



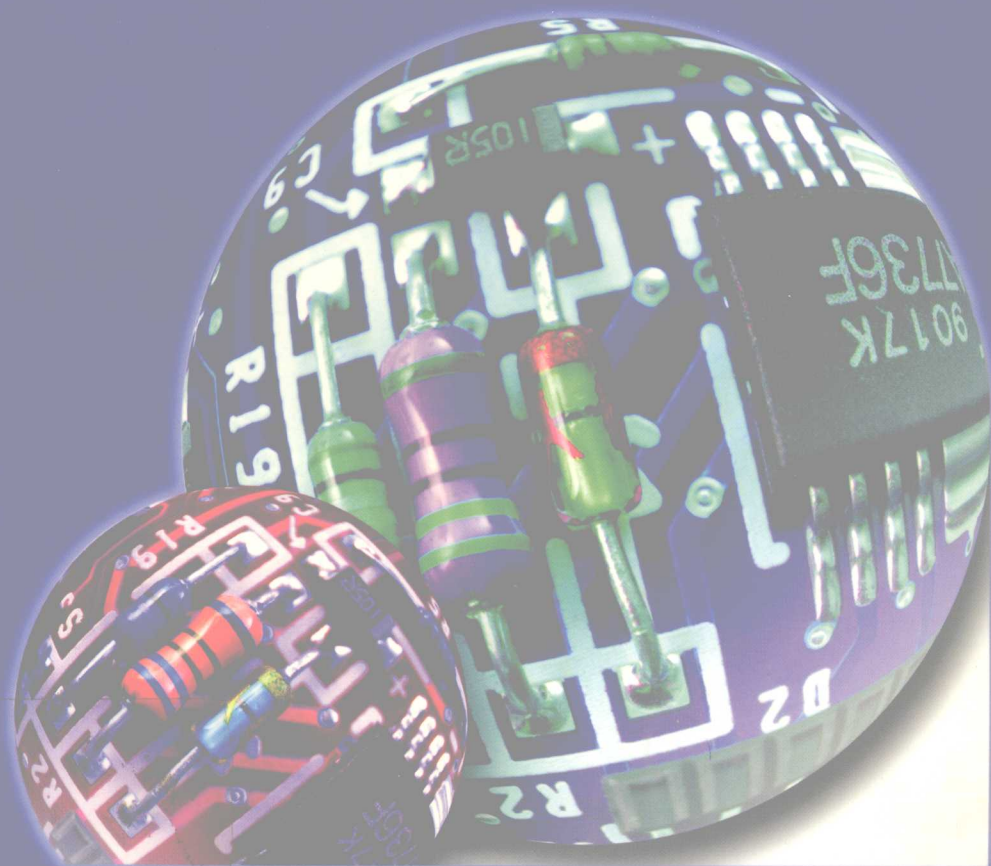
—面向21世纪课程教材—

Textbook Series For 21st Century

电工技术

(修订版)

李春茂 主编



科学技术文献出版社

面向 21 世纪课程教材

Textbook Series For 21st Century

内容简介

电工技术

(修订版)

主 编
副主编

李春茂

李振军

唐 介

李春茂

李振军

王 艳

王士辰

郭云波

王士辰

郭云波

许利霞

科学技术文献出版社

原文书号

(京)新登字 130 号

图书在版编目(CIP)数据

电工技术/李春茂(等)编著

北京:科学技术文献出版社,2001.10

ISBN 7-5023-3893-4

I.电... II.李... III.电工技术 IV.TM176

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 071919 号

出版者:科学技术文献出版社

地址:北京市复兴路 15 号/100038

策划编辑:王大庆

责任编辑:李 静

责任校对:吴惠云

责任出版:周永京

版式设计:刘 玉

封面设计:裴 渝

发 行 者:科学技术文献出版社 全国各地新华书店经销

印 刷 者:天虹印刷有限责任公司

版(印)次:2003 年 2 月第 2 版第 1 次印刷

开 本:787 × 1092 16 开

字 数:400 千

印 张:16

定 价:25 元

版权所有 翻印必究

内 容 简 介

全书分编为“电工基础”和“电工技术”上、下两篇,共十章。上篇主要内容包括:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦交流电路、线性电路的暂态分析;下篇主要内容包括:磁路与铁芯线圈电路、变压器、三相异步电动机、直流电机、继电器接触器控制系统与可编程控制器(PLC)、电量与非电量测试技术等。

