

普通高等教育智能建筑规划教材

建筑电工学

王 佳 主编



TU85/55

2007

普通高等教育智能建筑规划教材

建筑电工学

主 编 王 佳
参 编 王燕京 刘辛国 刘静纨
主 审 刘蕴陶



机械工业出版社

本书是一本具有鲜明土建专业特色的电工学教材,专业性强,行业特色突出,符合目前电工学的相关课程的教改思路。

本书将电工学的基本知识与建筑行业特色相结合,采用模块化体系,便于读者学习使用。在电工技术基础和电子技术基础部分,主要介绍了电路理论和电子技术中的基本知识,内容力求少而精,以够用为尺度,降低了难度;电气设备与控制部分的内容包括变压器、常用低压电器和异步电动机及典型控制,结合建筑特点,介绍了三相变压器和建筑机械等特色内容;建筑电气应用部分,其内容包括建筑供配电、安全用电、建筑防雷、建筑照明、识图和智能建筑的基本知识。每章后面附有小结和适量习题,便于学生自学。

本书适合建筑类院校的电工学课程和少学时建筑电气与设备等相关课程的使用。

本书配有电子课件,欢迎选用本书作教材的老师索取。

索取邮箱: Edmond Yan@sina.com

Edmond Yan@hotmail.com

图书在版编目(CIP)数据

建筑电工学/王佳主编. —北京:机械工业出版社, 2007. 7

普通高等教育智能建筑规划教材

ISBN 978-7-111-21806-7

I. 建… II. 王… III. 建筑工程-电工-高等学校-教材
IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 098595 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 贡克勤 版式设计: 霍永明 责任校对: 张晓蓉

封面设计: 张 静 责任印制: 李 妍

北京蓝海印刷有限公司印刷

2007 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 21 印张 · 516 千字

标准书号: ISBN 978-7-111-21806-7

定价: 29.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

销售服务热线电话: (010) 68326294

购书热线电话: (010) 88379639 88379641 88379643

编辑热线电话: (010) 88379727

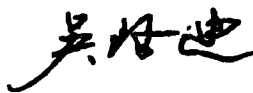
封面无防伪标均为盗版

序

20 世纪,电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术获得了空前的高速发展,并渗透到各个领域,深刻地影响着人类的生产方式和生活方式,给人类带来了前所未有的方便和利益。建筑领域也未能例外,智能化建筑便是在这一背景下走进人们的生活。智能化建筑充分应用各种电子技术、计算机网络技术、自动控制技术、系统工程技术,并加以研发和整合成智能装备,为人们提供安全、便捷、舒适的工作条件和生活环境,并日益成为主导现代建筑的主流。近年来,人们不难发现,凡是按现代化、信息化运作的机构与行业,如政府、金融、商业、医疗、文教、体育、交通枢纽、法院、工厂等,他们所建造的新建筑物,都已具有不同程度的智能化。

智能化建筑市场的拓展为建筑电气工程的发展提供了宽广的天地。特别是建筑电气工程中的弱电系统,更是借助电子技术、计算机网络技术、自动控制技术和系统工程技术在智能建筑中的综合利用,使其获得了日新月异的发展。智能化建筑也为其设备制造、工程设计、工程施工、物业管理等行业创造了巨大的市场,促进了社会对智能建筑技术专业人才的需求的急速增加。令人高兴的是众多院校顺应时代发展的要求,调整教学计划、更新课程内容,致力于培养建筑电气与智能建筑应用方向的人才,以适应国民经济高速发展需要。这正是这套智能建筑系列教材的出版背景

我欣喜地发现,参加这套智能建筑系列教材编撰工作的有近 20 个姐妹学校,不论是主编者或是主审者,均是这个领域有突出成就的专家。因此,我深信这套系列教材将会反映各姐妹学校在为国民经济服务方面的最新研究成果。系列教材的出版还说明一个问题,时代需要协作精神,时代需要集体智慧。我借此机会感谢所有作者,是你们的辛劳为读者提供了一套好的教材。



写于同济园

2002 年 9 月 28 日

前 言

在建筑类院校中,电工学课程不仅仅是一门技术基础课程,它还承担着培养学生电气方面的基本工程能力的重任。对于土建专业的学生而言,无论是从事施工管理,还是从事项目管理,都离不开建筑工程中所要求电气的相关知识,因此,适合土建专业的学生使用的电工学课程的教材,不但应包含电路分析等基本理论,还应包含电气的基本常识、建筑中电气的基本要求、基本设备等,并应着重职业技术能力的培训。《建筑电工学》就是这样一本具有鲜明土建专业特色的电工学教材,非常适合建筑类院校的电工学课程和少学时建筑电气与设备等相关课程的使用,专业性强,行业特色突出,符合目前电工学的相关课程的教改思路。

