

# Circuit Analysis - Laboratory Sessions – 2024/01

## 《电路分析》实验

### 实验 1 基本电工仪表的使用与测量误差的计算

课程名称	知识目标	1、熟悉实验台上各类电源、测量仪表的布局、使用方法、注意事项； 2、掌握电压表、电流表内阻的测量方法； 3、熟悉常用电工仪表及设备的使用方法，包括万用表、电源、信号发生器、示波器、电压与电流表等等； 4、熟悉常用元器件的特征。
	能力目标	熟悉电工实验平台的操作方法，掌握基本仪器仪表的使用方法
	思政目标	让学生了解行业发展的国内外环境，了解我国在电子领域的发展状况，树立学生专业发展中的责任感和使命感。
重点难点	<b>重点：</b> 电工实验平台的操作，万用表、电源、信号发生器、示波器、电压与电流表等基本仪器仪表的使用。 <b>难点：</b> 1、正确选择万用表的档位； 2、正确调节示波器的 X 轴与 Y 轴的刻度以及参考零位，实现波形的完整捕获； 3、正确使用示波器的自动测量功能，对标准信号进行测量； 4、正确选择合适电阻用以分压法测量电压表内阻。	
课程安排	2 学时	
教学模式	演示、实验	
教学内容	1、利用信号发生器产生方波、三角波、正弦波；	

- 2、利用示波器测量并记录信号波形；
- 3、利用“分压法”原理测量直流电压表的内阻。

**1 学时：**

1、通过演示示范，学习万用表、可调直流电源、信号发生器以及示波器的使用方法。

2、**思政实施：**从仪器及测量技术手段方面，了解我国与国外先进国家之间的差距，从而树立学生责任感和使命感。

**1 学时：**

动手完成以下实验任务：

1、熟悉实验台各个模块的使用，调出方波、三角波、正弦波，并记录波形图。

方波要求：1KHZ、幅值 3V

三角波要求：5KHZ、幅值 2.5V

正弦波要求：3KHZ、幅值 3V

使用示波器观察信号发生器的各种输出波形，并测量信号幅值、周期或频率。

2、根据“分压法”原理按图接线，测定万用表直流电压表的内阻。将结果记录表 1 中。

教学设计

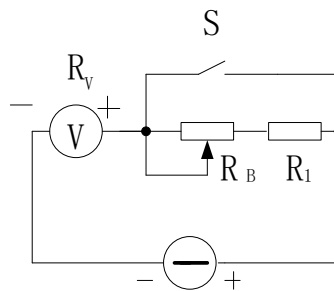
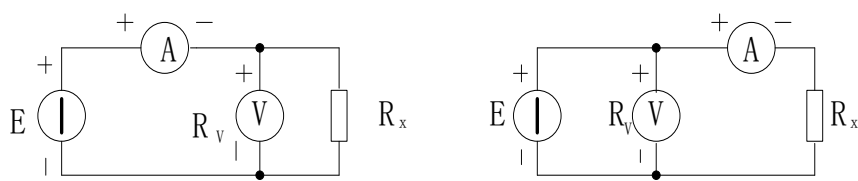


图 1. 分压法测量原理图

表 1. 分压法测量结果

被测电压表量程	S 闭合时表读数 (V)	S 断开时表读数 (V)	$R_b$ (K $\Omega$ )	$R_1$ (K $\Omega$ )	计算内阻 $R_v$ (K $\Omega$ )	S ( $\Omega/V$ )

<p>思考题和 课后作业</p>	<p>1、用量程为 10A 的电流表测实际值为 8A 的电流时，实际读数为 8.1A，求测量的绝对误差和相对误差。</p> <p>2、如图 2 (a)、(b) 为伏安法测量电阻的两种电路，被测电阻的实际值为 <math>R_x</math>，电压表的内阻为 <math>R_V</math>，电流表的内阻为 <math>R_A</math>，求两种电路测电阻 <math>R_x</math> 的相对误差。</p>  <p style="text-align: center;">(a) (b) 图 2</p>
<p>探究学习 (课后拓展)</p>	<p>1、探讨万用表档位对测量结果的影响；</p> <p>2、探讨示波器探头耦合方式的设置对信号测量的影响；</p> <p>3、探讨示波器的不同刻度配置对自动测量结果的影响。</p>
<p>备注或后 记</p>	<p>无</p>

