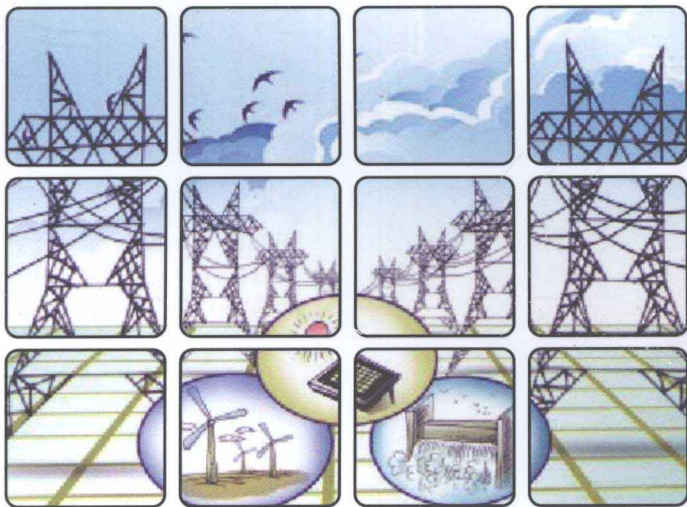


21世纪全国应用型本科 **电子通信系列** 实用规划教材

电工与电子技术 (上册)

(第2版)

主 编 吴舒辞



- 你知道电工设备的结构吗?
- 你了解电机知识的体系吗?
- 秉承优秀教材的精选内容
- 帮你解决复杂的应用电路



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材

电工与电子技术(上册)

(第 2 版)

主 编 吴舒辞

副主编 张发生

参 编 朱俊杰 蒋 峰

叶自清 桂 玲



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书是《电工与电子技术(上册)》的修订版。编者根据当前教学改革形势,在第1版的基础上进行了精选、调整、补充及修订,新增了一阶电路的暂态分析等内容,调整了部分章节的顺序,使整个电路理论显得更紧凑。本书是电工技术部分,以生产和生活中的典型案例导入教学,生动地呈现了电工与电子技术的理论知识。另外,本书各章均附有小结、阅读材料及丰富的习题。

本书可作为高等院校电气信息类及非电类专业电工与电子技术的基础课教材,也可供有关科技人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术.上册/吴舒辞主编. —2版. —北京:北京大学出版社, 2011.7

(21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-19183-5

I. ①电… II. ①吴… III. ①电工技术—高等学校—教材②电子技术—高等学校—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 129244 号

书 名: 电工与电子技术(上册)(第2版)

著作责任者: 吴舒辞 主编

策 划 编 辑: 姜晓楠 程志强

责 任 编 辑: 姜晓楠

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-19183-5/TM • 0039

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 河北滦县鑫华书刊印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 15.75 印张 355 千字

2006 年 8 月第 1 版 2011 年 7 月第 2 版 2011 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 30.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有 侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

丛书总序

随着招生规模迅速扩大,我国高等教育已经从“精英教育”转化为“大众教育”,全面素质教育必须在教育模式、教学手段等各个环节进行深入改革,以适应大众化教育的新形势。面对社会对高等教育人才的需求结构变化,自 20 世纪 90 年代以来,全国范围内出现了一大批以培养应用型人才为主要目标的应用型本科院校,很大程度上弥补了我国高等教育人才培养规格单一的缺陷。

但是,作为教学体系中重要信息载体的教材建设并没有能够及时跟上高等学校人才培养规格目标的变化,相当长一段时间以来,应用型本科院校仍只能借用长期存在的精英教育模式下研究型教学所使用的教材体系,出现了人才培养目标与教材体系的不协调,影响着应用型本科院校人才培养的质量,因此,认真研究应用型本科教育教学的特点,建立适合其发展需要的教材新体系越来越成为摆在广大应用型本科院校教师面前的迫切任务。

2005 年 4 月北京大学出版社在南京工程学院组织召开《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》编写研讨会,会议邀请了全国知名学科专家、工业企业工程技术人员和部分应用型本科院校骨干教师共 70 余人,研究制定电子信息类应用型本科专业基础课程和主干专业课程体系,并遴选了各教材的编写组成人员,落实制定教材编写大纲。

2005 年 8 月在北京召开了《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》审定会,广泛征求了用人单位对应用型本科毕业生的知识能力需求和应用型本科院校教学一线教师的意见,对各本教材主编提出的编写大纲进行了认真细致的审核和修改,在会上确定了 32 本教材的编写大纲,为这套系列教材的质量奠定了基础。

经过各位主编、副主编和参编教师的努力,在北京大学出版社和各参编学校领导的关心和支持下,经过北京大学出版社编辑们的辛苦工作,我们这套系列教材终于在 2006 年与读者见面了。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》涵盖了电子信息、通信等专业的基础课程和主干专业课程,同时还包括其他非电类专业的电工电子基础课程。