本书将电工学的基本知识与建筑行业特色相结合,在对基本概念作系统介绍之后,还加入了建筑电气、设备和智能建筑的相关知识。本书采用模块化体系,便于读者学习使用。在电工技术基础和电子技术基础部分,主要介绍了电路理论和电子技术中的基本知识,内容力求少而精,以够用为尺度,降低了难度;电气设备与控制部分,内容包括变压器、常用低压电器和异步电动机及典型控制,结合建筑特点,介绍了三相变压器和建筑机械等特色内容;建筑电气应用部分,其内容包括建筑供配电、安全用电、建筑防雷、建筑照明、识图和智能建筑的基础知识,以强电为主,兼顾弱电。每章后面附有本章小结和适量习题,便于学生了解本章内容和重点。

本教材由王佳主编,负责全书的策划、组织和统稿工作,并编写了第1、2、13、14章和附录部分,参加编写工作的有刘静纨(第3、15章)、刘辛国(第11、12章)、王燕京(第4、5、6、7、8、9、10章),北京理工大学的刘蕴陶教授对全书进行了认真细致的审查,并提出了很多宝贵的建议。在本书编写过程中,得到了邢汉峰、赵连玺、张培华3位老师的大力支持和帮助,在此一并表示衷心感谢!

由于水平有限,经验不足,疏漏和不当之处在所难免,恳请使用本书的教师和读者不吝指正。意见请寄北京建筑工程学院电工教研室收。

本书配有电子课件,欢迎选用本书作教材的老师索取。

索取邮箱:Edmond Yan@sina.com

Edmond Yan@hotmail.com

编 者

目 录

序

前言

第1章 电路基础	1	本章小结	44
1.1 电路的基本概念	1	习题	45
1.1.1 电路的组成	1	第3章 三相电路	47
1.1.2 基本物理量	2	3.1 三相电源	47
1.1.3 电路的基本状态	3	3.2 负载星形联结的三相电路	49
1.2 电路的基本定律	6	3.3 负载三角形联结的三相电路	54
1.2.1 欧姆定律	6	3.4 三相电路的功率	57
1.2.2 基尔霍夫定律	7	3.5 三相功率的测量	59
1.3 支路电流法	10	本章小结	61
1.4 节点电位法	11	习题	62
1.4.1 节点电位概念	11	第4章 半导体二极管和晶体管	63
1.4.2 节点电位方程的推导过程	11	4.1 半导体导电特性	63
1.4.3 节点电位法小结	12	4.1.1 半导体的导电特性	63
1.5 理想电源模型及等效电源定理	13	4.1.2 PN结及其单向导电性	64
1.5.1 理想电源模型	13	4.2 半导体二极管	65
1.5.2 等效电源定理	15	4.2.1 半导体二极管的结构与符号	65
1.5.3 节点电位法的补充	17	4.2.2 半导体二极管的伏安特性曲线	65
1.6 叠加原理	18	4.2.3 半导体二极管的主要参数	65
本章小结	20	4.3 稳压二极管	65
习题	20	4.4 晶体管	66
第2章 正弦交流电路	23	4.4.1 晶体管的结构及类型	66
2.1 正弦交流电的基本概念及		4.4.2 电流分配和电流放大作用	66
相量表示法	23	4.4.3 晶体管的特性曲线	67
2.1.1 正弦交流电的基本概念	23	4.4.4 晶体管的主要参数	68
2.1.2 正弦交流电量的相量表示	26	本章小结	68
2.2 单一参数交流电路	28	习题	68
2.2.1 纯电阻电路	28	第5章 晶体管基本放大电路	71
2.2.2 纯电感电路	30	5.1 晶体管单管放大电路	71
2.2.3 纯电容电路	31	5.1.1 共发射极基本放大电路的组成及	
2.3 交流电路的分析	34	工作原理	71
2.3.1 RLC 串联交流电路	34	5.1.2 共发射极基本放大电路的	
2.3.2 交流电路的一般分析方法	36	静态分析	71
2.4 电路的功率因数	39	5.1.3 共发射极基本放大电路的	
2.5 电路的谐振现象	40	动态分析	72
2.5.1 串联谐振	40	5.2 工作点稳定的放大电路	76
2.5.2 并联谐振	42	5.2.1 温度对工作点的影响	76

