

高等职业教育能源动力与材料大类系列教材

电工技术及应用

DIANGONG JISHU JI YINGYONG

●主 编 董寒冰



重庆大学出版社

电工技术及应用

主 编 董寒冰

副主编 吴海燕 陈子元 舒 辉 刘 娟

重庆大学出版社

内容提要

本书阐述了电工技术直流电路和交流电路等主要内容。全书按照“项目驱动”式编写,分为4个项目15个学习任务,主要内容包括简单直流电阻电路分析及应用、复杂直流电阻电路分析及应用、单相正弦交流电路分析及应用、三相正弦交流电路分析及应用,每个任务由理论知识和实践知识组成,各学习任务都有任务实施及任务检查与评价,充分反映职业岗位的技术要求,强调共享性及适用性,提高教学效果。

本书可作为高等院校发电厂及电力系统专业、供用电技术专业、高压输电线路运行与维护专业、电气自动化技术专业、火电厂集控运行专业、电厂热能动力装置专业、供电服务专业、电力营销工作人员的培训教材或参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术及应用/董寒冰主编.--重庆:重庆大学出版社,2020.3

ISBN 978-7-5689-2021-6

I. ①电… II. ①董… III. ①电工技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第044023号

电工技术及应用

主 编 董寒冰
副主编 吴海燕 陈子元 舒 辉 刘 娟
策划编辑:鲁 黎
责任编辑:文 鹏 版式设计:鲁 黎
责任校对:王 倩 责任印制:张 策

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:饶帮华

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆市国丰印务有限责任公司印刷

*

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:12 字数:287千

2020年3月第1版 2020年3月第1次印刷

ISBN 978-7-5689-2021-6 定价:36.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换
版权所有,请勿擅自翻印和用本书
制作各类出版物及配套用书,违者必究

高等职业教育能源动力与材料大类

(供电服务) 系列教材编委会

主 任:黎跃龙

副 主 任:颜宏文 浣世纯 冯 兵 龚 敏

成 员:张 欣 曾旭华 段 粤 陈正茂

冯 骞 李汶霓 朱 华 王 钊

魏梅芳 袁东麟 李高明 张 惺

付 蕾 谢毅思 宁薇薇 陈铸华

吴力柯 李 恺

合作企业:国网湖南电力有限公司

国网湖南供电服务中心

国网湖南电力有限公司所属各供电企业

实施乡村振兴战略,是党的十九大作出的重大决策部署。习近平总书记指出,“乡村振兴是一盘大棋,要把这盘大棋走好”。近年来,在国家电网有限公司统一部署下,国网湖南省电力有限公司全面建设“全能型”乡镇供电所,持续加大农网改造力度,不断提升农村电网供电保障能力,与此同时,也对供电所岗位从业人员技术技能水平提出了更新更高的要求。

近年来,长沙电力职业技术学院始终以“产教融合”为主线,以“做精做特”为思路,立足服务公司和电力行业需求,大力实施面向供电服务职工的定制定向培养,推进人才培养与“全能型”供电所岗位需求对接,重点培养电力行业新时代卓越产业工人,为服务乡村振兴和经济社会发展提供强有力的人才保障。

教材,是人才培养和开展教育教学的支撑和载体。为此,长沙电力职业技术学院把编制适应供电服务岗位需求的教材作为抓好定向培养的关键切入点,从培养供电服务一线职工的角度出发,破解职业教育传统教材与生产实际、就业岗位需求脱节的突出问题。本套教材由长沙电力职业技术学院教师与供电企业专家、技术能手和星级供电所所长等人员共同编写而成,贯穿了“产教协同”的思路理念,汇聚了源自供电服务一线的实践经验。

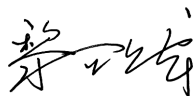
以德为先,德育和智育相互融合。本套教材立足高职学生视角,突出内容设计和语言表达的针对性、通俗性、可读性的同时,注重将核心价值观、职业道德和电力行业企业文化等元素融入其中,引导学生树立共产主义远大理想,把“爱国情、强国志、报国行”自觉融入实现“中国梦”的奋斗之中,努力成为德、智、体、美、劳全面发展的社会主义建设者和接班人。