电工电子与信息技术越来越渗透到社会的各行各业,知识和技术更新迅速,要求应用型本科院校在人才培养过程中,必须紧密结合现行工业企业技术现状。因此,教材内容必须能够将技术的最新发展和当今应用状况及时反映进来。

参加系列教材编写的作者主要是来自全国各地应用型本科院校的第一线教师和部分工业企业工程技术人员,他们都具有多年从事应用型本科教学的经验,非常熟悉应用型本科教育教学的现状、目标,同时还熟悉企业的技术现状和人才知识能力需求。本系列教材明确定位于“应用型人才培养”目标,具有以下特点。

(1) 强调大基础:针对应用型本科教学对象特点和电子信息学科知识结构,调整理顺了课程之间的关系,避免了内容的重复,将众多电子、电气类专业基础课程整合在一个统一的大平台上,有利于教学过程的实施。

(2) 突出应用性:教材内容编排上力求尽可能把科学技术发展的新成果吸收进来、把



工业企业的实际应用情况反映到教材中,教材中的例题和习题尽量选用具有实际工程背景的问题,避免空洞。

(3) 坚持科学发展观:教材内容组织从可持续发展的观念出发,根据课程特点,力求反映学科现代新理论、新技术、新材料、新工艺。

(4) 教学资源齐全:与纸质教材相配套,同时编制配套的电子教案、数字化素材、网络课程等多种媒体形式的教学资源,方便教师和学生的教学组织实施。

衷心感谢本套系列教材的各位编著者,没有他们在教学第一线的教改和工程第一线的辛勤实践,要出版如此规模的系列实用教材是不可能的。同时感谢北京大学出版社为我们广大编著者提供了广阔的平台,为我们进一步提高本专业领域的教学质量和教学水平提供了很好的条件。

我们真诚希望使用本系列教材的教师和学生不吝指正,随时给我们提出宝贵的意见,以期进一步对本系列教材进行修订、完善。

《21 世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材》

专家编审委员会

2006 年 4 月

第2版前言

《电工与电子技术(上册)》自2006年出版以来已逾5年。编者根据2010年4月由北京大学出版社主持召开的“21世纪全国应用型本科电子通信系列实用规划教材修订会”的会议精神,结合多年来教学实践的体会和读者意见,对第1版的内容进行了全面修订。

本书基本保留了第1版的体系、结构,以及各章节中心明确、层次分明、概念准确、重视基础、论述简明和便于教学的特点,编者对部分章节作了适当的调整和增删,主要从以下几方面进行了修订。

(1) 在第1版的基础上新增了第2章(一阶电路的暂态分析)。

(2) 将第1版第1章的第4节(常用元件的时域伏安特性)内容调整到新编的第2章的第2节(电阻元件、电容元件与电感元件),将第1版第9章的第5节(非电量的电测法)实际用得比较少的这部分内容删掉。

(3) 将第1版每章前面的教学提示和教学要求重新进行了布局设计,加入了引例及阅读材料,并在每章后面增加了填空题、选择题,以便于学生阅读及对基础知识进行巩固。另外,对第1版第1章、第2章、第4章、第5章和第6章的习题也进行了压缩调整。

(4) 修改了第1版中的错漏内容,调整了论述方法。

本书共分10章,由吴舒辞教授任主编,负责全书的组织和修订统稿工作。吴舒辞教授编写了第1章,张发生副教授编写了第2章、第3章、第5章、第9章和第10章,朱俊杰副教授、桂玲讲师、叶自清副教授和蒋峰副教授分别编写了其余章节(分别为第4章、第6章、第7章和第8章)。在此还要对参与第1版编写工作的其他老师表示衷心感谢。

由于编者水平有限,书中难免会有一些疏漏之处,敬请各位读者赐教。

编者
2011年4月

第 1 版前言

“电工与电子技术”已成为电气信息类专业的学科基础课或专业课，是一门集电路分析、电机及控制、电工测量、模拟电子线路、数字电子线路于一体的课程，其综合性、实践性很强，是非电类专业学生认识电子技术、获取电工与电子技术基础知识以及学习后续专业课程的关键。为适应高等教育新形势的需要，在拓宽学生知识面的同时加强学生的基本技能和自学能力，我们编写了《电工与电子技术(上册)》，其内容包括电路分析、电机及控制、电工测量三大部分。在编写的过程中通过大量实例来加深学生对基本定理、电路分析方法的理解与应用。