5.2.2 工作点稳定的放大电路	77	7.2 滤波电路	115
5.3 射极输出器	78	7.2.1 电容滤波电路	115
5.3.1 静态分析	78	7.2.2 电感滤波电路	117
5.3.2 动态分析	78	7.2.3 复合滤波电路	117
5.3.3 射极输出器的特点	79	7.3 直流稳压电路	117
5.3.4 射极输出器的用途	79	7.3.1 并联型稳压电路	117
5.4 多级放大电路	80	7.3.2 串联型稳压电路	118
5.4.1 阻容耦合多级放大电路	80	7.3.3 集成稳压器	119
5.4.2 直接耦合多级放大电路	81	本章小结	120
5.5 差动放大电路	82	习题	120
5.5.1 差动放大电路的工作原理	82	第8章 组合逻辑电路	125
5.5.2 差动放大电路的输入/输出方式	83	8.1 数字电路概述	125
5.6 互补对称功率放大电路	84	8.1.1 数字信号与数字电路	125
5.6.1 功率放大电路的特点及类型	84	8.1.2 数制与编码	125
5.6.2 互补对称功率放大电路	84	8.2 逻辑门电路	128
本章小结	86	8.2.1 基本逻辑关系及门电路	129
习题	86	8.2.2 集成门电路	131
第6章 集成运算放大器	92	8.3 逻辑函数及化简	133
6.1 集成运算放大器简介	92	8.3.1 逻辑代数的公式和定理	133
6.1.1 集成运算放大器的组成	92	8.3.2 逻辑函数的表示方法	134
6.1.2 集成运算放大器的主要 参数及种类	92	8.3.3 逻辑函数的化简	136
6.1.3 集成运算放大器的理想模型	93	8.4 组合逻辑电路的分析与设计	137
6.2 模拟运算电路	93	8.4.1 组合逻辑电路的分析	137
6.2.1 比例运算电路	93	8.4.2 组合逻辑电路的设计	138
6.2.2 加法和减法运算电路	95	8.5 组合逻辑部件	139
6.2.3 积分和微分运算电路	97	8.5.1 加法器	140
6.3 放大电路中的负反馈	98	8.5.2 数值比较器	141
6.3.1 反馈的基本概念	98	8.5.3 编码器	142
6.3.2 反馈的类型及判别	99	8.5.4 译码器	144
6.3.3 负反馈对放大电路性能的影响	101	8.5.5 4选1数据选择器	147
6.4 信号处理电路	103	8.5.6 1路-4路数据分配器	148
6.4.1 有源滤波器	103	本章小结	148
6.4.2 采样保持电路	104	习题	148
6.4.3 电压比较器	104	第9章 时序逻辑电路	152
6.5 正弦波振荡器	106	9.1 双稳态触发器	152
6.5.1 自激振荡条件	106	9.1.1 基本RS触发器	152
6.5.2 RC正弦波振荡器	107	9.1.2 同步RS触发器	153
本章小结	107	9.1.3 主从JK触发器	154
习题	108	9.1.4 D触发器	155
第7章 直流稳压电源	113	9.1.5 触发器逻辑功能的转换	156
7.1 整流电路	113	9.2 寄存器	157
7.1.1 单相半波整流电路	113	9.2.1 数码寄存器	158
7.1.2 单相桥式整流电路	114	9.2.2 移位寄存器	158
		9.3 计数器	159