以实为体,理论与实践相互支撑。“教育上最重要的事是要给学生一种改造环境的能力”(陶行知语)。为此,本套教材更加突出对学生职业能力的培养,在确保理论知识适度、实用的基础上,采用任务驱动模式编排学习内容,以“项目+任务”为主体,导入大量典型岗位案例,启发学生“做中学、学中做”,促进实现工学结合、“教学做”一体化目标。同时,得益于本套教材为校企合作开发,确保了课程内容源于企业生产实际,具有较好的“技术跟随度”,较为全面地反映了专业最新知识,以及新工艺、新方法、新规范和新标准。

以生为本,线上与线下相互衔接。本套教材配有数字化教学资源平台,能够更好地适应混合式教学、在线学习等泛在教学模式的需要,有利于教材跟随能源电力专业技术发展和产业升级情况,及时调整更新。该平台建立了动态化、立体化的教学资源体系,内容涵盖课程电子教案、教学课件、辅助资源(视频、动画、文字、图片)、测试题库、考核方案等,学生可通过扫描“二维码”,结合线上资源与纸质教材进行自主学习,为大力开展网络课堂和智慧学习提供了有力的技术支撑。

“教育者,非为已往,非为现在,而专为将来”(蔡元培语)。随着现场工作标准的提高、新技术的应用,本套教材还将不断改进和完善。希望本套教材的出版,能够为全国供电服务职工培养培训提供参考借鉴,为“全能型”供电所建设发展做出有益探索!

与此同时,对本套系列教材辛勤付出的编委会成员、编写人员、出版社工作人员表示衷心的感谢!



前言

为了进一步适应高等职业技术教育改革的需要,推进“三教”(教师、教材、教法)改革,提高电力类职院教育质量,提高学生的就业竞争力,国网湖南省电力公司针对电力技术专业群中各专业人才培养目标,结合后续的专业方向课程、毕业设计、技能鉴定、专升本、工程实际应用需要,编写出贴近生产实际的新时代电力专业教材《电工技术及应用》。

教材内容筛选遵循“必需”“够用”的原则,强调共享性及适用性。按照各专业课程标准要求和教学进程需要,内容分为4个项目15个学习任务。

本书由董寒冰担任主编,吴海燕、陈子元、舒辉、刘娟担任副主编。具体编写分工如下:项目1由长沙电力职业技术学院董寒冰编写、项目2由长沙电力职业技术学院吴海燕编写、项目3由长沙电力职业技术学院陈子元编写、项目4由长沙电力职业技术学院舒辉编写,全书由刘娟统稿。

在本书编写过程中,得到了各级领导的大力支持与帮助,在此表示由衷的感谢!

由于编写水平所限,书中难免存在不妥与错误之处,恳请读者批评指正。

编者

2019年11月

项目 1 简单直流电阻电路分析及应用	1
任务 1.1 仪器仪表的使用及电位测量	1
任务 1.2 电阻串联、并联的应用	17
任务 1.3 电阻星形和三角形的等效互换	26
任务 1.4 电阻伏安特性的测定	33
【习题 1】	43
项目 2 复杂直流电阻电路分析及应用	50
任务 2.1 基尔霍夫定律的验证	50
任务 2.2 叠加定理及验证	61
任务 2.3 电源的等效变换	67
任务 2.4 戴维南定理的验证	75
【习题 2】	81
项目 3 单相正弦交流电路分析及应用	86
任务 3.1 单相交流电在白炽灯照明电路中的应用	86
任务 3.2 RL 串联电路在日光灯电路中的应用	98
任务 3.3 RLC 串联电路分析应用	113
任务 3.4 日光灯电路中功率因数的提高	126
【习题 3】	139
项目 4 三相正弦交流电路分析及应用	144
任务 4.1 三相照明电路星形连接	144
任务 4.2 三相照明电路三角形连接	154
任务 4.3 三相电路有功功率的测量	166
【习题 4】	174
参考文献	181

