

《电工实训》课程教材共设计三组单颗LED简易照明电路的设计制作与调试、日光灯电路的制作调试及功率因数的提高、三相交流电路电路的分析、安装与调试三个项目，具体结构如下表所示。课程教材链接网址  
<https://hikeweb.zhihuishu.com/studyResource/viewDetail?courseId=10747730&fileId=16753858&editStatus=0>

这里展示项目一教材内容，具体见课程教材链接

课程名称	项目名称	实施任务	实施任务内容	页码
电工基础	三组单颗LED简易照明电路的设计制作与调试	实施任务 1	项目实施文件制定及工作准备	3
		实施任务 2	单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试	5
		实施任务 3	两组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试	8
		实施任务 4	三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试	24
		实施任务 5	成果验收及验收报告和验收报告的制定	41
	日光灯电路的制作调试及功率因数的提高	实施任务 1	项目实施文件制定及工作准备	57
		实施任务 2	交流元件电压与电流关系的测试	60
		实施任务 3	RL、RC 串联电路测试	79
		实施任务 4	日光灯电路及功率因数的提高	92
		实施任务 5	成果验收及验收报告和验收报告的制定	104
	三相交流电路的分析、安装与调试	实施任务 1	项目实施文件制定及工作准备	109
		实施任务 2	三相交流电路制作与调试	111
		实施任务 3	三相交流电路功率的测试	128
		实施任务 4	成果验收及验收报告和验收报告的制定	139

表 1 《电工实训》教材框架

# 《电工实训》课程

(活页式教材样本)

2023年5月

# 目录

项目一 三组单颗 LED 简易照明电路的设计制作与调试.....	3
实训任务 1.1 项目实施文件制定及工作准备.....	5
实训任务 1.2 单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试.....	8
实训任务 1.3 两组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试.....	24
实训任务 1.4 三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试.....	40
实训任务 1.5 成果验收及验收报告和验收报告的制定.....	51
项目二 日光灯电路的制作调试及功率因数的提高.....	55
实训任务 2.1 项目实施文件制定及工作准备.....	56
实训任务 2.2 交流元件电压与电流关系的测试.....	59
实训任务 2.3 RL、RC 串联电路测试.....	78
实训任务 2.4 日光灯电路及功率因数的提高.....	91
实训任务 2.5 成果验收及验收报告和验收报告的制定.....	103
项目三 三相交流电路电路的分析、安装与调试.....	106
实训任务 3.1 项目实施文件制定及工作准备.....	108
实训任务 3.2 三相交流电路制作与调试.....	110
实训任务 3.3 三相交流电路功率的测试.....	127
实训任务 3.4 成果验收及验收报告和验收报告的制定.....	138

# 项目一 三组单颗 LED 简易照明电路的设计制作与调试

## 项目介绍

手电筒是一种手持式电子照明工具。一个典型的手电筒由一个经由电池供电的灯泡、聚焦反射镜、电源开关，以及供手持用的手把式外壳等组成。虽然它是相当简单的设计，但却一直至 19 世纪末期才被发明，原因是它必须结合电池与电灯泡的发明。

现在发光二极管(LED)作为一种高效照明已经不断的走进我们的生活。随着前几年小功率的 LED 手电筒的出现到现在的单灯 1W、3W 大功率的出现，不断丰富人们的手电选择。尤其是航空铝合金的金属手电的出现更让我们心动。现在的 LED 手电已经降到了十几元一支了，除大功率的单灯，价格相对高些外，这样的价格已经很能适合很多的用户了。

LED 手电筒是以发光二极管作为光源的一种新型照明工具，它具有省电、耐用、亮度强等优点。LED 手电用多组发光二极管组成，色温很高，给人的视觉感受是非常的亮，这是其特点。还有就是它很节能，耗电量少，LED 单颗功率只有  $0.03\sim 0.06\text{W}$ ，蓄电池一次充电能持续亮十多个小时。LED 单颗平均寿命长，平均寿命可达  $6\sim 10$  万小时，比传统光源寿命长 10 倍以上。这个产品最大的不足就是照射距离很小，通常约二十几米，远了就看不清了，但这样的距离对一般日常生活使用已经足够了。

## 项目要求

设计和制作一个三组 LED 发光的可充电的小功率手电筒电路。要求：

- (1) 拨动开关，三组 LED 灯均要正常发光；
- (2) LED 单颗发光时工作电压要能在  $1.5\sim 3.6\text{V}$  范围内可调；
- (3) 根据所设计电路要求，完成电路的制作调试；
- (4) 可以购买或自制塑料成品外壳和配件，完成手电筒的装配制作（选做）。

## 项目实施步骤

- (1) 项目实施文件制定及实施准备；
- (2) 单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试；
- (3) 二组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试；
- (4) 三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试；
- (5) 三组 LED 手电筒的装配和调试（选做）；
- (6) 成果验收并制定验收报告和项目完成报告。

## 项目实施必备的知识、技能

- (1) 具有电阻器识别和选用的基本知识和基本应用能力；
- (2) 具有发光二极管(LED)识别和选用的基本知识和基本应用能力；
- (3) 具有元器件安装和导线连接的基本技能；
- (4) 具有直流电压、直流电流测量以及数据处理、分析的基本能力；
- (5) 具有欧姆定律、伏安特性、电源外特性、功率计算等简单直流电路的分析应用知识；
- (6) 具有直流串联、并联、混联等基本电路分析的知识和应用能力。

## 通过本项目的实施训练，能达到的知识、能力、素养目标

- (1) 掌握电阻器识别和选用，会用色环法识读电阻值，会用万用表测量电阻的阻值；
- (2) 掌握电路组成、工作状态以及电位、电压、电流、电功率等概念的物理意义；
- (3) 掌握电路模型与电路图、理想元件与实际元件、参考方向与实际方向等概念之间的区别和联系；
- (4) 会正确使用直流电压表、直流电流表或万用表等常用电工仪表来测量简单的直流电路；
- (5) 掌握发光二极管(LED)应用的基本知识，并会正确识别和选用；
- (6) 掌握欧姆定律、负载伏安特性、电源外特性等基本知识，会测量负载的伏安特性、电源的外特性，会验证欧姆定律；
- (7) 掌握串联、并联、混联等直流电路的基本知识，会分析、归纳、总结电路的特点，会测算分析不同连接形式的电路电功率；
- (8) 会设计、制作、分析研究LED发光电路，掌握直流电路设计的基本方法；
- (9) 培养学生实验数据的测量、处理和分析进行科学实践研究的基础能力；
- (10) 使学生能够熟悉企业生产的基本工艺流程和管理方法，培养学生基本的职业素养；
- (11) 培养学生严肃认真的科学态度；
- (12) 开发学生的创新设计能力，培养学生观察、思考和分析解决问题的思维能力；
- (13) 培养学生相互协作、与人沟通的能力以及集体荣誉感和团队精神；
- (14) 树立学生安全、质量意识；
- (15) 培养学生专业技术学习和应用的自信心，激发学生自我价值实现的成就感。

## 实训任务 1.1 项目实施文件制定及工作准备

### 一、项目实施文件制定

#### 1. 项目工作单

表 1.1.1 项目一工作单

项目编号		项目名称	三组单颗 LED 简易照明电路的设计制作与调试
项目登记	宽松 ( ) 一般 ( ) 较急 ( ) 紧急 ( )		
	不重要 ( ) 普通 ( ) 重要 ( ) 关键 ( )		
	暂缓 ( ) 普通 ( ) 尽快 ( ) 立即 ( )		
项目执行组		项目执行人	
项目工作内容描述	<p>(1) 项目实施文件制定及工作准备</p> <p>①填写项目工作单；②分析项目工作内容并制定工作计划；③你定组织保障，安全技术措施；④拟定人员安排方案；⑤安排好工作场地；⑥准备好生产材料、设备、元件，工具等；⑦准备好仪器仪表；⑧搜集整理好技术资料（图纸、使用说明书、技术规范、技术标准、技术书籍等）。</p> <p>(2) 单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试。</p> <p>(3) 两组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试。</p> <p>(4) 三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试。</p> <p>(5) 三组 LED 手电筒的装配与调试（选做）。</p> <p>(6) 项目小组之间完成成果验收，并对所验收的小组认真填写好验收报告，填写好本组项目完成报告，撰写好项目报告。</p>		
项目实施步骤	<p>①制定好项目实施文件；②完成任务工作准备；③单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试；④两组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试；⑤三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试；⑥成果验收；⑦编写报告；⑧工作评价</p>		
计划开始日期		计划完成日期	
学时安排	项目文件制定	1.5 学时	
	项目实施准备	0.5 学时	
	项目实施	12 学时	
	成果验收及验收报告制定	1 学时	
	项目完成报告的制定	2 学时（课后）	
	工作场地整理、技术资料等归档	1 学时（课后）	
理解与承诺	执行人（签字）：		
备注			

## 2. 工作计划

- (1) 填写项目工作单，并熟悉工作内容及工作步骤，1 学时；
- (2) 分析项目工作内容，制定生产工作计划，拟定组织保障、安全技术措施和人员安排方案，0.5 学时；
- (3) 项目实施工作准备，0.5 学时；
- (4) 单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试，5 学时；
- (5) 两组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试，3 学时；
- (6) 三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试，3 学时；
- (7) 三组 LED 手电筒装配与调试，1 学时；
- (8) 完成项目工作小组成果验收，并完成验收报告制定，1 学时；
- (9) 本组项目完成报告的制定，2 学时（课后）；
- (10) 工作场地整理、技术资料和项目文件归档，1 学时（课后）。

组织保障措施、安全技术措施和人员具体安排方案等由教师按照企业生产要求指导学生完成。

## 二、工作准备

### 1. 工作场地检查

教师首先去任务实施的实验实训室巡视检查，并与实验实训室管理员联系，在任务实施期间是否与其他教学活动冲突，请管理员安排好场地，保证实验实训室整洁、明亮，有专业职业特色。检查教具等设施保证能正常工作。

### 2. 项目实施材料、工具、生产设备、仪器仪表等准备

每个项目小组按表 1.1.2 元器件清单准备好材料、工具、生产设备、仪器仪表等。

表 1.1.2 项目一元器件清单

序号	材料、工具、生产设备、 仪器仪表	规格、型号	数量	备注
1	电工实验台		1 张	含 220V 交流电源插座，有漏电空气开关、熔断器等保护电器。
2	尖嘴钳	130mm	1 把	
3	斜口钳	130mm	1 把	
4	剥线钳	140mm	1 把	