9.3.1 同步计数器	159	12.1 三相异步电动机的结构及	
9.3.2 其他形式计数器	161	工作原理	203
9.4 555 定时器	163	12.1.1 三相异步电动机的结构	203
9.4.1 555 定时器的结构和工作原理	163	12.1.2 三相异步电动机的工作原理	204
9.4.2 施密特触发器	164	12.2 三相异步电动机的起动与制动	207
9.4.3 多谐振荡器	165	12.2.1 直接起动	207
9.4.4 单稳态触发器	167	12.2.2 减压起动	208
9.5 数模和模数转换	168	12.2.3 制动	208
9.5.1 数模与模数转换电路	168	12.3 三相异步电动机基本控制环节	210
9.5.2 模数转换器	172	12.3.1 单向旋转控制电路	210
本章小结	175	12.3.2 点动控制电路	211
习题	175	12.3.3 可逆旋转控制电路	211
第 10 章 磁路和变压器	180	12.3.4 时间控制基本电路	213
10.1 磁路	180	12.4 典型控制电路举例	215
10.1.1 磁路中的基本物理量	180	12.4.1 混凝土搅拌机的控制电路	215
10.1.2 磁路的基本定律	181	12.4.2 带式输送机顺序控制系统	216
10.1.3 铁磁材料的磁性能	182	本章小结	217
10.1.4 交流铁心线圈电路	182	习题	218
10.2 变压器	184	第 13 章 建筑供电与安全用电	219
10.2.1 变压器的工作原理	184	13.1 电力系统概述	219
10.2.2 变压器的使用	186	13.1.1 基本概念	219
10.2.3 特殊变压器	187	13.1.2 电力系统的组成	220
10.3 三相变压器	188	13.1.3 供电质量要求	221
10.3.1 三相变压器的构成	188	13.2 电力负荷的计算	221
10.3.2 三相变压器电路连接	189	13.2.1 电力负荷的分级	222
本章小结	191	13.2.2 电力负荷的类别	222
习题	192	13.2.3 需要系数法计算电力负荷	223
第 11 章 常用低压电器	194	13.2.4 负荷密度估算法计算负荷	228
11.1 手动控制电器	194	13.2.5 住宅建筑的负荷计算	229
11.1.1 刀开关	194	13.3 10kV 变电所	229
11.1.2 组合开关	194	13.3.1 变配电所的类型和组成	229
11.1.3 按钮	195	13.3.2 变配电系统常用电气设备	230
11.2 自动控制电器	196	13.3.3 变配电所的主电路	
11.2.1 行程开关	196	(主接线)	233
11.2.2 接触器	197	13.4 低压配电系统	234
11.2.3 继电器	198	13.4.1 低压配电方式	234
11.3 保护控制电器	199	13.4.2 低压配电系统的结构	235
11.3.1 断路器	199	13.4.3 配电导线截面积的选择	236
11.3.2 熔断器	200	13.4.4 低压配电系统的短路保护	241
11.3.3 热继电器	200	13.5 安全用电	245
本章小结	202	13.5.1 电流对人体的伤害	245
习题	202	13.5.2 触电的形式	245
第 12 章 三相异步电动机及简单控制 ...	203	13.5.3 低压配电系统的接地	247

13.6 建筑防雷	251	15.2.3 办公自动化系统	293
13.6.1 雷电及危害	251	15.2.4 安防自动化系统	293
13.6.2 防雷分级	251	15.2.5 火灾自动报警与联动 控制系统	294
13.6.3 防雷措施	252	15.3 智能建筑的基本功能	294
13.6.4 防雷装置	252	15.4 建筑智能化系统的投资和 使用年限	295
本章小结	254	15.5 智能楼宇的分级	295
习题	254	15.6 楼宇自动化系统的对象环境	296
第 14 章 建筑电气照明系统	256	15.6.1 楼宇自动化系统的组成和 监控对象	296
14.1 照明的基本知识	256	15.6.2 楼宇自动化系统的软件功能	296
14.1.1 光的基本物理量	256	15.6.3 智能建筑中的楼宇自动化 系统设计	297
14.1.2 照明的基本要求	257	15.7 安防自动化系统	298
14.1.3 照明的种类	258	15.7.1 安防自动化系统的构成	298
14.1.4 照明方式	259	15.7.2 安防自动化系统的发展	299
14.2 电光源的种类和选择	260	15.8 通信系统	299
14.2.1 电光源的种类	260	15.8.1 程控数字用户交换机系统	299
14.2.2 电光源的主要技术参数	260	15.8.2 程控交换机基本构成	301
14.2.3 常用电光源	261	15.8.3 移动无线网络及通信系统	302
14.2.4 电光源的选择	262	15.9 智能小区	303
14.3 照明灯具的选择与布置	263	15.9.1 智能小区的特征	304
14.3.1 照明灯具的分类	263	15.9.2 智能小区的构成和功能	304
14.3.2 照明灯具选择的一般原则	266	本章小结	305
14.3.3 照明灯具的布置	266	习题	305
14.4 照度计算	269	附录	306
14.4.1 照度标准	269	附录 A S7 系列电力变压器的主要 技术数据	306
14.4.2 利用系数算法	270	附录 B S9 系列低损耗油浸式铜绕组 电力变压器的主要技术数据	307
14.4.3 单位容量法	274	附录 C 树脂浇注干式电力变压器 主要技术数据	308
14.5 照明供电线路	277	附录 D 绝缘导线芯线的最小截面积 (移动用)	308
14.5.1 照明供电系统的组成	277	附录 E 绝缘导线芯线的最小截面积 (固定敷设)	309
14.5.2 照明供电系统的结线方式	277	附录 F 架空裸导线的最小截面积	309
14.5.3 照明负荷计算	277	附录 G 10kV 铝芯电缆的允许持续 载流量	309
14.6 照明工程识图	281	附录 H 绝缘导线明敷、穿钢管和穿塑料 管时的允许载流量	310
14.6.1 电气照明施工图概述	281	附录 I 常见普通白炽灯的光电参数	313
14.6.2 电气照明施工图识图	281		
14.6.3 电气照明施工图示例	284		
本章小结	289		
习题	290		
第 15 章 智能建筑的基础知识	291		
15.1 智能建筑的定义与分类	291		
15.1.1 智能建筑的定义	291		
15.1.2 智能建筑的分类	292		
15.2 智能建筑组成	292		
15.2.1 楼宇自动化系统	293		
15.2.2 通信网络自动化系统	293		