本书通过精选内容,以有限的篇幅取得较大的覆盖面,力求叙述严谨、通俗精练,言简意明。它特别适合于机电一体化、自动控制、机械制造、汽车、材料、仪器仪表、信息工程、通讯、航天、航海、化工、轻工、管理及环境保护类等各专业作为本(专)科教材使用(参考学时40~60),也可供高等职业技术学院师生、工程技术人员及自学者阅读。

主 审 介 言

主 编 李 春 茹 王 士 刘

李 琳 军 李 琳 军

王 薛 书 陈 雷

前言

代序

电工技术是高等学校非电类专业学生必修的一门技术基础课程。电工技术的应用十分广泛,发展非常迅速,而且电工电子技术与其他学科的结合或向其他学科的渗透已经或正在促进这些学科的发展并开拓出学科的新领域。因此,要想成为21世纪现代化建设的高级专用人才,掌握电工技术的基本理论、基本知识和基本技能是十分必要的。

本书作为面向21世纪电工技术课程的教材,内容丰富、深入浅出、理论联系实际,充分体现了编者的科研、教学和工程实践能力和水平。本书是在《电工学新编教程》、《电工技术原理及应用》、《电工学学习指南》、《电工技术》(第一版)的基础上修订而成的,经过多年使用,积累了不少经验。这次修订后重新出版,使得本书在保证基础、体现先进、加强应用等方面又有了明显提高。

教材的质量直接影响着教学质量。我们要按照教育部的指示精神,大力提倡编写、引进和使用先进教材。这一方面要防止教材编写上的低水平重复,杜绝质量低劣的教材进入课堂,另一方面又要鼓励有条件的学校和教师积极参加教材建设工作,编写出高质量、有特色的教材。本书的编者有着丰富的教学经验和科研水平。在当前重科研、轻教学的风气甚盛的情况下,能够不遗余力从事教材建设工作,实在难能可贵。

21世纪,科学技术的发展加快,人才市场的竞争更趋激烈,为了适应这种变化,教学改革也在不断深入,希望本书编者再接再厉,不断总结教改的经验和成果,使本教材在使用中不断提高,从提高中不断发展。预祝本书在教学过程中得到顺利推广使用。

唐世介

2002年9月于大连理工大学

前 言

电工技术广泛应用于工农业生产、科研和人们的日常生活中,它与电子计算机、自动控制等学科有机地渗透和结合,成为现代科学技术的重要组成部分。

本书作为一部面向 21 世纪的教课书,在编著过程中,笔者以全国电工学研究会 1998、1999、2000、2002 年分别在天津、上海、井冈山、南宁等地召开的全国教学改革研讨会会议精神为指导,结合多年教学科研实践中的体会,并以《电工学新编教程》、《电工技术原理及应用》、《电工学学习指南》、《电工技术》(第一版)为基础,通过精简、补充、完善、修订而成。此次修订吸取了各兄弟院校在多年教学过程中使用本书的修改意见,充分考虑了各学校从不同层次、不同专业对电工技术课程的教学需要,注意贯彻理论联系实际、循序渐进和少而精的原则,对全书进行了全面修改:全书由原来的 11 章压缩成 10 章,取消了“供电与照明用电”一章,第 3 章增加了“安全用电”,第 7 章删去了“单相电机”和“同步电机”部分;第 9 章充实了“PLC”的内容;第 10 章增加了“非电量测试技术”内容,等等。在阐明物理概念和基本定律的前提下,略去某些不必要的证明,使其具有下列突出特点:知识新颖、涉及面广、通俗精练、应用性强。本书采用国际单位制。