5	一字螺钉旋具	100mm	1 把	
6	十字螺钉旋具	100mm	1 把	
7	验电笔		1 支	
8	万用表	MF-47（指针）或 M400（数显）	1 个	含直流 mA 档
9	直流毫安表		1 个	规格视实际情况自定
10	直流电压表		1 个	规格视实际情况自定
11	拨动开关		1 个	规格视实际情况自定
12	发光二极管	白光，低电流通用，18mA 左右	3 个	
13	电阻器	10~200 Ω， 1/8W 普通电阻	若干	
14	电阻器	500 Ω~5.5MΩ， 1/8W 普通电阻	若干	

注：规格、型号未注明的，根据实际情况自定。

### 3. 技术资料准备

《电子元器件选用手册》或《电工手册》一本。

## 三、工作评价

任务一 完成过程考评表

序号	评价内容	评价要求	评价标准	配分	得分
1	学习表现	认真完成任务，遵章守纪，积极参与到每个环节	按照拟定的平时表现考核表相关标准执行	10	
2	项目实施文件	项目实施文件数量齐全，质量符合要求	1. 项目工作单，生产工作计划，组织保障，安全技术措施，人员安排方案等项目实施文件每缺一样扣 20 分； 2. 项目实施文件制定质量不和要求，有一项扣 10 分	20	
3	项目实施工作准备	积极认真按照要求完成项目实施的准备工作	1. 有一项未准备扣 20 分； 2. 有一项准备不充分扣 10 分；	20	
4	合计				
5	备注				



## 实训任务 1.2 单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试

### 学习情境描述

1) 教学情境描述：观看单组 LED 灯工作电路的制作调试视频。电路接通之前，调整电位器的值为零；开关闭合后，发光二极管亮，调整电位器的参数，发光二极管的亮度发生变化。

2) 关键知识点：电路结构、电路组成、电路中的基本物理量、LED 特性、电阻元件上电压电流关系。

3) 关键技能点：万用表使用，电位器的调整、电路原理图的绘制，电路的焊接制作，电路的调试

### 学习目标

- 1) 掌握欧姆定律的概念及应用；
- 2) 掌握电阻器、LED 等元件特性；
- 3) 能对电阻器、LED 等元件识别检测和选用；
- 4) 能对万用表进行熟练使用。

### 任务书

完成单组 LED 灯照明电路的设计、制作与调试。

### 任务分组

表 1.2.1 学生任务分配表

班 级	组 号	指导老师		
组 长	学 号			
组 员	姓名	学号	姓名	学号
任务分工				

## 获取资讯

引导问题 1: 了解发光二极管



图 1.2.1 LED 发光二极管

1) 画出发光二极管的符号; 发光二极管在应用中, 引脚怎么判断?

---

---

2) 发光二极管在应用中为什么要串联限流电阻, 限流电阻怎么选?

---

---

各小组完成任务 1.2 资讯单的填写。

表 1.2.2 资讯单

学习场地			
学习情境			
学习任务		学时	
典型工作过程描述			
搜集资讯的方式			
资讯描述			
对学生的要求			
参考资料			

## 工作计划

各小组完成任务 1.2.3 计划单的填写。

表 1.2.3 计划单

学习场地					
学习情境					
学习任务				学时	
典型工作过程描述					
计划制定的方式					
序号	工作步骤		注意事项		
对学生的要求	班 级		第 组	组长签字	
参考资料	教师签字		日期		
计划评价					

## 工作决策

---



---



---



---



---

## 任务实施

### 1. 识用万用表

(1) 在老师示范指导下，各项目小组手持万用表，分组讨论万用表的使用知识，并相互指导训练。

(2) 老师提出不同测量值以及万用表应用知识问题，各个项目小组选派代表抢答并演示测量操作过程。对抢答成功的小组，由老师在工作评价时，在评价过程“积极项”、“创新项”中记录成绩。

(3) 各小组自备几个不同测量值和万用表使用的两个问题，对其他小组进行考评，考评方法见工作评价的相应项，并计入考评成绩。

### 2. 识读、测量电阻值

表 1.2.4 阻值识读、测量分析记录表

种类序号 阻值及分析	1	2	3	4	5	6	7	8
识读值								
测量值								
准确率								
误差认识：								

### 3. 电路设计

设计单颗 LED 发光电路及调试电路，绘制电路模型图和调试电路电气原理图，并正确选用元器件。

#### (1) 绘制电路原理图

(2) 为了调试时测试元器件工作特性方便，在设计的电路中串接一个可变电阻  $R_p$  和一只直流毫安表，直流电压的测量采用万用表，测量电压时接入电路，参照学习情境知识点中实物图，正确绘制调试电路电气原理图。

(3) 各个项目小组在预先准备的元器件中选用电路的组成器件，讨论分析元器件选用的理由，写出书面设计选用过程。

---



---



---

#### 4. LED 单颗发光电路的制作与调试

(1) 电路制作

(2) 电路调试

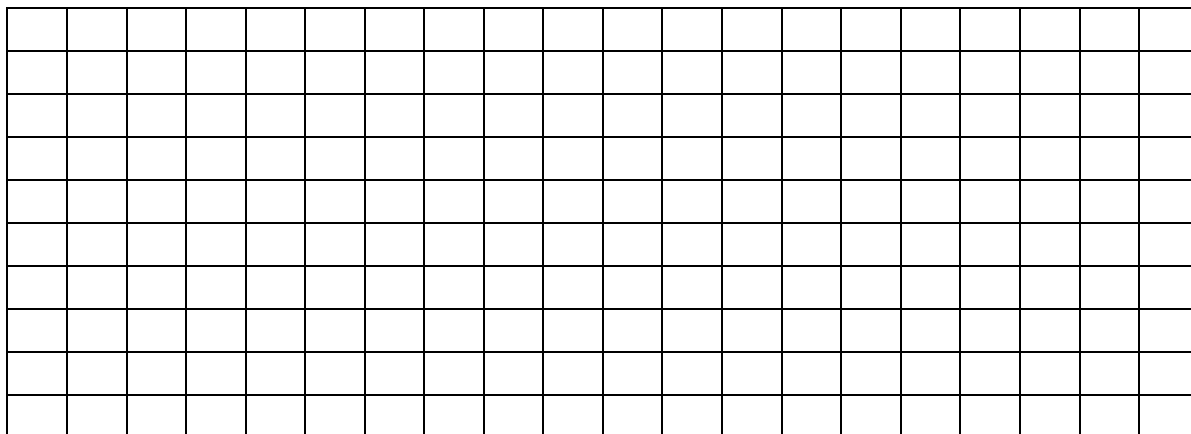
1) 观察和测量

表 1.2.5 观察和测量记录表

测量参数		$U_D$	$U_{R1}$	$U_{RP}$	$U_S$	I	LED 亮暗程度
S 打开							
S 闭合 ( $R_P$ 取不同值)							

## 2) 数据处理

根据测试的电压和电流数值，在方格纸上坐标系上找到各点，用平滑曲线连接各点，分别绘制出电源外特性曲线，R1（时不变电阻）的伏安特性曲线、LED 发光二极管（时变电阻）的正向伏安特性曲线。



根据各特性曲线，分析判断设计电路各器件工作是否正常合理，并与理论情况作比较，根据 R1（时不变电阻）的特性曲线验证欧姆定律，讨论分析误差的原因，积极思考改进措施，完善完成书面分析报告

分析报告

## 工作评价

各组代表展示作品，介绍任务的完成过程，作品展示前应准备阐述材料，并完成评价表 1.2.6、表 1.2.7、表 1.2.8。

**表 1.2.6 学生自评表**

任务	完成情况记录
任务是否按计划时间完成	
相关理论完成情况	
技能训练情况	
任务完成情况	
任务创新情况	
材料上交情况	
收获	

**表 1.2.7 学生互评表**

序号	评价项目	小组互评	教师评价	总评
1	任务是否按时完成			
2	材料完成上交情况			
3	作品质量			
4	语言表达能力			
5	小组成员合作面貌			
6	创新			

**表 1.2.8 教师评价表**

序号	评价项目	自我评价	互相评价	教师评价	综合评价
1	学习准备				
2	引导问题填写				
3	规范操作				
4	完成质量				
5	关键操作要领掌握				

6	完成速度				
7	5S 管理、环保节能				
8	参与讨论的主动性				
9	沟通协调				
10	展示汇报				

注：评价档次统一采用 A（优秀）、B（良好）、C（合格）、D（努力）4 个。

## 教学反馈

表 1.2.9 教学反馈单

学习场地					
学习情境					
学习任务				学时	
典型工作过程描述					
调查项目		序号	调查内容	理由描述	
		您对本次教学改进的意见和建议：			
调查信息			被调查人姓名		调查日期



## 学习情境相关知识点：

### 知识点 1：发光二极管

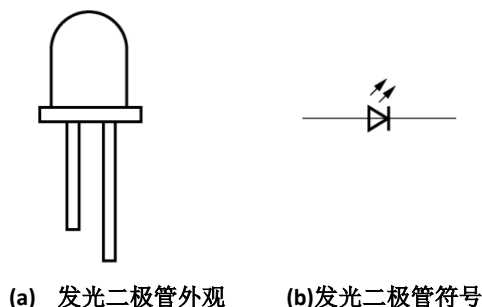


图 1.2.2 发光二极管

发光二极管的英文缩写为 LED，是一种能将电能转化为光能的特殊二极管。注意发光二极管符号与普通二极管符号有所区别，如图 1.2.2 所示。当发光二极管处于正向导通状态形成电流时会发光，光线的颜色由制作发光二极管的材料决定，可以是各种颜色的可见光，也可以是红外线。发光的亮度由流过发光二极管的电流决定，电流越大则亮度越高。当发光，当二极管截止时处于熄灭状态。

在日常应用中，小功率发光二极管可用作电子设备或家电产品的信号指示灯，大功率发光二极管可用于照明。而红外线发光二极管可用于无线电遥控、安防、光纤通信等领域。

发光二极管的导通电压一般为 1.5~2V，比普通的硅二极管和锗二极管都高，正常工作电流一般为几毫安至几十毫安，典型工作电流为 10mA 左右。

发光二极管的发光亮度随正向电流增大而增强，但如果电流过大超过该二极管的正向整流电流时发光二极管会被烧毁。因此在电路中，一般会给发光二极管串联一个限流电阻，用于防止发光二极管因电流过大而被烧毁，如图 1-14 所示。需要说明的是，限流电阻阻值必须要恰当，阻值太小时发光二极管上电流仍然会很大从而产生危险，阻值太大会导致电流太小而影响发光亮度。

