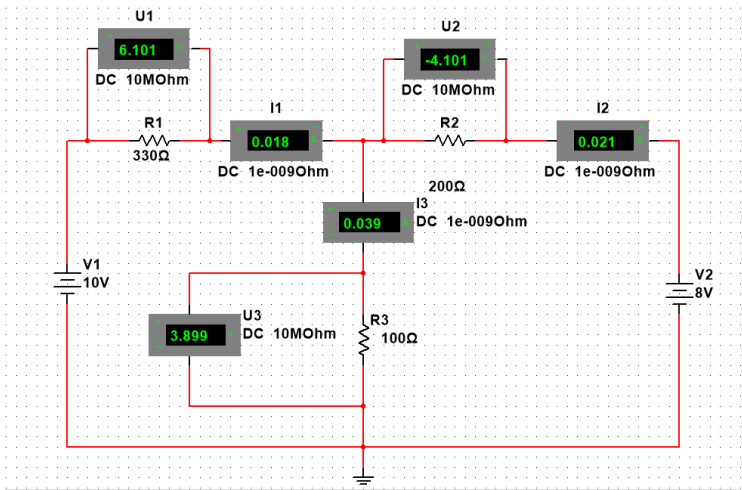
实验图：



结果分析：

经过测量发现电阻 R_3 两端的电压为 3.89V，通过其的电流为 0.039A。

状态	测量电路					
	U1	U2	U3	I1	I2	I3
V1、V2 同时作用	6.101V	-4.101V	3.899V	0.018A	0.021A	0.039A



我们可以看到这里测量到的 R_3 两端的电压和通过其的电流都与未进行戴维宁等效前的数值相同，而我们选取的电压和等效电阻的数值为除了 R_3 的外电路的开路电压和等效电阻。

所以我们可以认为戴维宁定理被验证对外电路来讲，即对于任何复杂的线性

有源一端口网络都可以用一个电压源和一个等效电阻的串联来等效。此电压源的电压等于一端口的开路电压 U_{oc} ，而电阻等于一端口的全部独立电源置零后的输入电阻 R_0 。

四、实验使用仪器设备（名称、型号、规格、编号、使用状况）

Multisim 软件：

名称：Multisim 13.0

使用状况：顺利。

五、实验总结

（实验误差分析、实验出现的问题及解决方法、思考题（如有）、收获体会等）

实验误差分析：

实验中由于为仿真实验，所以大多数器材都可以看作为理想元件，所以绝大多数实际操作中容易出现的误差，这里基本可以忽略不记。

但是由于通过电表度数，保留小数位数是使数据的精度降低，从而导致可能出现数据细小的误差。

这一点在验证二极管的 KCL 时发现偏差了 0.001 可以佐证，但该误差几乎可以忽略不记，所以我们还是认为 KCL 是成立的。

还有在验证戴维宁电路时，由于短路电流保留小数位后还进行了进一步的运算，运算结果等效电阻又做了进一步的保留小数，所以导致最终的结果偏差了 0.009V，但是基本也可认为在实验误差允许的范围内，可以认为戴维南定理得到了验证。

出现的问题以及解决方法：

在实验中，在实验元件的早起摆放中，由于分布过于紧密，导致后期接线的时候不能较好地找到节点。后将元件之间的距离拉开，接线的时候就比较容易了。

此外由于导线默认为绕过元件的最短路径，所以有时分布不是很均匀，导致观感体验不是很好。后发现可以单击导线拖动，改变路径及其长短，使得电路图变得更加符合常规习惯。

思考题：

1. 电流表的内阻参数默认值为 $1n\Omega$ ，电压表的内阻参数默认值为 $1M\Omega$ ，本实验中他们是否需要重新设置？应如何考虑他们对电路测试结果的影响。

n 和 M 的数量级分别为 10^{-9} 与 10^6 ，而我们选用的电器元件的参数大多数数量级在 10^0 到 10^3 之间，在实际工程中，一般我们认为相差超过 3 个数量级，其影响几乎可以忽略不计。所以不用再重新设置。

2. 分析实验过程中测量值出现负值的原因。

由于参考方向的选择不同，被测量值实际的方向与选择的参考方向（即电表的正向）相反，所以数值为负值。如果调换电表的正负方向，将会显示正值。但其正负并不影响我们对实际值的最终判断。

收获体会：

本次实验通过 Multisim 验证已经学习的网络定理，加深了对于网络定理的理解。由于在电路基础中分析的电路都是理想化的集总电路和只有线性元件的线性电路，所以大多数情况下只注重了对于线性电路的分析与理解，而本次实验中的含有二极管的电路的叠加定理的验证，加深了我们对于电路定理适用条件的强化理解。

此外本次实验初次涉及到 Multisim 软件仿真。使用 Multisim 软件可以极大的方便我们对于电路实验进行仿真，提供了非常强大的仿真、模拟平台，可以方便我们对于电路进行无实物分析。这为以后对电路进行仿真实验奠定了一定的基础。

六、参考资料（预习、实验中参考阅读的资料）

[1] Multisim 原理图输入 仿真与可编程逻辑 入门指导