全书分编为“电工基础”和“电工技术”上、下两篇,共十章。上篇主要内容包括:电路的基本概念和基本定律、电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、非正弦交流电路、线性电路的暂态分析;下篇主要内容包括:磁路与铁芯线圈电路、变压器、三相异步电动机、直流电机、继电器接触器控制系统与可编程控制器(PLC)、电量与非电量测试技术等。与本书配套的系列教材有:《电子技术》、《电工电子技术题详解》、《电路》、《模拟电子技术》、《数字电子技术》、《传感技术》、《检测技术》、《单片机技术》等。

本书通过精选内容,以有限的篇幅取得较大的覆盖面,力求叙述严谨、通俗精练,言简意明。它特别适合于机电一体化、自动控制、机械制造、汽车、材料、仪器仪表、信息工程、通讯、航天、航海、化工、轻工、管理及环境保护类等各专业作为本(专)科教材使用(参考学时 40~60),也可供高等职业技术学院师生、工程技术人员及自学者阅读。

全书由下列人员共同编写:许利霞(绪论、第 1 章)、李春茂(第 2、3 章)并负责全书的统稿工作、王士辰(第 4、5 章)、李振军(第 6、7 章)、王 艳(第 9 章)、郭云波(第 8、10 章、附录)。在本书编、审、校全过程中,编委会成员紧密配合、通力协作、严肃认真、一丝不苟。它是群体智慧的结晶。

本书能够得以顺利出版,有赖于科学技术文献出版社的鼎力支持。

本书由全国电工学研究会理事长、大连理工大学知名教授唐介先生主审,唐先生在百忙中对全书进行了认真审阅,并提出许多宝贵的修改意见和建议;全书内文由刘玉排版;书中插图由裴 渝、尤阿艳、于建松、胡安玲、陈 梅、张 艳、邹新波等负责绘制。在此,对本书参考文献作者以及支持此书出版工作的人们致以最诚挚的谢意!

由于编者水平所限、疏漏难免,恳请读者批评指正。

李春茂

2002, 12, 31

目 录

前 言	1
绪 论	(1)
上 篇 电 工 基 础	
第 1 章 电路的基本概念与分析方法	(3)
1.1 电路	(3)
电路的基本组成及其作用·电路的基本物理量	
1.2 电功率、电能与电流的热效应	(7)
电功率·电能·电流的热效应	
1.3 电路的工作状态	(9)
有载工作状态及电源的外特性·开路·短路	
1.4 电路基本定律	(11)
欧姆定律·基尔霍夫定律	
1.5 电路中各点电位的计算	(14)
1.6 电压源和电流源及其等效变换	(14)
电压源·电流源·两种电源的等效变换	
1.7 支路电流法	(17)
1.8 结点电压法	(17)
1.9 叠加原理	(18)
1.10 二端网络和等效电源定理	(20)
二端网络·无源二端网络的输入电阻·有源二端网络的输出电阻·戴维宁定理·诺顿定理·最大输出功率	

1.11 受控电源简介	(24)
电压控制电压源·电流控制电压源·电压控制电流源·电流控制电流源·含受控源 电路的分析计算	
1.12 非线性电阻电路	(27)
习题	(29)
第2章 单相正弦交流电路	(34)
2.1 正弦交流电的基本概念	(34)
正弦电压与电流·周期与频率·瞬时值和最大值·正弦交流量的有效值·相位与相位差	
2.2 正弦交流量的相量表示法	(37)
复数·正弦交流量的相量表示法	
2.3 单一参数的正弦交流电路	(41)
纯电阻电路·纯电感电路·纯电容电路	
2.4 RLC 串联电路	(50)
2.5 RLC 并联电路	(52)
2.6 阻抗的串联和并联	(54)
阻抗的串联、阻抗的并联	
2.7 交流电路的功率	(60)
瞬时功率·有功功率·无功功率和视在功率	
2.8 功率因数的提高	(63)
提高功率因数的意义·提高功率因数的方法	
2.9 谐振电路	(66)
串联谐振·并联谐振	
习题	(71)
第3章 三相正弦交流电路	(75)
3.1 三相正弦交流电动势	(75)
三相正弦交流电动势的产生·三相正弦交流电动势的表示法·对称三相电动势的	

