

项目一 三组单颗 LED 可充电照明手电 电筒的设计与装调



项目介绍

100 年前的一天，从俄国移民到美国的康拉德·休伯特下班回家，一位朋友自豪的向他展示了一个闪光的花盆。原来，他在花盆里装了一节电池和一个小灯泡。开关一开，灯泡照亮了花朵，显得光彩夺目。休伯特看得入了迷，这件事给他以启示。他想到有时在夜晚黑暗中走路，高一脚低一脚很不方便，而且就在不久前他还不得不提着笨重的油灯到漆黑的地下室找东西。如果能用电灯随身照明，不是既实用又很方便吗？于是，休伯特把电池和灯泡放在一个管子里，结果第一个手电筒问世了，从此给人们在黑暗中行走带来了光明。

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。在早期，因为电池的蓄电力不足，因此在英文中它被称为“flashlight”，意即短暂的灯。

自 19 世纪末手电筒发明以来，在人类社会一直得到广泛应用，随着电池、发光体、材料、电子技术、模具技术等的发展，手电筒发光体由传统的普通灯泡逐步演变为近几年的 LED 发光二极管等，结构形式也由传统的圆筒形演变为各种各样的结构形式，电池也由传统的干电池演变为现在可充电的蓄电池、镍氢电池、锂电池等，在使用的环境和范围上除了具有照明的基本功能外，还拓展了有恫吓、报警和高压自卫等功能（如有照明功能的电警棍）。

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，除大功率的单灯是新产品，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 充电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。

会设计和制作一个 LED 可充电式手电筒在我们的生活中有着较高的现实意义。本项目就是设计和装调一个市场常见的三组 LED 发光的可充电的小功率手电筒，如图 1.0.1 所示，要求：

（1）电池采用市场可售小容量可充电铅酸蓄电池（4V，400mA），如图 1.0.2 所示。



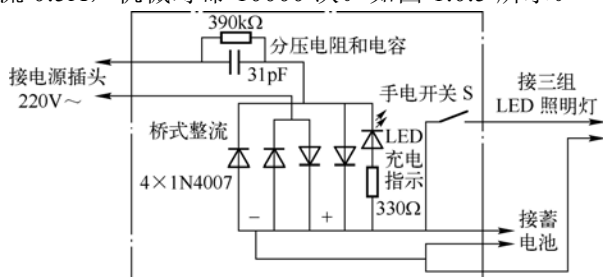
图 1.0.1 三组 LED 可充电手电筒



图 1.0.2 LED 手电筒蓄电池

(2) 充电器电路采用市场可售的主要由 4 只 IN4007 二极管构成的桥式可控整流电路, 图 1.0.3 (a) 为原理图, (b) 是实物图, 其工作原理可在完成项目五时, 自行分析。充电器电路充电插头是如图 1.0.4 所示的可伸缩滑动接触插头。

(3) 采用市场可售的拨动开关, 主要技术参数: 型号 SK-12D01, 最高耐压 500V, 额定发热电流 0.5A, 机械寿命 10000 次。如图 1.0.5 所示。



(a) 充电器和开关电路原理图



(b) 充电器和开关电路实物图

图 1.0.3 手电筒充电器和开关电路

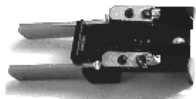


图 1.0.4 可伸缩滑动接触插头



图 1.0.5 手电筒拨动开关

(4) 拨动开关时无论在充电还是蓄电池供电, 三组 LED 灯均要发光, 每组 LED 均只有一颗 LED, 在蓄电池新充满电时每组发光功率要不低于 0.06W, 手电筒发光效率 (灯发光时输出功率与蓄电池对灯的输入功率之比) 不低于 80%, 一次满充电后, 可持续工作 6~8 小时。

(5) LED 单颗发光时工作电压要能在 1.5~3.6V 范围内可调。

(6) 根据所设计电路要求, 购买或定制塑料成品外壳和配件, 完成手电筒的装配制作。

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 可充电手电筒的装配和调试;
- (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、技能主要包括:

- (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) 具备直流电压、电流测量以及数据处理和分析的基本能力;
- (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, 最终达到知识、能力、素养的培养目标如下:

- (1) 掌握电阻器识别和选用的基本知识, 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、工作状态等基本知识以及电位、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照明电路;

- (5) 掌握发光二极管（LED）等非线性元件应用的基本知识，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。

任务一 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 项目工作单

项目编号	XMZX-JS-20□□□□□□	项目名称	三组单颗 LED 可充电照明手电筒的设计与装调
项目等级	宽松（ ） 一般（√） 较急（ ） 紧急（ ） 特急（ ）		
	不重要（ ） 普通（√） 重要（ ） 关键（ ）		
	暂缓（ ） 普通（ ） 尽快（√） 立即（ ）		
项目发布部门		项目执行部门	
项目执行组		项目执行人	
项目协办人		协办人职责	协助任务组长认真完成工作任务
项目工作内容描述	（1）项目实施文件制定及工作准备。 ① 填写项目工作单；② 分析项目工作内容并制定生产工作计划；③ 拟定组织保障、安全技术措施；④ 拟定资金落实及管理措施；⑤ 拟定人员安排方案；⑥ 安排好工作场地；⑦ 准备好生产材料、设备、工具等；⑧ 准备好仪器仪表；⑨ 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）。 （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、制作与调试以及三组 LED 可充电手电筒的装配和调试。 （5）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，撰写好工作小结		
项目实施步骤	① 制定好项目实施文件；② 完成项目工作准备；③ 单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试；④ 二组 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 三组 LED 可充电手电筒的装配和调试；⑦ 小组之间成果验收；⑧ 编写任务完成报告和验收报告；⑨ 工作评价		
计划开始日期		计划完成日期	
工时定额	项目文件制定	1.5 工时 *	
	项目实施准备	0.5 工时	
	项目实施	12 工时	
	成果验收及验收报告制定	1 工时	
	项目完成报告制定	2 工时（课后）	
	工作场地整理、技术资料和项目文件归档	1 工时（课后）	
理解与承诺	执行人（签字）： 年 月 日		
备注			

* 备注：表中 1 工时在组织教学时，可按 1 课时对等，以下同。

2. 生产工作计划

- (1) 填写好项目工作单，并熟悉工作内容及工作步骤，1 工时；
- (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 工时；
- (3) 项目实施工作准备，0.5 工时；
- (4) 单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试，5 工时；
- (5) 二组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试，3 工时；
- (6) 三组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试，3 工时；
- (7) 三组 LED 可充电手电筒的装配和调试，1 工时；
- (8) 完成对规定的项目工作小组成果验收，并完成验收报告制定，1 工时；
- (9) 本组项目完成报告的制定，2 工时（课后）；
- (10) 工作场地整理、技术资料和项目文件归档，1 工时（课后）。

组织保障措施、安全技术措施、资金落实措施、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 物资清单准备好材料、工具、生产设备、仪器仪表等。

表 1.1.2 物资清单

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	钢丝钳	150mm	1 把	
3	尖嘴钳	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	电子数显	1 支	
8	万用表	MF-47（指针）或 MS8261（数显）	1 只	含直流 mA 挡
9	直流毫安表		1 只	规格视实际条件自定
10	直流电压表		1 只	规格视实际条件自定
11	小容量可充电铅酸蓄电池	4V，400mAH	1 块	或根据情况自定
12	IN4007 二极管桥式整流电路块	输入端串接阻容并联电路降压（电阻 390k，电容 310J 250V）	1 块	根据购买或定制情况自定
13	可伸缩滑动接触插头		1 个	根据购买或定制情况自定
14	拨动开关	SK-12D01	1 个	或自定
15	发光二极管	白光、低电流通用，18mA 左右	3 个	
16	电阻器	10~200Ω，1/8W 普通电阻器	若干	每种规格不少于 3 个
17	电阻器	500Ω~5.5MΩ，1/8W 普通电阻器	若干	任选 10 种规格，每种规格不少于 3 个

续表

序号	材料、工具、生产设备、仪器仪表	规格、型号	数量	备 注
18	电位器	0~200Ω，可精调	1 个	
19	面包板		2 块	
20	面包板接插导线	BV-0.1mm ² ，单股铜芯	若干	
21	塑料导线	BV-0.25mm ² ，单股铜芯	若干	

注：规格、型号未注明的根据实际条件自定。

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

表 1.1.3 任务完成过程考评表

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、表现积极	按照拟定的平时表现考核表相关标准执行	20	
2	项目实施文件	项目实施文件数量齐全、质量合乎要求	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项扣 20 分；项目实施文件制定质量不合要求，有一项扣 10 分	40	
3	项目实施工作准备	积极认真按照要求完成项目实施的各项准备工作	有一项未准备扣 20 分；有一项准备不充分扣 10 分	40	
4	合计				
5	备注				

任务二 单组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试

一、任务准备

(一) 教师准备

(1) 教师准备好传统手电筒电路和单组 LED 灯工作电路设计的演示课件；

(2) 任务实施场地检查，任务实施材料、工具、仪器仪表等准备，技术和技术资料准备，组织管理措施，任务实施场所安全技术措施和管理制度等参考任务一的要求；

(3) 任务实施计划和步骤：①任务准备、学习有关知识；②电阻器阻值识读和测量；③单组 LED 灯工作电路设计；④单组 LED 灯工作电路线路制作；⑤电路调试、分析；⑥工作评价。

(二) 学生准备

(1) 衣着整洁，穿戴好劳保用品；无条件的学校，由学生自行穿好长袖衣、长裤和皮鞋等。

(2) 掌握好安全用电规程和触电抢救技能。

(3) 检查好材料、工具、仪器仪表。在实验员指导下，每个项目小组检查好材料、工具、仪器仪表等物资是否正常，是否合乎使用标准，对不符合使用标准的应予以更换。

(4) 学生准备好《电工基础技术项目工作手册》、记录本以及铅笔、圆珠笔、三角板、直尺、橡皮擦等文具。

(三) 实践应用知识的学习

知识学习内容 1 电路和电路模型

1. 实际电路及其基本组成

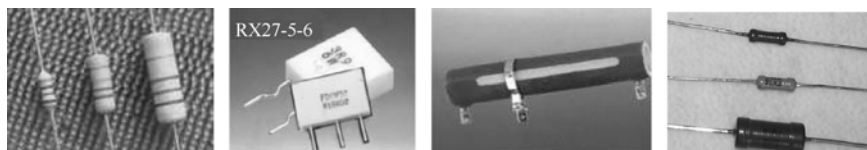
在实践中，为了达到某种目的，人们需要设计、安装一些实际电路，并让它运行。什么是

电路呢？由电阻器、电容器、线圈、变压器、晶体管、运算放大器、传输线、电池、发电机和信号发生器等一些电气器件和设备按一定的方式连接而成的电流的通路，称为（实际）电路。

图 1.2.1 所示的就是一些常见的电气器件和设备。



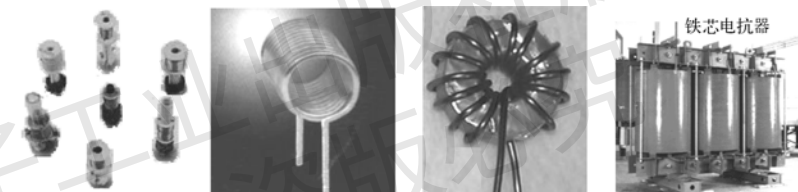
(a) 电源



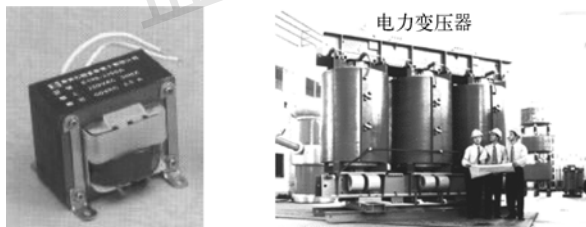
(b) 电阻器



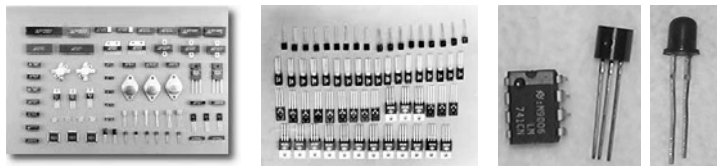
(c) 电容器



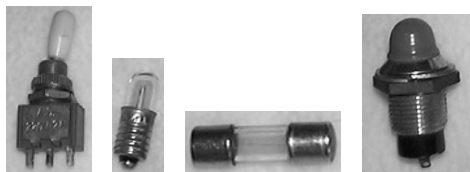
(d) 电感器



(e) 变压器



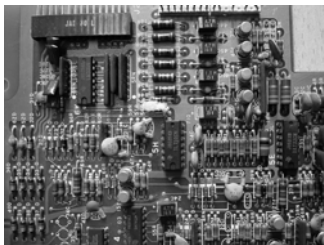
(f) 电子器件和集成块



(g) 低压电器

图 1.2.1 常见电气器件和设备

电路在日常生活、生产和科学研究工作中得到了广泛应用。在收录机、电视机、录像机、音响设备、计算机、通信系统和电力网络中都可以看到各种各样的电路,如图 1.2.2 (a)、(b) 所示分别是电子电路、电气设备电路,这些电路的特性和作用各不相同。电路的一种作用是实现电能的传输、分配和使用。例如,电力网络将电能从发电厂输送到各个工厂、广大农村和千家万户,供各种电气设备使用。电路的另外一种作用是实现电信号的传输、变换、处理和存储。



(a) 电子电路



(b) 电气设备电路

图 1.2.2 电子电气电路

电路的形式多种多样,有的简单,有的复杂,但不管具体结构如何,从组成上来看,一个完整的实际电路应包括电源、负载、控制和保护器件、连接导线等 4 部分,才能正常工作。电源是提供电能或电信号的设备和器件,常指干电池、蓄电池、整流稳压装置、发电机、信号发生装置等设备[如图 1.2.1 (a) 所示];负载是使用电能或输出信号的设备,如一台电视机可看作是强电系统的负载,而其中的扬声器或显像管又是信号处理设备自身的负载;控制和保护器件是控制电路工作状态(如通断)或保护电路安全的器件或设备(如开关、熔断器等);连接导线是将电气设备和元器件按一定方式连接起来的导线(如各种铜、铝电缆线等)。

2. 理想元件和电路模型

1) 理想元件

电路是由电磁特性相当复杂的元器件组成的,为了便于使用数学方法对电路进行分析,必须在一定的条件下,对实际器件加以理想化处理,即忽略它的次要性质,用表征它们主要性质的理想电路元件或它们的组合来表示实际器件。实际电路中的各种电气设备和元器件被一些能够表征它们主要电磁特性的理想元件(模型)来代替了,而对它的实际上的结构、材料、形状等非主要的电磁特性不予考虑,这有利于我们把握实际电路工作的主要问题,便于我们分析预见实际电路工作的主要结果。

我们将实际电路器件理想化而得到的只具有某种单一电磁性质的元件,称为理想电路元件,简称为电路元件。理想电路元件是具有某种确定电磁性质的理想元件,是一种理想化模型并具有精确的数学定义。