附录 J 常见卤钨灯的光电参数	313
附录 K 常见荧光灯的光电参数	313
附录 L 带反射罩的多管荧光灯 技术参数	314

附录 M 电气工程图中通用图形符号	315
附录 N 电气工程平面图常用图形符号	319
参考文献	323

第1章 电路基础

本章重点介绍电路的基本概念、基本定律，并以直流电路为分析对象，着重讨论了常用的几种电路的计算方法，这些方法只要稍加扩展，原则上也适用于交流电路的分析和计算。因此，本章内容是建筑电工学的基础。建立正确的基本概念，掌握计算电路的基本方法，是本章的主要任务。

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路的组成

电路也称做网络，它是电流的通路，是由一些电路元件和设备组成，能够实现能量的传输和转换，或者实现信号的传递和处理的功能的总体。

电路构成的目的多种多样，因而有的形式很简单，有的很复杂。为了用电路的方法进行分析，可以从能量转换的角度，将电路的组成分为3部分，即电源、负载和中间环节。例如，常用的手电筒就是一个简单的电路，它的实际电路元件有干电池、灯泡、开关和筒体。

电源：是将机械能、化学能等其他形式的能转化为电能的设备或元件，如手电筒中的干电池。常用的电源还有发电机等。

负载：即用电设备，是将电能转化成其他形式的能的设备或元件，如手电筒中的灯泡，以及电灯、电动机和电炉等设备。

中间环节：是指连接导线，以及控制、保护和测量的电气设备和元件，它将电能安全地输送和分配到负载，如手电筒中的开关和筒体。

为了对实际电路进行分析和数学描述，可以将实际的电路元件抽象为理想的电路元件，这样实际的电路就可以概括为电路模型，如前面说过的手电筒。手电筒的电路模型如图1-1所示。其中，图1-1a是实际的电路示意图，图1-1b是经科学抽象的电路模型。灯泡是电阻元件，其参数为电阻 R ，干电池是电源元件，其参数为电动势 E 和内阻 R_0 ，开关和筒体是连接干电池与灯泡的中间环节，其电阻忽略不计。

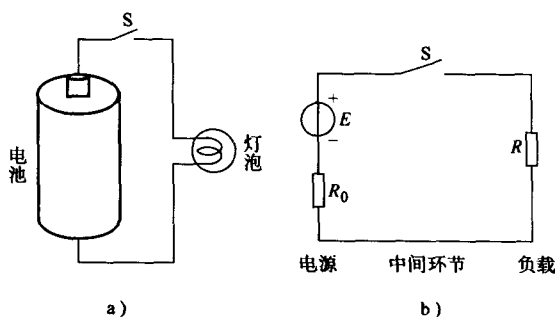


图1-1 手电筒的电路模型

今后进行电路分析的对象，都是指理想元件组成的电路模型，在电路图中，各种电路元件均采用我国的国家标准规定的电路图形符号表示。

1.1.2 基本物理量

电路中的基本物理量包括电流、电位、电压及电动势，物理学介绍过它们，但在电工学中对这些电量分析的侧重点不同，还应予以注意。下面进行逐一介绍。

1. 电流

电流是电荷（带电粒子）有规则的定向运动而形成的，因此电流的方向是客观存在的，一般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。在分析较为复杂的电路时，往往很难判断某支路中电流的实际方向，而且对交流电路而言，电流的方向随时间而变，更无法在电路图中标注出它的实际方向。但是在用数学方程式对电路进行分析时，又需要根据电流的方向确定每一运算项的符号，因此，在对电路进行分析之初，需先任意规定一个电流的正方向，即参考方向（不一定与实际方向一致）。以参考方向为依据对电路进行分析和计算，若计算的数值为正值，则表明电路中该处的电流的实际方向与规定的正方向一致，若计算的数值为负值，则表明电路中该处的电流的实际方向与规定的正方向相反。建立正方向的概念非常重要，它使电路分析上升到理论的高度，从而使分析的范围更广，层次更加深入。