本书共分 9 章。第 1 章主要介绍了电路的基本定理和直流电路中几种经典的分析方法。第 2 章主要介绍了相量分析法及相量图在交流电路中的应用及交流电路中功率的计算。第 3 章主要介绍了三相电路的特征及三相电路中线电压、线电流、相电压、相电流及三相功率的计算。第 4 章主要介绍了电机、变压器、电磁铁、电工测量仪表等电工设备电路的基本理论和磁路的基本知识。第 5 章主要介绍了三相交流异步电动机的基本构造和转动原理及三相交流异步电动机的机械特性，启动、反转及调速和制动的�基本方法。第 6 章主要介绍了直流电机的基本结构、工作原理以及直流电机的可逆性、励磁方式和工作特性。第 7 章主要介绍了常用控制电器的动作原理及其控制作用、三相异步电动机的典型控制电路及其工作原理。第 8 章主要介绍了可编程控制器的定义、结构和工作过程，并具体介绍了 S7—200 可编程控制器的应用。第 9 章主要介绍了常用电工仪表的基本知识以及测量方法。

本书由吴舒辞教授、朱俊杰任主编，负责全书的组织、统稿和改稿。第 1 章由吴舒辞教授编写，第 3 章由朱俊杰编写，第 2 章、第 8 章由陈旭武编写，第 4 章至第 7 章、第 9 章分别由张发生、桂玲、叶自清、蒋峰和张根柱编写。

由于编者水平有限，书中不足之处在所难免，请老师和同学们提出宝贵意见，以利下次修改。

编 者
2006 年 5 月

目 录

第 1 章 电路的基本定理与分析方法..... 1	
1.1 电压、电流和功率基础知识..... 2	
1.1.1 电压、电流和功率的概念..... 2	
1.1.2 参考方向..... 3	
1.2 基尔霍夫定理..... 5	
1.2.1 集中参数电路..... 5	
1.2.2 基尔霍夫电流定理..... 5	
1.2.3 基尔霍夫电压定理..... 7	
1.3 电压源与电流源..... 7	
1.3.1 独立电压源与独立电流源..... 8	
1.3.2 受控电压源与受控电流源..... 11	
1.4 支路分析法..... 13	
1.5 节点分析法..... 14	
1.6 叠加原理..... 17	
1.7 戴维南定理和诺顿定理..... 19	
1.8 小结..... 21	
习题..... 22	
第 2 章 一阶电路的暂态分析..... 26	
2.1 暂态电路分析的基本概念..... 27	
2.1.1 稳态和暂态..... 27	
2.1.2 激励和响应..... 27	
2.2 电阻元件、电容元件与电感元件..... 28	
2.2.1 电阻元件..... 28	
2.2.2 电容元件..... 30	
2.2.3 电感元件..... 31	
2.3 一阶电路的零输入响应..... 32	
2.4 一阶电路的零状态响应..... 37	
2.5 一阶电路的全响应..... 39	
2.6 小结..... 42	
习题..... 43	
第 3 章 电路的正弦稳态分析..... 47	
3.1 相量法的基本概念..... 48	
3.1.1 正弦交流电压、电流..... 49	
3.1.2 正弦量的相量表示法..... 52	
3.2 基尔霍夫定律的相量形式..... 53	
3.2.1 基尔霍夫电流定律的相量形式..... 53	
3.2.2 基尔霍夫电压定律的相量形式..... 54	
3.3 电阻、电容、电感等元件组成的交流电路..... 55	
3.3.1 电阻元件组成的交流电路..... 56	
3.3.2 电容元件组成的交流电路..... 57	
3.3.3 电感元件组成的交流电路..... 60	
3.4 阻抗的串联与并联..... 62	
3.4.1 阻抗的串联..... 62	
3.4.2 阻抗的并联..... 68	
3.5 交流电路的功率和功率因数..... 71	
3.6 功率因数的提高..... 72	
3.7 小结..... 74	
习题..... 75	
第 4 章 三相交流电路..... 80	
4.1 三相正弦交流电动势的产生..... 81	
4.2 负载星形接法的三相电路..... 83	
4.2.1 三相对称负载..... 84	
4.2.2 三相不对称负载..... 85	
4.3 负载三角形接法的三相电路..... 86	
4.4 三相功率..... 87	
4.5 小结..... 89	
习题..... 91	
第 5 章 磁路与铁心线圈电路..... 94	
5.1 磁场的几个物理量..... 95	
5.2 磁性材料的磁性能..... 97	
5.2.1 高导磁性..... 97	