电阻就是用以反映能量损耗的电路元件。当一个电气设备或器件的功绩是将电能转换为热能或光能时,如电炉、电灯泡,我们就可将其视为一个电阻元件。电容用以反映电场储能性质的电路元件。电感用以反映磁场储能性质的电路元件。表示电力能源供给的电源可用电压源元件和电流源元件来建模。上述元件的电路符号参见表 1.2.1。

实际器件不只表现出一种电路性质,在用理想电路元件建模时,要根据实际条件而定。例如:一个线圈在直流情况下的模型是一个电阻元件,如图 1.2.3 (a) 所示;在较低频率情况下的模型是一个电阻元件、一个电感元件的串联组合,如图 1.2.3 (b) 所示;而当频率较高时,还要考虑电容效应,其模型中还应并联电容元件,如图 1.2.3 (c) 所示。

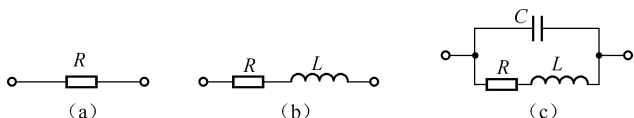


图 1.2.3 线圈用理想元件表示的模型

2) 电路模型

由理想电路元件互相连接组成的电路称为电路模型。常用的电气图用图形符号如见表 1.2.2 所示。电路模型是实际电路的抽象近似，它近似地反映实际电路的电气特性，电路模型由一些理想电路元件用理想导线连接而成，用不同特性的电路元件按照不同的方式连接就构成不同特性的电路，应当通过对电路的物理过程的观察分析来确定一个实际电路用什么样的电路模型表示。模型取得恰当，对电路的分析与计算的结果就与实际情况接近。下面我们就以传统的小灯泡手电筒为例，来分析一下电路模型的建立过程，如图 1.2.4 所示。

表 1.2.1 部分电路元件的图形符号

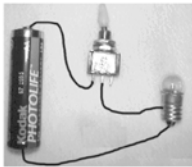
名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
独立电流源		理想导线		电容	
独立电压源		连接的导线		电感	
受控电流源		电位参考点		理想变压器耦合电感	
受控电压源		理想开关		回转器	
电阻		开路		理想运算放大器	
可变电阻		短路		二端元件	
非线性电阻		理想二极管			

表 1.2.2 部分电气图用图形符号（根据国家标准 GB4728）

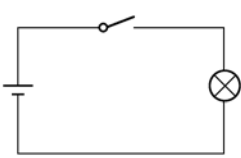
名 称	符 号	名 称	符 号	名 称	符 号
导线		传声器		电阻器	
连接的导线		扬声器		可变电阻器	
接地		二极管		电容器	
接机壳		稳压二极管		线圈，绕组	
开关		隧道二极管		变压器	
熔断器		晶体管		铁芯变压器	
灯		运算放大器		直流发电机	
电压表		电池		直流电动机	



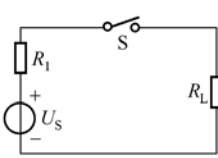
(a) 实物图



(b) 实际电路图



(c) 电原理图（电气图）



(d) 电路模型

图 1.2.4 手电筒电路模型的建立过程

需要说明的是今后所指电路均指由理想电路元件构成的电路模型。理想电路元件及其组合虽然与实际电路元件的性能不完全一致，但在一定条件下，工程上允许的近似范围内，实际电路完全可以用理想电路元件组成的电路代替，从而使电路的分析与计算得到简化。

综上所述，把实际电路用电路模型代替，其最终目的是通过对电路模型的分析计算来预测实际电路的特性，从而改进实际电路的电气特性和设计出新的电路。

3. 电路的三种工作状态

(1) 通路（闭路）：电源与负载接通，电路中有电流通过，电气设备或元器件获得一定的电压和电功率，进行能量转换。

(2) 开路(断路): 电路中没有电流通过, 又称为空载状态。

(3) 短路(捷路): 电源两端的导线直接相连接, 输出电流过大对电源来说属于严重过载, 如没有保护措施, 电源或电器会被烧毁或发生火灾, 所以通常要在电路或电气设备中安装熔断器、保险丝等保护装置, 以避免发生短路时出现不良后果。

知识学习内容 2 电路的基本物理量及其参考方向

电路的电气特性是通过电流、电压和电功率等物理量来描述的。在电路分析与设计中, 主要是通过计算电流、电压和电功率来定量地描述电路的状态或电路元件的特征。

1. 电流及其参考方向

电荷的定向运动称为电流。我们用电流强度来衡量电流的强弱。电流强度指的是单位时间内通过导体横截面积的电荷量, 电流强度简称电流。如图 1.2.5 所示, 假设在 dt 时间内通过导体截面 S 的电量为 dq , 则电流强度为

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-2-1)$$

随时间变化的电流用小写字母 i 表示; 不随时间变化的电流, 如直流, 用大写字母 I 表示。在国际单位制中, 电流的单位是安培(A), 简称安。若 1 秒钟内通过某导体截面的电荷量为 1 库仑(C), 则电流为 1 安(A)。常用的电流单位还有千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)等, 它们的换算关系为

$$1\text{kA}=10^3\text{A}, 1\text{mA}=10^{-3}\text{A}, 1\mu\text{A}=10^{-6}\text{A}$$

电流不仅有大小, 而且有方向, 习惯上规定正电荷运动的方向为电流的正方向, 也就是电流的实际方向。在讨论分析电路时, 要涉及到电流的方向, 而事先往往很难判断出电路电流的真实方向。为解决这个问题, 可采用先任意假定它们的方向的办法, 这种任意假定的方向称为参考方向。在参考方向下, 电流为代数量。电流参考方向用箭头来表示, 如图 1.2.6 所示 I 的参考方向。当电流的参考方向与实际方向一致时, 电流为正值, 如图 1.2.6 (a) 所示; 否则为负值, 如图 1.2.6 (b) 所示, 据此可以确定电流的实际方向。由此可知, 在参考方向选定之后, 电流就有了正值和负值之分, 电流值的正负符号就反映了电流的实际方向。显然, 在未标识参考方向的情况下, 电流的正负是毫无意义的。在书写时, 也可下标字母来表示电流的参考方向, 如图中参考方向也可表示为 I_{ab} , 表示参考方向是从 a 流向 b。图 1.2.6 (a) 中, $I_{ab}=2\text{A}$, (b) 中, $I_{ab}=-2\text{A}$ 。

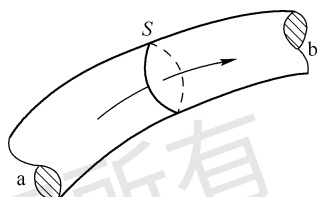


图 1.2.5 导体中的电流

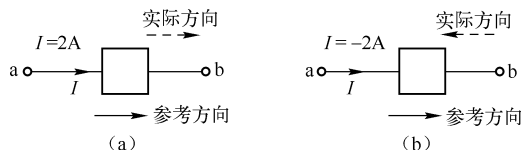


图 1.2.6 电流实际方向及其参考方向

2. 电压及其参考方向

将单位正电荷自电场中某一点 a 移到参考点(物理中一般将无穷远处选作参考点)时获得或失去的能量的大小称为 a 点的电位。而电路中 a、b 两点之间的电位差即为这两点间的电压。电路中 a、b 两点间的电压表明了单位正电荷由 a 点移到 b 点时所获得或失去的能量, 用数学式表示, 即为

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-2-2)$$

式中, dq 为由 a 点移到 b 点的电荷量, 单位为库仑(C); dw 是移动过程中, 电荷 dq 所获得或失去的能量, 单位为焦耳(J); 电压的单位为伏特(V), 有时使用千伏(kV)或毫伏(mV)微伏(μ V), 它们关系是

$$1\text{kV}=10^3\text{V}, 1\text{mV}=10^{-3}\text{V}, 1\mu\text{V}=10^{-6}\text{V}$$

在电路中,电压参考方向可用箭头表示,也可在元件或电路的两端用“+”、“-”符号来表示,或用带下脚标的字母表示。如 u_{ab} , 脚标中的第一个字母 a 表示假设电压参考方向的正极性端,第二个字母 b 表示假设电压参考方向的负极性端。电压参考方向的三种表示方法,如图 1.2.7 所示。若电路计算分析结果电压是负值,表示电压实际方向是从 b 指向 a 。

一个元件的电压或电流的参考方向可以独立地任意假定。如果指定流过元件的电流参考方向是从标以电压正极性的一端指向负极性的一端,即两者的参考方向一致,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,如图 1.2.8 (a) 所示;当两者不一致时,称为非关联参考方向,如图 1.2.8 (b) 所示。

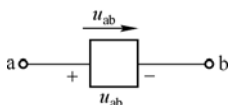


图 1.2.7 电压参考方向三种表示方法



(a) 关联参考方向 (b) 非关联参考方向
图 1.2.8 关联和非关联参考方向

3. 电位参考点

为了便于分析电路,常在电路中任意指定一点作为参考点,假定该点电位是零(用符号“ $\perp$ ”表示),则由电压的定义可以知道,电路中的 a 点与参考点间的电压即为 a 点相对于参考点的电位,因此我们可以用电位的高低(大小)来衡量电路中某点电场能量的大小。电路中参考点的位置原则上可以任意指定,参考点不同,各点电位的高低也不同,但是电路中任意两点间的电压与参考点的选择无关。在实际电路中,常以大地或仪器设备的金属机壳(或底板)作为电路的参考点,参考点又常称为接地点。

【例 1.2.1】 如图 1.2.9 所示的电路中,已知 $U_1=10V$, $U_2=-16V$, $U_3=-4V$, 参考方向如图所示,试求:(1) U_{ab} ; (2) 若分别选取 c 、 d 两点为参考点,则分别求其他各点的电位;(3) 若电流参考方向如图所示,则指出各元件电压与电流的参考方向是关联还是非关联方向。

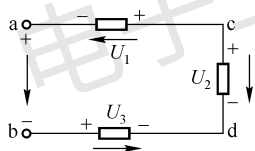


图 1.2.9 例 1.2.1 图

解 (1) $U_{ab} = -U_1 + U_2 - U_3 = 10 + (-16) - (-4) = -22V$
 (2) c 点为参考点, $U_a = -10V$, $U_b = U_a - U_{ab} = -10 - (-22) = 12V$,
 $U_d = U_c - U_{cd} = 0 - (-16) = 16V$
 d 点为参考点, $U_b = U_3 = -4V$, $U_a = U_{ab} + U_b = -22 + (-4) = -26V$
 $U_c = U_2 = -16V$

(3) 元件 1 和 3 为非关联参考方向, 元件 2 为关联参考方向。

4. 电功率和电能

电场力推动正电荷在电路中运动时, 电场力作功, 同时电路吸收能量, 电路在单位时间内吸收的能量称为电路吸收的电功率, 简称功率。

如图 1.2.10 所示的 ab 电路段, 电流和电压的参考方向一致, 在 dt 时间内通过电路段的电荷量为 $dq=idt$, dq 的电荷量由 a 端通过 ab 电路段移到 b 端, 电场力作功为 $dW=udq$, 即在此过程中, 电路段吸收的电能为

$$dW = ui \, dt \quad (1-2-3)$$

吸收的瞬时功率为

$$p = \frac{dW}{dt} = ui \quad (1-2-4)$$

对直流电路有

$$P = UI \quad (1-2-5)$$

在国际单位制(SI)中, 功率的单位是瓦[特], 符号为 W , 由式(1-2-4)可知, $1W=1V \times 1A$, 工程上常用的功率单位还有 MW (兆瓦)、 kW (千瓦)、 mW (毫瓦)等, 它们之间的关系分别是:

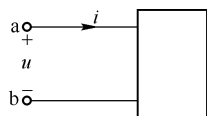


图 1.2.10 电路的功率

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

电能是功率对时间的积分, 由 t_0 至 t 时间内电路吸收的能量 w 由下式表示:

$$w = \int_{t_0}^t p dt = \int_{t_0}^t ui dt \quad (1-2-6)$$

对直流电路

$$W = P(t - t_0) \quad (1-2-7)$$

当式 (1-2-6) 中 p 的单位为瓦时, 符号为 W , 能量 W 的单位为焦[耳], 符号为 J , 它等于功率为 1W 的用电设备在 1s 内消耗的电能。工程和生活中还常用千瓦小时 ($\text{kW}\cdot\text{h}$) 作为电能的单位, $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 俗称 1 度 (电)。

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

需要强调的是: 由于电压与电流均为代数量, 因而功率也可正可负。在电压与电流为关联参考方向时, 若 $p > 0$, 表示元件实际吸收功率; 若 $p < 0$, 表示元件实际发出或提供功率。若电压与电流为非关联参考方向, 则情况相反。

知识学习内容 3 电阻元件

1. 线性和非线性电阻

电路中电阻元件是实际的电阻器、半导体器件的体电阻以及各类电路元件内部耗能电阻部分的抽象。在物理学中, 用电阻来表示导体对电流阻碍作用的大小。导体的电阻越大, 表示导体对电流的阻碍作用越大。不同的导体, 电阻一般不同, 电阻是导体本身的一种特性。电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件。

在关联参考方向下, 我们把任何时刻反映电阻两端电压 u 和通过电阻的电流 i 之间关系的曲线, 称之为伏安特性曲线。如果电阻元件的伏安特性曲线是一条通过原点的直线, 如图 1.2.11 所示, 则该电阻为线性电阻。如果电阻元件的伏安特性曲线不是通过原点的直线, 如图 1.2.12 所示, 则该电阻为非线性电阻。今后, 若无特别说明, 书中电阻一词均指线性电阻。

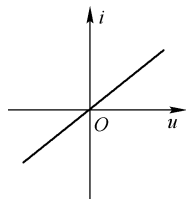


图 1.2.11 线性电阻的伏安特性

在图 1.2.11 所示关联参考方向的条件下, 线性电阻两端电压 u 和通过电阻的电流 i 成正比, 若令比例系数为 R , 即有表达式

$$u = Ri \quad (1-2-8)$$

这样的关系就是欧姆定律。

线性电阻元件的电路符号如图 1.2.13 所示。 R 称为元件的电阻, 它表示元件对电流的阻碍能力, 当电压单位为伏特 (V), 电流单位为安培 (A) 时, 电阻的单位为欧姆 (Ω), 简称欧。常用单位还有千欧 ($\text{k}\Omega$)、兆欧 ($\text{M}\Omega$), 它们之间关系是 $1\text{k}\Omega=10^3\Omega$, $1\text{M}\Omega=10^6\Omega$ 。

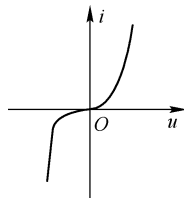


图 1.2.12 非线性电阻的伏安特性

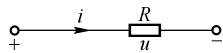


图 1.2.13 线性电阻电路符号

令 $G=i/u$, 则欧姆定律还可以表示为

$$i = Gu \quad (1-2-9)$$

式中, G 称为元件的电导, 表示元件对电流的传导能力。电导的单位是西门子 (S), 简称西。

电阻是所有电子电路中使用最多的元件。有些物质在低温条件下电阻为零, 被称为超导体。电阻元件的电阻值大小一般与温度有关, 衡量电阻受温度影响大小的物理量是温度系数, 其定义为温度每升高 1°C 时电阻值发生变化的百分数。