特点·相序

3.2 三相发电机绕组的联接方式	(77)
三相绕组的星形(Y)形联接·三相绕组的三角形(Δ)形联接	(79)
3.3 三相负载的联接	(83)
三相负载的星形联接·三相负载的三角形联接	(85)
* 3.4 不对称三相电路的分析	(87)
3.5 三相电路的功率	(89)
3.6 安全用电	(90)
习题	(92)
* 第4章 非正弦交流电及谐波分析	(92)
4.1 非正弦周期量的分解	(94)
4.2 非正弦周期量的最大值、平均值和有效值	(95)
4.3 非正弦周期信号线性电路的计算	(97)
4.4 非正弦交流电路中的平均功率	(98)
习题	(101)
第5章 线性电路的暂态分析	(101)
5.1 换路定则及初始值的确定	(103)
5.2 RC 电路的暂态分析	(107)
RC 电路的零输入响应·RC 电路的零状态响应·RC 电路的全响应	(110)
5.3 RL 电路的暂态分析	(112)
RL 电路的零输入响应·RL 电路的零状态响应·RL 电路的全响应	(114)
5.4 分析一阶电路暂态过程的三要素法	(116)
习题	(118)

下篇 电工技术

表 录 · 点 标

第 6 章 磁路及带铁心线圈电路	(114)
6.1 铁磁性物质的磁性能和用途	(114)
铁磁性物质的磁性能·铁磁性物质的分类和用途	
6.2 磁路的基本定律及其简单计算	(116)
磁路的概念·磁路的基本定律·磁路的简单计算	
6.3 交流铁心线圈电路	(118)
电磁关系·功率损耗·交流铁心线圈的等效电路	
6.4 电磁铁	(121)
6.5 变压器	(124)
变压器的分类、作用和构造·变压器的工作原理·变压器的运行特性	
6.6 三相变压器	(129)
三相变压器的联接组·变压器的并联运行	
6.7 特殊用途变压器	(131)
自耦变压器·仪用互感器·电焊变压器	
习题	(134)
第 7 章 三相异步电动机	(136)
7.1 三相异步电动机的结构及铭牌	(136)
三相异步电动机的结构·三相异步电动机的铭牌数据	
7.2 三相异步电动机的工作原理	(139)
三相异步电动机的转动·三相异步电动机的定子和转子电路	
7.3 三相异步电动机的转矩和机械特性	(144)
三相异步电动机的电磁转矩及转矩特性·机械特性曲线·电源电压 U_1 和转子电阻 R_2 对 $n = f(t)$ 曲线的影响	
7.4 三相异步电动机的使用	(147)
三相异步电动机的起动·三相异步电动机的调速·三相异步电动机的制动	

三相异步电动机的选择	(148)
习题	(154)
第 8 章 直流电机	(155)
8.1 直流电机的基本结构	(155)
8.2 直流电机的工作原理	(156)
基本工作原理·电枢电动势·电磁转矩电压·转矩和功率平衡	(156)
8.3 直流电机的铭牌数据和分类	(159)
直流电机的铭牌数据·直流电机的分类	(159)
8.4 直流电机的运行特性	(161)
直流发电机的主要工作特性·并励电动机的机械特性	(161)
8.5 直流电动机的使用	(165)
直流电动机的起动·直流电动机的调速·直流电动机的反转·直流电动机的制动	(165)
8.6 常用直流电动机	(168)
M 系列永磁直流电动机·Z4 系列小型直流电动机·Z 系列中型直流电动机	(168)
8.7 专用直流电机	(169)
汽车电机·励磁机·单极电机	(169)
习题	(170)
第 9 章 继电器接触器控制系统与 PLC	(171)
9.1 常用控制电器	(171)
闸刀开关·按钮·组合开关·交流接触器·中间继电器·热继电器·熔断器·自动空气开关	(171)
9.2 鼠笼式异步电动机直接起动的控制线路	(177)
9.3 鼠笼式异步电动机正反转控制线路	(178)
9.4 行程控制	(179)
9.5 时间控制	(181)