5.2.2 磁饱和性.....	98	6.7 三相异步电动机的铭牌数据.....	134
5.2.3 磁滞性.....	99	6.8 单相异步电动机.....	136
5.3 交流铁心线圈电路.....	100	6.9 小结.....	138
5.3.1 电磁关系.....	100	习题.....	140
5.3.2 电压电流关系.....	101	第7章 直流电机	143
5.3.3 功率损耗.....	101	7.1 直流电机的结构和基本原理.....	144
5.3.4 等效电路.....	102	7.1.1 直流电机的结构.....	144
5.4 变压器.....	104	7.1.2 直流电机的工作原理.....	147
5.4.1 变压器的工作原理.....	104	7.1.3 直流电机的励磁.....	149
5.4.2 变压器的外特性.....	108	7.2 直流电动机的起动与反转.....	150
5.4.3 变压器的损耗与效率.....	108	7.2.1 直流电动机的起动与制动.....	150
5.4.4 特殊变压器.....	109	7.2.2 直流电动机的换向与反转.....	154
5.5 小结.....	111	7.3 直流电动机的调速.....	159
习题.....	113	7.3.1 变磁通调速法.....	161
第6章 异步电动机	116	7.3.2 变电压调速法.....	161
6.1 三相异步电动机的构造与 工作原理.....	117	7.4 小结.....	162
6.1.1 三相异步鼠笼式电动机的 基本结构.....	117	习题.....	164
6.1.2 三相异步鼠笼式电动机的 工作原理.....	119	第8章 继电器接触器控制系统	167
6.2 三相异步电动机的极数与转速.....	121	8.1 常用控制电器.....	168
6.2.1 三相异步电动机的极数.....	121	8.1.1 低压开关.....	168
6.2.2 三相异步电动机的转速.....	122	8.1.2 熔断器.....	169
6.3 三相异步电动机的转矩与 机械特性.....	123	8.1.3 接触器.....	171
6.3.1 电磁转矩.....	123	8.1.4 继电器.....	171
6.3.2 机械特性曲线.....	126	8.2 三相异步电动机的典型控制线路.....	173
6.4 三相异步电动机的起动.....	128	8.2.1 全电压直接起动控制.....	173
6.4.1 直接起动.....	129	8.2.2 降电压起动控制.....	174
6.4.2 降压起动.....	129	8.2.3 反接制动控制.....	176
6.5 三相异步电动机的制动.....	131	8.2.4 能耗制动控制.....	177
6.5.1 能耗制动.....	132	8.2.5 正、反转手动控制.....	177
6.5.2 反接制动.....	132	8.2.6 可逆运行的自动控制.....	179
6.6 三相异步电动机的调速.....	133	8.3 小结.....	180
6.6.1 变频调速.....	133	习题.....	181
6.6.2 变极调速.....	133	第9章 可编程控制器	185
6.6.3 变转差率调速.....	134	9.1 可编程控制器概述.....	187
		9.2 可编程控制器的结构和工作过程.....	190
		9.2.1 可编程控制器的结构.....	190
		9.2.2 可编程控制器的工作过程.....	192



9.3 S7—200 可编程控制器的硬件 结构和软件基础知识	194
9.3.1 S7—200 可编程控制器的 硬件结构	194
9.3.2 S7—200 可编程控制器的 软件基础知识	196
9.4 小结	205
习题	206
第 10 章 电工测量	208
10.1 电工测量仪表的分类与型号	209
10.2 电流与功率的测量	212
10.2.1 电流的直接测量法	212
10.2.2 电流的间接测量法	213
10.2.3 功率表的正确接线	213
10.2.4 功率表量程的选择	214
10.2.5 功率表的正确读数	215
10.2.6 三相有功功率和无功 功率的测量方法	215
10.3 万用表与兆欧表	217
10.3.1 万用表的结构	218
10.3.2 万用表的测量原理	218
10.3.3 兆欧表的结构	221
10.3.4 兆欧表的工作原理	222
10.3.5 兆欧表的使用	223
10.4 用电桥测量电阻、电容与电感	223
10.4.1 用电桥测量电阻	223
10.4.2 用电桥测量电容	226
10.4.3 用电桥测量电感	228
10.5 安全用电	229
10.5.1 电流对人体的危害	229
10.5.2 人体触电方式	230
10.5.3 防止触电	231
10.6 小结	232
习题	234
参考文献	236

第1章 电路的基本定理与分析方法

电路理论包括两方面的内容：一是电路分析；二是电路综合(设计)。粗略地说，前者讨论如何在电路为已知的情况下，求出该电路对给定激励(输入)的响应(输出)；后者则研究如何构成一个电路，且这个电路能够对给定激励呈现出所预期的响应。电路的基本分析方法贯穿全书，是对电路进行分析、计算和设计的基础。本章在介绍电路基本物理量的基础上，对电路的基本定理和几种经典的基本分析方法进行阐述。通过该部分内容的学习，达到掌握并能够运用这些基本电路分析方法对电路进行分析与设计的目的。