实验证明, 金属导体的电阻值不仅和导体材料的成分有关, 还和导体的几何尺寸及温度有关。一般地, 横截面积为 $S(\text{m}^2)$ 、长度为 $L(\text{m})$ 的均匀导体, 其电阻 $R(\Omega)$ 为

$$R = \rho \frac{L}{S} \tag{1-2-10}$$

式中 ρ 为电阻率，单位是欧姆·米（ $\Omega \cdot \text{m}$ ），常用导电材料的电阻率见表 1.2.3，导体温度不同时，其电阻值一般不同，可用下式计算：

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \tag{1-2-11}$$

表 1.2.3 常用导电材料的电阻率

材 料	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	材 料	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	材 料	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$
银（化学纯）	1.47×10^{-8}	钨	5.3×10^{-8}	铁（化学纯）	9.6×10^{-8}
铜（化学纯）	1.55×10^{-8}	铂	9.8×10^{-8}	铁（工业纯）	12×10^{-8}
铜（工业纯）	1.7×10^{-8}	锰铜	42×10^{-8}	镍铬铁	12×10^{-8}
铝	2.5×10^{-8}	康铜	44×10^{-8}	铝铬铁	120×10^{-8}

式中， R_1 是温度为 t_1 时导体的电阻值； R_2 是温度 t_1 为时导体的电阻值， α 是材料的电阻温度系数，即导体温度每升高 1°C 时，其电阻值增大的百分数，单位是每摄氏度（ $1/^\circ\text{C}$ ）。材料的 α 值愈小，电阻的阻值愈稳定。常用导电材料的电阻温度系数见表 1.2.4。

表 1.2.4 常用导电材料的电阻温度系数

材 料	$\alpha/(1/^\circ\text{C})$	材 料	$\alpha/(1/^\circ\text{C})$	材 料	$\alpha/(1/^\circ\text{C})$
银（化学纯）	4.1×10^{-3}	钨	4.8×10^{-3}	铁（化学纯）	6.6×10^{-3}
铜（化学纯）	4.3×10^{-3}	铂	3.9×10^{-3}	铁（工业纯）	6.6×10^{-3}
铜（工业纯）	4.25×10^{-3}	锰铜	0.005×10^{-3}	镍铬铁	0.13×10^{-3}
铝	4.7×10^{-3}	康铜	0.005×10^{-3}	铝铬铁	0.08×10^{-3}

对非线性电阻来说，在任何时刻，其电压和电流也是能满足欧姆定律的，只是其电阻值在电路中工作时会不断改变。非线性电阻的电路符号如图 1.2.14 所示。

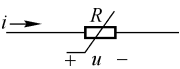


图 1.2.14 非线性电阻电路符号

电阻元件是无“记忆”的元件，电流与电压是同时存在、同时消失的。当电压和电流取关联参考方向时，电阻元件消耗的功率为

$$p = ui = i^2 R = \frac{u^2}{R} \tag{1-2-12}$$

电阻元件从 t_1 到 t_2 时间内吸收的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} ui \, dt = R \int_{t_1}^{t_2} i^2 \, dt \tag{1-2-13}$$

电阻元件一般把吸收的电能转换成热能消耗掉。

2. 电阻器的实践应用知识

1) 电阻器的分类

电阻器分为固定电阻器和可变电阻器两类。常用的固定电阻器有线绕电阻、薄膜电阻、实心电阻三种。可变电阻器的阻值可在一定范围内变化，具有三个引出端的常称为电位器。

2) 电阻器的主要技术指标

电阻器的指标是指标称阻值、允许偏差、标称功率、稳定性、温度特性等，其中主要指标是标称阻值、允许偏差和标称功率。

(1) 标称功率（额定功率）

标称功率是指电阻器长时间连续工作不损坏，或不显著改变其性能所允许消耗的最大功率。小于 1W 的电阻器在电路图中不用数值标出额定功率，大于 1W 的电阻器用阿拉伯数字表示。

(2) 标称阻值

为了便于生产，同时考虑到能够满足实际使用，国家规定了一系列数值为产品的标准，这一系列值叫做电阻的标称系列值。

(3) 允许偏差

电阻器的标称阻值与实际阻值不完全相符，存在着误差（偏差）。允许偏差表示电阻器阻值的准确程度，常用百分数表示，如±5%、±10%等。

3) 电阻器的标志方法

电阻器的标称值和允许偏差一般都标注在电阻体上，标志方法有三种：直标法、文字符号法和色环（色标）法。

(1) 直标法

用阿拉伯数字和单位符号在电阻器的表面标出标称阻值，其允许偏差直接用百分数表示。

(2) 文字符号法

用阿拉伯数字和文字符号两者有规律地组合来表示标称阻值和允许偏差。表示允许偏差的文字符号见表 1.2.5。表示电阻单位的文字前面的数字表示整数阻值，后面的数字依次表示第一位小数阻值和第二位小数阻值，如 1R5 表示 1.5Ω，3k9 表示 3.9kΩ。其符号见表 1.2.6。

表 1.2.5 表示允许偏差的文字符号

偏差/%	±0.1	±0.25	±0.5	±1	±2	±5	±10	±20	±30
文字符号	B	C	D	F	G	J	K	M	N

表 1.2.6 表示电阻单位的文字符号

文字符号	R	K	M	G	T
所表示的单位	欧姆（Ω）	千欧（kΩ）	兆欧（MΩ）10 ⁶ Ω	吉欧（GΩ）10 ⁹ Ω	太欧（TΩ）10 ¹² Ω

(3) 色环法

色标法是用颜色表示元件（不仅仅是电阻元件）的各种参数并直接标示在产品上的一种标志方法。采用色环标志的电阻器，颜色醒目，标志清晰，不易褪色，从各个方向都能看清阻值和偏差，有利于电气设备的装配、调试和检修，应用广泛。色标的基本色码及意义见表 1.2.7。

表 1.2.7 电阻值的色标符号

颜 色	有 效 数 字	倍 乘	允许偏差/%	颜 色	有 效 数 字	倍 乘	允许偏差/%
银	—	10 ⁻²	±10	黄	4	10 ⁴	—
金	—	10 ⁻¹	±5	绿	5	10 ⁵	±0.5
黑	0	10 ⁰	—	蓝	6	10 ⁶	±0.2
棕	1	10 ¹	±1	紫	7	10 ⁷	±0.1
红	2	10 ²	±2	灰	8	10 ⁸	—
橙	3	10 ³	—	白	9	10 ⁹	+50 -20

色环电阻器可分为三环、四环、五环三种标法，图 1.2.15 所示为三环和五环的标法。

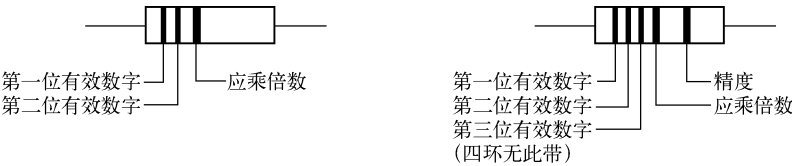


图 1.2.15 色环电阻器的标注方法

4) 电阻器的测量与质量鉴别

(1) 电阻器的测量：通常可用万用表电阻进行测量。测量时手指不要碰触被测固定电阻器的两根引线，避免并入人体电阻影，响测量的准确度。

(2) 电阻器的质量差别：电阻器的电阻体或引线折断及烧焦等，可以从外观上看出，内部损坏或阻值变化较大，可用万用表欧姆挡测量核对。若电阻内部或引线有缺陷，以致接触不良，用手轻轻地摇动引线，可以发现松动现象；用万用表测时，指针指示不稳定。

(3) 电位器的质量判别：图 1.2.16 所示是最常见的碳膜电位器。焊片“1”和“3”两端的电阻值是电位器的标称阻值，焊片“2”是转动的活动臂引出端。用万用表测焊片“2”、“3”之

间电阻值，顺时针旋转电位器轴，阻值应从零变化到电位器标称值；焊片“1”和“2”之间的变化相反。测量过程中如万用表指针平稳移动而无跌落、跳跃或抖动等现象，说明电位器正常。

5) 电阻器的选用

根据电路和设备的实际要求选用电阻器，从电气性能到经济价值等方面综合考虑，不要片面采用高精度和非标准系列电阻器。一般场合下，主要是根据阻值、额定功率、允许偏差的要求来选择适合的电阻器。就是说，电阻的标称阻值应与电路要求相符，额定功率应该是电阻器在电路中实际消耗的功率的 1.5~2 倍，允许偏差在要求的范围之内。

国产电阻器的型号，国家有统一规定。例如，RX 表示绕线电阻器，RT 表示碳膜电阻器，RJ 表示金属膜电阻器，RS 表示实心电阻器等。

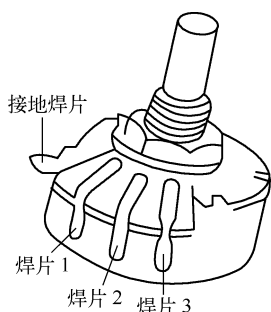


图 1.2.16 碳膜电阻器

知识学习内容 4 电源及其电路模型

电路中电压源的电压，电流源的电流是由本身决定的，与电路中其他支路的电压、电流无关称为独立源。常用的独立源有发电机和电池等。

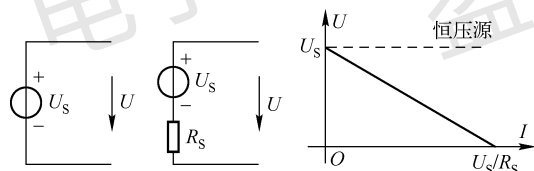
1. 电压源

1) 实际电压源模型及其外特性

电源电压恒定不变的电源称为恒压源，也称理想电压源，理想电压源内部无内阻。其电路符号如图 1.2.17 (a) 所示。

实际电压源在工作中，电荷在电源内部移动要受到阻碍并消耗能量，故建模时可用一个电阻 R_S 等效，这个电阻称为电源的内阻。因此，在实际电路中由于存在内阻 R_S ，电流在 R_S 上会产生电压降，使电源两端的电压 U 要随着电路电流 I 的增大而降低，其关系表达式为

$$U = U_S - IR_S \quad (1-2-14)$$



(a) 恒压源 (b) 实际电压源 (c) 电压源外特性曲线

表示电源的端电压 U 与负载电流 I 的关系曲线称为外特性曲线。恒压源、实际电压源电路模型及电压源外特性曲线如图 1.2.17 所示。

电源的内阻 R_S 越小，电源两端的电压越稳定。在图 1.2.17 (c) 中， U_S 是外部电流为 0 时，电压源端电压，其实质就是实际电压源的电动势。

U_S/R_S 是电源端部短路时的短路电流。短路电流不能持续时间长，否则电源会烧坏。当电源在负载电流比短路电流小得多的范围内工作时，实际电压源端电压基本恒定。

2) 电压源电动势

相对于电源外部正负两极间的外电路而言，通常把电源内部正负两极间的电路称为内电路。在电场力的作用下，正电荷源源不断地从电源正极经外电路到达负极，于是正极上的正电荷数量不断减少。如果要维持电流在外电路中流通，并保持恒定，就要使移动到电源负极上的正电荷经过电源内部回到电源正极。电场力把单位正电荷从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功，叫做该电源的电动势，用字母 E 表示，就是实际电压源模型中的 U_S 。

电动势是衡量电场力做功能力的物理量，它把正电荷从低电位点（电源负极）移向高电位点（电源正极），故电动势的方向是从低电位点指向高电位点，即电位升的方向。这与端电压的方向正好相反。

2. 电流源

如果电源的电流恒定不变则称为恒流源，即理想电流源，其内阻为无穷大。图 1.2.18 (a) 所示为恒流源， I_S 为恒流源的电流；实际电流源可在恒流源两端并联一内阻 R_S 来建模，图 1.2.18 (b) 所示为实际电流源电路模型；图 1.2.18 (c) 所示为实际电流源的外特性曲线。

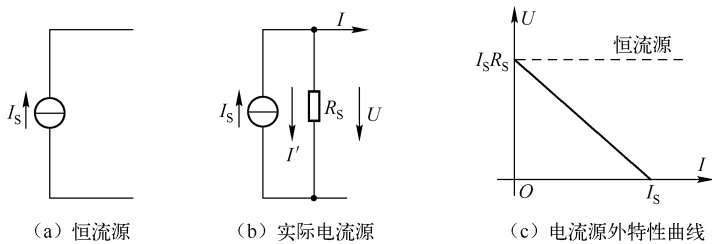


图 1.2.18 恒流源、实际电流源和电流源外特性曲线

3. 两种电源的等效变换

实际两种电源在电路分析时可以互相等效转换。实际电压源可转换为一个理想电流源 I_S 与一个内阻 R_S 并联形式，此时理想电压源电压 U_S （即电压源电动势）与 I_S 之间转换关系为 $I_S = U_S/R_S$ ，电流源内阻 R_S 即电压源内阻 R_S 。实际电流源也可转换为一个理想电压源 U_S 与一个内阻 R_S 串联形式，此时理想电流源电流 I_S 与 U_S 之间转换关系为 $U_S = I_S R_S$ ，电压源内阻 R_S 即电流源内阻 R_S 。两种实际电源的等效变换关系，我们可在后面项目中掌握了戴维南定理和诺顿定理基础上得到进一步证明。

4. 受控电源

根据电压源的控制量是电流或电压，受控电源分为：电压控制电压源（VCVS），电流控制电压源（CCVS）。根据电流源的控制量是电压或电流，有电压控制电流源（VCCS），电流控制电流源（CCCS）。受控源的符号，如图 1.2.19 所示。这时电压源、电流源的电压、电流受电路中其他支路元件的电压或电流控制。

μ 、 r 、 g 、 β 是控制系数，其中 μ 和 β 是量纲为 1 的值； r 和 g 分别具有电阻和电导的量纲。当这些控制系数为常数时，受控源就是线性受控源，在本书中只考虑线性受控源。

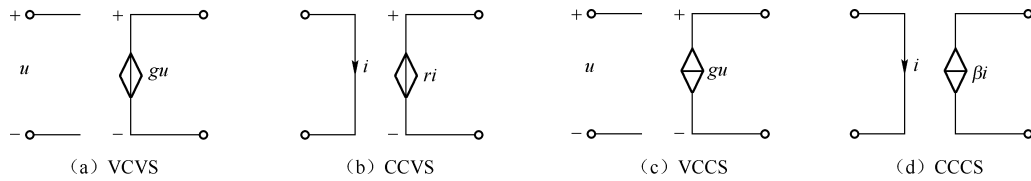


图 1.2.19 受控源及其符号

知识学习内容 5 单管 LED 发光电路的设计分析

LED（发光二极管）手电筒电路一般都是由多组 LED 发光电路组成的，每组电路可以由一个或一个以上的 LED 组成，在本项目中要求是每组由一个 LED 组成。根据实际电路的基本组成知道，在单管 LED 发光电路中，我们需要电源、负载、控制开关和导线，但在设计一个实际电路时，仅仅知道电路的基本组成是远远不够的，我们还必须要充分考虑到每一个基本组成元件能否在设计的电路中正常工作，使实际电路达到我们所预期的工作效果和工作要求，以避免电路组成元件的盲目选用，以及电路的不合理设计给生产或生活带来不必要的损失或危害。如何科学、合理地设计工作电路和预期分析所达到的工作效果，这就要求我们要能根据电路实际工作要求及电路实际元器件的工