项目 1 简单直流电阻电路分析及应用

【项目描述】

使学生熟悉直流电阻电路的组成和相关物理量概念,掌握直流电阻电路分析计算方法,以典型直流电路为载体,能按照电路图接线,运用电工仪表进行测量各项物理量,验证相关定律,通过完成电路参数和典型工作电路的分析和测量,掌握简单直流电路的应用。

【项目目标】

- (1) 了解电路概念及分类。
- (2) 熟悉电路的基本物理量及常用电路元件。
- (3) 掌握电流、电压、电位、功率等物理量计算和测量。
- (4) 学会简单直流电阻电路的一般分析方法。
- (5) 会用实验的方法测试电路,验证电路定律。

任务 1.1 仪器仪表的使用及电位测量

【任务目标】

• 知识目标

- (1) 了解电路概念及分类;
- (2) 掌握电路的电流、电压、电位、电动势概念及性质;
- (3) 掌握电路的各物理量分析方法。

- 能力目标

- (1)能识读电路图;
- (2)能正确按图接线;
- (3)能使用电流表、电压表、万用表、电阻箱、滑线电阻器进行电位测量;
- (4)能进行实验数据分析;
- (5)能完成实验报告填写。

- 态度目标

- (1)能主动学习,在完成任务过程中发现问题、分析问题和解决问题;
- (2)能与小组成员协商、交流配合完成本次学习任务,养成分工合作的团队意识;
- (3)严格遵守安全规范,爱岗敬业、勤奋工作。

【任务描述】

班级学生自由组合成若干个实验小组,各实验小组自行选出组长,并明确各小组成员的角色。在电工实验室中,各实验小组按照《Q/GDW 1799.1—2013 国家电网公司电力安全工作规程》、进网电工证相关标准的要求进行电位测量。

【任务准备】

课前预习相关知识部分,独立回答下列问题:

- (1)电路主要由哪几部分组成?各有何作用?
- (2)电路中的理想元件一般有哪些?
- (3)电路的类型有哪些?
- (4)电路的工作状态有哪几种?
- (5)电位与电压有何异同?

【相关知识】

理论知识

电位是电路物理量中一个十分重要的概念,实用性很强。我们可以通过万用表测量电

路中各点电位来分析电路故障,也可以用短路线连接等电位点简化电路。学习时注意区分电位与电压的异同,充分理解参考点的概念。

一、电路的类型

1) 电路的基本概念

简单的说,电路就是电流流经的路径。实际电路是由一些电气设备和元器件按一定方式连接而成,实现某种功能的电流的通路,它具有传输电能、处理信号、测量、控制、计算等功能。

电路分析的内容就是将实际的电路抽象成电路模型,研究电路模型的规律及电路中的电磁现象,并且用一些物理量,如电流、电压、磁通来描述其中变化的过程。

2) 电路的组成

无论是简单电路还是复杂电路,电路一般都由三部分组成:电源、负载和中间环节。

3) 电路类型

电路按功能大致可分为两类:

(1) 传输和转换电能的电路:如图 1.1.1 所示的电力电路。

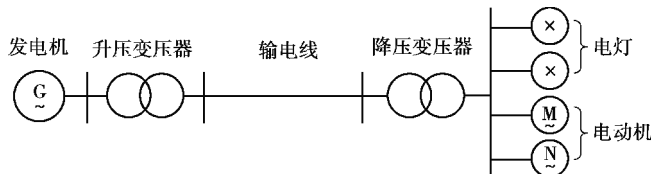


图 1.1.1 电力系统的示意图

电源:提供电能的设备,将其他形式的能量转换为电能,如发电机、电池等。

负载:取用电能的设备,将电能转变为其他形式的能量,如电灯、电动机等。

中间环节:连接于电源和负载之间,起到传输和分配电能的设备,如输电线路、变压器、开关等。

(2) 传递和处理信号的电路。

信号源:提供电信号的设备,将其他形式的信号转变为电信号。

负载:接受和转换电信号的设备,将电信号转变为其他形式的信号,如扬声器。

中间环节:连接于信号源与负载之间,用以传递和处理电信号的设备,如放大器。

在电工学中,所产生的电能必须能安全可靠并经济地进行配电并提供给用户,实践中,通常需要以下几种形式的电路:

- ① 直流电路。
- ② 单相交流电路(简称“交流电路”)。
- ③ 三相交流电路。

二、电路元件与电路模型

实际电路器件品种繁多,其电磁特性多元而复杂。如灯泡通电时,既要发光、发热,也会产生微弱的磁场;电感线圈在通过电流时,不仅要产生磁场,同时线圈也会发热;而电容两端加上电压时,不仅在极板间将建立电场,电容器介质也要产生热损耗等。各种电磁现象交织在一起,给分析电路问题带来很大困难。因此将实际元件理想化,采取模型化处理才能获得有意义的分析效果。

1) 电路元件概念

为了对电路进行定性分析计算,常常将实际电路元件近似化和理想化,把在一定条件下忽略次要电磁因素,仅考虑其主要电磁特性的理想元件,称为电路元件。

理想电路元件是实际电路器件的理想化和近似,其电特性单一、确切,可定量分析和计算。

理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源。理想元件的图形符号如图 1.1.2 所示。

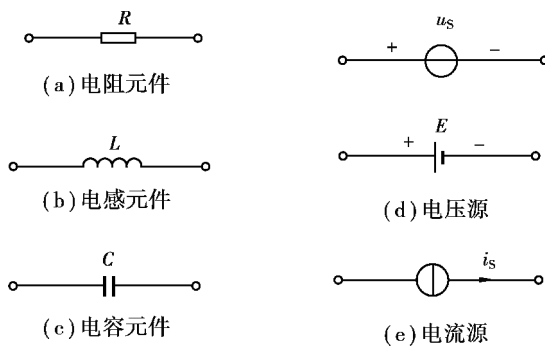


图 1.1.2 理想元件的图形符号

- (1) 电阻元件:具有消耗电能的电特性。
- (2) 电感元件:具有储存磁场能量的电特性。
- (3) 电容元件:具有储存电能的电特性。
- (4) 理想电压源:输出电压恒定,输出电流由它和负载共同决定。
- (5) 理想电流源:输出电流恒定,两端电压由它和负载共同决定。

2) 电路模型概念

与实体电路相对应、由理想元件构成的电路图,称为实体电路的电路模型。电路模型用国家标准规定的电路元件图形符号代替实际电路器件来绘制,形成原理电路图,简称电路图。

电路图用电路符号表示电路的原理,是电气设备,如电源、用电器、开关、电阻或导线组成的示意图。电路符号只表达出设备的电气特性,对其设计结构并不表达任何信息。如电

路图中白炽灯的电路符号总是相同的,与其大小、功能或结构形式无关。电路符号可以放在任何位置,用电路符号可以使电路简单和一目了然。在电路中,电路符号与电路部件彼此相互接在一起,如图 1.1.3 所示。

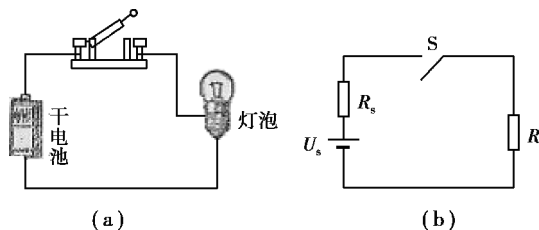


图 1.1.3 实际电路与电路模型

3) 电路的三种工作状态

(1) 负载状态: 电源与负载构成闭合回路。

额定值: 各种电气装置规定的长期安全使用的电压、电流、功率等数值。

满载: 电气装置处于额定值使用。

超载: 电气装置超过额定值使用, 会造成装置的损害。

轻载: 长期低于额定值使用, 将使装置的效率低下或不能正常工作。

(2) 断路状态: 电源与负载没有构成闭合回路, 回路的电流为零。易形成故障或事故。

(3) 短路状态: 把电路中某一部分的两端用导体直接相连, 使这两端的电压为零。短路时电阻为零, 会出现比负载状态大得多的电流, 造成电源和电气设备烧毁, 以及停电等严重事故。