教学要点

知 识 要 点	掌 握 程 度
电压、电流和功率	(1) 理解电压、电流和功率的概念； (2) 掌握参考方向的使用方法。
基尔霍夫定理	(1) 了解集中参数电路的概念； (2) 熟练地掌握基尔霍夫定理的使用方法。
电压源与电流源	(1) 理解独立电压电流源、受控电压电流源的概念； (2) 熟练地掌握电压源与电流源的等效互换、受控电压源与受控电流源的等效互换的方法。
支路分析法	(1) 了解支路分析法的概念； (2) 熟练地掌握支路分析法的使用方法。
节点分析法	(1) 了解节点分析法的概念； (2) 熟练地掌握节点分析法的使用方法。
叠加原理	(1) 了解叠加原理的概念； (2) 熟练地掌握叠加原理的使用方法。
戴维南定理和诺顿定理	(1) 了解戴维南定理和诺顿定理的概念； (2) 熟练地掌握戴维南定理和诺顿定理的使用方法。



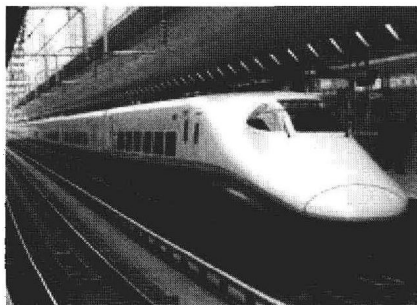
引例：实际电路组成与功能

当今正处在一个高速发展的信息时代，而电路构成了形形色色的电子产品和设备，且人们每天都不得不与实际电路打交道。实际电路是为完成某种预期的目的而设计、安装、运行的，由电路器件(例如晶体管)和电路部件(例如电容器、电阻器等)相互连接而成，具有传输电能、处理信号、测量、控制、计算等功能。在实际电路中，电能或电信号的发生器称为电源，用电设备称为负载。电压和电流是在电源的作用下产生的，因此，电源又称为激励源。由于激励而在电路中产生的电压和电流称为响应。有时根据激励和响

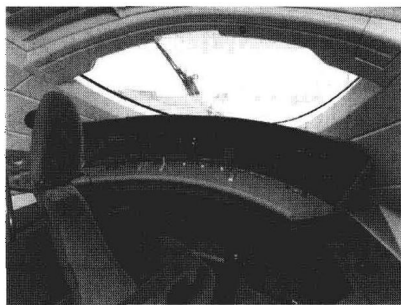


应之间的因果关系,把激励称为输入,响应称为输出。

有些实际电路十分复杂。例如,在图 1.0(a)所示的时速 350km 的“和谐号”动车组外形中就能看到很多电子设备和电路的影子;在图 1.0(b)中显示的动车组驾驶室内,能粗略地看到电子通信设备、行车控制设备等。毫无疑问,这些设备都是由各种电子器件、实现特定功能的电路所构成的。当前,集成电路的应用已渗透到许多领域,集成电路芯片也可能比指甲还小,但它是由成千上万个晶体管相互连接成为一个电路或系统的。当今,超大规模集成电路的集成度越来越高,就是说在同样大小的硅片上可容纳的器件数目越来越多,可达数百万或更多。前面所谈电路,无论尺寸大小都是比较复杂的,但也有些电路非常简单,例如手电筒就是一个很简单的电路。



(a) 外观



(b) 驾驶室

图 1.0 时速 350km 的“和谐号”动车组

1.1 电压、电流和功率基础知识

高中物理学已介绍了电路的基本物理量:电压、电流和电位。本节在引入电路参考方向的基础上,系统地介绍各种物理量的参考方向和实际方向的关系。

1.1.1 电压、电流和功率的概念

电路分析的任务是得到电路的电性能,即用一组表作为时间函数的变量。这些变量中最常见的是电流、电压和功率。

1. 电流

电流是由导体中自由电子的定向移动形成的。电流是看不见、摸不着的,但电流的强弱可以间接地通过其他手段知道。例如,流过手电筒的电流和流过汽车灯的电流的强弱是不一样的,这就知道了电流的存在并且知道电流存在的大小。

电流强度即常说的电流大小,定义为单位时间内通过导体横截面的电量。电流强度简称电流,用符号 i 表示,即

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

在国际单位制中,电流的单位是安[培](A)。

电流按照变化规律分为直流电流(Direct Current, DC)和交流电流(Alternating Current, AC)。如果电流的大小和方向不随时间变化,则称为直流电流,简称直流;如果电流的大



小和方向都随时间变化, 则称为交流电流, 简称交流。

2. 电压

1) 电压定义

电压也叫电位差, 用符号 u 表示。电路中 a、b 两点间的电压描述了单位正电荷由 a 点转移到 b 点时所获得或失去的能量, 即

$$u(t) = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

式中, dq 为由 a 点转移到 b 点的电荷, 单位为库[仑](C); dW 为转移过程中, 电荷 dq 所获得或失去的能量。在国际单位制中, 电压的单位为伏[特](V); 功率的单位为焦[耳](J)。