作特点，建立实际电路的电路工作模型（电路原理图），对电路模型充分分析，针对不足，不断完善设计。对一些较复杂的电子电路可以在充分设计基础上，进一步实验分析，优化电路设计。

1. 电源

根据本项目设计要求知道，手电筒电路采用的电源是市场可售的 LED 手电筒通用可充电小容量蓄电池（标准电压 4V，标准容量 400mAH），如图 1.2.20 所示。在蓄电池工作过程中，相当于一个实际电压源，使用时自身内部也需要消耗电能，其等效电路模型可采用图 1.2.17（b）所示的电路模型。电路模型中电动势 $E(U_S)$ ，因市场上蓄电池个体的差异，可在购置充满电后，开路情况下由万用表测量蓄电池端子电压确定，电池内阻也会因工作情况不同，而有一定的差异。但作为一个合格的实际电源，在使用过程中要满足电源的外部特性。根据蓄电池标准容量 400mAH、单颗 LED 最大工作电流按 20mA 来估算，该电池可维持三组单管 LED 灯工作 6~8h，满足手电筒工作设计要求。



图 1.2.20 LED 手电筒
蓄电池 (4V/400mAH)

LED 手电筒蓄电池在使用过程中要注意以下几点事项：

- (1) 蓄电池应在 0~30℃ 的环境下储存，存放的蓄电池应每 4 个月进行一次充电；存放时间最长不能超过一年，否则电池容量及寿命将会减小；
- (2) 蓄电池存放前应为满荷电状态，或者使用后对电池进行充电后再存放，不允许放电后存放；
- (3) 蓄电池不可倒置使用，以免有电解液漏出；
- (4) 蓄电池寿命终止时，应妥善处理，随意遗弃会造成环境污染；
- (5) 不能使用有机溶剂清洁蓄电池，否则会损伤壳体。

2. 负载

负载就是单颗 LED 灯。用于照明的 LED 发光二极管，如图 1.2.21 所示，正常工作电流为 15~18mA，最大一般不超过 20mA，能发光的工作电压为 1.5~3.6V，一般用于照明时，正常工作电压可取为 3~3.6V，耗电量少单颗功率一般只有 0.03~0.06W。LED 发光二极管采用直流电源驱动，两个管脚有正负之分，长脚为正极，短脚为负极，连接时不能接错，否则因为发光二极管的单向导电性，LED 不能正常发光。单颗 LED 工作原理可在项目六实施时进一步学习。

LED 发光二极管正常发光时，把电能转换为光能照明，其实质就是一种电阻，但这个电阻的阻值不是固定的。未使用时，用指针万用表的 $R \times 10k\Omega$ 挡测量 LED，其正向、反向电阻均比普通二极管大得多，可达到几十 $M\Omega$ 以上。但在正常发光时，只有 100~200 Ω ，而且会随工作电压和工作电流的不同，阻值也会有所不同，故建模时，我们可以用非线性时变电阻元件 R_D 来建模。发光二极管的电路模型如图 1.2.22（a）所示，模型中理想二极管 VD 代表其具有单向导电性能。理想二极管其正向电阻阻值为 0，反向电阻阻值为 ∞ ，流过的电流只能由正极流向负极。

但电源是 4V 的蓄电池，而小容量 LED 手筒单管 LED 的正常工作电压 U_F 只有 3~3.6V，工作电流 I_F 一般只有 15~18mA，故需要用一个电阻器 R_1 与 LED 连接，起到调节 LED 工作电压和工作电流的作用，如图 1.2.22（b）所示， R_1 的阻值可按下式选择：



图 1.2.21 LED 发光二极管

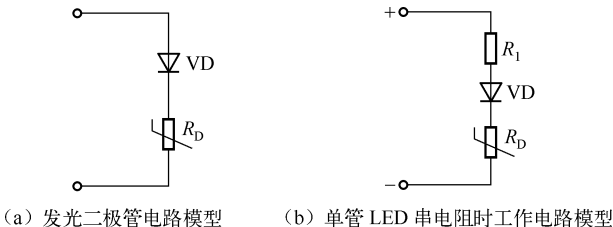


图 1.2.22 单管 LED 电路模型

$$R_1 = \frac{E - U_F}{I_F} \quad (1-2-15)$$

式中, E 是电源电动势; 电阻器 R_1 的实际功率只有 10mW 左右, 故选择时只要按市场普通电阻 (额定功率 1/8W) 选用便可。

3. 控制开关

根据设计要求, 控制开关是采用市场可售的拨动开关, 主要技术参数: 型号 SK-12D01, 最高耐压 500V, 额定发热电流 0.5A, 机械寿命 10000 次。电压和机械寿命都能满足手电筒实际需要, 主要应分析额定电流是否满足负载需要。三组 LED 手电筒, 每组电路工作电流只有 18mA, 所以正常工作时负载电流只有 0.05~0.06A, 远小于开关额定发热电流 0.5A。

4. 导线

电路中绝缘导线从材质上一般有铜、铝两种, 选用时要先统计线路负载电流, 然后根据导线的载流量 (能承载的最大负载电流), 来确定导线的标称截面规格。在实际应用时, 可依据以下几个原则来选用:

(1) 一般铜导线安全载流量是根据所允许的线芯最高温度、冷却条件、敷设条件来确定的。一般铜导线的安全载流量为 5~8A/mm², 铝导线的安全载流量为 3~5A/mm²。如: 2.5mm² BVV 铜导线安全载流量的推荐值 2.5×8A/mm²=20A。

(2) 利用铜导线的安全载流量推荐值 5~8A/mm², 计算出所选取铜导线截面积 S 的范围:

$$S = I / (5 \sim 8) = 0.125I \sim 0.2I (\text{mm}^2) \quad (1-2-16)$$

式中, S 是铜导线截面积 (mm²), I 是负载电流 (A)。

(3) 绝缘导线载流量估算口诀 (工程应用经验): “10 下五, 100 上二, 16、25 四, 35、50 三, 70、95 两倍半, 穿管、温度八、九折, 裸线加一半, 铜线升级算”。

每句的解释如下。

10 下五: 对于截面积为 1.5、2.5、4、6、10mm² 的导线可将其截面积数乘以 5 倍。

16、25 四: 对于截面积为 16、25mm² 的导线可将其截面积数乘以 4 倍。

35、50 三: 对于截面积为 35、50mm² 的导线可将其截面积数乘以 3 倍。

70、95 两倍半: 对于截面积为 70、95mm² 的导线可将其截面积数乘以 2.5 倍。

100 上二: 对于截面积为 120、150、185、240mm² 的导线可将其截面积数乘以 2 倍。

穿管、温度八、九折: 如果导线穿管乘以系数 0.8 (穿管导线总截面积不超过管截面积的 40%), 高温场所使用乘以系数 0.9 (25~85℃ 以内)。

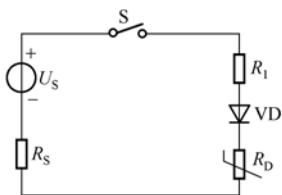
裸线加一半: 裸线 (如架空裸线) 截面积乘以相应倍率后再乘以 2 (如 16mm² 导线: 16×4×2=128A)。

铜线升级算: 以上是按铝线截面积计算, 铜线升级算是指 1.5mm² 铜线载流量等于 2.5mm² 铝线载流量, 以此类推。

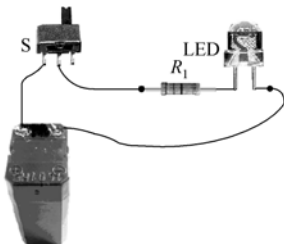
根据以上计算得出的导线载流量数据与查表数据误差不大。

在本项目手电筒电路中负载电流前面已估算过为 0.05~0.06A, 电流很小, 相应标称截面的绝缘铜导线已难选, 可选择 0.1mm² 规格。

根据上述对单管 LED 发光电路基本组成分析和电路设计要求可建立电路的工作模型, 如图 1.2.23 (a) 所示, (b) 图是实物接线图。对图中电路元件的工作过程分析, 同学们可在工作任务的实施过程中来进一步进行。



(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 1.2.23 单管 LED 发光电路

知识学习内容 6 测量误差及数据处理

1. 测量误差

测量是指通过试验的方法去确定一个未知量的大小，这个未知量叫做“被测量”。一个被测量的实际值是客观存在的。但由于人们在测量中对客观认识的局限性、测量仪器的误差、测量手段的不完善、测量条件发生变化及测量工作中的疏忽等原因，都会使测量结果与实际值存在差别，这个差别就是测量误差。

不同的测量，对测量误差大小的要求往往是不同的。随着科学技术的进步，对减小测量误差提出了越来越高的要求。我们学习、掌握一定的误差理论和数据处理知识，目的是能进一步合理设计和组织实验，正确选用测量仪器，减小测量误差，得到接近被测量实际值的结果。

1) 仪表误差和准确度

对于各种电工指示仪表，不论其质量多高，其测量结果与被测量的实际值之间总是存在一定的差值，这种差值称为仪表误差。仪表误差值的大小反映了仪表本身的准确程度。实际仪表的技术参数中，仪表的准确度被用来表示仪表的基本误差。

(1) 仪表误差的分类

根据误差产生的原因，仪表误差可分基本误差和附加误差两类。

① 基本误差：仪表在正常工作条件下（指规定温度、放置方式、没有外电场和外磁场干扰等），因仪表结构、工艺等方面的不完善而产生的误差叫基本误差。如仪表活动部分的摩擦，标尺分度不准、零件装配不当等原因造成的误差都是仪表的基本误差，基本误差是仪表的固有误差。

② 附加误差：仪表离开了规定的工作条件（指温度、放置方式、频率、外电场和外磁场等）而产生的误差，叫附加误差。附加误差实际上是一种因工作条件改变而造成的额外误差。

(2) 误差的表示

仪表误差的表示方式有绝对误差、相对误差和引用误差三种。

① 绝对误差：仪表的指示值 A_x 与被测量的实际值 A_0 之间的差值，叫绝对误差，用“ Δ ”表示：

$$\Delta = A_x - A_0$$

显然，绝对误差有正、负之分。正误差说明指示值比实际值偏大，负误差说明指示值比实际值偏小。

② 相对误差：绝对误差 Δ 与被测量的实际值 A_0 比值的百分数，叫做相对误差 γ ，即

$$\gamma = \frac{\Delta}{A_0} \times 100\%$$

由于测量大小不同的被测量时，不能简单地用绝对误差来判断其准确程度，因此在实际测量中，通常采用相对误差来比较测量结果的准确程度。

③ 引用误差：相对误差能表示测量结果的准确程度，但不能全面反映仪表本身的准确程

度。同一块仪表,在测量不同的被测量时,其绝对误差虽然变化不大,但随着被测量的变化,仪表的指示值可在仪表的整个分度范围内变化。因此,对应于不同大小的被测量,其相对误差也是变化的。换句话说,每只仪表在全量程范围内各点的相对误差是不同的。为此,工程上采用引用误差来反映仪表的准确程度。

把绝对误差与仪表测量上限(满刻度值 A_m) 比值的百分数,称为引用误差 γ_m , 即

$$\gamma_m = \frac{\Delta}{A_m} \times 100\% \quad (\text{引用误差实际上是测量上限的相对误差})$$

(3) 仪表的准确度

仪表的准确度是指仪表在测量值不同时,其绝对误差多少有些变化,为了使引用误差能包括整个仪表的基本误差,工程上规定以最大引用误差来表示仪表的准确度。

仪表的最大绝对误差 Δ_m 与仪表的量程 A_m 比值的百分数,叫做仪表的准确度 K , 即

$$\pm K\% = \frac{\Delta_m}{A_m} \times 100\%$$

一般情况下,测量结果的准确度就等于仪表的准确度。选择适当的仪表量程,才能保证测量结果的准确性。

2) 测量误差分类及产生的原因

测量误差是指测量结果与被测量的实际值之间的差异。测量误差产生的原因,除了仪表的基本误差和附加误差的影响外,还有测量方法的不完善,测试人员操作技能和经验的不足,以及人的感官差异等因素造成。

根据误差的性质,测量误差一般分为系统误差、偶然误差和疏忽误差三类。

(1) 系统误差

造成系统误差的原因一般有两个。一是由于测量标准度量器或仪表本身具有误差,如分度不准、仪表的零位偏移等造成的系统误差;二是由于测量方法的不完善,测量仪表安装或装配不当、外界环境变化,以及测量人员操作技能和经验不足等造成的系统误差。如引用近似公式或接触电阻的影响所造成的误差。

(2) 偶然误差

偶然误差是一种大小和符号都不固定的误差。这种误差主要是由外界环境的偶发性变化引起的。在重复进行同一个量的测量过程中其结果往往不完全相同。

(3) 疏忽误差

这是一种严重歪曲测量结果的误差。它是因测量时的粗心和疏忽造成的,如读数错误、记录错误等原因。

3) 减小测量误差的方法

① 对测量仪器、仪表进行校正,在测量中引用修正值,采用特殊方法测量,这些手段均能减小系统误差。

② 对同一被测量,重复多次测,取其平均值作为被测量的值,可减少偶然误差。

③ 以严肃认真的态度进行实验,细心记录实验数据,并及时分析实验结果的合理性,是可以摒弃疏忽误差的。

2. 测量数据的处理

在测量和数字计算中,该用几位数字来代表测量或计算结果是很重要的,它涉及到有效数字和计算规则问题,不是取得位数越多越准确。

1) 有效数字的概念

在记录测量数值时,该用几位数字来表示呢?下面通过一个具体例子来说明。设一个 $0 \sim$

100V 的电压表在两种测量情况下指针的指示结果为：第一次指针指在 76~77 之间，可记作 76.5V。其中数字“76”是可靠的，称为可靠数字，而最后一位数“5”是估计出来的不可靠数字（欠准数字）。两者合称为有效数字。通常只允许保留 1 位不可靠数字。对于 76.5 这个数字来说，有效数字是 3 位。第二次指针指在 50V 的地方，应记为 50.0V，这也是 3 位有效数字。

数字“0”在数中可能不是有效数字。例如 76.5V 还可写成 0.0765kV，这时前面的两个“0”仅与所用单位有关，不是有效数字，该数的有效数字仍为 3 位。对于读数末位的“0”不能任意增减，它是由测量设备的准确度来决定的。

2) 有效数字的运算规则

处理数字时，常常要运算一些精度不相等的数值。按照一定运算规则计算，既可以提高计算速度，也不会因数字过少而影响计算结果的精度。常用规则如下：

① 加减运算时，各数所保留小数点后的位数，一般取与各数中小数点后面位数最少的相同。例如 13.6、0.056、1.666 相加，小数点后最少位数是 1 位（13.6），所以应将其余两个数修正到小数点后 1 位，然后相加，即

$$13.6+0.1+1.7=15.4$$

其结果应为 15.4。

② 乘除运算时，各因子及计算结果所保留的位数，一般与小数点位置无关，应以有效数字位数最少项为准，例如 0.12、1.057 和 23.41 相乘，有效数字位数最少的是 2 位（0.12），则

$$0.12 \times 1.06 \times 23.41 = 2.98$$

二、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学习万用表使用知识，并相互指导训练。

分组讨论学习万用表使用知识：

万用表有指针式和数显式两种，两种表在表棒插孔和极性以及读数上有所不同。我们重点练习使用指针式万用表，在此基础上数显式万用表使用就驾轻就熟了。指针式万用表具有带标尺的刻度盘（数显表是液晶显示屏）、转换开关、零欧姆调节旋钮（数显表无）和供测量接线的插孔。指针