三、电流

1) 电流的形成

把一个白炽灯接在一个直流电源上, 在照明电路中按下开关时, 灯泡就会发亮, 说明在灯泡中有电流通过, 如图 1.1.4 所示。那么什么叫作电流呢? 导体中的自由电子在电场力的作用下, 有规则地定向移动就形成电流。

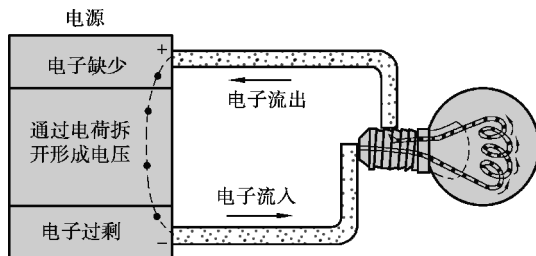


图 1.1.4 电流回路中的电子移动

单位时间内通过导体任一横截面的电量, 叫电流强度, 简称电流, 电流单位是安培, 符号是 A。

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1.1)$$

导体中运动着的电荷 Q 是基本电荷 $e = 1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ 的倍数。因此, $Q = 1 \text{ C}$ 是由 6.242×10^{18} 个基本电荷组成。1 A 电流可由电荷和时间来解释。若每秒通过导体横截面的电荷为 1 C, 则导体中的电流为 1 A。

【例 1.1.1】 闪电时的放电时间 $t = 2 \text{ ms}$, 电荷 $Q = 0.24 \text{ C}$, 请计算: (a) 放电时的电流 I 。(b) 计算 2 ms 内的基本电荷数。

解 (a) $I = \frac{Q}{t} = \frac{0.24 \text{ C}}{0.002 \text{ s}} = 120 \text{ A}$

(b) $n = \frac{Q}{e} = \frac{0.24 \text{ C}}{1.602 \times 10^{-19} \text{ C}} = 1.5 \times 10^{18}$

对于很大或很小的电流可以像其他物理量一样使用附加单位, 常用的电流单位有安(A)、千安(kA)、毫安(mA)、微安(μA)。

附加单位符号见表 1.1.1。

表 1.1.1 多倍单位符号与单位

标志符	吉	兆	千	分	厘	毫	微	纳	皮
符号	G	M	k	d	e	m	μ	n	p
因数	10^9 1 000 000 000	10^6 1 000 000	10^3 1 000	10^{-1} 0.1	10^{-2} 0.01	10^{-3} 0.001	10^{-6} 0.000 001	10^{-9} 0.000 000 001	10^{-12} 0.000 000 000 001

电流的类型可分为直流电流(DC), 是同向同大小流动的电流, 如电池、蓄电池、电气仪表和电子仪器、示波器、录音机、电视机等电器中的电流都是直流电。电视机虽然输入的是交流电流, 但内部经过了整流、滤波后将交流电变换为直流电来工作。

如果电流大小和方向随时间而变化, 叫交流电流(AC), 用式(1.1.2)来表示:

$$i = \frac{dq}{dt} (\text{交流}) \quad (1.1.2)$$

一般工农业生产和日常生活当中的用电设备所用的电流大部分是交流电, 如电网、交流发电机、交流电动机等。

2) 电流的方向

电流是有流向的, 一般规定正电荷定向运动的方向为电流的实际方向, 即在电源的外部, 规定电流从正极流向负极。已经知道电子带负电荷, 所以电子定向运动方向的相反方向才是电流正方向。但在复杂的电路中, 电流的实际方向很难判断, 为了计算和分析电路的方便, 我们先假设某一方向为电流的正方向, 人为假设这个方向为电流的参考方向。电流的参考方向可以用以下两种方式表示, 如图 1.1.5 所示。