### 知识点 2：电阻的组成

#### 1. 电路与电路模型

由电工、电子器件或一些电气设备按一定方式连接起来，能完成某种特定任务所构成的电流通路，如图所示。

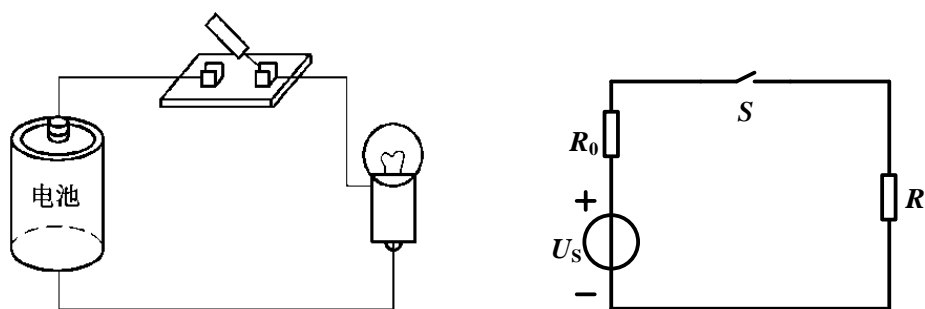


图 1.2.2 手电筒照明电路及电路模型

电路组成：电源：向电路提供电能或电信号的发生器，如：发电机、蓄电池等。负载：用电设备称为，如照明灯、电视机等。中间环节：将电源和负载连接起来构成电路或控制电路的部分，如导线、开关、保护装置等。

实际的电路元器件电磁性能非常复杂，为了掌握元器件最本质的物理特性，研究电路的基本规律，通常把实际的电路元件抽象成理想的电路元件。由理想电路元件代替实际电路元件组成的电路，称为电路模型。

理想电路元件，是指其电磁特性是单一的，可以用来表征实际元件主要电磁性质的理想化的模型元件。

理想电路元件的图形符号是国家标准统一规定的。将实际电气元件抽象为理想电路元件，用国家统一规定的图形、文字、符号来表示的电路，称为电路图。

## 2. 电路的工作状态

根据电源与负载之间连接方式的不同，电路有通路(有载)、短路和开路(空载)三种不同的工作状态。以下内容分别介绍这三种状态的具体情况。

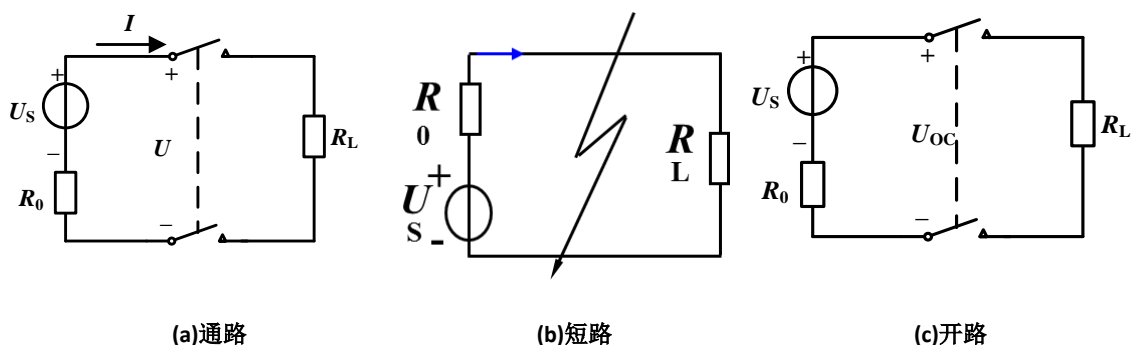


图 1.2.3 手电筒照明电路及电路模型

(1) 通路 通路就是电路中的开关闭合，负载中有电流流过。在这种状态下，电源端电压与负载电流的关系可以用电源外特性确定，根据负载的大小，又分为满载、轻载、过载三种情况。负载在额定功率下的工作状态叫额定工作状态或满载；低于额定功率的工作

状态叫轻载；高于额定功率的工作状态叫过载。由于过载很容易烧坏电器，所以一般情况都不允许出现过载。

(2) 短路 如果外电路被阻值近似为零的导体接通，这时电源就处于短路状态，在这种状态下，电路中的电流(短路电流) $I \approx E/R$ 。我们知道，电源的内阻一般都是很小的，因而短路电流可能达到非常大的数值，这有将电源烧毁的危险，必须严格防止，避免发生。

短路状态的主要特点是：短路电流很大，电源端电压为零。

防止短路的最常见方法是在电路中安装保险管。保险管中的熔丝是由低熔点的铅锡合金、银丝制成。当电流增大到一定数值时，保险丝首先被熔断，从而切断电路。

(3) 开路 开路就是电源两端电路某处断开，电路中没有电流通过，电源不向负载输送电能。对于电源来说，这种状态叫空载。开路状态的主要特点是：电路中的电流为零。电源端电压和电动势相等。

### 知识点 3：电路中的基本物理量

#### 1. 电流

(1) 概念：电荷有规则的定向运动

(2) 大小：单位时间通过导体横截面的电荷量

(3) 单位：SI 单位安培(A) 毫安(mA) 微安( $\mu\text{A}$ )

(4) 方向：实际方向：正电荷移动的方向；参考方向：为了分析和计算电路，就需要假设一个电流的方向，这个假设的方向称为参考方向。

(5) 电流参考方向的两种表示：用箭头表示：箭头的指向为电流的参考方向；用双下标表示：如  $i_{AB}$ ，电流的参考方向由 A 指向 B。

若电流的参考方向与实际方向一致，则电流为正；相反则为负。应该注意，在未规定参考方向时，电流的正负是没有意义的。

#### 2. 电压

(1) 定义：电场力把单位正电荷从 a 点移动到 b 点，电场力所作的功，称为 a、b 两点间的电压。也叫电位差。

(2) 单位：SI 单位伏特，简称伏 (V)。常用的还有千伏 (kV)、毫伏 (mV) 和微伏 ( $\mu\text{V}$ )

$$1\text{V}=10^{-2}\text{kV}; 1\text{V}=10^3\text{mV}; 1\text{mV}=10^3\mu\text{V}$$

(3) 电压方向：实际方向：电位降低的方向。

(4) 电流参考方向的表示:

- 1) 用箭头表示: 箭头指向为电压(降)的参考方向
- 2) 用正负极性表示: 由正极指向负极的方为电压(降低)的参考方向
- 3) 用双下标表示: 如  $U_{AB}$ , 由 A 指向 B 的方向为电压(降)的参考方向

(5) 关联参考方向

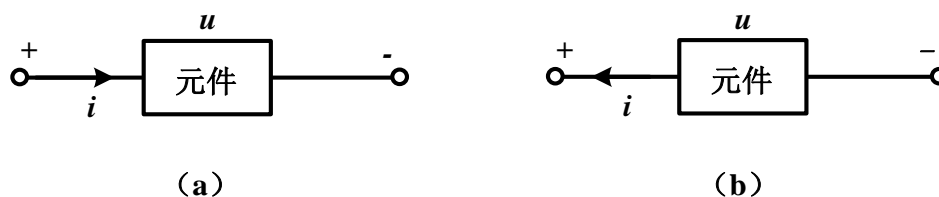


图 1.2.4 电压、电流关联参考方向

如图 1.2.4 (a) 关联参考方向: 支路或元件的电压和电流的参考方向选择一致。如图 1.2.4 (b) 非关联参考方向: 支路或元件的电压和电流的方向相反。

实际使用时应注意, 首先选用哪一种, 原则上任意, 习惯上对于无源元件取关联参考方向, 有源元件取非关联参考方向。其次,  $u$ 、 $i$  参考方向一经确定, 计算过程中不得改变。最后, 电路图中标出的方向均为参考方向。参考方向是人为选定的, 电压(电流)的正负值都是对应于所选定的参考方向而言, 不说明参考方向而谈论电压(电流)为正或负是没有意义的。

### 3. 电位

(1) 定义: 在电场中, 某一点电位等于电场力把单位正电荷从某一点移到参考点所作的功, 用符号  $V$  表示, a 点的电位可以记为  $V_a$ , b 点的电位可以记为  $V_b$

(2) 单位: SI 单位: 伏特 (V)

(3) 电位和电压的关系: 电位是对某一参考点而言, 规定参考点电位值为零。

a、b 两点间的电压等于 a 点与 b 点的电位之差。  $U_{ab} = V_a - V_b$

(4) 电位的两个重要性质:

电位的相对性: 电位值是相对于某一参考点而言的。参考点不同, 即使是电路中的同一点, 其电位值也不同。

单值性: 参考点一旦选定, 电路中各点的电位就有唯一确定的数值。

对电位参考点的几点说明:

- 1) 计算电路中各点的电位时, 必须首先选择零电位参考点;

2) 参考点的选择是任意的, 但一经选定, 在计算过程中便不得随意更改;

3) 参考点选得不同, 各点的电位也随之而异, 但两点间的电压却与参考点的选择无关;

4) 等电位: 若 a、b 两点间的电压  $U_{ab}=0$ 。

#### 4. 功率

(1) 定义: 单位时间内电场力做功的大小, 用符号  $P$  表示。若在  $dt$  时间内, 有  $dq$  电荷通过电路元件, 元件的电压和电流分别为  $u$ 、 $i$ , 则其能量的改变为  $dW$ , 有  $dW=Udq$  则

电功率  $p$  的大小为  $p = \frac{dW}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui$

(2) 单位: SI 单位瓦特, 简称瓦 (W) 在电力系统中, 常用 kW (千瓦) 或 MW (兆瓦), 弱电工程中, 常用 mW (毫瓦)

$$1\text{MW}=10^6 \text{ W}, 1\text{kW}=10^3 \text{ W}, 1\text{W}=10^3 \text{ mW}$$

(3) 功率符号含义: 当元件的电压、电流为关联参考方向时, 用上式所求功率  $p$  为吸收功率: 当  $p>0$  时, 电路实际吸收功率; 当  $p<0$  时, 电路实际发出功率。

**注意:** 根据能量守恒定律, 整个电路的功率代数和为零, 或者说发出的功率和吸收的功率相等, 即功率平衡。

#### 5. 电能

(1) 定义: 电能是指电流在一段时间内所做的功, 用  $W$  表示。电能的大小与电路中的电压  $U$ 、电流  $I$  及通电的时间  $t$  有关, 即:  $W=UIT$ 。

(2) 单位: 电能的单位是焦耳, 简称焦, 用符号  $J$  表示。在工程和生活中, 电能的常用单位是 kWh (千瓦时, 俗称“度”)。1 kWh 俗称 1 度电, 即 1 千瓦的用电设备在 1 小时内用的电能。

$$1\text{kW} \cdot \text{h} = 10^3\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