三相鼠笼型异步电动机 Y- Δ 降压起动的控制问题

9.6 可编程序控制器(PLC)的基本概念	(184)
PLC 的产生及发展概况·PLC 的特点·PLC 的基本组成·PLC 的工作方式·	
PLC 的编程方式	
9.7 西门子 S7-200 系列 PLC 的基本指令和编程	(189)
常用 PLC 的基本指令·PLC 的编程原则·S7-200 系列 PLC 编程应用举例	
9.8 三菱 FX2N 系列 PLC 的基本指令和编程	(200)
FX2N 系列 PLC 的内部继电器·FX2N 系列 PLC 的基本逻辑指令·应用基本指令编程	
习题	(207)
第 10 章 电工测量技术	(209)
10.1 电工仪表	(209)
电工仪表的分类·电工仪表的组成·电工仪表的工作原理·万用表·数字式万用表(简介)	
10.2 电工测量技术	(216)
电流的测量·电压的测量·电功率的测量	
10.3 非电量测试技术	(220)
习题	(225)
参考文献	(227)

绪论

一、电工技术的应用及其与生产发展的关系

电工技术是研究电磁规律在工程上应用的科学。自从 19 世纪初期以来,随着生产的不断发展,电工技术在理论上日益提高,在应用范围上不断拓宽。在 21 世纪到来的今天,无论是工业、农业、国防建设和科学技术各方面,还是人们的衣、食、住、行以及文化生活,无不与电有着密切的关系。工业上的各种生产机械(如水泵、鼓风机、起重机、轧钢机、切削机床和锻压设备等等)都用电动机来拖动;许多制造工艺(如电解、电镀、电焊、高频淬火、电炉冶炼、电蚀加工、超生波加工、电子束和离子束加工等)都要靠电来完成;生产过程中的一些物理量(如温度、流量、速度、压力等)都可以用电的方法来测量和控制;产品的辅助设计和企业的管理工作,可由电子计算机来实现。农业上广泛采用电力拖动排灌设备、粮食和饲料加工装置等。现代物质文化生活中电灯、电话、电影、电视、无线电广播及医学上用的 B 超、X 射线透视、照像等病理检测都离不开电。由此可见,电的应用是何等广泛!究其原因,乃是由于电能具有其他形态的能量所无可比拟的优越性。主要表现在下列几方面:

(1) 电能是最容易转换的中间形态的能量。它可以很方便地由原子能、水位能、热能、光能、化学能等转换而来,也可以相反地将电能转换为其他所需要的能量形态(如机械能、光能、热能、声能等)。

(2) 电能可以方便地进行远距离输送,而且设备简单,效率很高,从而使工业建设的布局问题得到了合理的解决。我们可以在储藏有大量动力资源的地方(如煤矿的坑口和河川的附近)兴建火力发电厂和水力发电厂,近年来由于考虑环境问题正在大力发展核电技术。而其它生产加工厂尽量靠近原材料产地。发电厂和生产加工厂在地理位置上往往存在着矛盾,由于电能的远距离输送而得到了解决,从而提高了社会生产的整体效益。

(3) 利用电能便于控制的特点可以实现高度自动化。例如:电能可以控制生产过程或设备,实现程序控制、数字控制或最佳状态控制;电能以及某些电学量(如电压或电流)可以用来代表信息,以有线或无线的方式,高速而精确地进行传递、控制和处理,为远程通信和生产自动化提供了可靠的技术基础。