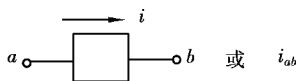


图 1.1.5 电流参考方向的表示方法

在分析计算电路时, 必须先选定电流的参考方向, 并以此为准来列写电量的关系式。电流的实际方向和参考方向如图 1.1.6 所示: 电流数

值的正负取决于参考方向的选择,实际方向与参考方向一致时,电流为正值;电流的实际方向与参考方向相反时,电流为负值。

任何电路在未标示参考方向情况下求出的电流正负值都是毫无意义的。

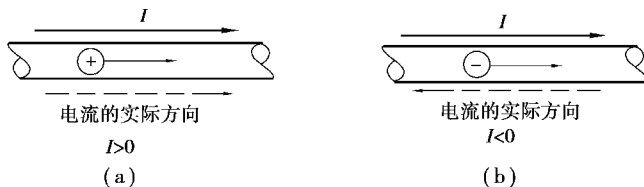


图 1.1.6 电流参考方向与实际方向的关系

3) 电流的测量

为了测量电流,应按图 1.1.7 所示串接上电流表。因为电流在没有分路的回路中处处都是相同的,所以可以在任意位置拆开导线。对于直流电,必须注意端子的极性。

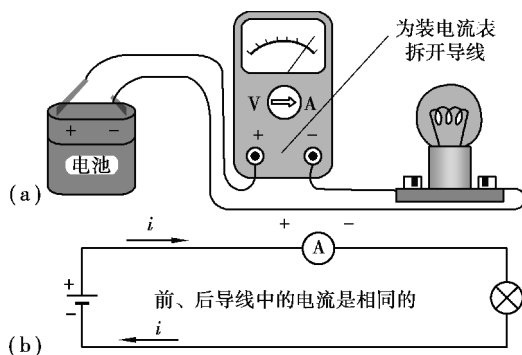


图 1.1.7 电流测量

测量时,电流表串联接于电路中。电流表有直流电流表、交流电流表两种,万用表也可用作电流表使用,如图 1.1.8 所示。

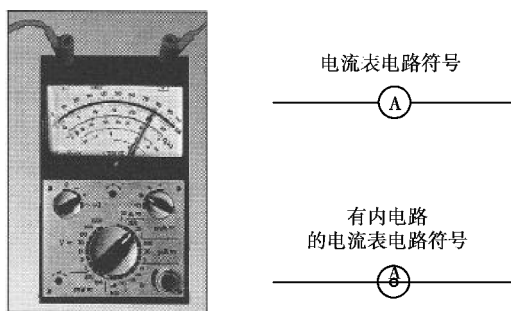


图 1.1.8 作为电流表的万用表

微安表、毫安表、安培表测量前都要先估算要测量的电流范围,以便选择合适的量程。注意:

- (1) 选内阻尽可能小的表计,误差小。
- (2) 最好让表的指示大于最大量程的 $\frac{2}{3}$,且不超过最大量程。
- (3) 不用手触摸带电部分,不带电切换量程开关,防止开路。

4) 电流效应

因为电流本身是看不到的,我们只能辨识其效应。通过实践,我们验证出电流具有热效应,可以应用在电熨斗、煮水器、电热水器、电烙铁、熔断器上。同时电流总是在其周围引起磁效应,这可以应用在电磁铁、电动机、接触器、继电器、测量仪、电铃、耳机、扬声器、开门装置上。电流还会使气体发光,具有光效应,可以应用在荧光灯、发光二极管、白炽灯上。电流还能分解导电液体,具有化学效应,电解、电镀、蓄电池就是利用电流的化学效应工作的。当触及裸露电线时,电流会对人体造成生命威胁,这是电流对生物的生理效应,虽然电流周围有危险,在医疗中人们也可以利用电流的生理效应,做成各种电疗设备治病救人。

5) 电流密度

人们发现当白炽灯发光时,通过同一电流的灯泡细灯丝被加热到了白炽状态,而导线却几乎不被加热。这说明虽然每秒通过大截面和小截面的电子数相同,但小截面中流动的高速电子通过强摩擦而变得更热。为了定量描述导体的加热程度,提出了电流密度的概念。