若电流是时间的函数，随时间而变化，则电流表示为

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

若电流是恒定的，即直流，则电流表示为

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

在这里应对电路中物理量的写法加以注意，通常表示恒定的量用大写字母表示，而随时间变化的量用小写字母表示。

我国的法定计量单位是以国际单位制（SI）为基础的，在国际单位制中，电流的表示符号为 I 或 i ，单位是安[培]（A），计量微小的电流时，以毫安（mA）或微安（ μ A）为单位。

2. 电位

在中学物理中就介绍过电位的概念，因此对于它的定义就不作具体介绍了，这里的重点是关于电位计算的问题，这是在电子电路分析中经常会遇到的。

电位即电势高低，表示符号为 φ 或 V ，单位与电压相同，是伏[特]（V）。

计算电路中某点的电位，首先应选定一个参考点，参考点的电位为零，则该点的电位即为该点到参考点的电压。由此可见，电位计算实为电压计算。应注意的是，电位的计算结果与参考点的选择有关。在电工技术中，常将电气设备的机壳与大地相连，即接地，接地点用符号“ $\perp$ ”表示，故常选大地为参考点；在电子电路中，一般选多条导线的公共连接点为参考点，用符号“ $\perp$ ”表示。

例如，在图 1-2 所示电位计算的电路模型中，选定不同的参考点，电位的计算结果则不同。

若选 A 为参考点，则

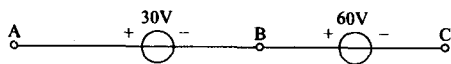


图 1-2 电位计算的电路模型

$$V_A = 0V, V_B = -30V, V_C = -90V$$

若选 B 为参考点, 则

$$V_A = 30V, V_B = 0V, V_C = -60V$$

3. 电压

电压即两点之间的电位差, 符号为 U (或 u), 单位为伏 [特] (V)。计量微小的电压时, 以毫伏 (mV) 或微伏 (μV) 为单位, 计量高电压时, 则以千伏 (kV) 为单位。

一般电压的方向规定为由高电位 (“+”极) 端指向低电位 (“-”极) 端, 即电位降低的方向。与电流相同, 有时电压的实际方向也难以确定, 为了便于电路分析和计算, 也要首先假定电压的参考方向, 即规定电压的正方向, 再根据计算结果的正负, 来确定电压的实际方向。

电压的参考方向表示可以有 3 种方法, 如图 1-3 所示。

电压的计算结果与参考点的选择无关, 如在图 1-2 中, 选择以 A 为参考点或以 B 为参考点, A 点与 B 点之间的电压 U_{AB} 都是 30V。

4. 电动势

电动势是指电源内部借助外力推动电荷运动的能力, 符号为 E , 单位与电压和电位相同。因为电动势的实际方向与电压相反, 且数值与电压相同, 因此为避免混淆, 一般在电路分析中, 多借助电压进行分析, 而不去过多地考虑电动势的问题。

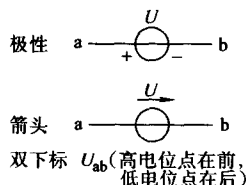


图 1-3 电压参考方向的 3 种表示方法

1.1.3 电路的基本状态

前面已经讲过, 电路可以分为电源、负载和中间环节 3 部分。在实际工程中, 电路可能处于有载工作、空载和短路 3 种状态。下面以最简单的单回路电路为例, 分别对这 3 种电路的基本状态进行讨论, 并对几个相关概念进行介绍。

1. 有载工作状态

图 1-4 所示为有载工作状态, 该电路并不陌生, 就是前面介绍的手电筒的电路模型。如果将开关 S 闭合, 电源接通负载, 灯泡发光, 这就是电路的有载工作状态。

下面分别讨论几个问题。

(1) 电压电流的关系 根据欧姆定律可以列出电路中的电流即流过负载电阻的负载电流

$$I = \frac{U_s}{R + R_0} \quad (1-3)$$

$$U = U_s - IR_0 \quad (1-4)$$

$$U = IR \quad (1-5)$$

式 (1-4) 表明电源的端电压 U 等于电源上的端电压值 U_s 与其内阻上的电压降之差, 当电流增大时, 电源的端电压随之下降。如果将电源的端电压 U 与输出的负载电流 I 之间的关系用曲线表示, 即为电源的外特性曲线, 如图 1-5 所示, 其斜率与电源的内阻有关, 电源内阻越小, 曲线越平直, 表明当负载变动时, 电源的端电压变化不大, 即电源带负载的能力强。