缴纳电费时, 都是以电能的千瓦时为单位计价的。例如, 一个 100W 的灯泡持续照明 10h (小时), 消耗的电能 1 度电。

### 知识点 4: 电阻元件及欧姆定律

#### 1. 电阻元件

电流在实际电路中流动并不是畅通无阻的。电阻实际上是表征材料 (或器件) 对电流呈现阻力、损耗能量的一种参数。如果电阻值不随其上电压或电流数值变化, 称线性电阻。阻值

不随时间  $t$  变化的线性电阻，称线性时不变电阻。今后我们只讨论这种电阻。

电阻元件符号如上图，用字母  $R$  表示你，单位为欧姆。电阻的倒数在电路中也经常用到，用字母  $G$  表示，单位为西门子。

## 2. 欧姆定律

线性电阻元件上电压电流成正比关系，伏安特性如图 1.2.5 (c) 所示。电阻元件上的电压电流在关联参考方向下，如图 1.2.5 (a) 所示  $u=Ri$ ，在非关联参考方向下，如图 1.2.5 (b) 所示  $u=-Ri$ ，线性电阻在任何时刻都服从欧姆定律，有  $U=RI$ 。

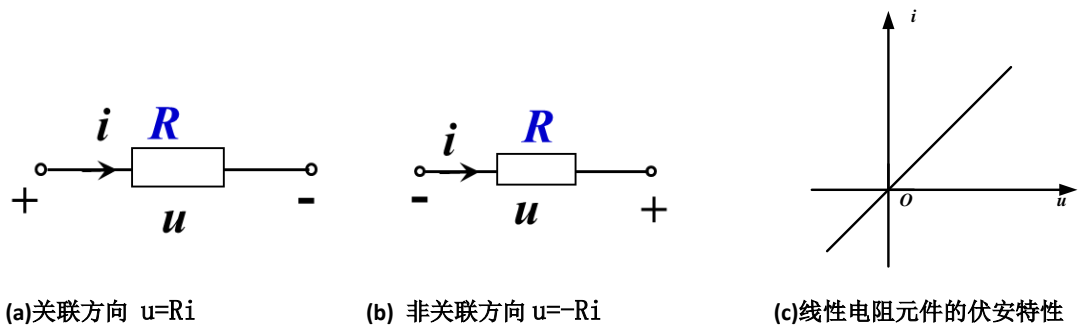


图 1.2.5 电阻元件欧姆定律

电阻元件功率计算：若  $u$ 、 $i$  为关联参考方向，则电阻吸收的功率为  $P=UI=Ri^2$ ；若  $u$ 、 $i$  为非关联参考方向，则电阻吸收的功率为  $P=-UI=-(-Ri)i=Ri^2$ 。

## 知识点 5：电压源和电流源

电源是一种将其他形式能量转换成电能的装置。任何一个实际电路在工作时，都必须有电源提供能量，电源的种类繁多，如干电池、蓄电池、光电池、交直流发电机、电子线路中的信号源等。理想电压源和理想电流源是在一定的条件下从实际电源抽象出来的理想电路元件模型。

### 1. 理想电压源

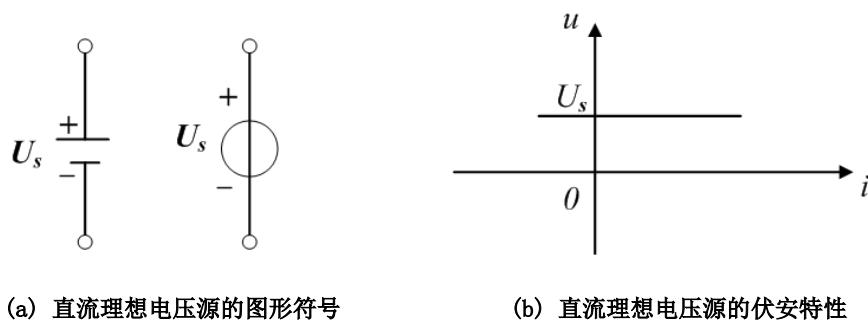


图 1.2.6 电阻元件欧姆定律

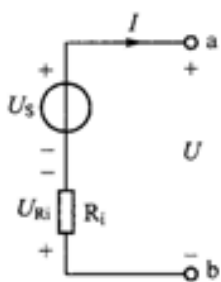
端电压始终按照某一给定规律变化而与其电流无关的电源，称为理想电压源，端电压

为恒定值的理想电压源，又称为直流理想电压源，简称为直流电压源或恒压源。直流电压源的伏安特性是一条平行于  $i$  轴的直线。

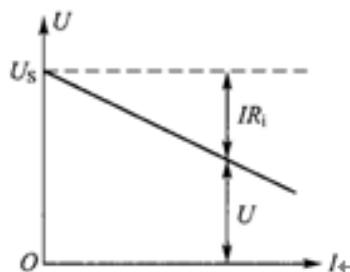
理想电压源应该满足三个特点：

- 1) 它的端电压的大小与其所接的外电路没有任何关系，总保持为某个给定值（直流电压源）或给定的时间函数（交流电压源）。
- 2) 通过电压源的电流取决于它所连接的外电路，电流的大小、方向都由外电路决定。
- 3) 电源内阻为零。

## 2. 实际电压源



(a) 直流实际电压源模型



(b) 直流实际电压源的伏安特性

图 1.2.7 实际电压源

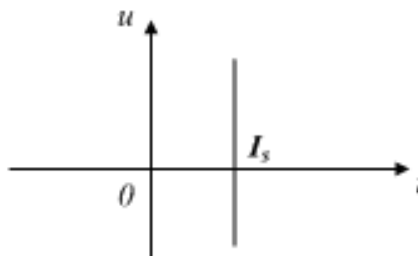
实际的电压源可用一个理想电压源  $U_s$  和一个内阻  $R_i$  相串联的模型来表示，称为电压源模型。

值得注意的是，多个电压源可以串联，并可以等效成一个电压源。如果将端电压不相等的理想电压源并联，是没有意义的。

## 3. 理想电流源



(a) 直流理想电流源的图形符号



(b) 直流理想电流源的伏安特性

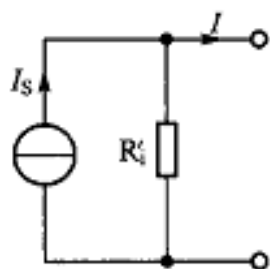
图 1.2.8 理想电流源

输出电流始终按照某一给定规律变化而与其端电压无关的电源，称为理想电流源，输出电流为恒定值的理想电流源，又称为直流理想电流源，简称为直流电流源或恒流源。直

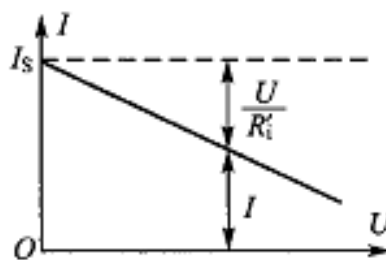
流电流源的伏安特性是一条平行于  $u$  轴的直线。

#### 4. 实际电流源

实际电流源可以用一个理想电流源  $I_s$  与一个电阻  $R_i$  并联的模型来表示，称为电流源模型。



(a) 直流实际电流源模型

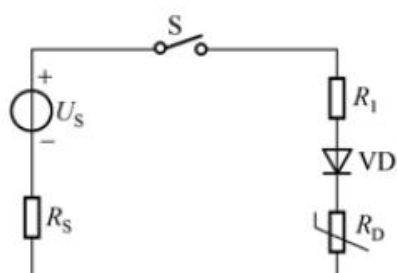


(b) 直流实际电流源的伏安特性

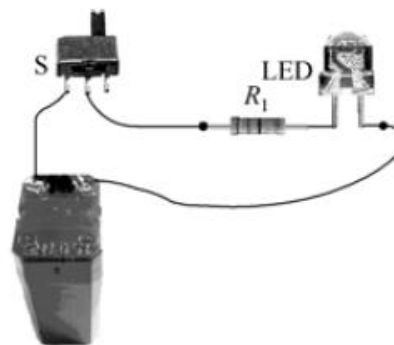
图 1.2.9 实际电流源

值得注意的是，多个电流源可以并联，并能等效成一个电流源，但是多个电流源串联是没有意义的。

根据上述对单管 LED 发光电路的分析和电路设计要求可建立电路工作模型如图 a 所示，b 图是电路实物接线图，对图中元件工作过程分析，同学们可在工作任务的实施过程中进行分析。



(a) 单管 LED 发光电路的电路模型



(b) 单管 LED 发光电路实物接线图

图 1.2.10 单管 LED 发光电路



## 实训任务 1.3 两组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试

### 学习情境描述

1) 教学情境描述: 观看两组 LED 灯工作电路的制作调试仿真视频。电路接通之前, 调整电位器的值为零; 开关闭合后, 发光二极管亮, 调整电位器的参数, 发光二极管的亮度发生变化。

2) 关键知识点: 基尔霍夫电压定律、基尔霍夫电流定律、电阻串并联等效电路结构、电阻串并联等效电路计算、分压定理、分流定理。

3) 关键技能点: 万用表使用, 电位器的调整、电路原理图的绘制, 电路的焊接制作, 电路的调试

### 学习目标

- 1) 掌握基尔霍夫定律的概念及应用;
- 2) 掌握电阻的串并联等效结构及分析;
- 3) 能对串并联电路进行分析、检测;
- 4) 能熟练识读电路的实物图、原理图、接线图等。

### 任务书

完成单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试

### 任务分组

表 1.3.1 学生任务分配表

班 级		组 号		指导老师																				
组 长		学 号																						
组 员	<table border="1"><thead><tr><th>姓名</th><th>学号</th><th>姓名</th><th>学号</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr></tbody></table>				姓名	学号	姓名	学号																
	姓名	学号	姓名	学号																				
任务分工																								

## 获取资讯

引导问题 1: 了解发光二极管

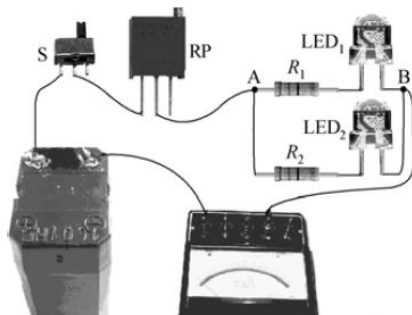


图 1.3.1 LED 发光二极管

1) 画出发光二极管的符号; 发光二极管在应用中, 引脚怎么判断?

---

---

2) 发光二极管在应用中为什么要串联限流电阻, 限流电阻怎么选?