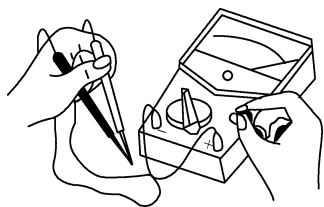


图 1.2.24 指针式万用表调零

式万用表应水平放置，测量前首先检查表头指针是否在零点，可调节表头下方的调零旋钮使指针指于零位，如图 1.2.24 所示（数显表无需调零）。将红色表笔插入红色插孔，黑色表笔插入黑色插孔。红色表笔对应表内电源负极，黑色表笔对应表内正极（数显表与之相反）。根据测量种类将转换开关拨到所需的挡位上，测量时若将测量种类和量限挡位放错，会使表头严重损坏。

指针式万用表标度盘内有数条标尺。它们分别在测量不同电量时使用，根据测量种类在相应的标尺上读取数据，测量值应是标尺读数乘以转换开关挡位倍数。例如标有“DC”或“-”的标尺为测量直流各量用的；标有“AC”或“~”的标尺为测量交流各量用的；标有“Ω”的标尺是测量直流电阻用的。而对于数显表转换开关挡位则是测量值量程，测量时直接显示测量的数值和种类符号。

(1) 直流电压的测量

将指针式万用表转换开关拨至直流电压挡上，估计被测电压的大小，选择适当的挡位倍数，两表笔应跨接在被测电压的两端，红色表笔插红色“+”孔，接至被测电压的正极；黑色表笔插黑色“-”孔，接至被测电压的负极。当指针反向偏转时，将两表笔交换后接至电路，再读

(2) 直流电流的测量

(3) 交流电压的测量

(4) 直流电阻的测量

万用表的电阻挡绝不允许测量带电的电阻，因为测量带电的电阻就相当于被测电阻的端电压接入仪表，无疑会使万用表遭到破坏。电路中若有电容存在，则应先将电容放电后再测量电路中的电阻。测量电阻时，两手不应同时接触电阻的两端，避免人体电阻对测量的影响。

万用表使用完毕，应将转换开关置于交流电压最高挡。万用表若长时间不使用，需要将电池取出。

2) 由老师提出不同测量值以及万用表应用知识问题, 各项目小组选派代表抢答并演示测量操作过程。对抢答成功小组, 由老师在工作评价时, 在《知识学习考评表》“积极性、创新性”项记录成绩。

3) 各小组自备三个不同测量值和万用表使用时的两个问题, 对其他小组进行考评, 考评方法见《工作过程考核评价表》相应项, 并记入考评成绩。

具体实施办法：第 n 组对第 $n+1$ 组评价，若 $n+1 > N$ (N 是项目工作小组总组数)，则对第 $n+1-N$ 组进行考评。

2. 识读、测量电阻值

1) 各项目小组对工作准备时任意领取的 10 种不同规格, 每种三个的电阻器进行分类, 并根据色环法识读每类的阻值, 记入表 1.2.8 中。

2) 用万用表测量每类的电阻值, 并记入表 1.2.8 中。

3) 各项目小组对识读、测量的阻值分析对比正确率并进行误差分析, 把误差认识, 填入表 1.2.8 中。

4) 各小组互评, 互评实施办法同 1。各小组考评时, 可任选两类阻值, 由被考评小组代表演示万用表测量过程。

表 1.2.8 阻值识读、测量、分析记录表

种类序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
阻值及分析										
识读值										
测量值										
准确率										
误差认识：										

3. 电路设计调试

根据学习的知识，设计手电简单颗 LED 发光电路并调试电路，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) 参照图 1.2.23，设计手电简单颗 LED 发光电路，绘制电路模型图。
- 2) 为了调试时，测试元器件工作特性的方便，在设计的电路中串接一个调试电位器 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，实物接线图参照图 1.2.25。正确绘制调试电路电气原理图。

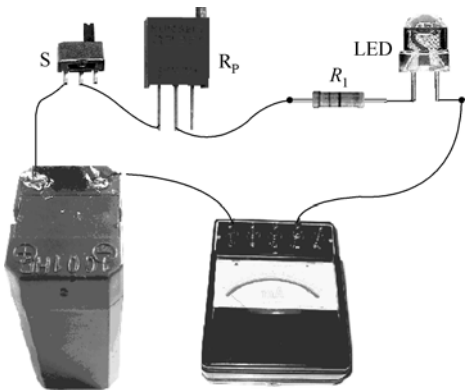


图 1.2.25 单管 LED 发光调试电路实物接线图

要注意以下几点：①连接之前，蓄电池应在老师指导下预先焊接好电源引出线，并预先充满电，否则测试时会影响测试的准确性；②连接时注意元器件极性，不要接错；③导线和元器件引脚与面包板要接插牢靠；④面包板预留直流毫安表接入测试口，直流毫安表放在面包板外，用导线与面包板电流表接入测试口连接，连接要牢靠。其操作使用方法，同万用表直流毫安挡；⑤在面包板上连接的导线要注意横平竖直，紧贴面包板，元器件连接要注重工艺美观性。

2) 调试

(1) 观察和测量

开关 S 断开，用小一字螺钉旋具转动电位器 R_P 旋钮，使电位器接入电路的阻值为零，可用万用表校准。观察毫安表读数并记入表 1.2.9 中，用万用表分别测量蓄电池端部电压 U 、电位器两端电压 U_{R_P} 、LED 调节电阻 R_1 两端电压 U_{R_1} 、LED 灯两端正向电压 U_D ，把测量值分别记入表 1.2.9 中。

开关 S 合上，观察 LED 发光亮度和毫安表指针偏转，把毫安表读数记入表 1.2.9 中，用万用表直流电压挡，合理选择量程，分别测量 U 、 U_{R_P} 、 U_{R_1} 、 U_D ，并把测量值记入表 1.2.9 中。

逐渐增加电位器阻值，选取 8 个测点，重复上述过程，把观察到的情况和测量值记入表 1.2.9 中。

表 1.2.9 观察和测试记录表

开关状态 测量和观察	S 断开	S 合上							
I/mA									
U/V									
U_{R_P}/V									
U_{R_1}/V									
U_D/V									
LED 明暗强度									

观察和测量时要注意以下几点：①每次测量过程要迅速准确；②选点要在 LED 灯从亮到暗的过程中均匀分布；③整个调试测量过程要快，以免测试时间过长，蓄电池耗电多，影响测试数据的准确性；④调试结束，开关断开后，在老师指导下，通过专门充电电路对蓄电池充电，为后面的工作任务做好准备，并对仪表简单维护，整理好工位。

(2) 数据处理

在预先准备的方格纸上，合理选择坐标间隔，根据测试的电压和电流数值，在方格纸坐标系上找到各点，用平滑曲线连接各点，分别绘制电源的外特性曲线、 R_1 （时不变电阻）的伏安特性曲线、发光二极管 LED（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 R_1 （时不变电阻）的伏安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，完成书面分析报告。

三、工作评价

(一) 知识答卷

参见《电工基础技术项目工作手册》项目一中工作任务二的知识水平测试卷。

(二) 知识学习考评成绩

表 1.2.10 知识学习考评表

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	按照拟定的平时表现考核表相关标准	15	
2	学习准备	认真按照规定内容，作好学习准备工作	学习准备事项不全，一项扣 5 分	10	
3	积 极 性、 创新性	积极认真按照要求完成学习内容，并进行创新性学习	积极性、创新性有一项缺乏扣 5 分	10	
4	知 识 水 平 测试卷	按时、认真、正确完成答卷	(1) 填空题未做或做错，每空扣 1 分； (2) 选择题未作或做错，每题扣 1 分； (3) 判断题未作或做错，每题扣 1 分； (4) 计算题未作或做错，每题扣 5 分，解答不全，每题扣 3 分	50	
5	课后作业	认真并按时完成课后作业	(1) 作业缺题未做，一题扣 3 分； (2) 作业错误，一题扣 2 分，累计最多不超过 10 分； (3) 作业解答不全或部分错误，一题扣 1 分，累计最多不超过 10 分； (4) 作业未做，本项成绩为 0 分	15	
6	合计				
7	备注：				

(三) 任务实施过程评价

表 1.2.11 工作过程考核评价表

序号	主要内容	考 核 要 求	考 核 标 准	配分	扣分	得分
1	工作准备	认真完成任务实施前的准备工作	(1) 劳防用品穿戴不合规范，仪容仪表不整洁扣 5 分； (2) 仪器仪表未调节、放置不当，每处扣 2 分； (3) 电工实验实训装置未仔细检查就通电，扣 5 分； (4) 材料、工具、元器件没检查或未充分准备，每件扣 2 分； (5) 没有认真学习安全操作规程，扣 2 分； (6) 没有进行触电抢救技能训练，扣 2 分； (7) 没有准备好《电工基础技术项目工作手册》、记录本、方格纸和铅笔、圆珠笔、三角板、直尺、橡皮等文具，有一处扣 2 分	10		

续表

序号	主要内容	考核要求	考核标准	配分	扣分	得分
2	识用万用表	能正确回答万用表使用的知识问题；能根据测量值合理选择挡位量程，操作过程演示正确	(1) 问题回答不正确或未回答，每题扣 5 分；回答有误，每题扣 2 分； (2) 不能根据测量值合理选择万用表的挡位量程，每个测量值扣 3 分； (3) 不能正确演示操作过程，每个测量值扣 3 分；演示有误，每个测量值扣 2 分	10		
3	识读、测量电阻值	能正确识读和测量电阻器阻值；能正确进行正确率分析比较和误差分析；数据记录表填写规范完整	(1) 不能正确区分电阻种类，每错 1 个扣 1 分； (2) 不能正确根据色环法识读各类电阻阻值，每错 1 种扣 1.5 分； (3) 不能运用万用表正确、规范测量各电阻值，每个扣 2 分； (4) 正确率分析比较有误，每次扣 2 分； (5) 未进行误差分析，扣 10 分；误差分析不合理，每次扣 5 分； (6) 数据记录表填写不规范，每处扣 2 分；填写不完整，每处扣 5 分	15		
4	电路设计	正确设计单管 LED 发光电路，规范绘制电路模型图和调试电路电气原理图	(1) 单颗 LED 发光电路，设计不正确、电路模型图不正确或绘制不规范，每处扣 5 分； (2) 单颗 LED 发光调试电路，设计不正确、电气原理图不正确或绘制不规范，每处扣 5 分； (3) 电路无书面设计报告，扣 10 分； (4) 电路器件选择不合理，每处扣 5 分； (5) 元器件选用书面分析过程不合理、不科学，每处扣 5 分	20		
5	电路的制作和调试	元器件和仪表布置合理、安装牢靠；接线正确、美观、牢靠；调试过程规范、安全，测试、观察、分析合理，能正确记录	(1) 元器件和仪表布置不合理，每处扣 5 分； (2) 元器件和仪表安装不牢固，每处扣 5 分； (3) 元器件和仪表接线不正确，每处扣 5 分； (4) 元器件和仪表接线不牢靠，每处扣 5 分； (5) 调试操作过程中，测试操作不规范，每处扣 5 分； (6) 调试过程中，没有按要求正确记录观察现象和测试的数据，每处扣 5 分； (7) 调试过程中，没有按要求记录完整，每处扣 5 分； (8) 调试过程中，不能正确分析观察的现象和测试的数据，每处扣 10 分； (9) 安装调试过程中，未按照注意事项的要求操作，每项扣 10 分	25		
6	仪器仪表、工具的简单维护	安装完毕，能正确对仪器仪表、工具进行简单的维护保养	未对仪器仪表、工具进行简单的维护保养，每个扣 5 分	10		
7	服从管理	严格遵守工作场所管理制度，认真实行 5S 管理	(1) 违反工作场所管理制度，每次视情节酌情扣 5~10 分； (2) 工作结束，未执行 5S 管理，不能做到人走场清，每次视情节酌情扣 5~10 分	10		
8	安全生产	测量过程中，违反安全生产规程，视情节酌情扣 10~20 分，违反安全规程出现人身、设备、仪器仪表等严重事故者，本次考核以 0 分计				
备注			成绩			
考核人（签名）				年 月 日		

任务三 两组 LED 灯工作电路的设计、制作与调试

一、任务准备

(一) 教师准备

(1) 教师准备好电阻串、并联、混联电路性质和应用以及两组 LED 灯工作电路设计的演示

课件。

(2) 任务实施场地检查、任务实施材料、工具、仪器仪表等准备、技术和技术资料准备、组织管理措施、任务实施场所安全技术措施和管理制度等参考任务一。

(3) 任务实施计划和步骤：①任务准备、学习有关知识；②单组 LED 发光串联电路性质和电源内阻分析，验证设计电路是否满足全电路欧姆定律；③两组 LED 灯工作电路设计；④两组 LED 灯工作电路线路制作；⑤两组 LED 灯工作电路电路调试、分析；⑥工作评价。

(二) 学生准备

(1) 衣着、仪容仪表整洁，穿戴好劳保用品；无条件的学校，由学生自行穿好长袖衣、长裤和皮鞋等。

(2) 掌握好安全用电规程和触电抢救技能。

(3) 检查好材料、工具、仪器仪表。在实验员指导下，每个项目小组检查好材料、工具、仪器仪表等物资是否正常和合乎使用标准，对不符合使用标准的应予以更换。

(4) 学生准备好《电工基础技术项目工作手册》、方格纸以及铅笔、圆珠笔、三角板、直尺、橡皮等文具。

(三) 实践应用知识的学习

知识学习内容 1 全电路欧姆定律

在任务二的实践应用知识学习中，提到线性电阻两端电压 u 和通过电阻的电流 i 成正比，满足表达式 $u = Ri$ ，也就是满足了欧姆定律。实际上，不仅线性电阻满足欧姆定律，非线性电阻也满足欧姆定律，只是要注意的是前者电阻是固定的，在电路工作的全过程都满足欧姆定律关系，而后者电阻阻值是可变的，故只能是在某个瞬时刻满足欧姆定律，当时刻发生改变时，非线性电阻会在新时刻点重新满足欧姆定律。由于电路中电阻元件往往形成电路的一个支路，所以我们把电阻元件满足的欧姆定律，称之为部分电路的欧姆定律。

实际电路往往是由电源和负载组成的闭合电路，我们把它叫做全电路，如图 1.2.23 图所示单管 LED 发光电路。当单管 LED 发光电路正常发光工作时，图 1.2.23 (a) 图所示的电路模型可简化为，如图 1.3.1 (a) 所示的电路模型。图 1.3.1 (b) 所示是串接调试电位器 RP 时的电路模型。