(2) 功率与功率平衡 式 (1-4) 等式两边的各项都乘以电流 I , 则得到功率平衡式

$$UI = U_s I - R_0 I^2 \quad (1-6)$$

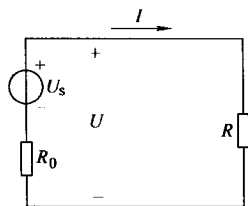


图 1-4 有载工作状态

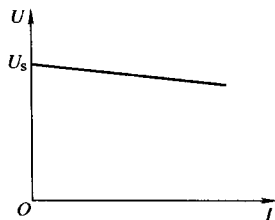


图 1-5 电源的外特性曲线

即

$$P = P_E - \Delta P \quad (1-7)$$

式中, 电源产生的电功率是 $P_E = U_s I$; 电源内阻上消耗的电功率是 $\Delta P = R_0 I^2$; 电源输出的电功率即负载取用的电功率是 $P = UI$ 。式 (1-7) 说明, 在一个电路中, 电源产生的电功率和负载取用的电功率及电源内阻上消耗的电功率永远是平衡的, 这也符合能量守恒定律。

(3) 电源与负载的判定 根据上面对功率平衡概念的论述可以发现, 作为理想的电路元件, 电源一定是输出电功率的元件, 负载一定是取用电功率的, 因此可以根据电压电流的实际方向, 来确定电路中某一元件是电源还是负载。电源与负载上电压电流的实际方向比较如图 1-6 所示。

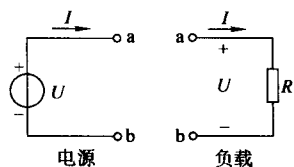


图 1-6 电源与负载上电压电流的实际方向比较

电源: U 和 I 的实际方向相反, 发出功率;

负载: U 和 I 的实际方向相同, 取用功率。

(4) 额定值 各种电气设备的电压、电流及电功率等都有额定值。例如, 一支白炽灯泡上标着 220V、40W, 这就是它的额定值, 即额定电压是 220V, 额定功率是 40W。额定值是制造厂家为了使产品能在给定的工作条件下正常运行而规定的正常容许值, 通常用 I_N 、 U_N 和 P_N 表示, 标注在设备的铭牌上。额定值是根据设备的绝缘强度等安全指标, 以及经济性、可靠性和使用寿命等因素而规定的, 因此在使用任何电气设备时, 应注意看清设备的额定值。设备按额定值运行是最经济可靠的, 低于额定值运行, 设备的效能不能充分发挥, 若高于额定值运行, 很容易引起设备的损坏。因此, 在实际工程中, 应尽量接近额定工作状态。

2. 空载状态

图 1-7 中开关 S 断开的状态称为空载状态, 也叫开路状态。此时, 因为电源开路, 外电阻对电源来说相当于无穷大, 因此电路中的电流为零。即

$$\begin{aligned} I &= 0 \\ U &= U_s \\ P &= P_E = \Delta P = 0 \end{aligned} \quad (1-8)$$

从式 (1-8) 可以看出, 当电源空载时, 因为电路中没有电流, 因此亦无能量的传输和转换。这是电源开路的特征。

3. 短路状态

图 1-8 所示为短路状态。在图 1-8 中, 由于某种原因使电源的两端连在一起, 从而发生了电源短路, 此时, 外电阻被短路, 电流将不流过负载, 而是通过短路处形成回路。由于外电路的电阻为零, 回路中只有很小的电源内阻, 所以此时电流将很大, 一般称之为短路电

流 I_s 。电源的端电压也为零，电源的能量全部消耗在电源内阻 R_0 上了。电源短路时的电路特征可由下列各式表示：

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I &= I_s = \frac{U_s}{R_0} \\ P_E &= \Delta P = I^2 R_0 \\ P &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

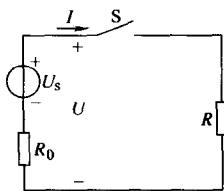


图 1-7 空载状态

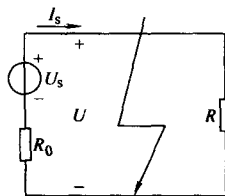


图 1-8 短路状态

电源短路会产生很大的电流，从而产生巨大的热量，造成火灾、人员伤亡和设备损坏等重大事故，因此应采取安全防范措施。通常在电路中接入熔断器或自动断路器，以便在发生短路时，迅速地将故障电路自动切除。