电能的广泛应用对劳动生产率的提高和社会生产力的发展起着巨大的作用,同时又进一步促进了电工技术的发展,进而推动科学技术发生了飞跃。面向 21 世纪,随着生产自动化的发展和社会劳动生产力素质的不断提高,电工技术将发挥着越来越重要的作用。

二、如何学好“电工技术”

“电工技术”是一门承先启后的专业基础课程,它以数学、物理为基础,又是后续课程(如电子技术、传感技术、测试技术、变流技术、计算机应用技术、控制技术、通信技术等的)的课前必修

课。因此,必须学好、牢牢掌握“电工技术”这门课。

如前所述,“电工技术”是一门理论性和实践性都很强的技术基础课,正确地运用其基本概念和计算方法及其基本技能解决实际问题,是学好这门课程的关键所在。这又必须通过做实验和求解习题来实现。因此,要学好《电工技术》这门课,就必须按照下述各项要求认真去做:

1. 掌握正确的学习方法

对于任何一门课程,课前预习与课后复习是非常重要且必要的,“电工技术”也不例外。这就需要读者尤其是在校学生,统筹安排、合理分配时间,及时预习和复习,不可拖延。在预习的基础上,可以有的放矢、带着问题听课,以便于突出重点;及时复习,有利于对课堂所学内容加深理解和巩固,便于应用。有些同学听完课后不是抓紧时间复习,而是忙于应付次日所学课程的“预习”。回过头来再“复习”所学内容,致使某些问题没有得到及时解决,花费了不少时间,却是事倍功半,得不偿失。这是学习方法上的大忌。

在复习好书中的有关内容,搞清基本概念,熟记基本公式的基础上,认真解题是学好“电工技术”的一个重要环节。

2. 解题时应遵循的基本原则

- (1) 审明题意,找出已知量、已知条件及待求量。
- (2) 迅速判断出要使用的概念、定理、定律和公式,将已知量和待求量正确地联系起来。
- (3) 利用切合题意的最简捷的解法,写出正确公式,代入已知量进行求解,并注意所用电气量的单位是否符合要求。

- (4) 验证答案的正确性:

- ① 检查所用公式及公式的使用范围;
- ② 检查公式中各物理量的单位和计算结果的单位;
- ③ 检查答数是否正确,是否符合实际;
- ④ 若问题中有正、负号时,要检查符号是否正确,有无遗漏;
- ⑤ 若需要画相量图时,应检查相量图作法是否正确。

3. 对解题的基本要求

- (1) 正确使用“+”、“-”号。电工技术中某些物理量的正、负具有明显的物理意义,如电荷 Q 的正、负表示电荷的性质;电压 U 和电流 I 的正、负表示参考极性(或参考方向)与实际极性(或实际方向)是否一致;等等。另外必须注意,在某些问题中,有时还需考虑两套“+”、“-”号,不能弄错。

- (2) 正确使用单位制,本书采用国际单位制。

- (3) 计算结果如果是近似值时,应取三位有效数字,第四位数字四舍五入。这是因为对于大多数的工程问题来说,三位有效数字可以满足精度要求。

- (4) 作图要用圆规、直尺等绘图工具,按比例正确作出,图面要清楚、整洁、美观,图中坐标的符号、刻度及单位应仔细标明,不能遗漏。

4. 做好实验

除了遵循上述解题原则和要求之外,充分准备、认真做好每一个电工技术实验也是非常重要的。因为通过实验课这一必不可少的实践环节,可以进一步验证课堂所学基本理论,加深对有关内容的认识,并能提高基本操作技能。特别注意用电安全!