## 实验 2 基尔霍夫定律的验证

课程名称	知识目标	1、验证基尔霍夫定律的正确性，加深对基尔霍夫定律的理解； 2、学会用电流插头、插座测量各支路电流的方法。
	能力目标	1、搭建测试电路； 2、使用电压表和电流表正确测量电压、电流
	思政目标	训练学生的科学实践思维，以科学的手段去观测“现象”，以数学的思维和方法去提炼“本质”，理论与实践相结合。
重点难点	<p><b>重点：</b> 理解基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是电路的基本定律。测量某电路的各支路电流及多个元件两端的电压，应能分别满足基尔霍夫电流定律和电压定律。</p> <p><b>难点：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、正确搭建测试电路；</li> <li>2、正确选择测量点；</li> <li>3、正确使用电压表和电流表测量电压、电流；</li> <li>4、参考方向与实测值的符号对应关系；</li> <li>5、环路中电源的处理办法。</li> </ol>	
课程安排	2 学时	
教学模式	演示、实验	
教学内容	<ol style="list-style-type: none"> <li>1、利用分立元件搭建测试电路；</li> <li>2、测量环路电压以及节点电流；</li> <li>3、根据实测数据验证基尔霍夫电流定律和电压定律。</li> </ol>	
教学设计	<p><b>0.5 学时：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1、通过演示及讲解，让学生明确实验的原理、目标及方法手段。</li> <li>2、<b>思政实施：</b>让学生清楚认识到实验测量误差并不影响定律正确性的验证，进而让学生更深刻的理解理论与实践结合的必要性及重要性。</li> </ol>	

**1.5 学时:**

动手完成以下实验任务:

1、实验前先任意设定三条支路的电流参考方向, 如图中的  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  所示, 并熟悉线路的结构, 掌握各开关的操作使用方法。

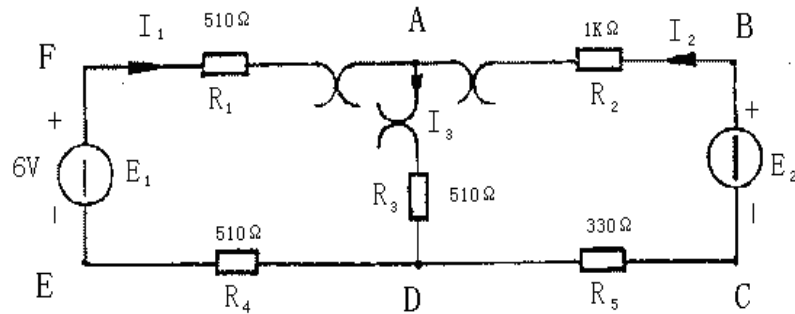


图 2-1

2、分别将两路直流稳压源（一路如  $E_1$  为+6, +12V 切换电源, 另一路, 如  $E_2$  接 0~30V 可调直流稳压源）接入电路, 令  $E_1=6V$ ,  $E_2=12V$ 。

3、熟悉电流插头的结构, 将电流插头的两端接至数字毫安表的“+、-”两端。

4、将电流插头分别插入三支路的三个电流插座中, 读出并记录电流值。

5、用直流数字电压表分别测量两路电源及电阻元件上的电压值, 记录之。

被测量	$I_1$ (mA)	$I_2$ (mA)	$I_3$ (mA)	$E_1$ (V)	$E_2$ (V)	$U_{FA}$ (V)	$U_{AB}$ (V)	$U_{AD}$ (V)	$U_{CD}$ (V)	$U_{DE}$ (V)
计算值										
测量值										
相对误差										

思考题和  
课后作业

1、根据图 2-1 的电路参数, 计算出待测的电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  和各电阻上的电压值, 记入表中, 以便实验测量时, 可正确地选定毫安表和电压表的量程。

2、实验中, 若用万用表直流毫安档测各支路电流, 什么情况下可能出现毫安表指针反偏, 应如何处理, 在记录数据时应注意什么? 若用直流数字毫安表进行测量时, 则会有什么显示呢?

探究学习 (课后拓展)	1、探讨参考方向对验证结果的影响； 2、探讨测量误差对验证结果的影响。
备注或后 记	无

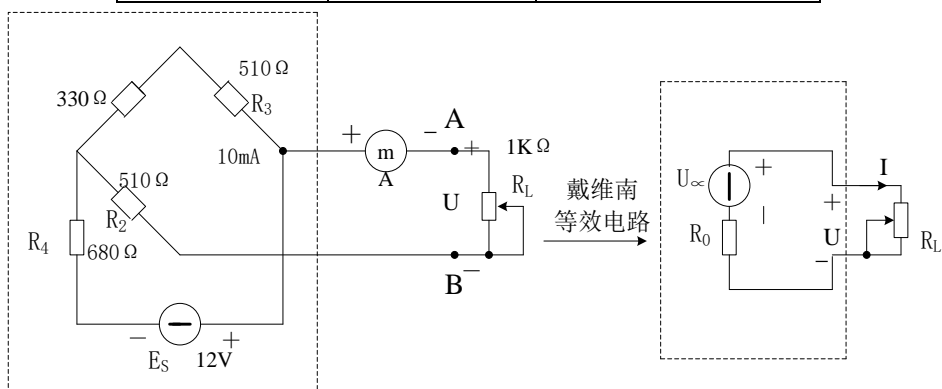
### 实验 3 戴维南定理的验证

课程名称	知识目标	1、验证戴维南定理的正确性，加深对该定理的理解； 2、掌握测量有源二端网络等效参数的一般方法。
	能力目标	1、掌握等效电路的验证方法； 2、伏安特性曲线的测量方法。
	思政目标	通过对等效原理的理解与实践，培养探究的热情、钻研的精神。
重点难点	<p><b>重点：</b> 理解基戴维南定理。任何一个线性含源网络，如果仅研究其中一条支路的电压和电流，则可将电路的其余部分看作是一个有源二端网络。</p> <p><b>难点：</b> 1、定理成立的前提条件：线性、含源； 2、开路电压、短路电流的测量，以及等效电阻的计算； 3、伏安特性曲线的测量。</p>	
课程安排	2 学时	
教学模式	演示、实验	
教学内容	1、利用分立元件搭建测试电路； 2、测量开路电压、短路电流，计算等效电阻； 3、测量原电路及等效电路的伏安特性曲线，验证二者等效。	
教学设计	<p><b>0.5 学时：</b> 1、通过演示及讲解，让学生明确实验的原理、目标及方法手段。 2、<b>思政实施：</b>让学生尝试以不同的角度去思考同一问题，形成等效的思维方式，使学生明白可以通过等效构建的方法，让复杂的问题变得简单。</p> <p><b>1.5 学时：</b> 动手完成以下实验任务：</p>	

被测有源二端网络如图 3-4 (a) 所示。

1、用开路电压、短路电流法测定戴维南等效电路的  $U_{\infty}$  和  $R_0$ 。按图 3-4 (a) 线路接入稳压电源  $E_S$  和恒流源  $I_S$  及可变电阻箱  $R_L$ ，测定  $U_{\infty}$  和  $R_0$ 。

$U_{\infty}$ (V)	$I_{\infty}$ (mA)	$R_0=U_{\infty}/I_{\infty}$ ( $\Omega$ )



(a)

(b)

图 3 - 4

## 2、负载实验

按图 3-4 (a) 改变  $R_L$  阻值，测量有源二端网络的外特征。

$R_L$ ( $\Omega$ )	0								$\infty$
U(V)									
I(mA)									

3、验证戴维南定理：用一只  $4.7K\Omega$  的电位器，(当可变电阻器用)，将其阻值调整到等于按步骤“1”所得的等效电阻  $R_0$  之值，然后令其与直流稳压电源(调到步骤“1”时所得的开路电压  $U_{\infty}$  之值)相串联，如图 3-4 (b) 所示，仿照步骤“2”测其外特性，对戴氏定理进行验证。

$R_L$ ( $\Omega$ )	0								$\infty$
U(V)									
I(mA)									



	<p>4、测定有源二端网络等效电阻（又称入端电阻）的其它方法：将被测有源网络内的所有独立源置零（将电流源 <math>I_s</math> 去掉，也去掉电压源，并在原电压端所接的两点用一根短路导线相连），然后用伏安法或者直接用万用表的欧姆档去测定负载 <math>R_L</math> 开路后 A、B 两点间的电阻，此即为被测网络的等效内阻 <math>R_0</math> 或称网络的入端电阻 <math>R_i</math>。</p> <p>5、用半压法和零示法测量被测网络的等效内阻 <math>R_0</math> 及其开路电压 <math>U_\infty</math>，线路及数据表格自拟。</p>
<p>思考题和 课后作业</p>	<p>1、在求戴维南等效电路时，作短路试验，测 <math>I_\infty</math> 的条件是什么？在本实验中可否直接作负载短路实验？</p> <p>2、说明测有源网络开路电压及等效内阻的几种方法，并比较其优缺点。</p>
<p>探究学习 (课后拓展)</p>	<p>1、探讨非线性元件对定律的影响；</p> <p>2、探讨含有受控源的无源网络的等效问题。</p>
<p>备注或后 记</p>	<p>无</p>

## 实验 4 RC 一阶电路的响应测试实验

课程名称	知识目标	1. 掌握储能元件的瞬态特性对电路的影响 2. 掌握电路时间常数的测量方法
	能力目标	掌握使用示波器测量动态网络
	思政目标	理解学习用数学的语言描述工程问题，引导学生建立精益求精的学习态度
重点难点	重点：掌握 RC 一阶电路参数变化对的零输入响应和零状态响应的影响 难点：时间常数的测量。	
课程安排	2 学时	
教学模式	实验	
教学内容	1. 零输入响应测量 2. 零状态响应测量 3. 时间常数测量	
教学设计	<p><b>1 学时：</b></p> <p>(1) 通过示范和实际动手实验，掌握用示波器测量动态电路的方法。</p> <p>(2) <b>思政实施：</b>通过掌握用数学的语言描述工程问题的实验手段，引导学生建立精益求精的学习态度。</p> <p><b>1 学时：</b></p> <p>(1) 通过示范和实际动手实验，掌握使用示波器光标法测量时间参数</p> <p>(2) <b>思政实施：</b>通过掌握用数学的语言描述工程问题的实验手段，引导学生建立精益求精的学习态度。</p>	
思考题和课后作业	<p>1、什么样的电信号可作为 RC 一阶电路零输入响应、零状态响应、和完全响应的激励信号？</p> <p>2、已知 RC 一阶电路 <math>R=10K\ \Omega</math>，<math>C=0.1\ \mu f</math>，试计算时间常熟 <math>\tau</math>，并根据 <math>\tau</math> 值的物理意义，拟定测量 <math>\tau</math> 的方案。</p>	

	3、何谓积分电路和微分电路，它们必须具备什么条件？它们在方波序列脉冲的激励下，其输出信号波形的变化规律如何？这两种电路有何功用？
探究学习 (课后拓展)	
备注或后 记	

## 实验 5 R、L、C 串联谐振电路的研究实验

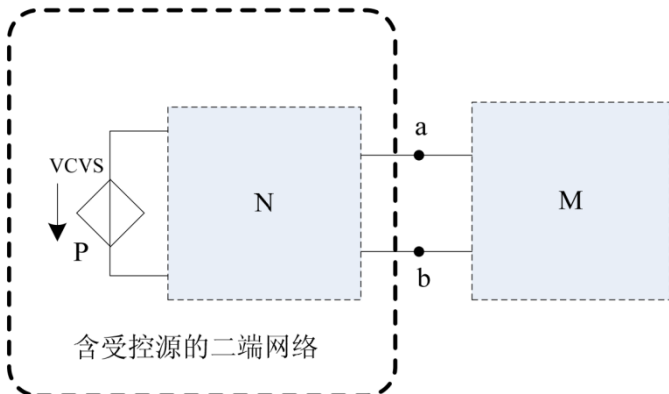
课程名称	知识目标	1. 掌握串联电路的频率响应特性 2. 掌握谐振电路的特点 3. 掌握电路品质因数的测量
	能力目标	掌握滤波器电路参数的设定
	思政目标	理解谐振时各元件电压处于最大值，增强学生安全意识。由电路品质因数，引申到人的品质，培养学生树立正确的三观。
重点难点	<p>重点：掌握 R、L、C 串联电路响应特性及谐振时电路中各元件的特性</p> <p>难点：参数不同对电路特性的影响。</p>	
课程安排	2 学时	
教学模式	实验	
教学内容	<p>1. 绘制幅频特性曲线图</p> <p>2. 确定电路谐振频率</p>	
教学设计	<p><b>1 学时：</b></p> <p>(1) 通过示范和实际动手实验，掌握用示波器绘制幅频特性曲线图的方法。</p> <p>(2) <b>思政实施：</b>通过谐振导致桥体等断裂事故，增强学生安全意识。</p> <p><b>1 学时：</b></p> <p>(1) 通过示范和实际动手实验，掌握使用示波器确定电路谐振频率的方法，根据测量值计算出电路的品质因数</p> <p>(2) <b>思政实施：</b>由电路品质因数，引申到人的品质，培养学生树立正确的三观。</p>	
思考题和课后作业	<p>1、根据实验线路板给出的元件参数值，估算电路谐振频率。</p> <p>2、改变电路的哪些参数可以使电路发生谐振，电路中 R 的数值是否影响谐振频率值？</p>	