---

---

各小组完成任务 1.3.2 资讯单的填写。

表 1.3.2 资讯单

学习场地			
学习情境			
学习任务		学时	
典型工作过程描述			
搜集资讯的方式			
资讯描述			
对学生的要求			
参考资料			

## 工作计划

各小组完成任务 1.3.3 计划单的填写。

表 1.3.3 计划单

学习场地					
学习情境					
学习任务				学时	
典型工作过程描述					
计划制定的方式					
序号	工作步骤		注意事项		
对学生的要求	班 级		第 组	组长签字	
参考资料	教师签字		日期		
计划评价					

## 工作决策

---



---



---



---



---

## 任务实施


### 1. 电路设计

设计两组 LED 发光并联电路，及其调试电路，绘制电路模型图和调试电路电气原理图，并正确选用元器件。

(1) 设计两组 LED 发光并联电路，绘制电路模型图。



(2) 为了调试时测试元器件工作特性方便，在设计的电路中串接一个电位器 RP 和一只直流毫安表，直流电压的测量采用万用表，测量电压时接入电路，参照学习情境相关知识点，正确绘制调试电路电气原理图。



(3) 各个项目小组在预先准备的元器件中选用电路的组成器件，讨论分析元器件选用的理由，写出书面设计选用过程。

---

---

---

---

---

---

## 2. 两组 LED 照明电路的制作与调试

(1) 电路制作

(2) 电路调试

1) 观察和测量

2) 数据处理及两组 LED 照明电路特性分析

表 1.3.4 观察、测量、计算记录表

$R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  ,  $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$

观察、测量、计算		开关状态							
		S 断开	S 闭合						
$R_P$									
$R_{AB}$									
LED 明暗程度									
U (mV)									
$U_{RP}$ (mV)									
$U_{AB}$ (mV)									
I (mA)									
P (mW)									
$P_{RP}$ (mW)									
$P_{AB}$ (mW)									
I	$U_{R1}$ (mV)								
	$U_{D1}$ (mV)								
	$I_1$ (mA)								
	$P_1$ (mW)								
	$R_{AB1}$ ( $\Omega$ )								
II	$U_{R2}$ (mV)								
	$U_{D2}$ (mV)								
	$I_2$ (mA)								
	$P_2$ (mW)								
	$R_{AB2}$ ( $\Omega$ )								

3) 特性结果分析

---



---

---

---

## 工作评价

各组代表展示作品，介绍任务的完成过程，作品展示前应准备阐述材料，并完成评价表 1.3.5、表 1.3.6、表 1.3.7。

**表 1.3.5 学生自评表**

任务	完成情况记录
任务是否按计划时间完成	
相关理论完成情况	
技能训练情况	
任务完成情况	
任务创新情况	
材料上交情况	
收获	

**表 1.3.6 学生互评表**

序号	评价项目	小组互评	教师评价	总评
1	任务是否按时完成			
2	材料完成上交情况			
3	作品质量			
4	语言表达能力			
5	小组成员合作面貌			
6	创新			

**表 1.3.7 教师评价表**

序号	评价项目	自我评价	互相评价	教师评价	综合评价
1	学习准备				
2	引导问题填写				
3	规范操作				

4	完成质量				
5	关键操作要领掌握				
6	完成速度				
7	5S 管理、环保节能				
8	参与讨论的主动性				
9	沟通协调				
10	展示汇报				

注：评价档次统一采用 A（优秀）、B（良好）、C（合格）、D（努力）4 个。

## 教学反馈

表 1.3.8 教学反馈单

学习场地					
学习情境					
学习任务				学时	
典型工作过程描述					
调查项目		序号	调查内容	理由描述	
		您对本次教学改进的意见和建议：			
调查信息			被调查人姓名		调查日期

## 学习情境相关知识点：

### 知识点 1：基尔霍夫定律

#### 1. 电路中的基本术语

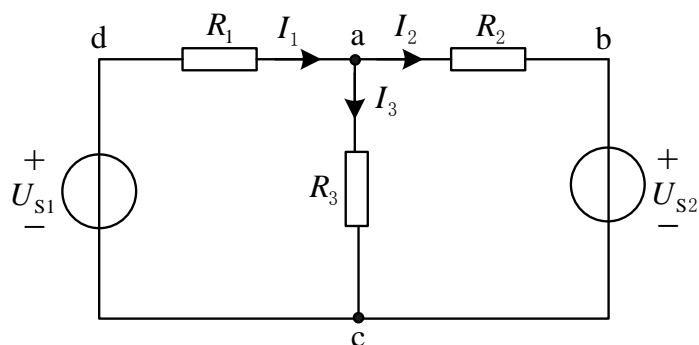


图 1.3.2 电路

(1) 支路：电路中流过同一电流的电路分支。

含有电源元件的支路称为有源支路，不含电源元件的支路称为无源支路。支路中流过的电流称为支路电流。支路两端的电压称为支路电压。图中有三条支路，adc 支路和 abc 支路为有源支路，支路电流分别为  $I_1$  和  $I_2$ ，ac 支路为无源支路，支路电流为  $I_3$ 。

(2) 节点：三条或三条以上支路的公共连接点。图中有 a、c 两个节点，而 b 点和 d 点不是节点。

(3) 回路：电路中任意一条闭合的路径。图中有 acda、abca、abcda 三个回路

(4) 网孔：内部不再包含其他支路的回路称为网孔，也称独立回路。图中有 acda、abca 两个网孔

提示：支路、节点、回路、网孔都是重要的物理概念，容易出错。应当反复练习，及时指出学生中出现的错误加以纠正，强化对概念的理解。

#### 2. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律也称节点电流定律，简称为 KCL 定律。

KCL 定律指出：在任一瞬间通过电路中任一节点的电流代数和恒等于零。即

$$\sum i(t) = 0。$$

在直流电路中，写作

$$\sum I = 0$$

如图 1.3.2 所示，可列出节点 a 的电流方程：

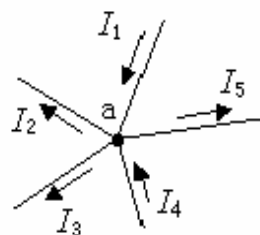


图 1.3.3 基尔霍夫第一定律应用



$$-I_1 + I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0 \quad \text{①}$$

对式①进行变形可得：

$$I_2 + I_3 + I_5 = I_1 + I_4 \quad \text{②}$$

对式②加以分析可以看出，

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}}$$

这也是基尔霍夫电流定律的另一种表述方式：在任一时刻，对电路中的任一节点，流入节点的电流之和等于流出节点的电流之和。

需要明确的是：

- (1) KCL 是电荷守恒和电流连续性原理在电路中任意结点处的反映；
- (2) KCL 是对支路电流加的约束，与支路上接的是什么元件无关，与电路是线性还是非线性无关；
- (3) KCL 方程是按电流参考方向列写，与电流实际方向无关。

基尔霍夫电流定律推广应用：任一假定的封闭面（广义节点），流入任一封闭面的支路电流之和等于流出该封闭面的支路电流之和。假定一封闭面（图中虚线所示），根据 KCL 有  $I_1 + I_3 = I_2$ 。

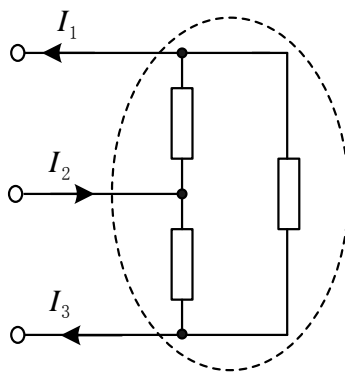


图 1.3.4 基尔霍夫第一定律推广应用

### 3. 基尔霍夫电压定律

基尔霍夫电压定律也称回路电压定律，简称为 KVL。KVL 定律指出：在任一时刻，对任一闭合回路，沿回路绕行方向上的各段电压代数和为零。其数学表达式为

$$\sum u(t) = 0$$

在直流电路中，表述为：

$$\sum U = 0$$

例如：如图 1.3.4 所示，对于回路 ABCD 列写回路电压方程。

- (1) 标定各元件电压参考方向。
- (2) 选定回路绕行方向，顺时针或逆时针。

对图中回路列 KVL 方程有

$$u_1 + u_2 - u_3 - u_4 = 0$$

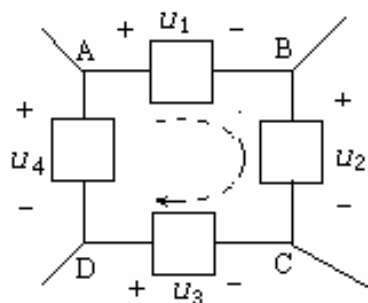


图 1.3.5 基尔霍夫电压定律应用

应当指出：在列写回路电压方程时，首先要对标定电压参考方向，其次为回路选取一个回路“绕行方向”。通常规定，对参考方向与回路“绕行方向”相同的电压取正号，同时对参考方向与回路“绕行方向”相反的电压取负号。

**例 1.3.1:** 写出图 1.3.6 电路回路方程。

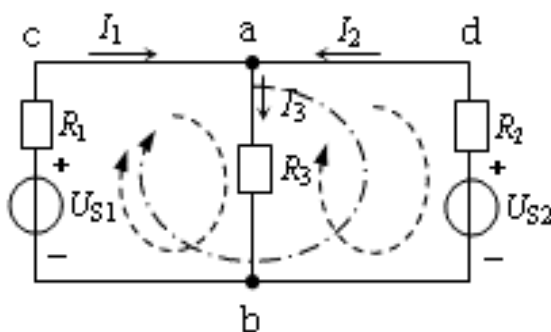


图 1.3.6 例 1.3.1 电路

解：如上图三个回路的回路方程分别为：

(1) 回路 abca 回路方程为：  $I_1 R_1 + I_3 R_3 - U_{s1} = 0$

(2) 回路 adba 回路方程为：  $-I_2 R_2 - I_3 R_3 + U_{s2} = 0$

(3) 回路 adbca 回路方程为：  $I_1 R_1 - I_3 R_3 - U_{s1} + U_{s2} = 0$

回路 adbca 回路方程  $I_1 R_1 - I_3 R_3 - U_{s1} + U_{s2} = 0$  也可以写为  $I_1 R_1 - I_3 R_3 = U_{s1} - U_{s2}$  即：  $\sum IR = \sum U_s$ ， $\sum IR$  表示所用电阻上电压代数和，流过电阻的电流参考方向与回路绕行方向一致，电阻上电压前取“+”号  $\sum U_s$  表示所用电压源电压代数和。电压源电压参考方向与回路绕行方向相反，电压源电压前取“-”号。