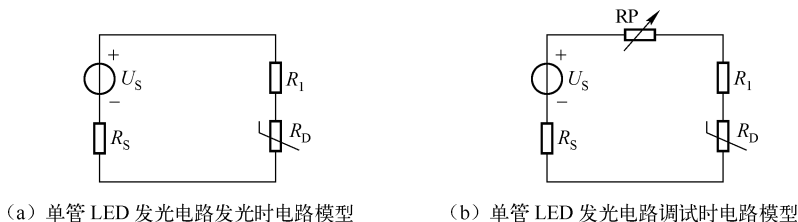


图 1.3.1 单管 LED 发光电路工作时的电路模型

在图 1.3.1 (a)、(b) 所示电路（电路模型简称为电路，后同）中， U_s 为电源电动势 E ， R_s 为电源内阻。当电路开关 S 闭合时，电路中有电流 I 流过，由电路理论可知，此时电流用公式表示为

$$I = \frac{E}{R + R_s} \quad (1-3-1)$$

式中， R 是除电源以外的外电路等效电阻，在 (a) 图中 $R = R_1 + R_D$ ，在 (b) 图中 $R = R_p + R_1 + R_D$ ， R_p 为电位器阻值。

式(1-3-1)用语言表述为: 闭合电路中的电流跟电源电动势成正比, 与电路的总电阻(电源内电阻与外电路等效电阻之和)成反比。这就是全电路欧姆定律。

由式(1-3-1)可知, 在单管 LED 发光电路中 R 因 R_D 的原因实际是非线性可变的, 电路工作时 I 虽然随 R 不同而改变, 但式(1-3-1)的关系却是在任何时刻都始终满足的, 即满足全电路欧姆定律。

知识学习内容 2 电阻的串、并联和混联电路

1. 电阻串联电路

1) 电阻串联

把两个或两个以上的电阻一个个的首尾相接, 中间没有分支, 这样的连接方式叫做电阻的串联。其特点是电流只有一条通路, 故流过每一个电阻的是同一个电流。如图 1.3.2 (a) 所示(图中只画了三个电阻串联), 其等效电路如图 (b) 所示, R 是总等效电阻。

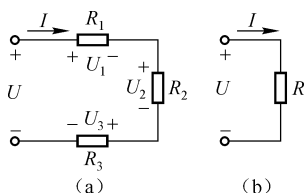


图 1.3.2 电阻串联电路

2) 串联电路的特点和性质

(1) 由 n 个电阻串联的电路中, 流过每个电阻的电流都相等, 即

$$I_1 = I_2 = \cdots = I_n = I$$

(2) 电压特点和性质:

① 电路两端的总电压等于各电阻两端电压之和, 即

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

② 电阻串联电路具有分压作用, 电阻越大, 分得电压就越高。

各电阻分得电压为

$$U_1 = \frac{R_1}{R} U, \quad U_2 = \frac{R_2}{R} U, \quad \cdots, \quad U_n = \frac{R_n}{R} U$$

在只有两个电阻串联时为

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

(3) 串联电路等效电阻(即总电阻)等于各串联电阻之和, 即

$$R = R_1 + R_2 + \cdots + R_n$$

(4) 串联电路的总功率等于各电阻功率之和, 即

$$P = P_1 + P_2 + \cdots + P_n$$

各电阻消耗功率与总功率关系为

$$P_1 = \frac{R_1}{R} P, \quad P_2 = \frac{R_2}{R} P, \quad \cdots, \quad P_n = \frac{R_n}{R} P$$

3) 串联电阻的应用

电阻串联的应用很广泛, 在实际工作中常见的应用有:

- ① 用几种电阻串联起来获得阻值较大的电阻。
- ② 采用几个电阻构成分压器, 使同一电源能供给几种不同的电压。
- ③ 当负载的额定电压低于电源电压时, 可用串联的办法来满足负载接入电源的需要。
- ④ 利用串联电阻的方法来限制和调节电路中电流的大小, 如单管 LED 发光电路中串接 R_1 。
- ⑤ 在电工测量中广泛应用串联电阻的方法来扩大电表测量电压的量程。

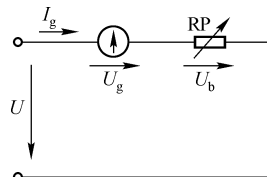


图 1.3.3 例 1.3.1 图

【例 1.3.1】 有一个表头, 如图 1.3.3 所示, 它的满刻度电流 I_g 是

$50\mu\text{A}$ (即允许通过的最大电流), 内阻 r_g 是 $3\text{k}\Omega$ 。若改装成量程 (即测量范围) 为 10V 的电压表, 应串联多大的电阻?

解 当表头满刻度时, 表头两端的电压 U_g 为

$$U_g = I_g r_g = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15\text{V}$$

显然用它直接测量电压 10V 是不行的, 需要串联分压电阻以扩大测量范围 (量程)。

设量程扩大 10V 到所需要传入的电阻为电位器 R_P 的阻值, 即 R_P , 则

$$R_P = \frac{U_b}{I_g} = \frac{U - U_g}{I_g} = \frac{10 - 0.15}{50 \times 10^{-6}} = 197\text{k}\Omega$$

即应串联 $197\text{k}\Omega$ 的电阻, 才能把表头改装成量程为 10V 的电压表。

【例 1.3.2】 两个电阻 R_1 、 R_2 串联, 总电阻 100Ω , 总电压为 60V , 欲使 $U_2=12\text{V}$, 试求 R_1 、 R_2 。

解 电流

$$I = \frac{U}{R} = \frac{60}{100} = 0.6\text{A}$$

$$R_2 = \frac{12}{0.6} = 20\Omega, \quad R_1 = 100 - 20 = 80\Omega$$

2. 电阻并联电路

1) 电阻并联

在电路中, 两个或两个以上的电阻同接在电路中的两点之间, 它们的端电压是同一电压, 这样的连接方式叫做电阻的并联。其特点是加在各电阻上的电压是同一个电压。如图 1.3.4 (a) 所示 (图中只画了三个电阻并联), 其等效电路如图 1.3.4 (b) 所示, R 是总等效电阻。

2) 并联电路的特点和性质

(1) 由 n 个电阻并联的电路中各电阻两端电压都相等, 即

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

(2) 电流特点和性质

① 电路的总电流等于流过每个电阻的电流之和, 即

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

② 电阻并联电路具有分流作用, 电阻越大, 分得电流就越小。

各电阻分得电流通式为

$$I_n = \frac{R}{R_n} I$$

式中, $R = R_1 // R_2 // \dots // R_n$ ($//$ 是并联符号)。

只有两个电阻并联时, 有

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I, \quad I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I$$

(3) 并联电路等效电阻 (即总电阻) 等于各并联电阻倒数 (即电导) 之和, 即

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

式中, R 比任何 R_n 都小。

两个电阻并联, 则有

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

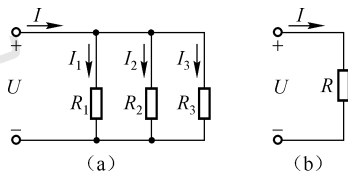


图 1.3.4 电阻并联电路

若 $R_1 = R_2$, 则 $R = \frac{R_1}{2} = \frac{R_2}{2}$; 若 $R_1 \ll R_2$, 则 $R \approx R_1$ 。

(4) 并联电路的总功率等于各电阻功率之和, 即

$$P = P_1 + P_2 + \cdots + P_n$$

各电阻消耗功率与总功率关系通式为

$$P_n = \frac{R}{R_n} P$$

3) 并联电阻的应用

电阻并联的应用也很广泛, 在实际工作中常见的应用有:

- ① 凡是工作电压相同的负载几乎全是并联, 如二组或三组 LED 手电筒电路, 每组电路就是并联。
- ② 用并联电阻来获得某一较小电阻。
- ③ 在电工测量中广泛应用并联电阻具有分流作用的方法来扩大电表测量电流的量程。

【例 1.3.3】 有一个表头, 如图 1.3.5 所示, 它的满刻度电流 I_g 是 $50\mu\text{A}$ (即允许通过的最大电流), 内阻 r_g 是 $3\text{k}\Omega$ 。若改装成量程 (即测量范围) 为 $550\mu\text{A}$ 的电流表, 应并联多大的电阻?

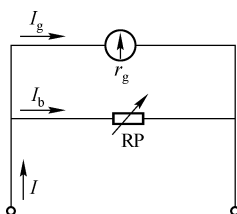


图 1.3.5 例 1.3.3 图

解 当表头满刻度时, 表头分流电阻为电位器的阻值 R_P 时分得电流为

$$I_{RP} = I - I_g = 550 - 50 = 500\mu\text{A}$$

电阻 R_P 两端电压与表头两端的电压是相等的, 即有

$$U_{RP} = U_g = I_g r_g = 50 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^3 = 0.15\text{ V}$$

所以

$$R_P = \frac{U_{RP}}{I_{RP}} = \frac{0.15}{500 \times 10^{-6}} = 300\Omega$$

【例 1.3.4】 $R_1 = 500\Omega$ 和 R_2 并联, 总电流 $I = 1\text{ A}$ 。设 R_2 分别为: (1) 600Ω ; (2) 500Ω 。试求等效电阻及每个电阻的电流。

解 (1) $R_2 = 600\Omega$ 时, 并联的等效电阻为

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{600 \times 500}{600 + 500} = 272.7\Omega$$

两个电阻的电流各为

$$I_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} I = \frac{600}{600 + 500} \times 1 = 0.5455\text{ A}$$

$$I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I = \frac{500}{600 + 500} \times 1 = 0.4545\text{ A}$$

(2) $R_1 = R_2 = 500\Omega$ 时, 并联的等效电阻为

$$R = \frac{R_1}{2} = \frac{500}{2} = 250\Omega, \text{ 且 } I_1 = I_2 = \frac{I}{2} = \frac{1}{2} = 0.5\text{ A}$$

3. 电阻的混联电路

1) 电阻混联

在电路中, 既有电阻的串联又有电阻的并联, 这种电阻的连接方式叫做电阻的混联。如图 1.3.6 (a) 所示 (图中只画了三个电阻混联), 其等效电路如图 (b) 所示, R 是总等效电阻。

2) 混联电路的化简

在计算混联电路的等效电阻时, 关键在于识别各电阻的串、并联关系并简化电路, 可按如下方法进行:

- ① 几个元件是串联还是并联是根据串、并联的特

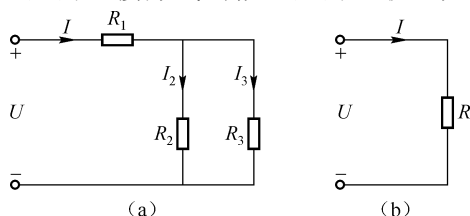


图 1.3.6 电阻混联电路

点来判断的。串联电路中所有元件流过同一电流；并联电路中所有元件承受同一电压。

② 将所有无阻导线连接点用同一节点表示。

③ 在不改变电路连接关系的前提下，可根据需要改画电路，以便更清楚地表示出各元件的串、并联关系。

④ 对于等电位之间的电阻支路，必然没有电流通过，所以可看作开路。

⑤ 采用逐步化简的方法，按照顺序简化电路，最后计算出等效电阻。

3) 混联电路求解步骤

在电阻混联的电路，若已知总电压 U （或总电流 I ）要求各电阻上的电压和电流，其求解步骤为：

① 首先分析清楚电阻的串、并联关系，求出它们的等效电阻；

② 运用欧姆定律求出总电流（或总电压）；

③ 运用电阻串联的分压公式和电阻并联的分流公式，求出各电阻上的电压和电流。

【例 1.3.5】 求图 1.3.7 (a) 所示电路 a、b 两端的等效电阻。

解 将图 1.3.7 (a) 改画成图 1.3.7 (b)，则

$$R_{ab} = \frac{(8/2+6) \times 10}{(8/2+6)+10} = 5 \Omega$$

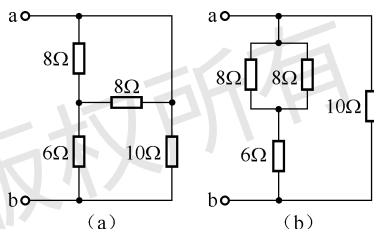


图 1.3.7 例 1.3.5 图

【例 1.3.6】 进行电工实验时，我们常用滑线变阻器接成分压器电路来调节负载电阻上电压的高低。如图 1.3.8 中 R_1 和 R_2 是滑线变阻器， R_L 是负载电阻。已知滑线变阻器额定值（ $R_1 + R_2$ ）是 100Ω 、 $3 A$ ，端钮 a、b 输入电压 $U_s = 220 V$ ， $R_L = 50 \Omega$ 。试问：（1）当 $R_2 = 50 \Omega$ 时，输出电压是多少？

（2）当 $R_2 = 75 \Omega$ 时，输出电压是多少？滑线变阻器能否安全工作？

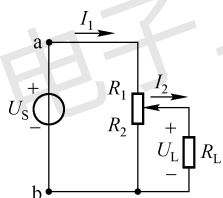


图 1.3.8 例 1.3.6 图

解 （1）当 $R_2 = 50 \Omega$ 时

$$R_{ab} = R_1 + \frac{R_2 R_L}{R_2 + R_L} = 50 + \frac{50 \times 50}{50 + 50} = 75 \Omega$$

$$I_1 = \frac{U_s}{R_{ab}} = \frac{220}{75} \approx 2.93 A$$

$$I_2 = \frac{R_2}{R_2 + R_L} \times I_1 = \frac{50}{50 + 50} \times 2.93 \approx 1.47 A$$

$$U_L = R_L I_2 = 50 \times 1.47 = 73.50 V$$

当 $R_2 = 75 \Omega$ 时，计算方法同上，则

$$R_{ab} = 25 + \frac{75 \times 50}{75 + 50} = 55 \Omega$$

$$I_1 = \frac{220}{55} = 4 A, \quad I_2 = \frac{75}{75 + 50} \times 4 = 2.4 A$$

$$U_L = 50 \times 2.4 = 120 V$$

由于 $I_1 = 4 A$ ，大于滑线变阻器额定电流 $3 A$ ， R_1 段电阻有被烧坏的危险。

二、任务实施

1. 验证单组 LED 手电筒全电路欧姆定律

1) 求解蓄电池内电阻 R_S

由式 (1-2-14) $U = U_s - IR_S$ 可知，电源外特性曲线的斜率就是 R_S 。根据任务二绘制的电源

2) 验证全电路欧姆定律

表 1.3.1 测算和分析记录表

开关状态 $U_s =$ $R_s =$		S 合上							
测算和分析									
I / mA									
U / V									
R									
$U_s / (R + R_s)$									
是否满足全电路欧姆定律									
结论分析：									

把表 1.3.1 中的 $I(\text{mA})$ 、 $U(\text{V})$ 、 R 等数值和表 1.2.9 中的 $U_{\text{RP}}(\text{V})$ 、 $U_{\text{R1}}(\text{V})$ 、 $U_{\text{D}}(\text{V})$ 等数值重新填入表 1.3.2 中。分别计算 $R_{\text{p}}=U_{\text{RP}}/I$ 、 $R_{\text{l}}=U_{\text{R1}}/I$ 、 $R_{\text{D}}=U_{\text{RD}}/I$ 、 $P=UI$ 、 $P_{\text{RP}}=U_{\text{RP}}I$ 、 $P_{\text{R1}}=U_{\text{R1}}I$ 、 $P_{\text{RD}}=U_{\text{RD}}I$ ，并把数值填入表 1.3.2 中。根据表 1.3.2 中测算的数据分析验证单组 LED 手电筒串联电路的特点和性质。