将每平方毫米横截面的电流称为电流密度 J 。单位: A/mm^2 。

电流密度越大,导体越容易发热。线圈绕组、变压器或电动机使用的导线不允许持续的电流密度太大,导线的绝缘层不能太热,不能存在燃烧危险,因此,要求导线截面积能承受线路最大的电流。

在墙壁、天花板或地板的布线管或管道中布线时,其电流密度允许比直接铺设在墙壁或灰浆下的绝缘导线或电缆的电流密度小。

四、电压

1) 电压的产生

电荷在电场中运动需要做功。在一个电路中,首先要有电压才能产生电流。为了衡量电场力对电荷做功的能力,引入电压这一概念。电压的符号用 U (或 u) 表示,单位是伏特,符号是 V 。

电场力把单位正电荷从电场中 a 点移到 b 点所做的功,称为两点间电压,即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1.1.3)$$

产生电压最常用的方式是电磁感应,如各种发电机。

当把不同材质的金属放到导电溶液中就形成了原电池,电池、蓄电池就是利用化学作用产生电压。

当光照到光敏器件上时,电压表显示出直流电压。光敏器件是利用光的辐射能产生电压,如卫星太阳能电源,计算器电池,时钟电源。

当把压力施加到如石英、热电石、酒石酸钾钠等压电晶体上时,利用压电效应可以产生电压,如电唱机、晶体扬声器、压力传感器、煤气点火器。

摩擦绝缘材料或摩擦不导电的液体也可以形成高电压,但塑料薄膜和交通工具却是要

尽量避免静电带电。

2) 电压的方向

如果正电荷从 a 点移到 b 点时失去或放出能量,则 a 点为高电位点, b 点为低电位点。反之,正电荷从 a 点移到 b 点时获得或吸收能量,则 a 点为低电位点, b 点为高电位点。习惯上规定,电压的实际方向为由高电位指向低电位,也称为电位降或电压降。

在电路分析时,也往往不知电路中电位的高低,同样要选取电压的参考方向。电压的参考方向表示方法有三种:

- (1) 用“+”“-”参考极性表示:“+”极表示高电位点,“-”极表示低电位点。
- (2) 用箭头表示:箭头指向“+”极 →“-”极。
- (3) 用双下标表示: U_{ab} 表示参考方向为从 a 指向 b 。

当电压的参考方向与实际方向一致时,电压为正($U > 0$);电压的参考方向与实际方向相反时,则电压为负($U < 0$)。如图 1.1.9 所示。

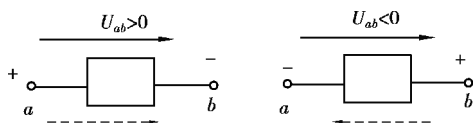


图 1.1.9 电压的参考方向与实际方向的关系

电压具有四个性质:

- (1) 两点间电压具有唯一确定数值:两点间电压只和位置有关,与移动的路径无关。
- (2) 电压有大小、方向:电压大小与参考点无关,电压实际方向是由高电位指向低电位。
- (3) 当电压和电流的参考方向选择一致时,称为关联参考方向。即电流的参考方向是从电压的“+”极流入,“-”极流出。
- (4) 沿任一闭合回路走一圈,各段电压的和恒为零。

3) 电压的测量

用作电压表的万用表如图 1.1.10 所示。为了测量电压,应按图 1.1.11 所示并接上电压表。电压表并联于电路中,有直流电压表、交流电压表两种。

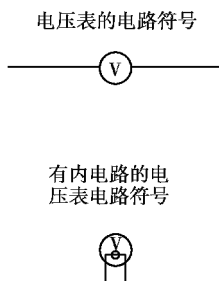


图 1.1.10 用作电压表的万用表

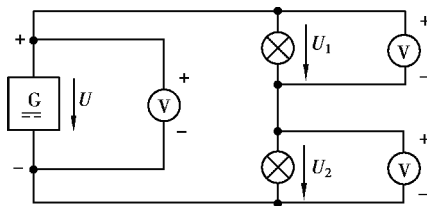


图 1.1.11 电压测量

电压表测量前要先估算电压范围,以便选择合适的量程,如无法估算,先打到最大量程,再慢慢调小。注意: