

全国卫生院校高职高专教学改革实验教材

影像电子学基础

(医学影像技术专业用)

主编 董德贵



全国卫生院校高职高专教学改革实验教材

影像电子学基础

医学影像技术专业用

主 编 董德贵

副主编 朱小芳 魏敏敏

编 者 (以姓氏拼音为序)

董德贵(齐齐哈尔市卫生学校)

郭树怀(邢台医学高等专科学校)

姜建华(浙江医学高等专科学校)

宋 端(辽东学院医学院)

魏敏敏(江汉大学卫生职业技术学院)

朱立军(廊坊市卫生学校)

朱小芳(绍兴文理学院医学院)

高等教育出版社

内容提要

本书对医学影像技术工作有较强的针对性,教材内容以适应医学影像技术行业要求为准,编写过程中尽量保证毕业学生与工作“零”距离。本书结合临床实际,深入浅出地介绍了电子学基础和电工学的基础知识,主要内容包括直流电路、正弦交流电路和三相交流电路、变压器和电动机、半导体二极管和晶体管、交流放大电路、直流稳压电源、晶闸管及基本电路、门电路和逻辑电路,实验 14 个。通过学习本书,学生能更好地进行后续课程的学习,也为从事医学影像技术工作打下坚实的基础。

本书结构清晰,讲解详细,强调“基本理论知识、基本实践技能、基本态度方法。”本书可作为高职高专或中专医学影像技术专业的教学用书,也可作为从事医疗影像技术专业人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

影像电子学基础 / 董德贵主编. —北京: 高等教育出版社, 2005. 9
医学影像技术专业用
ISBN 7-04-017536-3

I. 影... II. 董... III. 影像诊断-医用电子学-高等学校: 技术学校-教材 IV. R445

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 086130 号

策划编辑 秦致中 责任编辑 王莉莉 封面设计 王 睢 责任绘图 朱 静
版式设计 胡志萍 责任校对 王 雨 责任印制 陈伟光

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市西城区德外大街 4 号

邮政编码 100011

总 机 010-58581000

经 销 北京蓝色畅想图书发行有限公司

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

购书热线 010-58581118

免费咨询 800-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

网上订购 <http://www.landaco.com>

<http://www.landaco.com.cn>

开 本 787×1092 1/16

印 张 13.5

字 数 320 000

版 次 2005 年 9 月第 1 版

印 次 2005 年 9 月第 1 次印刷

定 价 19.90 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 17536-00

前 言

为落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》中提出的“积极推进课程和教材改革,开发和编写反映新知识、新技术、新工艺、新方法,具有职业教育特色的课程和教材”的要求,2004年3月,教育部职成司颁布了“关于制定《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》的通知”,根据“通知”中关于“积极开发编写新兴专业课程教材和教学改革试验教材”的要求,我们编写了本教材。

本教材是研究电能和半导体器件在工程技术上应用的学科,是医学影像技术专业一门重要的专业基础课。主要内容包括直流电路、正弦交流电路和三相交流电路、变压器和电动机、半导体二极管和晶体管、交流放大电路、直流稳压电源、晶闸管及基本电路、门电路和逻辑电路,实验14个。本教材简化了计算,尽量减少不必要的数学推导。为了培养实用型人才,课程在把握深浅度及阐述方法上,对学生已有知识直接应用而不再做过多的讲解,理论和概念深入浅出,与其他教材相比,难度降低,理论知识以够用为度,并有较强的针对性。教材内容以适应医学影像技术行业要求为准,保证毕业生与工作“零”距离。

对于实验,考虑学生的实际情况和毕业后的工作需要而安排,同时兼顾了影像专业其他课程的需要,并且考虑到了各个学校实验设备的情况、实验的可行性,力求提高各个学校的实验开出率。注重培养学生的实践动手能力。

通过对本教材的学习,能增长学生影像电子学方面的知识,为以后进一步学习和实践打下坚实的基础,为今后从事影像技术工作提供理论知识和实践技能。

参加本书编写的人员及分工情况如下:廊坊市卫生学校朱立军编写第一章、实验一、实验二、实验三;辽东学院医学院宋端编写第二章、第三章、实验四、实验五、实验六;齐齐哈尔市卫生学校董德贵编写绪论、第四章、实验七;绍兴文理学院医学院朱小芳编写第五章、第六章、实验八、实验九、实验十;邢台医学高等专科学校郭树怀编写第七章、实验十一、实验十二;浙江医学高等专科学校姜建华编写第八章、实验十三、实验十四;江汉大学卫生职业技术学院魏敏敏绘制了本书的所有插图。全书由董德贵统稿、定稿。

由于编者水平有限,编写时间仓促,虽经编委全体同仁共同努力,但书中的缺点和错误在所难免,恳请使用本教材的专家和同仁批评指正。

编 者

2005年3月

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人给予严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话：(010) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

目 录

绪论	1	一、三角函数表示法	36
一、影像电子学基础的主要内容	1	二、波形图表示法	37
二、影像电子学和医学联系	1	三、相量表示法	37
三、课程的基本理念	2	四、同频率正弦量的加、减法	38
四、怎样学好影像电子学	2	第三节 单相正弦交流电路	40
第一章 直流电路	4	一、电阻元件的正弦交流电路	40
第一节 电路的基本概念	4	二、电感元件的交流电路	41
一、电路的基本概念	4	三、电容元件的交流电路	43
二、电路的基本物理量	5	四、电阻、电感、电容串联的交流电路	46
三、欧姆定律	7	五、功率因数的提高	49
四、电路中的电能与电功率	8	第四节 三相交流电路	49
第二节 电阻的串联、并联和混联	9	一、三相交流电动势的产生	50
一、电阻的串联	9	二、三相交流电的连接	50
二、电阻的并联及分流	10	三、三相负载的连接	52
三、电阻的混联	11	第五节 安全用电常识	55
第三节 基尔霍夫定律	13	一、触电方式	55
一、基尔霍夫电流定律	13	二、安全措施	56
二、基尔霍夫电压定律	15	三、预防措施	56
第四节 电压源、电流源及其等效 变换	18	本章小结	56
一、电压源	18	本章习题	57
二、电流源	18	第三章 变压器和电动机	59
三、电压源与电流源的等效变换	19	第一节 变压器	59
第五节 电路中电位的概念与计算	21	一、变压器的基本结构	59
第六节 电容器	23	二、变压器的工作原理	60
一、电容器及电容	23	三、自耦变压器和调压器	62
二、电容器的串联和并联	23	四、变压器绕组的同极性端	63
三、电容器的充、放电和时间常数	26	五、中频原理简介	64
本章小结	28	第二节 三相异步电动机	65
本章习题	29	一、三相异步电动机的基本结构	65
第二章 正弦交流电路和三相交流电路	33	二、三相异步电动机的工作原理	66
第一节 正弦交流电的基本概念	33	三、三相异步电动机的使用	69
一、正弦电压和电流	33	第三节 单相异步电动机	70
二、正弦交流电的三要素	33	第四节 控制微电机	72
第二节 正弦交流电的表示方法	36	本章小结	72
		本章习题	73

第四章 半导体二极管和晶体管	75	一、级间耦合方式	108
第一节 半导体	75	二、阻容耦合多级放大电路	109
一、半导体及其导电性	75	第七节 功率放大电路	111
二、本征半导体	76	一、功率放大电路的特点和分类	111
三、N型半导体和P型半导体	77	二、互补对称功率放大电路	112
第二节 PN结	78	三、复合互补功率放大电路	114
一、PN结的形成	79	本章小结	115
二、PN结的单向导电性	80	本章习题	115
第三节 半导体二极管	81	第六章 直流稳压电源	119
一、基本结构	81	第一节 整流电路	119
二、二极管的伏安特性	81	一、单相半波整流电路	119
三、主要参数	82	二、单相桥式整流电路	120
四、稳压二极管	83	第二节 滤波电路	122
第四节 晶体三极管	84	一、电容滤波电路	122
一、基本结构	84	二、RC π 形滤波电路	124
二、晶体管的电流分配和电流放大作用	85	第三节 稳压电路	124
三、特性曲线	87	一、硅稳压二极管稳压电路	125
四、主要参数	89	二、串联型晶体管稳压电路	126
本章小结	90	三、集成稳压器	127
本章习题	90	本章小结	129
第五章 交流放大电路	92	本章习题	129
第一节 基本交流放大电路	92	第七章 晶闸管及基本电路	131
一、电路组成	92	第一节 晶闸管	131
二、电路各元件的作用	92	一、晶闸管的结构、符号	131
三、电路组成原则	93	二、晶闸管的工作原理	132
第二节 放大电路的静态分析	93	三、晶闸管的伏安特性	134
一、估算法	94	四、晶闸管的主要参数	134
二、图解分析法	95	五、晶闸管的型号	135
三、元件参数对静态工作点的影响	95	第二节 单相可控整流电路	136
第三节 放大电路的动态分析	96	一、单相半波可控整流电路	136
一、图解分析法	97	二、单相半控桥式整流电路	138
二、微变等效电路分析法	100	第三节 单结晶体管触发电路	139
第四节 静态工作点的稳定	102	一、晶闸管对触发电路的要求	139
一、温度对静态工作点的影响	102	二、触发脉冲的输出方式	140
二、分压式偏置放大电路	103	三、单结晶体管触发电路	140
第五节 射极输出器	105	第四节 晶闸管的保护	145
一、电路结构	106	一、晶闸管的过电流保护	145
二、静态分析	106	二、晶闸管的过电压保护	146
三、动态分析	106	三、晶闸管的串、并联保护	147
第六节 多级放大电路	107	四、晶闸管使用注意事项	148

本章小结	148	本章小结	173
本章习题	149	本章习题	173
第八章 门电路和逻辑电路	151	影像电子技术基础实验	177
第一节 脉冲信号	151	实验一 几种常用仪器仪表的使用	177
一、常见脉冲波形	151	实验二 直流电路中电位的测量	179
二、脉冲波形的参数	152	实验三 研究电容的充、放电过程	180
第二节 晶体管的开关电路	153	实验四 RLC 串联谐振电路	182
第三节 基本逻辑门电路	154	实验五 变压器测试	183
一、二极管与门电路	154	实验六 三相异步电动机的作用	185
二、二极管或门电路	156	实验七 晶体管的简单测试	187
三、晶体管非门电路	157	实验八 单管交流放大电路	188
四、复合门电路	158	实验九 单相桥式整流滤波电路	190
五、TTL 与非门电路	160	实验十 三端集成稳压电路	192
第四节 组合逻辑电路的基本分析		实验十一 晶闸管的简单测试	195
方法	163	实验十二 单结晶体管触发电路	196
一、逻辑代数的运算	163	实验十三 门电路和组合逻辑电路	197
二、组合逻辑电路的分析	165	实验十四 触发器及其应用	200
三、组合逻辑电路的简单设计	166	参考书目	205
第五节 双稳态触发器	168		

绪 论

一、影像电子学基础的主要内容

影像电子学基础是研究电能和半导体器件在工程技术上应用的学科,是医学影像技术专业一门重要的专业基础课。本课程的主要任务是使学生获得电工和电子技术方面的基本知识和基本技能,为学习专业知识、从事影像技术工作,以及进一步提高科学技术水平打下良好的基础。

本教材注意处理经典内容与现代科学成就的关系、先进性与教学适用性的关系、传授知识与培养学生能力的关系。教材内容着眼于影像电子学的基础性、应用性和先进性,以电路、电子电路的基本概念、基本理论和基本分析方法为重点,以这些理论、方法和技术应用为主导,融入影像电子技术领域的新技术、新成果,以增强教材的活力和生命力。

本教材的主要内容有:直流电路、正弦交流电路和三相交流电路、变压器和电动机、半导体二极管和晶体管、交流放大电路、直流稳压电源、晶闸管及基本电路、门电路和逻辑电路等。

影像电子学基础是一门实践性很强的专业技术基础课,因此,必须重视和加强实践教学,努力培养学生的动手能力,实践教学是提高影像电子学基础教学质量不可缺少的重要环节。在能力培养方面,要求学生能正确连接电路,能分析简单的电路原理图,能阅读设备的电路方框图,初步具备辩证思维能力;学习必备的影像电子学基础知识和技能,了解这些知识与技能在医学领域中的应用,了解影像技术在医学发展中状况;学习科学探究方法,发展自主学习能力,养成良好的思维习惯,能运用电子学知识和医学探究方法解决一些问题;保持好奇心与求知欲,发展科学探索兴趣,有坚持真理、勇于创新、实事求是的科学态度与科学精神;有振兴医学事业,将医学服务于人类的社会责任感;了解医学与电子技术在经济和社会的主要作用。

二、影像电子学和医学联系

影像电子学作为一门独立的学科,从确立以来,在医学领域中起到了很大作用,大量的电子学科学技术知识和成果得到广泛应用,促成了医学工作者与工程师或物理学家之间的密切合作。影像电子学发展十分迅速,研究领域不断拓宽,地位日益重要,展示了广阔的发展前景。影像电子学综合应用电子学和有关工程技术的理论和方法,从工程科学的角度研究生物、人体的结构和功能以及功能与结构之间的相互关系。作为交叉学科,影像电子学的介入是双向的:一方面将电子学用于生物和医学领域,使这些领域的研究方式从定性提高到定量;另一方面,生命过程中揭示出的许多规律,特别是经过亿万年进化而形成的生物信息处理的优异特性将会给电子学科以重要的启示,这不会推动电子学的发展,还将使信息科学发生革命性的变革。

现代医学的发展将会在越来越大的程度上依赖于医学仪器。无论从人民的健康保障还是从市场经济利益角度考虑,医学治疗、诊断、监护、模拟和管理方面的仪器设备研究和发展都是十分重要的。这里简单介绍一些医学仪器:

影像诊断仪。以核磁共振、X射线、超声波、放射性射线为探测源的成像系统为主。

监护仪器。监护仪器的发展趋势是高性能的传感器和信号处理系统的紧密结合,以实现小型化、集成化、图像化、智能化和长时期的实时监护。

心电诊断仪器。包括:Holter系统,时间压缩阵发式动态心电记录系统,微弱希氏电位和电位的检测仪器。

康复器械。包括:心脏起搏器、电子耳蜗、假胶以及各类声控仪器、超声盲人眼镜、人工视网膜的研究,生物传感器和人工智能结合研制出具有嗅觉和味觉功能的系统。

总之,医学和医学影像电子学有着千丝万缕的联系,随着电子学的发展,医疗诊断手段和医疗治疗手段也不断提高。

三、课程的基本理念

(一) 在课程目标上注重提高全体学生的科学素养

职业教育影像电子学的基础课程旨在进一步提高学生的科学素养,从知识与技能、过程与方法、情感态度与价值观三个方面培养学生,为学生终身发展、应对现代社会和未来医学发展的挑战奠定基础。

(二) 在课程结构上重视基础,体现课程的选择性

职业教育仍属于基础教育,应该注重全体学生的共同基础,同时应该针对学生的兴趣、发展潜力和今后的职业需求,设计供学生选择的影像电子学模块,以满足学生的不同学习需求,促进学生自主地、富有个性地学习。

(三) 在课程内容上体现时代性、基础性和可选择性

影像电子学基础应加强与学生生活、现代社会及医学发展的联系,反映当代医学影像技术发展的重要成果和新的医学思想,关注影像电子学的技术应用所带来的医学领域的热点问题,培养学生的社会参与意识和职业道德。

(四) 在课程实施上注重自主学习,提倡教学方式多样化

影像电子学基础旨在从电子技术中精选必备的基础知识与技能,关注医学影像与其他学科的联系,在培养学生基本能力的同时,应促进学生自主学习,让学生积极参与,乐于探究,勇于实验,勤于思考。通过多样化的教学方式,帮助学生学习影像电子学的知识与技能,培养其科学探究能力,使其逐步形成科学态度与科学精神。

(五) 在课程评价上强调更新观念,促进学生发展

影像电子学基础应体现评价的内在激励功能和诊断功能,关注过程性评价,注意学生的个体差异,帮助学生认识自我、建立自信,促进学生在已有水平上发展。通过评价还应促进教师的提高以及教学实践的改进等。

四、怎样学好影像电子学

要学好影像电子学,首先要对影像电子学有兴趣,能领略医学界的奇妙与和谐,保持好奇心与求知欲,乐于探究医学领域的奥秘;有参与影像技术改进活动的热情,有将电子技术知识应用于生活和医疗实践的意识,勇于探究与医学有关的电子技术问题;具有敢于坚持真理、勇于创新 and 实事求是的科学态度和科学精神;有主动与他人合作的精神,有将自己的见解与他人交流的愿望,敢于坚持正确观点,勇于修正错误,具有团队精神;关心国内外医学影像发展现状与趋势,有

振兴医学影像的使命感与责任感,有将影像电子学服务于人类的意识。

要学好影像电子学,还要重视观察和实验,要认真做好影像电子学实验,注意认真观察实验现象和结果,并且分析实验现象产生的条件和原因,能通过实验研究一些医学影像方面的问题,有意识地提高自己的观察能力和动手能力。写好实验报告,学会使用医疗仪器,并且能处理数据。

学习过程中要理论联系实际,学会把知识用到实践中去,学会解决相关课程的问题,能和其他课程的知识融合在一起。学会提出问题,多问为什么,这样才能把知识学得扎实。理论知识要记牢,但不能死记硬背,学会解决实际问题。要注意知识的运用,在运用中学会分析问题、解决问题的方法。要在不断的实践中,扩展和加深自己的影像电子学知识,学会具体问题具体分析,提高自己分析问题、解决问题的能力。

第一章 直流电路

学习要点 本章在已有物理学知识的基础上,将复习并加深理解一些有关电路的基本知识。本章将介绍电路的组成、作用和模型电路等概念;学习电路的基本定律,并用其对电路进行分析和计算;还将学习电容器的串、并联规律及其充、放电过程等有关知识。

第一节 电路的基本概念

一、电路的基本概念

(一) 电路的组成和作用

电路也就是电流的通路,其作用一般有两个方面:一是实现电能的输送和转换;二是对电路信号进行适当的处理。电路通常由电源、负载和中间环节三部分组成。其中,电源是提供电能的装置,它把其他形式的能转化成电能;负载是使用电能的装置;中间环节由导线、开关及测量、控制和保护装置等组成。图 1-1(a)所示是一个最简单的电路,其中的干电池即电源,是提供电能的装置;白炽灯是负载,它把电池提供的电能转化为光能和发热的内能;中间环节由导线和开关组成,其主要作用是把电池提供的电能输送给白炽灯并控制其亮、暗。而在电视机、X 光机、CT 机等仪器中,其中间环节是由导线和其他各种元件组成的复杂电路,主要作用是进行信号的传递和处理。

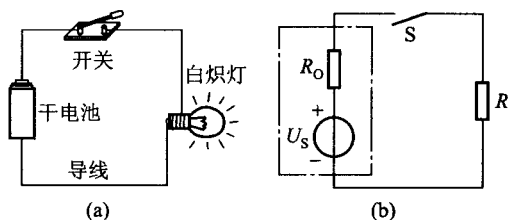


图 1-1 最简单的电路及其模型电路
(a) 最简单的电路; (b) 模型电路

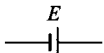
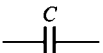
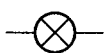
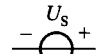
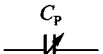
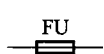
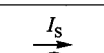
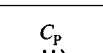
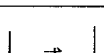
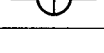
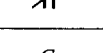
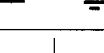
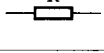
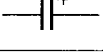

(二) 模型电路

组成电路的各种器件称为电路元件。表征电路元件性能的量称为元件的参数。电路元件在电路中的性能和作用往往是多方面的,例如,白炽灯的主要性能是电阻性,但电流经过灯丝又会产生磁场,因而又具有电感性;电感线圈的主要性能是电感性,但也同时具有电阻性(一般用铜导线绕制,电阻很小)和电容性(匝与匝之间的分布电容,一般也很小)。为了便于分析和计算,常常把实际的电路元件理想化,即在一定条件下,突出元件的主要性能,略去其次要性能,这样得到的元件称为理想元件。例如,略去白炽灯的电感性,白炽灯就可看做一个只具有电阻性的理想元件——纯电阻元件。同理,若实际电感线圈的电阻和分布电容很小,可以略去不计,则这一线圈就可看做只具有电感性的纯电感器;实际中的电容器,如果略去其漏电电阻和分布电感,它也可简化为一个只具有电容性的纯电容元件。显然,理想元件只具有单一的性能。有时,某些电路元件不能看做理想元件,例如,电源的内阻不能忽略时,电源就不能看做是一个理想电源。此时,可以把电源看成是由一个理想电源(没有内阻)和一个纯电阻元件(阻值等于电源内阻)的串联组

合。常用的理想电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件和电源等。

由理想元件及其组合连成的电路,就是实际电路的模型电路。图 1-1(b)就是图 1-1(a)的模型电路。在绘制电路图时,各种元器件均需用规定的符号表示。部分元器件的图形符号如表 1-1 所示。

表 1-1 部分元器件的图形符号

图形符号	名称	图形符号	名称	图形符号	名称
	电池		电容		白炽灯
	理想电压源		可变电容		熔断器
	理想电流源		微调电容		接地
	电阻		电解电容		两线相接
	可变电阻电位器		电感		两线交叉

(三) 有关电路的几个概念

支路:没有分支的一段电路称为支路。图 1-2 中有三条支路。显然,同一支路中流过的是同一电流。

节点:三条或三条以上支路的连接点称为节点。图 1-2 中有两个节点:b 点和 d 点。

回路:电路中任何一个闭合路径都可称为一个回路。图 1-2 中有三个回路,分别是 abcda、abda 和 bcdb。

网孔:内部不含支路的回路称为网孔。图 1-2 中有两个网孔,分别是 abda 和 bcdb。

网络:指比较复杂的电路,如集成电路或电视机电路等。

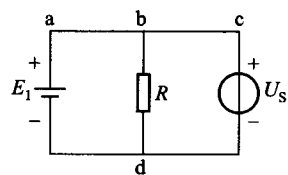


图 1-2 有分支电路

二、电路的基本物理量

研究电路问题时,经常要涉及的电学量有电流、电压、电位和电动势等。

(一) 电流

电荷的定向移动形成电流。单位时间内通过导体截面的电荷量称为电流。大小和方向均不随时间改变的电流称为稳恒电流,简称直流,用大写字母 I 表示。设时间 t 内通过某一截面的电荷量为 Q ,则有

$$I = \frac{Q}{t} \tag{1-1}$$

如果电流的大小和方向都随时间而变化,则称为交流电流,用小写字母 i 表示。设在时间 dt 内通过某一截面的电荷量为 dq ,则有

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

在国际单位制中,电荷量的单位为库[仑],符号为 C;时间的单位为秒,符号为 s,电流的单位为安[培],符号为 A。实用中,电流的单位还有毫安(mA)和微安(μ A),各单位的换算关系为

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

电流的方向规定为正电荷定向移动的方向。在同一支路上,电流总是处处相等,这一结果称为电流的连续性原理。

(二) 电压和电位

电路中任意两点间的电压等于将单位正电荷从一点移到另外一点时电场力所做的功。设将一正电荷 q 从 a 点移到 b 点时,电场力所做的功为 W_{ab} ,则 a 、 b 两点间的电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-3)$$

在国际单位制中,电压的单位为伏[特],符号为 V。实用中还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏(μ V)等,其换算关系为

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V} = 10^6 \text{ mV} = 10^9 \mu\text{V}$$

为了便于研究电路问题,给电压规定一个方向:正电荷在电场力作用下移动的方向,即电位降低的方向。故电压也常常称为电压降。下标 ab 标示了电压的方向是由 a 指向 b 。

电路中某点的电位就是这一点到参考点之间的电压。在图 1-2 中,如果选定 d 点为参考点,即设定电位为 0 的点, $V_d = 0$,则 a 点的电位 $V_a = U_{ad}$, b 点的电位 $V_b = U_{bd}$ 。电位的单位和电压的单位相同,也是伏[特](V)。任意两点间的电压就是这两点间电位的差值,即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

引入电位的概念后,电压的实际方向就是由高电位点指向低电位点。在一个闭合电路的外电路上,由电源正极到负极,电位逐渐降低;在电源内电路上,由负极到正极,电位逐渐升高。

有关电路中电位的计算问题,将在本章第五节中专门讨论。

(三) 电动势

电源电动势是表示电源的非静电力做功把其他形式的能转化为电能能力的物理量。在数值上等于电源把单位正电荷经电源内部由负极移到正极时,非静电力所做的功。设电源把正电荷 q 从电源负极移到正极时,非静电力做的功为 W_E ,则电动势 E 的大小为

$$E = \frac{W_E}{q} \quad (1-5)$$

电动势的单位是伏[特](V),其方向由电源的负极指向电源的正极,与电源电压的实际方向相反,如图 1-3 所示。

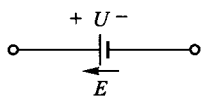


图 1-3 电源电动势的方向

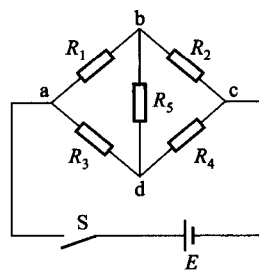


图 1-4 桥式电路

(四) 电流、电压和电动势的参考方向

在简单的直流电路中,如已知电源的极性,则电流、电压和电动势的方向很容易就可以判断出来。但在复杂的电路中,某些支路中电流和电压的实际方向就很难预先判断出来,如图 1-4 所示桥式电路中, R_5 支路的电流和电压方向。在交流电路中,电流、电压和电动势的方向随时间做周期性变化,无法在电路图中标出或判断出它们的实际方向。因此,在分析电路之前,任意为它们假定一个方向,这个假定的方向就称为参考方向(又称为正方向),并用箭头(电流、电动势)或十、一号(电压、电位)标明在电路图上。选好参考方向后,就可以此为依据,进行电路的分析和计算。若计算出的结果为正值,则表明所选参考方向与实际方向一致。若结果为负值,则表明所选参考方向与实际方向相反。需要指出的是,电流、电压和电动势的实际方向都是客观存在的,不会因参考方向选取的不同而不同。

只有选定好参考方向之后,电流和电压才有正、负值之分。参考方向的选取原则上是任意的,但在实际当中,常常需要把元件上电流和电压的参考方向选取一致,称为关联参考方向。这样,在电路图中只需标出电流或电压的参考方向中的一个即可。同理,电源上电动势和电压的关联参考方向是相反的。

电流和电压的参考方向除了用箭头和十、一号表示以外,还可以用带双下标的字母表示,如 I_{ab} (或 U_{ab})表示其参考方向由 a 指向 b;而 I_{ba} (或 U_{ba})表示它的参考方向由 b 指向 a,两者之间差一个负号,即 $I_{ab} = -I_{ba}$, $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

三、欧姆定律

欧姆定律是电路的基本定律之一,用于确定电路中电流、电压(或电动势)及电阻等各量之间的关系。

假设有一段电路的电阻为 R ,加在其两端的电压为 U ,则该段电路中的电流 I 为

$$I = \frac{U}{R} \tag{1-6}$$

这一规律只适用于一段不含电源的电阻电路,故称为部分电路的欧姆定律。

一个完整的闭合电路必定含有电源,设闭合电路的电源电动势为 E ,内阻为 R_0 ,外电路电阻为 R ,则该电路中的电流 I 为

$$I = \frac{E}{R + R_0}$$

这一规律适用于含有电源的闭合电路,故称为闭合电路的欧姆定律。

四、电路中的电能与电功率

一个工作着的电路中必定存在着能量的转换:电源把其他形式的能转化为电能,而负载则把电能转化为其他形式的能。大家知道,功是能量变化的量度,所以,知道了功也就知道了能量转移或转化的多少。

电源通过非静电力做功,把其他形式的能转化为电能。设电源电动势为 E ,电路中的电流为 I ,在时间 t 内电源所做的功(等于电源产生的电能) W_E 为

$$W_E = EIt \quad (1-7)$$

在外电路上,通过电场力做功,把电能转化为其他形式的能。设外电路负载两端的电压为 U ,通过的电流为 I ,则时间 t 内电流对负载做的功(即负载取用或消耗的电能) W 为

$$W = UI t$$

单位时间内所做的功称为功率。所以,电源的功率为

$$P_E = EI \quad (1-8)$$

负载的功率为

$$P = UI \quad (1-9)$$

如负载为纯电阻性元件,由欧姆定律,上式又可写为

$$P = I^2 R \quad (1-10)$$

或

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (1-11)$$

注意对电动机或充电器等非电阻性负载,由式(1-10)算出的功率仅为其发热功率,而式(1-11)则一般不能用于这类电路。

假设有一闭合电路,其电源电动势为 E ,内阻为 R_0 ,外电路是电阻为 R 的电阻性负载,则负载从电源获取的功率为

$$\begin{aligned} P &= I^2 R = \left(\frac{E}{R+R_0} \right)^2 R = \frac{E^2 R}{(R+R_0)^2} = \frac{E^2 R}{(R+R_0)^2 - 4R_0 R + 4R_0 R} \\ &= \frac{E^2}{\frac{(R-R_0)^2}{R} + 4R_0} \end{aligned}$$

在上式中,对于给定电源, E 、 R_0 一定,故功率 P 随负载电阻 R 的变化而变化,当 $R=R_0$ 时,负载获取的功率最大,为

$$P = \frac{E^2}{4R_0}$$

在电子线路中,常常利用上述理论,设法满足 $R=R_0$ 条件,使负载获取最大的功率,这一过

程称为负载与电源的匹配。由 $R=R_0$ 可知,此时电源产生的功率为负载和电源内阻平分,电源的效率仅为 50%,故这种方法在电力系统中是不允许使用的。

第二节 电阻的串联、并联和混联

一、电阻的串联

两个或两个以上的电阻首尾相连的连接方式称为电阻的串联。图 1-5(a)所示是三个电阻串联组成的电路。

几个电阻串联后可用一个等效电阻 R 来代替,如图 1-5(b)所示。串联电路的特点是:

(1) 串联电路中的电流处处相等,即流过 R_1 、 R_2 、 R_3 的电流相等,是同一电流 I 。

(2) 串联电路两端的总电压等于串联电路中各个电阻两端的分电压之和,即

$$U=U_1+U_2+U_3 \quad (1-12)$$

(3) 串联电路的总电阻等于各分电阻之和,即

$$R=R_1+R_2+R_3 \quad (1-13)$$

(4) 各电阻上分得的电压与其阻值成正比,即

$$\frac{U_1}{R_1}=\frac{U_2}{R_2}=\frac{U_3}{R_3}=I$$

当只有两个电阻串联时,可简化其分压计算式。

因为
$$I=\frac{U}{R_1+R_2}$$

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

(5) 串联电路消耗的总功率等于各电阻上消耗的功率之和,即

$$P=P_1+P_2+P_3 \quad (1-14)$$

(6) 各电阻上消耗的功率与其阻值成正比,即

$$\frac{P_1}{R_1}=\frac{P_2}{R_2}=\frac{P_3}{R_3}=I^2$$

电阻串联在实际中有广泛的应用。在图 1-6(a)中,利用 R_1 的分压作用,可以把额定电压较低的白炽灯(或其他电器)接到电压较高的电源上使用。此外,利用串联电阻的分压作用还可以扩大电压表的量程。在图 1-6(b)中,利用可变电阻 R_1 可以调节通过负载 R_2 的电流,这一作用称为串联电阻的限流作用;在图 1-6(c)中,利用可变电阻 R_2 可以调节输出电压 U_0 的大小。

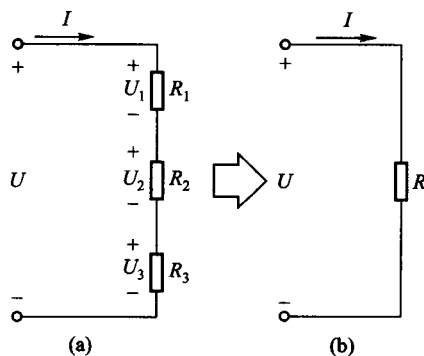


图 1-5 电阻的串联及其等效电路
(a) 电阻的串联;(b) 等效电路