表 1.3.2 测算和分析记录表

开关状态		$U_s = \underline{\hspace{2cm}} \quad R_s = \underline{\hspace{2cm}}$							
测算和分析		S 合上							
I / mA									
U / V									
U_{RP} / V									
U_{R1} / V									
U_{D} / V									
R									
RP									
R_1									
R_{D}									
P									
P_{RP}									
P_{R1}									
P_{RD}									
结论分析：									

3. 电路设计

设计两组 LED 手电筒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 手电筒发光并联电路, 绘制电路模型图。

2) 为了调试时, 测试元器件工作特性的方便, 在设计的电路中串接一个调试电位器 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, 实物接线图参照图 1.3.9。正确绘制调试电路电气原理图。

3) 各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. 两组 LED 手电筒发光并联电路连接和调试

1) 线路连接

在任务二完成的单组 LED 发光电路调试电路基础上, 在面包板上单组 LED 发光电路两端并接上另一组 LED 发光电路, 线路接线要求同任务二。

2) 调试

(1) 观察和测量

开关 S 断开, 用小一字螺钉旋具转动电位器 RP 旋钮, 使电位器接入电路的阻值为零, 可用万用表校准。观察毫安表读数记入表 1.3.3 中, 用万用表分别测量蓄电池端部电压 U 、电位器两端电压 U_{RP} 、两组 LED 并联电路端部 A、B 两点之间电压 U_{AB} 、第 I 组 LED 发光电路调节电阻 R_1 两端电压 U_{R1} 和 LED 灯两端正向电压 U_{D1} 、第 II 组 LED 发光电路调节电阻 R_2 两端电压 U_{R2} 和 LED 灯两端正向电压 U_{D2} 把测量值分别记入表 1.3.3 中。

开关 S 合上, 观察 LED 发光亮度和毫安表指针偏转, 把毫安表读数记入表 1.3.3 中, 用万用表直流电压挡, 合理选择量程, 分别测量 U 、 U_{RP} 、 U_{AB} 、 U_{R1} 、 U_{D1} 、 U_{R2} 、 U_{D2} 把测量值分别记入表 1.3.3 中。

逐渐增加电位器阻值, 选取 8 个测点, 重复上述过程, 把观察到的情况和测量值记入表 1.3.3 中。

观察和测量时要注意以下几点: ① 每次测量过程要迅速准确; ② 选点要在 LED 灯从亮到暗的过程中均匀分布; ③ 整个调试测量过程要快, 以免测试时间过长, 蓄电池耗电多, 影响测试数据的准确性; ④ 调试结束, 开关断开后, 在老师指导下, 通过专门充电电路对蓄电池充电, 为后面的工作任务作好准备, 并对仪表简单维护, 整理好工位。

(2) 数据处理及两组 LED 手电筒并联电路特性分析

根据表 1.3.3 测量的数据, 分别计算 $R(\Omega)$ 、 $R_p(\Omega)$ 、 $R_{AB}(\Omega)$ 、 $P(mW)$ 、 $P_{RP}(mW)$ 、 $P_{AB}(mW)$ 、 $I_1(mA)$ 、 $P_1(mW)$ 、 $R_{AB1}(\Omega)$ 、 $I_2(mA)$ 、 $P_2(mW)$ 、 $R_{AB2}(\Omega)$ 填入表中。各值计算式如下:

$$R = \frac{U}{I}, R_p = \frac{U_{RP}}{I}, R_{AB} = \frac{U_{AB}}{I}, I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1}, R_{AB1} = \frac{U_{R1} + U_{D1}}{I_1}, I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2}, R_{AB2} = \frac{U_{R2} + U_{D2}}{I_2}$$

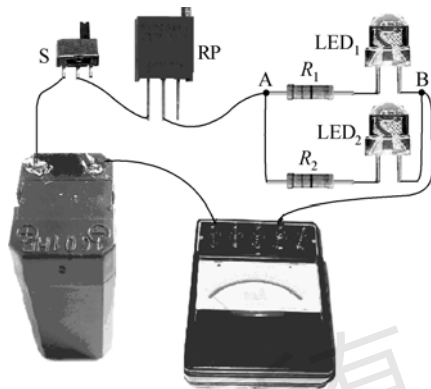


图 1.3.9 两组 LED 手电筒发光并联电路调试实物接线图

$P_1 = (U_{R1} + U_{D1})I_1$, $P_2 = (U_{R2} + U_{D2})I_2$, $P = UI$, $P_{RP} = U_{RP}I$, $P_{AB} = U_{AB}I$

依据表 1.3.3 各测量和计算值分别分析以下各值关系。

- ① 电压关系： U_{AB} 与 $U_{R2} + U_{D2}$ 、 $U_{R1} + U_{D1}$ 之间关系； U 与 U_{AB} 、 U_{RP} 之间关系。
- ② 电流关系： I 与 I_1 、 I_2 之间关系。
- ③ 电阻关系： R_{AB} 与 R_{AB1} 、 R_{AB2} 之间关系； R 与 RP 、 R_{AB} 之间关系。
- ④ 功率关系： P_{AB} 与 P_1 、 P_2 之间关系； P 与 P_{RP} 、 P_{AB} 之间关系。

根据以上数值分析情况，把分析结论也填入表 1.3.3 中。

表 1.3.3 观察、测量和计算记录表

$R_1 =$ _____ $R_2 =$ _____

开关状态		S 断开	S 合上									
观察、测量、计算	LED 明暗强度											
	I / mA											
	U / V											
	U_{RP} / V											
	U_{AB} / V											
	P / mW											
	P_{RP} / mW											
	P_{AB} / mW											
	R / Ω											
	RP / Ω											
	R_{AB} / Ω											
I	U_{R1} / V											
	U_{D1} / V											
	I_1 / mA											
	P_1 / mW											
	R_{AB1} / Ω											
II	U_{R2} / V											
	U_{D2} / V											
	I_2 / mA											
	P_2 / mW											
	R_{AB2} / Ω											
结论分析：												

三、工作评价

(一) 知识答卷

参见《电工基础技术项目工作手册》项目一中工作任务三的知识水平测试卷。

(二) 知识学习考评成绩

知识学习考评表同表 1.2.10，参见《电工基础技术项目工作手册》项目一中任务三的知识学习考评表。

(三) 任务实施过程评价

工作过程考核评价表类同表 1.2.11, 参见《电工基础技术项目工作手册》项目一中任务三的工作过程考核评价表。

任务四 三组 LED 手电筒照明电路的设计、制作与调试以及整体装配

一、任务准备

(一) 教师准备

(1) 教师准备好直流电路最大功率传输定理和应用、LED 手电筒三组照明电路设计以及手电筒整体装调的演示课件;

(2) 任务实施场地检查、任务实施材料、工具、仪器仪表等准备、技术和技术资料准备、组织管理措施、任务实施场所安全技术措施和管理制度等参考任务一;

(3) 任务实施计划和步骤: ①任务准备、学习有关知识; ②三组 LED 灯工作电路设计; ③三组 LED 灯工作电路线路制作; ④三组 LED 灯工作电路电路调试、分析(等效电阻以及电压、电流、功率传输关系等); ⑤手电筒整体安装和调试; ⑥工作评价。

(二) 学生准备

(1) 衣着、仪容仪表整洁, 穿戴好劳保用品; 无条件的学校, 由学生自行穿好长袖衣、长裤和皮鞋等。

(2) 掌握好安全用电规程和触电抢救技能;

(3) 检查好材料、工具、仪器仪表。

在实验员指导下, 每个项目小组检查好材料、工具、仪器仪表等物资是否正常和合乎使用标准, 对不符合使用标准的应予以更换。

(4) 学生准备好《电工基础技术项目工作手册》、方格纸以及铅笔、圆珠笔、三角板、直尺、橡皮等文具。

(三) 实践应用知识的学习

知识学习内容 1 最大功率传输定理

1. 负载获得最大功率的条件

任何电路都无例外地进行着由电源到负载的功率传输。由于电源有内阻, 所以电源提供的总功率为内阻消耗的功率与负载上消耗的功率之和。如图 1.4.1 所示电路, 若内阻上功率增大, 则负载功率就减小。由于电源的内阻一般是固定的, 因而负载获得的功率和负载电阻的大小密切关系。

从前面学过的知识可以指导, 负载获得的功率为

$$P_L = I^2 R_L = \left(\frac{E}{R_L + r} \right)^2 R_L = \frac{E^2 R_L}{R_L^2 + 2R_L r + r^2} = \frac{E^2 R_L}{R_L^2 - 2R_L r + 4R_L r + r^2}$$

$$= \frac{E^2}{(R_L - r)^2 / R_L + 4r}$$

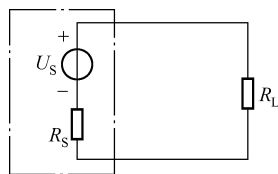


图 1.4.1 含源二端口网络接负载时等效电路图

显然, 由于式中 E 、 r 都可以近似看成常量, 则只有在分母为最小值, 也就是在 $R_L - r = 0$, 即 $R_L = r$ 时, P_L 才能达到最大值。其最大值为

$$P_{L\max} = \frac{E^2}{4R_L} = \frac{E^2}{4r}$$

负载获得最大功率的条件就是: $R_L = r$ 。通过上述分析, 我们可以知道: 当电路中负载阻抗与电源内阻抗相匹配时, 负载获得最大功率。直流电路中, 就是 $R_L = r$ 时, 负载获得最大功率, 最大功率 $P_{L\max} = \frac{E^2}{4R_L} = \frac{E^2}{4r}$ 。这就是最大功率传输定理。在后面通过正限量相量分析法学习后, 我们就可以把最大功率传输定理推广到交流电路分析中。

2. 最大功率与输电效率

当负载获得最大功率时, 由于 $R_L = r$, 因而内阻上消耗的功率和负载消耗的功率相等, 这时效率只有 50%, 显然是不高的。在无线电电子通信技术中, 由于信号一般很弱, 通信电路主要考虑使负载获得最大功率信号, 效率高低属于次要问题, 因而电路总是尽可能工作在 $R_L = r$ 附近。这种工作状态一般也称为“匹配”状态。而在电力系统中, 总是希望尽可能减小电源内部损耗以提高输电效率, 必须使 $I^2 r \ll I^2 R_L$, 即 $r \ll R_L$ 。

【例 1.4.1】 在图 1.4.2 中, $R_1 = 4\Omega$, 电源电动势 $E = 36\text{ V}$, 内阻 $r = 0.5\Omega$, R_2 为变阻器。要使变阻器获得的功率最大, R_2 的值应是多大? 这时 R_2 获得的功率是多大?

解 可以把 R_1 看成是电源内阻的一部分, 这样内阻就是 $R_1 + r$ 。利用负载获得最大功率的条件, 可以求出: $R_2 = R_1 + r = 4 + 0.5 = 4.5\Omega$ 。

此时 R_2 获得的最大功率为

$$P_{L\max} = \frac{E^2}{4R_2} = \frac{36^2}{4 \times 4.5} = 72\text{ W}$$

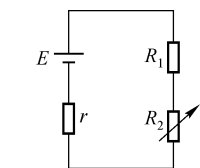


图 1.4.2 例 1.4.1 图

二、任务实施

1. 电路设计

设计三组 LED 手电筒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) 设计三组 LED 手电筒发光并联电路, 绘制电路模型图。

2) 为了调试时, 测试元器件工作特性的方便, 在设计的电路中串接一个调试电位器 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, 实物接线图参照图 1.4.3。正确绘制调试电路电气原理图。

3) 各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 手电筒发光并联电路连接和调试

1) 线路连接

在任务三调试完成的两组 LED 发光并联电路基础上, 把面包板上两组 LED 发光并联电路 A、B 两端并接上第三组单管 LED 发光电路, 线路接线要求同任务二和任务三。

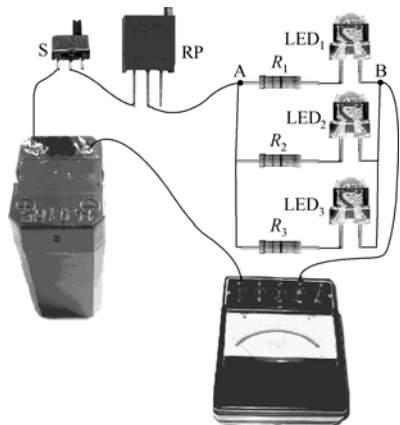


图 1.4.3 三组 LED 手电筒发光并联电路调试实物接线图

续表

开关状态		S 断开	S 合上							
观察、测量、计算										
P/mW										
P_{Rp}/mW										
P_{AB}/mW										
R/Ω										
R_{p}/Ω										
R_{AB}/Ω										
I	U_{R1}/V									
	U_{D1}/V									
	I_1/mA									
	P_1/mW									
	R_{AB1}/Ω									
II	U_{R2}/V									
	U_{D2}/V									
	I_2/mA									
	P_2/mW									
	R_{AB2}/Ω									
III	U_{R3}/V									
	U_{D3}/V									
	I_3/mA									
	P_3/mW									
	R_{AB3}/Ω									
结论分析：										

3. 求证三组 LED 手电筒并联电路功率传输效率 η

在表 1.4.1 中，开关 S 断开时，测量出的电源端电压 U 即为电源电动势 E ，开关 S 合上时，测量出第一组数值（此时 $R_{\text{p}}=0$ ）即为手电筒电路正常工作时的物理量参数，故三组 LED 手电筒并联电路功率传输效率 $\eta=\frac{UI}{EI}=\frac{U}{E}\times\%$ 。

4. 验证电路最大功率传输定理

参照表 1.4.2，把表 1.4.1 中有关数值和观察现象重新抄录在表 1.4.2 中。若把电位器 RP 看作电源内阻，则开关 S 合上时，电源的等效内阻 $R_{\text{bS}}=R_{\text{p}}+R_{\text{S}}$ ，把计算的各等效内阻数值填入表 1.4.2 中。

根据表 1.4.2 中数据，在方格纸上分别绘制 $P_{\text{AB}}\sim R_{\text{AB}}$ 曲线和 $P_{\text{AB}}\sim R_{\text{bS}}$ 曲线，根据曲线分析论证最大传输功率条件。

若把三组 LED 照明并联电路用一个 100Ω 阻值的固定电阻代替，改变电位器阻值，使得阻值在 100Ω 前后各取 4~5 个值按照上述过程测量 I 、 U_{RP} 、 U ，把测量值记录在表 1.4.3 中，并按照相同方法计算相关数据， $P_{\text{AB}}=I^2R_{\text{AB}}$ ，在方格纸上绘制 $P_{\text{AB}}\sim R_{\text{bS}}$ 曲线，根据曲线分析论证最大传输功率定理。

表 1.4.2 观察、测量和计算记录表

$R_S =$ _____

开关状态 观察、测量、计算	S 断开	S 合上								
LED 明暗强度										
I/mA										
U/V										
U_{RP}/V										
U_{AB}/V										
P_{AB}/mW										
R_{P}/Ω										
R_{bS}/Ω										
R_{AB}/Ω										
结论分析：										