需要明确的是：

- (1) KVL 的实质反映了电路遵从能量守恒定律；

(2) KVL 是对回路电压加的约束，与回路各支路上接的是什么元件无关，与电路是线性还是非线性无关；

(3) KVL 方程是按电压参考方向列写，与电压实际方向无关。

基尔霍夫电压定律推广应用：电路中任意假想的闭合回路（广义回路），如图，课看作虚线表示的回路，回路电压方程为  $IR + U_S - U = 0$  即  $IR + U_S = U$ 。

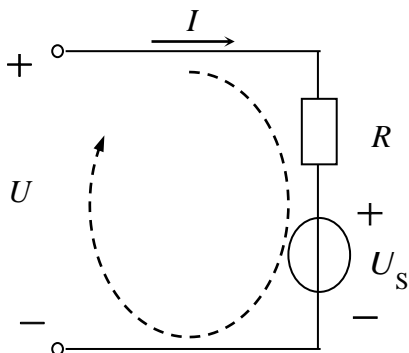


图 1.3.7 基尔霍夫电压定律推广应用

**例 1.3.2:** 某电路中的一个回路，通过 a、b、c、d 四个节点与电路的其他部分相连接，图中已标注出部分已知的元件参数及支路电流，求未知参数  $R$  及电压  $U_{ac}$ 、 $U_{bd}$ 。

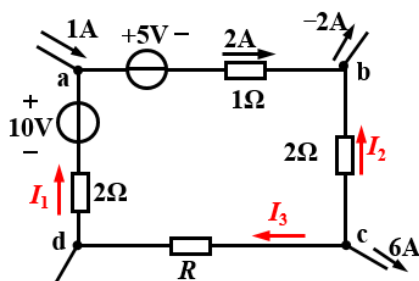


图 1.3.8 例 1.3.2 电路图

解：设电流  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ ，列 KCL 方程。

节点 a:  $1 - 2 + I_1 = 0$ ，得  $I_1 = 1A$

节点 b:  $2 - (-2) + I_2 = 0$ ，得  $I_2 = -4A$

节点 c:  $I_2 + 6 + I_3 = 0$ ，得  $I_3 = -2A$

再按 abcda 绕行方向，列 KVL 方程  $5 + 1 \times 2 - 2I_2 + I_3R + 2I_1 - 10 = 0$

代入  $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$  值解得  $R = 3.5\Omega$

根据 KVL 推论, 可得

$$U_{ac} = U_{ab} + U_{bc} = 5 + 1 \times 2 - 2I_2 = (5 + 2 - 2(-4))V = 15V$$

$$U_{bd} = U_{bc} + U_{cd} = -2I_2 + RI_3 = (-2 \times (-4) + 3.5 \times (-2))V = 1V$$

### 知识点 2: 支路电流法

支路电流法分析电路是以支路电流为待求变量, 通过列写节点的 KCL 方程和回路的 KVL 方程, 联立方程组, 从而求解各支路电流。

对于有  $n$  个节点、 $b$  条支路的电路, 求解步骤如下:

- (1) 在电路图中标出各支路电流的参考方向和回路的绕行方向。
- (2) 根据 KCL 列出  $(n-1)$  个独立的节点电流方程。
- (3) 根据 KVL 列出  $[b-(n-1)]$  个独立的回路电压方程。
- (4) 联解方程组, 求解各支路电流。

### 知识点 3: 电阻电路的等效变换

#### 1. 电阻串联

电路中, 若干个电阻依次首尾相连, 各电阻流过同一电流, 这种连接方式称为电阻的串联。

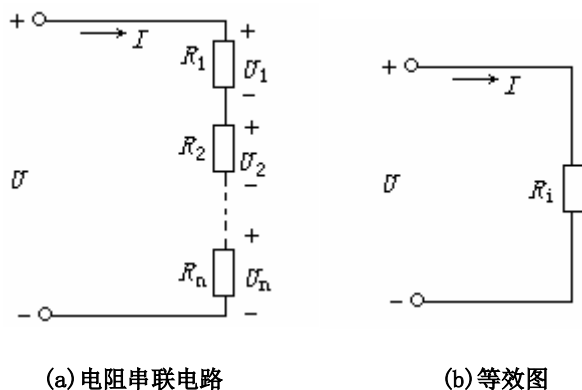


图 1.3.9 串联电阻等效电路图

设  $n$  个电阻串联, 如图 1.3.8 所示, 端口电压、电流相同。

串联电路的特点:

- (1) 串联电路中电流处处相等。当  $n$  个电阻串联时, 则

$$I_1 = I_2 = I_3 = \cdots = I_n$$

- (2) 电路两端的总电压等于串联电阻上分电压之和。

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots + U_n$$

(3) 电路的总电阻等于各串联电阻之和。

$R$  叫做  $R_1, R_2$  串联的等效电阻, 其意义是用  $R$  代替  $R_1, R_2$  后, 不影响电路的电流和电压。

在图 1.3.8 中, (b) 图是 (a) 图的等效电路。

当  $n$  个电阻串联时, 则

$$R = (R_1 + R_2 + \cdots + R_n) = \sum_{k=1}^n R_k$$

(4) 串联电路中的电压分配和功率分配关系。

由于串联电路中的电流处处相等, 所以

$$I = \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2} = \cdots = \frac{U_n}{R_n} \quad \rightarrow \quad I^2 = \frac{P_1}{R_1} = \frac{P_2}{R_2} = \cdots = \frac{P_n}{R_n}$$

上述两式表明, 串联电路中各个电阻两端的电压与各个电阻的阻值成正比; 各个电阻所消耗的功率也和各个电阻阻值成正比。推广开来, 当串联电路有  $n$  个电阻构成时, 可得串联电路分压公式

$$\left\{ \begin{array}{l} U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n} U \\ U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n} U \\ \dots \dots \\ U_n = \frac{R_n}{R_1 + R_2 + R_3 + \cdots + R_n} U \end{array} \right.$$

两个线性电阻串联电路等效电阻为:  $R = R_1 + R_2$

分压公式为:

$$U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U \quad U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$$

功率为:

$$P_1 = I^2 R_1, P_2 = I^2 R_2$$

提示：在实际应用中，常利用电阻串联的方法，扩大电压表的量程。

**例 1.3.3：** 如图所示，已知万用表表头额定电流（又称表头灵敏度，是指表头指针从标度尺零点偏转到满标度时所通过的电流） $I_a=50\mu\text{A}$ ，万用表电阻为  $3\text{k}\Omega$ ，问该万用表能否直接用来测量  $U=10\text{V}$  的电压？若不能，应串联多大的电阻？

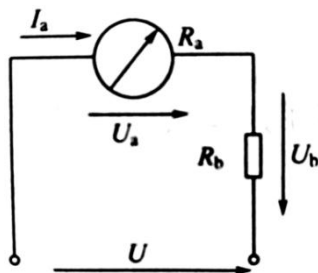


图 1.3.10 例 1.3.3 电路图

解：（1）表头能承受的电压  $U=I_a R_a=50\times 10^{-6}\times 3\times 10^3=0.15(\text{V})$

若将  $10\text{V}$  电压直接接入，表头会因电流过大而烧坏。

（2）在表头中串联电阻  $R_b$ ，如图 1.3.8 所示。

$$U_b = U - U_a = 10 - 0.15 = 9.85\text{V}$$

因万用表满度偏转时，电流为  $I_a=50\mu\text{A}$ ，所以

$$R_b = \frac{U_b}{I_a} = \frac{9.85}{50 \times 10^{-6}} = 197\text{k}\Omega$$

## 2. 电阻并联

把两个或两个以上的电阻接到电路中的两点之间，电阻两端承受同一个电压的电路，叫做电阻并联电路。设  $n$  个电阻并联，如图 1.3.9 所示

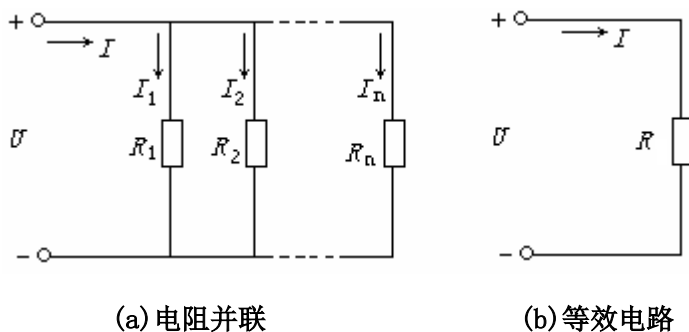


图 1.3.11 电阻并联等效电路

并联电路的特点：

（1）电路中各个电阻两端的电压相同

即  $U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n$

(2) 电阻并联电路总电流等于各支路电流之和

即  $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$

(3) 并联电路的总阻值的倒数等于各并联电阻的倒数的和

即  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$

(4) 电阻并联电路的电流分配和功率分配关系

在并联电路中，并联电阻两端电压相同，所以

$$U = R_1 I_1 = R_2 I_2 = R_3 I_3 = \dots = R_n I_n$$



$$U^2 = R_1 P_1 = R_2 P_2 = R_3 P_3 = \dots = R_n P_n$$

上式表明，并联电路中各支路电流与电阻成反比；各支路电阻消耗的功率和电阻成反比。

并联电阻具有分流作用， $I_k = \frac{U_k}{R_k} = \frac{R}{R_k} I$  电阻  $R_k$  越大，分流越小，反之  $R_k$  越小，分流越大。

当两个电阻并联时，通过每个电阻的电流可以用分流公式计算，等效电阻：

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

分流公式为：

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{R}{R_1} I = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I \\ I_2 &= \frac{R}{R_2} I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I \end{aligned} \right\}$$

说明：在电阻并联电路中，电阻小的支路通过的电流大；电阻大的支路通过的电流小。

注意：电阻并联电路在日常生活中应用十分广泛，例如：照明电路中的用电器通常都是并联供电的。只有将用电器并联使用，才能在断开、闭合某个用电器时，或者某个用电器出现断路故障时，保障其他用电器能够正常工作。

串并联电阻电路特点总结如表 1.3.8.

表 1.3.8 电阻串、并联电路的特点

	串联	并联
电流	$I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ 两个电阻并联时的分流公式为 $I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$
电压	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ 两个电阻并联时的分压公式为 $U_1 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} U, U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U$	$U_1 = U_2 = \dots = U_n$
电阻	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$ 当 n 个阻值为 $R_0$ 的电阻串联时 $R = nR_0$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$ 当 n 个阻值为 $R_0$ 的电阻并联时 $R = \frac{R_0}{n}$
电功率	$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$ 功率分配与电阻成正比 $\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2}$	$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$ 功率分配与电阻成反比 $\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1}$

例 1.3.4: 如图所示, 已知万用表表头额定电流  $I_a=0.05\text{mA}$ , 万用表电阻为  $3\text{k}\Omega$ , 现欲测  $I=10\text{mA}$  的电流, 应并联多大的电阻?