	<p>3、如何判别电路是否发生谐振？测试谐振点的方案有哪些？</p> <p>4、电路发生串联时，为什么输入电压不能太大，如果信号源给出 3V 的电压，电路谐振时，用交流毫伏表测 <math>U_L</math> 和 <math>U_C</math>，应该选择用多大的量程？</p> <p>5、要提高 R、L、C 串连电路的品质因数，电路参数应如何改变？</p> <p>6、本实验在谐振时，对应的 <math>U_L</math> 与 <math>U_C</math> 是否相等？如有差异，原因何在？</p>
<p>探究学习 (课后拓展)</p>	
<p>备注或后 记</p>	

## 实验6 基于 Multisim 的三相交流电路电压、电流的测量仿真

课程名称	知识目标	1、掌握三相负载作星形联接、三角形连接的方法，验证这两种接法下线、相电压、线电流、相电流之间的关系。 2、充分理解三相四线供电系统中中线的作用。
	能力目标	熟练使用 Multisim 仿真软件搭建基本电路模型
	思政目标	理解可以用仿真和模拟解决硬件问题，解决复杂实际问题可事先进行多角度多层次的分解和推演模拟，提高办事效率
重点难点	重点：掌握 Multisim 的使用，学习仿真软件基本元器件的选型 难点：有中线和无中线的电路接线的区别	
课程安排	2 学时	
教学模式	仿真实验	
教学内容	1、三相负载星形联接（三相四线制供电） 2、负载三角形联接（三相三线制供电）	
教学设计	1 学时： 通过示范和实际动手实验，熟悉 Multisim 仿真软件基本基本操作。 1 学时： 1、搭建三相交流电的两种接法，三角形接法和星形接法，按实操实验记录电路的电压和电流数据，掌握中线的作用和规律，分析不同接法线电压、线电流、相电压、相电流之间的关系。 2、思政实施：通过体会了中线的作用，理解社会的有序运行需要一个中心和领导人来协调和平衡。	
思考题和课后作业	1、三相负载根据什么条件作星形或三角形连接？ 2、复习三相交流电路有关内容，试分析三相星形联接不对称负载在无中线情况下，当某相负载开路或短路时会出现什么情况？如果接上中线，情况又如何？ 3、本次实验中为什么要通过三相调压器将 380V 的市电线电压降为 220V 的线电压使用？	
探究学习（课后拓展）		
备注或后记		