电压也可按照变化规律分为直流电压(Direct Voltage, DV)和交流电压(Alternating Voltage, AV)。如果电压的大小和方向不随时间变化, 则称为直流电压; 如果电压的大小和方向都随时间变化, 则称为交流电压。

2) 电位定义

把单位正电荷从电源负极移到电源正极的过程中“非静电力”所做的功叫电动势。一个由电动势和电阻元件构成的闭合回路中, 必定存在电流的流动, 电流是正电荷在电势作用下沿电路移动的集合表现, 习惯上规定正电荷是由高电位点向低电位点移动。因此, 在一个闭合电路中各点都有确定的电位关系。但是, 电路中各点的电位高低都只能是相对的, 所以必须在电路中选定某一点作为比较点(或称参考点), 电路中其余各点的电位就能以该参考点的电位为准进行计算或测量。为简便计算或测量, 通常设定参考点的电位为零。

在一个确定的闭合电路中, 各点电位的高低虽然相对参考点电位的高低而改变, 但任意两点间的电位差(电压)是绝对的, 它不会因参考点设定电位的变动而改变。

3. 功率

电路存在着能量的流动, 将电路中某一段所吸收或产生能量的速率称为功率(power), 用符号 p 表示。

设在 dt 时间内电荷 dq 由 a 点转移到 b 点, 且 a 点到 b 点的电压降为 u , 则根据式(1-2)可知, 在电荷转移过程中 dq 失去的能量为

$$dW = u dq \quad (1-3)$$

电荷失去的能量被这段电路吸收, 从而使能量由电路的其他部分输送到这一部分, 则功率的计算公式为

$$p(t) = \frac{dW}{dt} = u(t) \cdot \frac{dq}{dt} = u(t) \cdot i(t) \quad (1-4)$$

在国际单位制中, 功率的单位为瓦[特](W)。

1.1.2 参考方向

如上所述, 规定正电荷运动的方向为电流的方向, 电位高指向电位低的方向为电压的方向, 这里所说的方向是电流和电压的实际方向。但是在具体电路中, 电流和电压的实际方向往往难以在图中标出。例如, 当电路中的电流为交流时, 就不可能用一个固定的箭头来表示实际方向。又例如, 在一个复杂的电路中, 无法通过简单的观察来判断电流和电压

的实际方向。为此,引入参考方向的概念。

1. 参考方向定义

参考方向的定义是:在电路中人为规定的电压和电流的假想正方向,这个方向是可以任意规定的,在电路中用箭头来表示。图 1.1 所示为电流参考方向的表示,图 1.2 所示为电压参考方向的表示,它用“+”、“-”号表示,或者用由“+”指向“-”的箭头表示。同时规定:如果电流参考方向是从电压“+”极性端流入,从“-”极性端流出,则称电压和电流的方向为关联参考方向,如图 1.3 所示。同理,对于功率也可以用指向元件的箭头表示功率的参考方向,这意味着当元件吸收功率时,功率为正值,如图 1.4 所示。



图 1.1 电流参考方向

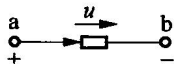


图 1.2 电压参考方向

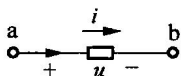


图 1.3 关联参考方向

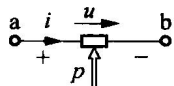


图 1.4 功率参考方向

2. 参考方向与实际方向的关系

1) 电流参考方向与实际方向的关系

规定:如果电流的参考方向与实际方向一致,则电流为正值;反之,则电流为负值。因此,在规定电流的参考方向后,可以通过求得的电流符号知道电流的实际方向。例如,如果求得的电流为正值,则电流的实际方向与假定的参考方向一致;电流为负值,则电流的实际方向与假定的参考方向相反。

2) 电压参考方向与实际方向的关系

规定:如果电压的参考方向与实际方向一致,则电压为正值;反之,则电压为负值。因此,在规定电压的参考方向后,可以通过计算得到的电压的符号知道电压的实际方向。例如,如果通过计算得到的电压为正值,则电压的实际方向与参考方向一致;电压为负值,则相反。

3) 功率参考方向与实际方向的关系

规定:如果功率的实际方向与参考方向(指向元件)一致,则功率为正值,表明元件吸收功率;反之,则功率为负值,表明元件释放功率。因此,在知道电压、电流的实际方向后,就可以通过求得的功率符号来判断功率的实际方向。例如,如果求得的功率为正值,则功率的实际方向与参考方向一致,此时元件吸收功率;反之,则元件释放功率。

【例 1.1】已知 $u_{ab} = 3V$, $i = -2A$, 求出图 1.5 中各变量(电流、电压、功率)的实际方向。

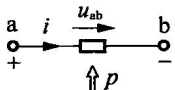


图 1.5 例 1.1 的图

解: $u_{ab} = 3V$, $i = -2A$, 根据各变量参考方向与实际方向的规定,

电压为正值,表明电压的实际方向与图 1.5 中标出的电压参考方向一致;电流为负值,表明电流的实际方向与图 1.5 中标出的电流参考方向相反。

根据式(1-4)计算功率

$$p(t) = \frac{dW}{dt} = u(t) \frac{dq(t)}{dt} = u(t)i(t) = 3V \times (-2A) = -6W$$

功率为负值,表明元件释放功率(电源)。

1.2 基尔霍夫定理

实际电路中,由于分布参数的存在,使电路变得复杂。这里讨论的是不考虑分布参数的电路——实际电路的模型,即将实际元件理想化为具有“集中参数”的理想元件,由这些理想元件构成“集中参数”电路模型。

1.2.1 集中参数电路

在研究基本电路理论时将实际电路抽象为理想化模型,实际电路的理想化模型通常就简称为电路,并用对理想化模型的分析代替对实际电路的分析。由此可知,在电路理论中,实际电路和用来分析的电路在概念上是有一定差异的。

实际电路是由电气器件互相连接而成的。所谓电气器件是一些由人们设计制造的实物(诸如发电机、电动机、变压器、变阻器、线圈、实际的电容器、晶体管、二极管、运算放大器等)的总称。理想化元件指:只考虑主要效应而忽略次要效应的一些理想化电路元件(简称电路元件)。例如,当电流通过实际的电阻元件时,会同时产生电效应和磁效应,只是由于产生的磁效应对电路的影响几乎可以忽略不计,因此可以只考虑电阻元件的电效应,这样的元件称为理想元件。这样,作为实际电路的模型电路显然是由一些电路元件连接而成的。

集中参数电路的定义:“集中参数”电路是实际电路的理想化模型,是由一些电路元件按特定方式互相连接而成的总体,在此总体中具有电流赖以流通的路径。

1.2.2 基尔霍夫电流定理

在集中电路中,任何时刻流经元件的电流及元件的端电压都是可以确定的物理量。将每一个二端元件视为一条支路(branch),但有时为了研究的方便,也可以将支路看成是一个具有两个端钮而由多个元件串联而成的组合,而支路的连接点称之为节点(node),由支路构成的无重复封闭路径称之为回路。这样流经元件的电流和产生的电压分别称之为支路电流和支路电压。

1. 基尔霍夫电流定理

由于电流的连续性,电路中任意一点(包括节点在内)均不能堆积电荷。

基尔霍夫电流定理(KCL):对于任一集中参数电路中的任一节点,在任一时刻流出(或流进)该节点的所有支路电流的代数和为零。其数学表达式为

$$\sum_{k=1}^N i_k(t) = 0 \quad (1-5)$$

式中, $i_k(t)$ 为流出(或流进)节点的第 k 条支路的电流; N 为与节点连接的支路数。

2. 基尔霍夫电流定理补充规定

(1) 基尔霍夫电流定理对支路的元件并无要求, 无论电路中的元件如何, 只要是集中参数电路, KCL 就是成立的。这就是说, KCL 与元件的性质是无关的。

(2) 当各支路电流是时变电流时, KCL 仍然成立。

(3) 各支路电流“+”、“-”符号的确定是人为的, 通常流入节点的电流取“+”, 流出节点的电流取“-”(当然也可以定义: 凡流入节点的电流取“-”, 流出节点的电流取“+”), 但对于同一个节点电流符号的规定应该一致。

【例 1.2】如图 1.6 所示, 已知流过节点 a 的电流: $i_1 = 2\text{A}$, $i_2 = -4\text{A}$, $i_3 = 6\text{A}$, 试求电流 i_4 。