表 1.4.3 测量和计算记录表

$R_S =$ _____

开关状态 测量、计算	S 断开	S 合上								
R_{AB}/Ω	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
I/mA										
U/V										
U_{RP}/V										
R_{P}/Ω										
R_{bS}/Ω										
P_{AB}/mW										
结论分析：										

5. 手电筒整体装配

三组单管 LED 手电筒照明并联电路已经设计、安装和调试完成，电路元件印制板的制作可在项目五完成后，参照项目五电路印制板的制作方法进行。本项目可在以上各项工作任务内容实施完成后，完成手电筒的装配制作，三组单管 LED 可充电照明手电筒配件和塑料成品外壳预先向供应商或厂家定制或购买。

手电筒装配过程，可按照以下各步骤进行。

步骤一：制作安装手电筒充电器和开关电路。充电器和开关电路原理图如图 1.0.3（a）所示，图中虚线框着部分就是，共引出三组引线分别接充电电源插头、蓄电池和三组 LED 照明灯电路。其工作原理可在项目五完成后，在掌握二极管整流电路工作原理基础上去分析。印制电路板如图 1.4.4 所示，可向供应商或厂家定制或购买。装配时实物图如图 1.0.3（b）所示。

步骤二：连接滑动接触式可伸缩电源插头和蓄电池。装配图如图 1.4.5 所示。连接蓄电池时注意正负极性不要接错。

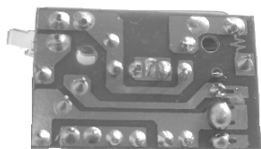


图 1.4.4 手电筒充电器和开关印制电路板图

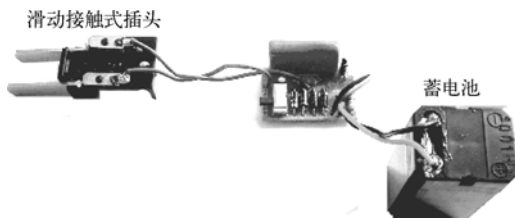


图 1.4.5 手电筒充电插头和蓄电池装配图

步骤三：三组单管 LED 照明电路灯头装配。三组单管 LED 照明并联电路印制电路板如图 1.4.6 (a)、(b) 所示，可向供应商或厂家定制或购买，有条件学校可自制。图 1.4.6 (c) 是反光杯，聚焦反射灯光。图 1.4.6 (d) 所示是反光杯和 LED 灯装配。图 1.4.6 (e) 所示是灯头部分与手电筒其他电路的整体装配。



图 1.4.6 手电筒 LED 照明电路灯头装配图

步骤四：嵌入外壳整体装配。手电筒外壳（筒身）可以定制或购买，如图 1.4.7 (a) 所示。图 1.4.7 (b) 所示是电路整体嵌入外壳中，装配时注意引线接头不要压坏或松动。图 1.4.7 (c) 所示手电筒整体装配完成。

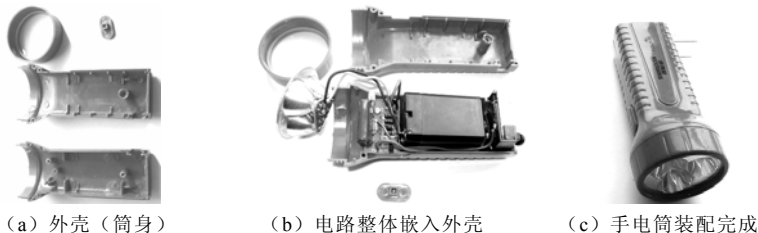


图 1.4.7 手电筒整体装配

三、工作评价

(一) 知识答卷

参见《电工基础技术项目工作手册》项目一中工作任务四的知识水平测试卷。

(二) 知识学习考评成绩

知识学习考评表同表 1.2.10，参见《电工基础技术项目工作手册》项目一中任务四的知识学习考评表。

(三) 任务实施过程评价

工作过程考核评价表类同表 1.2.11，参见《电工基础技术项目工作手册》项目一中任务四的工作过程考核评价表。

任务五 成果验收以及验收报告和项目完成报告的制定

一、任务准备

任务实施前师生根据项目实施结果要求，拟定项目成果验收条款，作好成果验收准备。成果验收标准及验收评价方案如表 1.5.1 所示。

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	配分方案
1	手电筒功能	三组 LED 可充电手电筒使用时，满足以下 4 个功能要求：(1) 拨动开关未合上，三组单颗 LED 灯均不亮；(2) 开关合上，三组 LED 灯均亮，测算蓄电池新充满电时，每组发光功率要不低于 0.06W，发光效率不低于 80%；(3) 蓄电池新充满电时，合上开关，发光持续时间不低于 6~8h，测量 LED 发光工作电压在 1.5~3.5V 内可调；(4) 插头可伸缩，插电后，无论拨动开关开合，蓄电池都能安全、正常充电，开关合时，手电筒也能正常发光	(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，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；发光效率达不到标准，验收成绩扣 15 分。 (3) 针对验收标准第(3)项功能，持续时间达不到 6~8h，验收成绩扣 15 分；发光持续时间内，工作电压范围不宽，达不到标准，验收成绩扣 15 分。 (4) 针对验收标准第(4)项功能，插头插电后出现冒烟、焦味、异声等故障现象，以及电路短路造成电路不能正常工作，本项验收成绩为 0 分；插电后，蓄电池不能正常充电，验收成绩扣 15 分；充电时，开关合上，灯不亮，验收成绩扣 15 分	50
2	装配工艺	(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，与面包板接触不良，每个元器件扣 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，且交叉、重叠。私拉乱接情况严重者，本项成绩为 0 分，情况较少者，每处扣 3 分。 (6) 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	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，每缺一份扣 10 分	25

二、任务实施

1. 成果验收

项目工作小组之间按照标准互相进行成果验收评价，并制定验收报告。第 n 组对第 $n+1$ 组评价，若 $n+1>N$ (N 是项目工作小组总组数)，则对第 $n+1-N$ 组进行成果验收评价。

2. 成果验收报告制定

表 1.5.2 项目一 验收报告书

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	主动复命 ☐
未完成的工作内容		未完成的原因	
项目验收情况综述			
验收评分		验收结果	达标 ☐ 基本达标 ☐ 不达标 ☐ 很差 ☐
验收人签名		验收日期	

3. 项目完成报告制定

表 1.5.3 项目完成报告书

项目执行部门			项目执行组	
项目执行人			报告书编写时间	
项目安排日期			项目实际完成日期	
项目实施任务 1： 项目实施文件制定 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 电路的设计、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 电路的设计、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 手电筒 照明电路的设计、 制作与调试以及整 体装配	内容概述			
	完成结果			
	分析结论			
项目实施任务 5： 成果验收以及验收 报告和项目完成报 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及技能以及对项目的实施有什么看法、建议或体会，请编写出项目工作小结，若字数多可另附纸）				

三、工作评价

表 1.5.4 任务完成过程考评表

序号	评价内容	评 价 要 求	评 价 标 准	配分	得分
1	工作态度	认真完成任务，严格执行验收标准、遵章守纪、表现积极	按照拟定的平时表现考核表相关标准执行	10	
2	成果验收	认真按照验收标准完成成果验收	(1) 成果验收未按标准进行，每处扣 10 分； (2) 成果验收过程不认真，每处扣 10 分	20	
3	成果验收报告书制定	认真按照要求规范、完整地填写好成果验收报告书	(1) 报告书填写不认真，每处扣 10 分； (2) 报告书各条目未按要求规范填写，每处扣 10 分； (3) 报告书各条目内容填写不完整，每处扣 10 分	20	
4	项目完成报告书制定	认真按照要求规范、完整地填写好项目完成报告书	(1) 报告书填写不认真，每处扣 10 分； (2) 报告书各条目未按要求规范填写，每处扣 10 分； (3) 报告书各条目内容填写不完整，每处扣 10 分； (4) 无项目工作小结，扣 30 分； (5) 项目工作小结撰写的其它情况，参考 (1) ~ (3) 评分	50	
4	合计				
5	备注：				



知识拓展

知识拓展 1 伏安法测电阻两种测量接法

各种导线、线圈、绝缘材料、开关接触处等都有电阻。电阻在数值上可分为低值、中值、高值三个范围。低值为 $1\,\Omega$ 以下，中值为 $1\,\Omega\sim 1\,\text{M}\Omega$ 之间， $1\,\text{M}\Omega$ 以上为高值。不同的电阻值，不同的精度要求，所选择的测量仪器、测量方法不同。导线电阻、线圈电阻、开关接触电阻等低值电阻常用双臂电桥测量。高值电阻中的绝缘电阻一般用兆欧表测量。中值电阻我们可以采用万用表直接测量，测量精度要求高时，可采用单臂电桥测量。电阻器在工作状态时，工程上常采用伏安法测电阻。

伏安法测电阻的理论依据是欧姆定律，如果 U 为电阻两端电压， I 为流过电阻的电流，在关联参考方向下有 $R_x=U/I$ 。测量电路见图 1.6.1，其中图 (a) 为电压表接前方式，它适用于被测电阻 R_x 较大，即 $R_x\gg R_A$ (R_A 为电流表内阻) 的情况，此时根据串联电路的特性知道，电流表内阻电压要比 R_x 两端电压小很多，可以忽略不计，电压表测量电压即为 R_x 两端电压。本项目由于单管 LED 发光电路阻值在 $100\sim 200\Omega$ ，要比毫安表内阻大得多，故采用了 (a) 接法。图 (b) 为电压表接后方式，它适用于被测电阻 R_x 较小，即 $R_x\ll R_V$ (R_V 为电压表内阻) 的情况，此时 R_x 与 R_A 在大小上有一定的可比性。伏安法测电阻的特点是测量结果能反映电阻器在工作状态的电阻值，但有一定测量误差。

思考：伏安法测电阻有什么特点？电压表接前或接后分别在什么条件下采用？

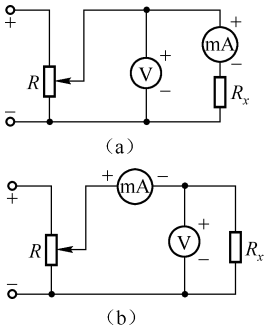


图 1.6.1 伏安法测电阻两种接法

伏安法测电阻的特点是测量结果能反映电阻器在工作状态的电阻值，但有一定测量误差。

知识拓展 2 电阻的星形与三角形连接及等效变换

在分析电路时,将串联、并联、混联电阻化简为等效电阻的方法,解决了许多电阻、电路问题。但是在一些电路中,常常会遇到三个电阻的一端连在同一点,另一端分别接到三个不同端子上,如图 1.6.2 (a) 所示,这种连接方式称为电阻的星形(Y)连接。如果将三个电阻分别接到三个端子的每两个之间,如图 1.6.2 (b) 所示,称为电阻的三角形(Δ)连接。

这三个电阻既非串联又非并联,不能用串、并联简化。但可以通过电阻的 Y- Δ 等效变换

来简化,若图 1.6.2 所示的两个网络等效,它们的三个对应端 a、b、c 的电流 I_a 、 I_b 、 I_c 及三个对应端之间的电压 U_{ab} 、 U_{bc} 、 U_{ca} 应相等。对星形连接和三角形连接的电阻,如令 a 端子断开,那么图 1.6.2 (a) 中的 b、c 端子间的等效电阻应等于图 1.6.2 (b) 中的 b、c 端子间的等效电阻,即

$$R_b + R_c = \frac{R_{bc}(R_{ab} + R_{ca})}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \quad (1-6-1)$$

同时,分别令 b、c 端子对外断开,则另外两端子间的等效电阻也应有

$$R_a + R_c = \frac{R_{ca}(R_{ab} + R_{bc})}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \quad (1-6-2)$$

$$R_a + R_b = \frac{R_{ab}(R_{bc} + R_{ca})}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \quad (1-6-3)$$

将上面三式相加,化简后可得:

$$R_a + R_b + R_c = \frac{R_{ab}R_{bc} + R_{bc}R_{ca} + R_{ca}R_{ab}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \quad (1-6-4)$$

将以上各式化简可得:

$$R_a = \frac{R_{ca}R_{ab}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}, \quad R_b = \frac{R_{bc}R_{ab}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}}, \quad R_c = \frac{R_{ca}R_{bc}}{R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}} \quad (1-6-5)$$

式(1-6-5)为已知三角形连接电阻计算等效星形连接电阻的三个关系式。

同理,如果已知星形连接电阻,那么将式(1-6-5)中各式两两相乘再相加,化简整理可得三角形各电导关系为

$$G_{ab} = \frac{G_a G_b}{G_a + G_b + G_c}, \quad G_{bc} = \frac{G_b G_c}{G_a + G_b + G_c}, \quad G_{ca} = \frac{G_c G_a}{G_a + G_b + G_c} \quad (1-6-6)$$

式(1-6-6)就是从已知星形连接电导(电阻倒数)求等效三角形连接电导的关系式。

当 $R_{ab} = R_{bc} = R_{ca} = R_{\Delta}$, 称为对称三角形连接电阻,则等效星形连接的电阻也是对称的,有

$$R_a = R_b = R_c = R_Y = \frac{1}{3} R_{\Delta}$$

反之 $G_{\Delta} = \frac{1}{3} G_Y$ 。

由于画法不同,电阻星形连接有时又称作 T 形连接,电阻三角形连接也称作 P 形连接。

【例 1.6.1】 已知图 1.6.3 (a) 所示电路中, $R_1=3\Omega$, $R_2=1\Omega$, $R_3=2\Omega$, $R_4=5\Omega$, $R_5=4\Omega$, 试求 AB 端的等效电阻 R_{AB} 。

解 把 R_1 、 R_2 、 R_3 看作一个星形连接,将其等效成图 1.6.3 (b) 所示虚线框内的三角形电阻,则

$$G_{12} = \frac{\frac{1}{3} \times 1}{\frac{1}{3} + 1 + \frac{1}{2}} = \frac{2}{11} \text{ S}, \text{ 即 } R_{12} = \frac{1}{G_{12}} = 5.5 \Omega$$

同理 $R_{13} = 11 \Omega$, $R_{23} = 3.67 \Omega$ 。

由图 1.6.3 (b) 得 R_{12} 与 R_4 并联、 R_{23} 与 R_5 并联，然后二者再串联，最后与 R_{13} 并联，即

$$R_{AB} = (R_{12} // R_4 + R_{23} // R_5) // R_{13} = 3.21 \Omega$$

在电路分析中，应用星形电路与三角形电路的等效变换的目的是为了简化电路的分析。选择电路中的元件构成三角形还是星形电路时，要仔细观察电路的连接关系，否则变换后可能使下一步的分析更复杂。



思考与练习

参见《电工基础技术项目工作手册》项目一中的思考与练习。

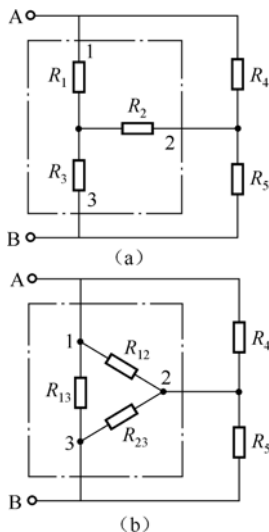


图 1.6.3 例 1.6.1 图