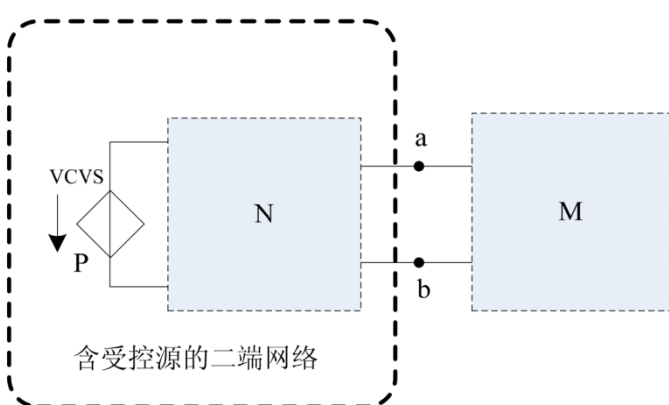
## 实验 7 受控源电路设计与仿真

课程名称	知识目标	加深对含受控源电路、加压求流法求等效电阻的理解
	能力目标	培养学生设计实验进行科学探索的能力 培养学生发现问题、独立思考并，建立通过仿真实验分析和解决问题的能力。
	思政目标	把受控源看成黑盒子，培养把问题分而治之的科学世界观和方 法论
重点难点	<p>重点：理解并设计一个含有受控源的二端口网络，此二端口网络可以等效为一个电阻。</p> <p>难点：最简化的去设计这样的二端口网络，并通过简单的等效电路来仿真验证。</p>	
课程安排	2 学时	
教学模式	仿真实验	
教学内容	<p>1、含受控源二端口网络的设计</p> <p>2、利用 Multisim 对含受控源二端口网络特性进行仿真验证</p>	
教学设计	<div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">含受控源的二端网络</p> </div> <p><b>1 学时</b></p> <p>1、设计含受控源的二端口网络，给定出具体的元件参数和电路图，给定 P 为 VCVS 电压控制电压源具体变比，以及受控方式连线图，推导出含有受控源的二端口网络可以等效成一个电阻(a, b 两点左边部分)，并算出具体阻值。</p> <p>2、思政实施：从“受控”看，万物间存在千丝万缕的联系，科学就是要找出其规律，服务人民。</p> <p><b>1 学时</b></p>	

	<p>1、在 MultiSim 中，先对设计的电路（虚线框内）进行搭建，同时设计 M 有源电路，设计测试方案进行测试，从仿真角度验证含受控源的二端口网络的的特性，对比测试数据表格，证明等效结论的正确性。</p> <p>2、思政实施：先设计再验证，体会实践是检验真理的唯一标准。</p>
思考题和课后作业	<p>1、设计一个含有受控源的电路，如果其等效电阻为负值是否合理，如果合理验证电路如何搭建，验证数据各有什么特点？</p> <p>2、MultiSim 仿真电路可以直接调用 VCVS 模块，如果 MultiSim 用分立元件将如何搭建 VCVS 电路，试着在 MultiSim 中用分立元件搭建，并验证是否依然成立。</p> <p>3、从实验室条件考虑，对上述所设计的电路进行实物验证的时候，需要有那些特别注意事项</p>
探究学习 (课后拓展)	
备注或后记	



## 实验 8 受控源电路设计和实验验证

课程名称	知识目标	加深对含受控源电路、加压求流法求等效电阻的理解
	能力目标	培养学生设计实验进行科学探索的能力 培养学生发现问题、独立思考并通过仿真和实物实验结合来分析和解决问题的能力。
	思政目标	把受控源看成黑盒子,培养把问题分而治之的科学世界观和方法论
重点难点	<p>重点: 理解并设计一个含有受控源的二端口网络可以等效为一个电阻</p> <p>难点: 最简化的去设计这样的二端口网络,能利用实验室现有的元器件和设备,通过搭建简单的等效电路来实际验证。</p>	
课程安排	2 学时	
教学模式	实物实验	
教学内容	<p>1、含受控源二端口网络的设计</p> <p>2、利用实验室的电源和电阻等对含受控源二端口网络特性进行实物验证</p>	
教学设计	<div style="text-align: center;">  <p style="text-align: center;">含受控源的二端网络</p> </div> <p>1 学时</p> <p>1、设计含受控源的二端口网络,给出具体的元件参数和电路图,给定 P 为 VCVS 电压控制电压源具体变比,以及受控方式连线图,推导出含有受控源的二端口网络可以等效成一个电阻 (a, b 两点左边部分),并算出具体阻值。</p> <p>2、思政实施:从“受控”看,万物间存在千丝万缕的联系,科学就是要找出其规律,服务人民。</p>	

	<p>1 学时</p> <p>1、根据上一仿真实验的 MultiSim 仿真结果中，先对设计的电路（虚线框内）利用实物元件进行搭建，按设计测试方案进行测试，设计 M 有源电路，从实物上验证含受控源的二端口网络特性的正确性，以及验证方法的可行性，对比测试数据表格，最终证明等效结论的正确性。</p> <p>2、思政实施：先设计再验证，体会实践是检验真理的唯一标准。</p>
<p>思考题和 课后作业</p>	<p>1、除了用运算放大器还有什么方案可以实现 VCVS?</p> <p>2、如果受控源用 CCVS 的二端口网络来替代，结论是否成立，试推导</p>
<p>探究学习 (课后拓展)</p>	
<p>备注或后 记</p>	