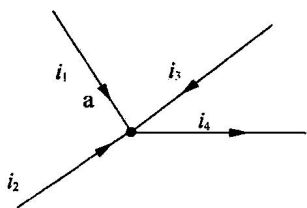


图 1.6 例 1.2 的图

解: 流入节点的电流取“+”, 流出节点的电流取“-”, 根据基尔霍夫电流定理, 有

$$\sum_{k=1}^N i_k(t) = 0$$

得到节点 a 的电流方程为

$$i_1 + i_2 + i_3 - i_4 = 0$$

即

$$i_4 = 2\text{A} + (-4\text{A}) + 6\text{A} = 4\text{A}$$

3. 基尔霍夫电流定理的推广

由于流入每一元件的电流等于流出该元件的电流, 因此, 每一元件存储的静电荷为零, 对任意闭合面内存储的总净电荷也为零, 这就可以作下面的推广。

推广: 对于任一集中电路中的任一封闭面, 在任一时刻流出(或流进)该封闭面的所有支路电流的代数和为零。其数学表达式为

$$\sum_{k=1}^N i_k(t) = 0 \quad (1-6)$$

式中, $i_k(t)$ 为流出(或流进)封闭面的第 k 条支路的电流; N 为与节点连接的支路数。

【例 1.3】电路如图 1.7 所示, 证明 $i_1 + i_3 = i_2$ 。

证明: 方法一: 用一封闭面将电路元件封闭起来, 根据基尔霍夫电流定理的推广, 在任一时刻, 流出(或流进)该封闭面的所有支路电流的代数和为零, 即

$$\sum_{k=1}^N i_k(t) = 0$$

得

$$i_1 + i_3 - i_2 = 0 \Rightarrow i_1 + i_3 = i_2$$

方法二: 根据基尔霍夫电流定理, 得到节点 a、b、c 的节点方程如下所示。

$$(1) \text{ 节点 a } i_1 - i_4 - i_6 = 0$$

$$(2) \text{ 节点 b } i_6 - i_2 - i_5 = 0$$

$$(3) \text{ 节点 c } i_3 + i_4 + i_5 = 0$$

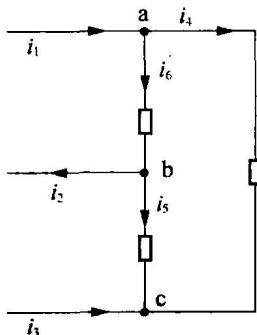


图 1.7 例 1.3 的图

上述方程相加得: $i_1 + i_3 = i_2$

1.2.3 基尔霍夫电压定理

1. 基尔霍夫电压定理

如果从回路中任意一点出发, 以顺时针方向(或逆时针方向)沿回路循行一周, 则在这个方向上的电压降的代数和为零, 回到原来的出发点时, 该点的电位是不会发生变化的。这是电路中任意一点的瞬时电位具有单值性的结果。基尔霍夫电流定理描述的是支路间电流的约束关系, 基尔霍夫电压定理则是用来确定回路中各段电压关系的。

基尔霍夫电压定理(KVL): 对于任一集中电路中的任一闭合回路, 在任一时刻沿着该回路的所有支路电压降的代数和为零。其数学表达式为

$$\sum_{k=1}^N u_k(t) = 0 \quad (1-7)$$

式中, $u_k(k)$ 为回路中的第 k 条支路上的电压降; N 为回路中的支路数。

2. 基尔霍夫电压定理补充规定

(1) 基尔霍夫电压定理对支路的元件并无特别限制, 无论电路中的元件如何, 只要是集中参数电路, KVL 就成立。这就是说, KVL 与元件的性质是无关的。

(2) 当各支路电压是时变电压时, KVL 仍然成立。

(3) 各支路电压降“+”、“-”符号的确定是人为的。通常规定各支路电压降的方向与循行方向一致时取“+”, 相反时(电压升)取“-”(当然也可以定义: 与循行方向一致的取“-”, 相反的取“+”), 但在循行同一回路时应该一致。

【例 1.4】电路如图 1.8 所示, 已知 $u_1 = 5\text{V}$, $u_4 = -3\text{V}$, 求 u_2 、 u_3 、 u_5 。

解: 根据基尔霍夫电压定理, 在任一时刻, 沿着回路的所有支路电压降的代数和为零, 即

$$\sum_{k=1}^N u_k(t) = 0$$

图 1.8 中, 以顺时针方向为循行方向列写方程。

(1) 由 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow a$ 构成的左上回路 1, $-u_3 + u_1 = 0$

(2) 由 $b \rightarrow c \rightarrow d \rightarrow b$ 构成的左下回路 2, $-u_4 - u_2 = 0$

(3) 由 $a \rightarrow c \rightarrow b \rightarrow a$ 构成的右回路 3, $-u_5 + u_4 + u_3 = 0$

由以上分析可解得: $u_3 = u_1 = 5\text{V}$, $u_2 = -u_4 = +3\text{V}$, $u_5 = u_4 + u_3 = 2\text{V}$

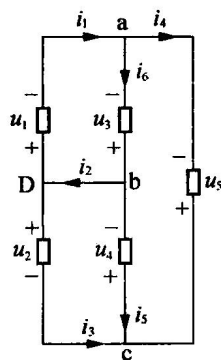


图 1.8 例 1.4 的图

1.3 电压源与电流源

根据能量守恒定理, 能量不能凭空产生, 也不会凭空消失, 它只能从一种形式的能量转换为另一种形式的能量。在一个电路中, 存在能量的消耗, 也就必然有提供能量的物质, 在电路中能为电路提供能量的元件称为电源。