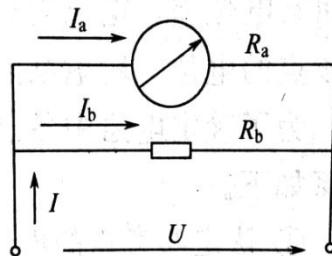


图 1.3.12 电阻并联等效电路

解: 设表头并联电阻为  $R_b$ , 由图可知  $I_b = I - I_a = 10 - 0.05 = 9.95\text{mA}$   
分流电阻  $R_b$  上承受的电压  $U_b$  等于表头承受的电压  $U_a$ , 即



$$U_b = U_a = I_a R_a = 0.05 \times 10^{-3} \times 3 \times 10^3 = 0.15V$$

$$\text{故 } R_b = \frac{U_b}{I_b} = \frac{0.15}{9.95 \times 10^{-3}} = 15\Omega$$

### 3. 电阻的混联

电路中，既有电阻的串联，又有电阻的并联，这种连接方式称为电阻的混联。

分析电阻混联电路的一般步骤为：

- (1) 计算各串联和并联部分的等效电阻，再计算总的等效电阻。
- (2) 应用欧姆定律，由总电压和总等效电阻求得总电流。
- (3) 根据串联电阻的分压公式和并联电阻的分流公式，逐步求出各电阻的电流、电压以及功率等。

## 实训任务 1.4 三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试

### 学习情境描述

1) 教学情境描述：观看三组 LED 灯工作电路的制作调试仿真视频。电路接通之前，调整电位器的值为零；开关闭合后，发光二极管亮，调整电位器的参数，发光二极管的亮度发生变化。

2) 关键知识点：两端口网络概念、电阻串并联等效电路结构、电阻串并联等效电路计算、电源等效。

3) 关键技能点：万用表使用，电位器的调整、电路原理图的绘制，电路的焊接制作，电路的调试。

### 学习目标

- 1) 掌握电源的等效变换；
- 2) 熟练电路原理图绘制方法；
- 3) 能简单电路进行分析、检测；
- 4) 能熟练识读电路的实物图、原理图、接线图等。

### 任务书

完成三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试；完成数据的归纳整理；完成项目 1 内容小结。

## 任务分组

表 1.4.1 学生任务分配表

班 级		组 号		指导老师																					
组 长		学 号																							
组 员	<table border="1"> <thead> <tr> <th>姓名</th> <th>学号</th> <th>姓名</th> <th>学号</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					姓名	学号	姓名	学号																
	姓名	学号	姓名	学号																					
任务分工																									

## 获取资讯

引导问题 1：了解电位器大小改变对电路中电压电流的影响。

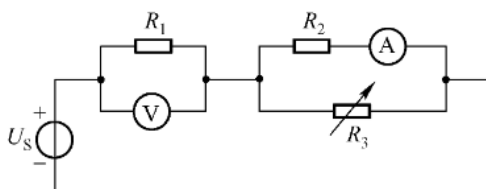


图 1.4.1 引导问题 1 电路图

如图所示电路中， $U_s$  不变，当  $R_3$  增大或减小时，电压表、电流表的读数将如何变化？说明其原因。

---



---

引导问题 2：电路功率的计算及应用。

如图所示，（假设灯泡电阻一定）。灯泡 A（220V、100W）和 B（220V、25W）串联后接在电路 PQ 段。

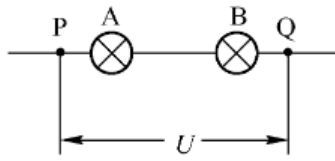


图 1.4.2 引导问题 2 电路图

1) 为使两灯泡安全使用，电路 PQ 所加电压的最大值为多少伏？

---



---

2) 电路 PQ 段所允许消耗的最大电功率是多少瓦？

---



---

引导问题 3: 了解负载元件串并联特性分析。

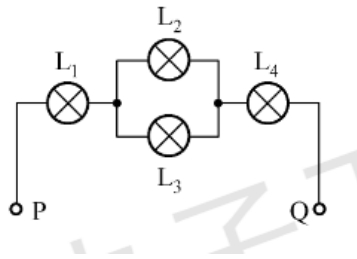


图 1.4.3 引导问题 3 电路图

有 4 盏灯，接入如图所示的电路中，L1 和 L2 都标有“220V、100W”字样，L3 和 L4 标有“220V、40W”字样，把电路接通后，最暗的灯将是哪个灯？

---



---

表 1.4.2 资讯单

学习场地			
学习情境			
学习任务		学时	
典型工作过程描述			
搜集资讯的方式			

资讯描述	
对学生的要求	
参考资料	

## 工作计划

各小组完成任务 1.4.3 计划单的填写。

表 1.4.3 计划单

学习场地					
学习情境					
学习任务			学时		
典型工作过程描述					
计划制定的方式					
序号	工作步骤		注意事项		
对学生的要求	班 级		第 组	组长签字	
参考资料	教师签字		日期		
计划评价					

## 工作决策

---

---

---

---

---

## 任务实施

### 1. 电路设计

设计三组 LED 发光并联电路，及其调试电路，绘制电路模型图和调试电路电气原理图，并正确选用元器件。

(1) 设计两组 LED 发光并联电路，绘制电路模型图。

(2) 为了调试时测试元器件工作特性方便，在设计的电路中串接一个电位器 RP 和一只直流毫安表，直流电压的测量采用万用表，测量电压时接入电路，实物参照图，正确绘制调试电路电气原理图。

(3) 各个项目小组在预先准备的元器件中选用电路的组成器件，讨论分析元器件选用的理由，写出书面设计选用过程。

---

---

---

## 2. 三组 LED 照明电路的制作与调试

(1) 电路制作

(2) 电路调试

1) 观察和测量

2) 三组 LED 并联照明电路及混联电路调试特性分析

表 1.4.4 观察、测量、计算记录表

$R_1 = \underline{\hspace{2cm}}$  ,  $R_2 = \underline{\hspace{2cm}}$  ,  $R_3 = \underline{\hspace{2cm}}$

开关状态 观察、测量、计算		S 断开	S 闭合					
$R_P$								
$R_{AB}$								
LED 明暗程度								
U (mV)								
$U_{RP}$ (mV)								
$U_{AB}$ (mV)								
I (mA)								
P (mW)								
$P_{RP}$ (mW)								
$P_{AB}$ (mW)								
I	$U_{R1}$ (mV)							
	$U_{D1}$ (mV)							
	$I_1$ (mA)							
	$P_1$ (mW)							
	$R_{AB1}$ ( $\Omega$ )							
II	$U_{R2}$ (mV)							
	$U_{D2}$ (mV)							
	$I_2$ (mA)							
	$P_2$ (mW)							
	$R_{AB2}$ ( $\Omega$ )							
III	$U_{R3}$ (mV)							
	$U_{D3}$ (mV)							
	$I_3$ (mA)							
	$P_3$ (mW)							

	$R_{AB3} (\Omega)$								
--	--------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

3) 特性结果分析

---



---



---

3. 求证三组 LED 照明电路功率传输效率

---



---



---

4. 验证电路最大功率传输定律

表 1.4.5 观察、测量、计算记录表

$R_s = \underline{\hspace{2cm}}$

开关状态 观察、测量、计算	S 断开	S 闭合						
LED 明暗程度								
$U$ (mV)								
$U_{RP}$ (mV)								
$U_{AB}$ (mV)								
$P_{AB}$ (mW)								
$R_P$ ( $\Omega$ )								
$R_{bS}$ ( $\Omega$ )								
$R_{AB}$ ( $\Omega$ )								
结论分析								

工作评价

各组代表展示作品，介绍任务的完成过程，作品展示前应准备阐述材料，并完成评价表 1.4.6、表 1.4.7、表 1.4.8。

表 1.4.6 学生自评表

任务	完成情况记录
任务是否按计划时间完成	

相关理论完成情况	
技能训练情况	
任务完成情况	
任务创新情况	
材料上交情况	
收获	

**表 1.4.7 学生互评表**

序号	评价项目	小组互评	教师评价	总评
1	任务是否按时完成			
2	材料完成上交情况			
3	作品质量			
4	语言表达能力			
5	小组成员合作面貌			
6	创新			

**表 1.4.8 教师评价表**

序号	评价项目	自我评价	互相评价	教师评价	综合评价
1	学习准备				
2	引导问题填写				
3	规范操作				
4	完成质量				
5	关键操作要领掌握				
6	完成速度				
7	5S 管理、环保节能				
8	参与讨论的主动性				
9	沟通协调				
10	展示汇报				

注：评价档次统一采用 A（优秀）、B（良好）、C（合格）、D（努力）4 个。



## 教学反馈

表 1.4.9 教学反馈单

学习场地				
学习情境				
学习任务				学时
典型工作过程描述				
调查项目		序号	调查内容	理由描述
		您对本次教学改进的意见和建议：		
调查信息		被调查人姓名		调查日期

### 学习情境相关知识点：

#### 知识点 1：两端口网络的等效

如果一个二端网络的端口电压电流关系和另一个二端网络的端口电压电流关系相同，这两个网络对外部叫做等效网络。

等效网络的内部结构虽然不同，但对外部电路而言，它们的影响完全相同。即等效网络互换后，它们的外部情况不变，故我们所说的“等效”指“外部等效”。如图 1.4.4 所示，如果网络 A 通过两个端钮与外电路连接，则网络 A 称为二端网络或叫单口网络。