上篇 电工基础

第1章 电路的基本概念与分析方法

电路的基本概念与基本定律是分析和计算电路的基础,但往往由于电路复杂,计算极为繁琐。因此,要根据其结构特点寻找分析和计算电路的简便方法。本章以电阻电路为例,讨论几种常用的电路分析方法,如电源等效变换法、支路电流法、结点电压法、叠加法、戴维宁定理及诺顿定理等等。在学习过程中要注意区别电路的几种工作状态,要特别注意电压的参考极性、电流的参考方向。

1.1 电 路

1.1.1 电路的基本组成及其作用

1. 电路的组成

电路是由电源、负载和中间环节组成的。最简单的电路模型如图 1-1 所示。

发电机、干电池等是电源,它们把其它形式的能量转变为电能,供给用电设备。

电灯、电动机、电炉等是负载,它们取用电能,分别把电能转变为光能、机械能、热能等。

变压器和输电线及开关等中间环节,是联接电源和负载的部分,它们起传输分配和控制电能的作用。

2. 电路的作用

(1) 利用电路可以实现能量的传输、分配和转换。例如在电力系统中,发电机组把热能、水能、原子能转换成电能,通过变压器、输电线路和开关输送和分配到用户,然后用户根据实际需要又把电能转换成机械能、光能和热能等。

(2) 电路的另一重要作用是传递和处理信号。通过电路元件,可以将信号源施加的信号变换或加工成所需要的输出信号。例如,电子设备中放大器的作用是把微弱的输入信号加以放大,成为满足工作需要的输出强信号。

无论电能的传输、分配和转换,还是信号的传递和处理,其中电源或信号源的电压(电流)称为激励,它驱动电路工作;在激励作用下,电路中某一元件上的电压或通过元件的电流称为响应。激励表示电源供给电路的能量,响应表示在电路某一元件上消耗的能量。所谓电路分析,就是在已知电路结构和元件参数的条件下,讨论电路的激励与响应之间的关系。

1.1.2 电路的基本物理量

1. 电流

电流是由带电粒子(简称电荷)有规则的定向运动而形成的,在数值上它等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

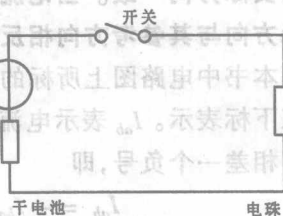


图 1-1 最简电路模型

设在极短时间 dt 内通过某一导体横截面 S 的微小电荷量为 dq , 则电流为

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

如果 $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$, 即电流不随时间而变化, 则这种电流称为恒定电流, 常用大写的字母 I 表示, 即

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

式中 Q 是在时间 t 内通过导体横截面 S 的电荷量。

电流的单位是安培(简称安), 用符号 A 表示。如果每秒钟有 1 库仑(C)的电量通过导体某一横截面, 则这时的电流就是 1A, 电流的较小单位是毫安(mA)或微安(μA); 电流的较大单位是千安(kA)

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

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的实际方向。但在分析为复杂的直流电路时, 往往难于事先判断某支路中电流的实际方向; 对于交流电路而言, 其方向随时间变化, 在电路图上无法用一个箭标来表示它的实际方向。因此, 在电路分析中, 常常任意选定某一方向作为电流的正方向, 或称为参考方向。所选电流的参考方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其参考方向一致时, 则电流为正值; 反之, 当电流的实际方向与其参考方向相反时, 则电流为负值。

本书中电路图上所标的电流方向都是参考方向。电流的参考方向除用箭标表示外, 还可采用双下标表示。 I_{ab} 表示电流的参考方向由 a 向 b 。如果参考方向选定为由 b 向 a , 则为 I_{ba} , 二者间相差一个负号, 即

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

在图 1-2 所示的电路中, 选取电流 I 的参考方向从 a 到 b , 若计算结果 $I > 0$, 则表示电流的实际方向与参考方向相同, 如图 1-2(a)所示; 若计算结果 $I < 0$, 则表示电流的实际方向与参考方向相反, 如图 1-2(b)所示。

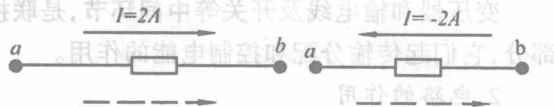


图 1-2 电流的参考方向与实际方向

综上所述, 参考方向是电路中一个非常重要的概念, 在学习中应注意以下几点:

(1) 电流的实际方向是客观存在的, 而参考方向则是根据分析计算的需要任意选取的, 参考方向一经选定后, 在全部分析计算过程中就必须依此为依据, 不能随意变动。

(2) 同一电流, 若参考方向选择不同, 其结果是: 数值相等而符号相反, 即 $I_{ab} = -I_{ba}$ 。因此, 电流值的正负只有在选定参考方向下才有意义。

(3) 电路中的基本公式和结论, 都是在一定的参考方向下得出来的。因此, 在应用这些公式和结论时, 必须注意参考方向的选择。

2. 电压

在电场中, 如果电场力使电荷移动一段距离, 则电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力, 我们引入电压这一物理量, 用字母 U 或 u 表示。电压的定义是:

如果电场力把正电荷 Q 从 A 点移到 B 点所做的功为 W , 则电场中 A 点到 B 点的电压为

$$U_{AB} = \frac{W}{Q} \quad (1-4)$$

简而言之,电场力把单位正电荷从 A 点移至 B 点所做的功即为 A、B 两点间的电压 U_{AB} 。理论分析和实验均已证明:电场力移动电荷所做的功与路径无关,而只与末始位置有关。所以电场中两点间的电压只与这两点的位置有关。

电压的单位是伏特。我们规定:电场力把 1 库仑(C)的电量从 A 点移到 B 点,如果所做的功为 1 焦耳(J),那么 A、B 两点间的电压就是 1 伏特,简称伏,用字母 V 表示。对于较高或较低的电压,工程上还常用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μ V)作单位。

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

电压也有正、负之分,这是因为如果单位正电荷从 A 点移到 B 点是电场力做功,那么单位正电荷从 B 点移到 A 点必定是外力克服电场力做功,或者说电场力做了负功。这两部分功差了一个负号。电场力移动单位正电荷作功如图 1-3 所示。电场强度方向从左指向右,电场力(移动单位正电荷做正功)的方向由 A 指向 B,所以 A、B 两点间电压的实际极性为 A 正 B 负,用双下标记为 U_{AB} 。由前面分析可知

图 1-3 电场强度与电压的实际极性

$$U_{AB} = -U_{BA} \quad (1-5)$$

因为电路及其周围空间存在着电场,所以电路中任何两点间都有或大或小(甚至可以为零)的电压作用。

在进行电路分析时,电压的实际极性往往事先无法知道。为了计算和研究问题的方便,应选定一个参考极性,并且规定:当电压的实际极性与所选参考极性一致时,其值为正;反之,当电压的实际极性与所选参考极性相反时,其值为负。在选定的电压参考极性下,电压值的正、负可以反映出其实际极性。电压的极性习惯上有两种表示方法,如图 1-5 所示。

- (1)用“+”、“-”号表示极性。“+”极对应高电位端,“-”极对应低电位端;
- (2)用双下标表示。图 1-5 中 U_{ab} ,前标 a 表示高电位端,后标 b 表示低电位端。

这两种表示方法含义相同,可以通用,实际使用时可任选一种或两种。

须强调指出,在未标出电压参考极性的情况下,其正负值是毫无意义的。在分析电路时,某一元件或某一段电路上的电流参考方向一经选定后,其电压的参考极性通常与电流的参考方向为关联方向(电源端电压除外),即电流从电压正极端流入,负极端流出,如图 1-6 所示。

3. 电位

由于电压是指电路中某两点而言的,因此,在分析较复杂的电路,特别是在分析电子电路时,一一说明电路中每两点间的电压往往感到繁琐。如果利用电位进行分析则更为方便。

若在电路中任选一点作为参考点,则电路中某点的电位就是该点到参考点之间的电压,数值上就等于电场力把单位正电荷从电路中该点移到参考点所做的功。电位常用符号 V 表示,例如把 A 点的电位记作 V_A 。参考点一般为“零”电位点,所以 A 点的电位为

$$V_A = U_{A0} \quad (1-6)$$

电位的单位与电压相同,也是伏特(V)。