满足条件：从一个端钮流入的电流等于从另一个端钮流出的电流。

分类：二端网络中如含有电源，称有源二端网络，否则称无源二端网络。

二端网络端口上电压与电流的关系称为二端网络的伏安关系。二端网络的伏安特性只取决于网络内部的参数和结构，与外电路无关，是网络本身固有特性的反映。

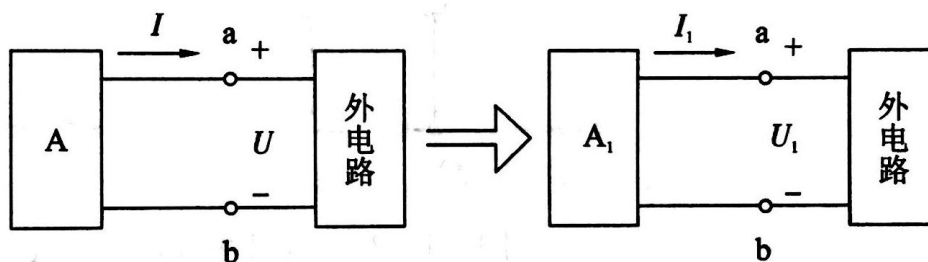


图 1.4.4 两端口网络

若二端网络 A 与二端网络 A1 对同一外电路的伏安特性相同，则 A 与 A1 对外电路而言可以相互等效。 $U = U_1, I = I_1$ 。

- (1) 无源二端网络 NP 都可以等效为一个电阻；
- (2) 有源二端网络 NA 都可以等效为一个实际电压源，即  $U_s$  与  $R_i$  串联。

### 知识点 2: 电源的等效变换

#### 1. 电压源

(1) 理想电压源：输出电压不受外电路影响，只依照自己固有的规律随时间变化的电源。

(2) 理想电压源的符号：

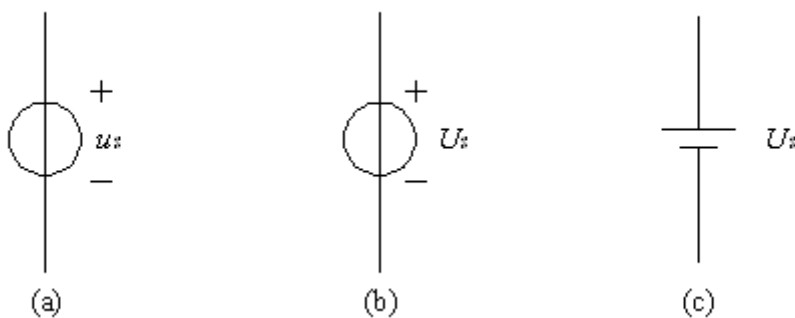


图 1.4.5 理想电压源符号

(a)是理想电压源的一般表示符号，符号“+”、“-”表示理想电压源的参考极性。

(b)表示理想直流电压源。

(c)是干电池的图形符号，长线段表示高电位端，短线段表示低电位端。

(3) 理想电压源的性质

- 1) 理想电压源的端电压是常数  $U_s$ ，或是时间的函数  $u(t)$ ，与输出电流无关。
- 2) 理想电压源的输出电流和输出功率取决于外电路。
- 3) 端电压的输出电流和输出功率取决于外电路。

4) 端电压不相等的理想电压源并联或端电压不为零的理想电压源短路，都是没有意义的。

#### (4) 实际电压源

可以用一个理想电压源和一个电阻串联来模拟，如图 1.4.6 所示，此模型称为实际电压源模型。

电阻  $R_i$  叫做电源的内阻，有时又称为输出电阻。

实际直流电压源端电压为：

$$U = U_s - IR_i$$

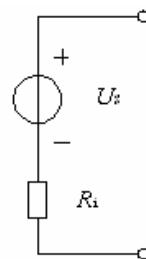


图 1.4.6 电压源模型

## 2. 电流源

(1) 理想电流源：输出电流不受外电路影响，只依照自己固有的规律随时间变化的电源。

(2) 理想电流源的符号如图 1.4.7 所示：

1) 理想电流源的输出电流是常数  $I_s$ ，或是时间的函数  $i(t)$ ，与理想电流源的端电压无关。

2) 理想电流源的端电压和输出功率取决于外电路。

3) 输出电流不相等的理想电流源串联或输出电流不为零的理想电流源开路，都是没有意义的。

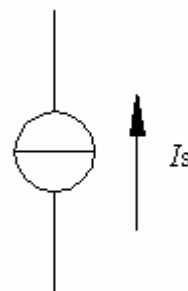


图 1.4.7 理想直流电流源

(3) 实际电流源模型：

可以用一个理想电流源和一个电阻并联来模拟，此模型称为实际电流源模型。如图 1.4.8 所示。

实际直流电流源输出电流为

$$I = I_s - \frac{U}{R_i}$$

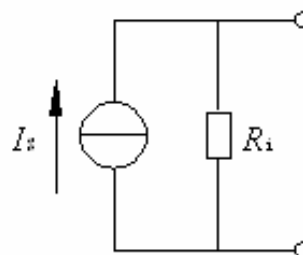


图 1.4.8 实际电流源模型

## 3. 电压源与电流源的等效变换

在电路分析和计算中，电压源和电流源是可以等效变换的。

注意：这里等等效变换是对外电路而言的，即把它们与相同的负载连接，负载两端的电压、负载中的电流、负载消耗的功率都相同。

两种电源等效变换关系有下式决定：

$$I_S = \frac{E}{R_0}$$

$$U_S = R_0 I_S$$

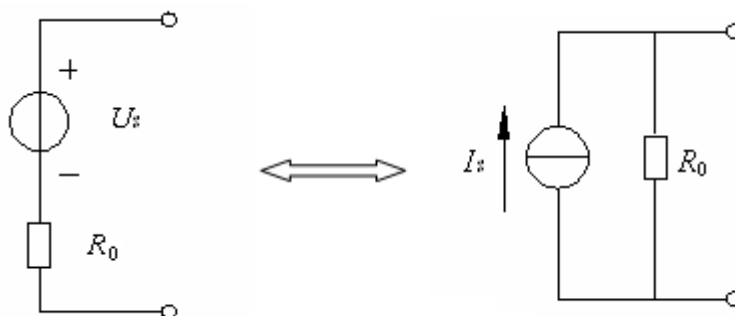


图 1.4.9 电压源与电流源的等效变换

应用上式可将电压源等效变换成电流源，内阻  $R_0$  阻值不变，要注意将其改为并联；可将电流源等效变换成电压源，内阻  $R_0$  阻值不变，要注意将其改为串联。

注意：

(1) 电压源于电流源的等效变换指的是实际电压源与实际电流源之间的等效变换。理想电压源与理想电流源之间是不能进行等效变换的。

(2) 等效变换时， $U_S$  与  $I_S$  的方向是一致的，即电压源的正极与电流源输出电流的一端相对应。

## 实训任务 1.5 成果验收及验收报告和验收报告的制定

### 一、任务准备

表 1.5.1 项目一 成果验收标准及验收评价方案

序号	验收内容	验收标准	验收评价方案	配分
1	照明电路功能	三组 LED 照明电路使用时满足以下四个功能要求： 1. 开关断开，三组单颗 LED 灯均不亮； 2. 开关闭合，三组 LED 灯均亮；调整电位器数值，LED 灯有明显的明暗变化； 3. 开关闭合长时间后，电路	1. 针对验收标准第 1 项功能，若有灯亮，验收成绩扣 15 分； 2. 针对验收标准第 2 项功能，开关闭合后，若有灯不亮，每组灯验收成绩扣 10 分；都不亮，本项验收成绩为 0；灯全亮，每组发光功率达不到标准，验收成绩扣 15 分； 3. 针对验收标准第 3 项功能，电路接通或长时候接通后，电路中出现元器件等发热、	50

		正常工作, 不出现元器件发热、冒烟或焦味等异常现象。	冒烟、焦味等故障现象, 以及电路短路造成电路不能正常工作, 本项验收成绩为0; 4. LED灯正常亮灭, 但是相应的测量、计算参数不符合标准, 验收成绩每项扣5分。	
2	制作工艺	1. 元器件安装牢固不松动, 接触良好; 2. 元器件布局合理; 3. 接线正确、美观; 牢固, 连接导线横平竖直、不交叉不重叠; 4. 整体装配符合要求	1. 元器件布局不合理, 与电路其它功能模块混杂, 每个元器件扣5分; 2. 元器件安装松动与电路板接触不良, 每个元件扣5分; 3. 导线接线错误, 每处扣10分; 4. 导线连接松动, 每根扣5分; 5. 导线, 不能横平竖直, 交叉重叠, 私拉乱接情况严重者本项成绩为零, 情况较少者每处扣3分; 4. 整体装配不符合规范, 有影响电路应用性能和产品美观性等, 每处扣5分	25
3	电路调试及技术资料	1. 电路各部分设计的电气原理图, 电路模型图, 制作规范, 美观整洁, 无技术性错误; 2. 元器件选用分析的书面报告齐全整洁; 3. 电路调试过程, 观察、测量和计算的记录表以及结论分析记录均完整、整洁	1. 电路各部分设计的电气原理图、电路模型图制作不规范, 绘制符号与国标不符, 每份扣5分; 有技术性错误, 每份扣10分; 电气原理图、电路模型图制作不美观不整洁, 每份扣5分; 图纸缺一份扣10分; 2. 元器件选用分析的书面报告不齐全, 每份缺一份扣10分, 不整洁, 每份扣5分; 图纸每缺一份, 扣10分; 2. 元器件选用分析的书面报告不齐全, 每缺一份扣10分; 不整洁, 每份扣5分; 3. 记录表以及结论分析记录的填写不完整、不整洁, 每份扣5分, 缺一份扣10分	25

## 二、任务实施

表 1.5.2 项目一 验收报告

项目执行部门		项目执行组	
项目安排日期		项目实际完成日期	
项目完成率		复命状态	

未完成的工作内容		未完成原因	
项目验收情况综述			
验收评分		验收结果	
验收人签名		验收日期	

表 1.5.3 项目一 完成报告书

项目执行部门		项目执行组	
项目执行人		报告书编写时间	
项目执行时间		项目完成时间	
项目实施任务 1 项目实施文件及工作准备	内容概述		
	完成结果		
	分析结论		
项目实施任务 2 单组 LED 灯工作的设计、制作与调试	内容概述		
	完成结果		
	分析结论		
项目实施任务 3 两组 LED 灯工作的设计、制作与调试	内容概述		
	完成结果		
	分析结论		
项目实施任务 4 三组 LED 灯工作的设计、制作与调试	内容概述		
	完成结果		
	分析结论		
项目实施任务 5 成果验收及验收报告和验收报告的制定	内容概述		
	完成结果		
	分析结论		
项目工作小结：（本项目已经完成，对于项目的实施需要哪些知识、技能以及以及对项目的实施看法、建议或体会，请编写出项目工作小结，可另附页。）			

### 三、工作评价

表 1.5.4 成绩报告单

班级          学习场（课程）成绩报告单															
学习场地															
学习情境															
学习任务												学时			
典型工作过程描述															
序号	姓名	第 1 个学习任务				第 2 个学习任务				第 3 个学习任务				总评	
		自评	互评	教师评	合计	自评	互评	教师评	合计	自评	互评	教师评	合计		
班级						教师签字								日期	