【例 1-1】 若电源的开路电压 $U_0 = 12\text{V}$ ，其短路电流 $I_s = 30\text{A}$ ，试问该电源的电动势和内阻各为多少？

【解】 电源的电动势

$$E = U_0 = 12\text{V}$$

电源的内阻

$$R_0 = \frac{E}{I_s} = \frac{U_0}{I_s} = \frac{12}{30}\Omega = 0.4\Omega$$

提示：本题的思路是通过电源的开路电压和短路电流计算电源的电动势和内阻。

【练习与思考】

(1) 在图 1-9 所示的电路中：

1) 试求开关 S 闭合前后电路中的电流 I_1 、 I_2 、 I 及电源端电压 U ；当 S 闭合时， I_1 是否被分去一些？

2) 如果电源的内阻 R_0 不能忽略不计，则闭合 S 时，60W 电灯中的电流是否有所变动？

3) 计算 60W 和 100W 电灯在 220V 电压下工作时的电阻，哪个的电阻大？

4) 100W 的电灯每秒钟消耗多少电能？

5) 设电源的额定功率为 125kW，端电压为 220V，当只接上一个 220V、60W 的电灯时，电灯会不会被烧毁？

6) 电流流过电灯后，会不会减少一点？

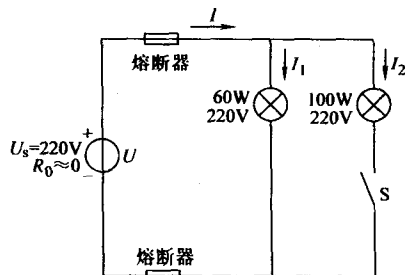


图 1-9 练习与思考 (1) 的图

7) 如果由于接线不慎, 100W 电灯的两线碰触 (短路), 当闭合 S 时, 后果如何? 100W 电灯的灯丝是否被烧断?

(2) 在图 1-10 所示的电路中, 框图代表电源或负载。已知 $U = 220\text{V}$, $I = -1\text{A}$, 试问哪些框图是电源, 哪些是负载?

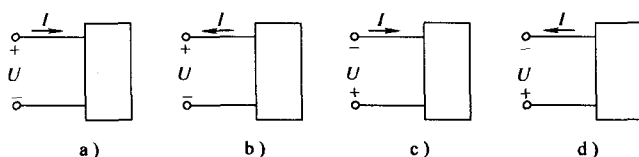


图 1-10 练习与思考 (2) 的图

(3) 有一台直流发电机, 其铭牌上标有 40kW、230V、174A。试问什么是发电机的空载运行、轻载运行、满载运行和过载运行? 负载的大小一般指什么而言?

(4) 一个电热器从 220V 的电源取用的功率为 1000W, 若将它接到 110V 的电源上, 则取用的功率为多少?

(5) 根据日常观察, 电灯在深夜要比黄昏时亮一些, 为什么?

1.2 电路的基本定律

1.2.1 欧姆定律

1. 无源支路的欧姆定律

“源”是指电源。无源支路的欧姆定律如图 1-11 所示。在不含电源的电阻支路中, 流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比, 这是欧姆定律最简单的形式, 也是大家最熟悉的, 但应注意, 用欧姆定律列方程时, 一定要在图中标明电压电流的正方向。

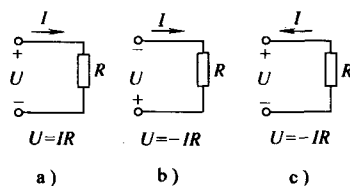


图 1-11 无源支路的欧姆定律

a) 符号为正 b)、c) 符号为负

根据电路图中所选的电压电流的正方向不同, 欧姆定律的表达式中的正负号也不同, 当两者的正方向一致时, 表达式中的符号为正值, 如图 1-11a 所示; 当两者的正方向相反时, 表达式中的符号为负值, 如图 1-11b、c 所示。但是请注意, 不论选的电压电流的正方向是一致还是相反, 最终的结果是惟一的, 即所得到的电压或电流是相同的。这就是前面介绍过的正方向的概念。

2. 全电路的欧姆定律

图 1-12 所示为全电路欧姆定律。前面介绍过的手电筒的电路模型, 电源和负载通过中间环节即组成了一个全电路, 则

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R} \quad (1-10)$$

3. 含源支路的欧姆定律

图 1-13 所示为含源支路的欧姆定律。一个含有电源的支路, 也可以根据欧姆定律列出

方程, 在图中标明电压电流的正方向, 则

$$U_{ab} = IR + U_s$$

$$I = \frac{U_{ab} - U_s}{R} \quad (1-11)$$

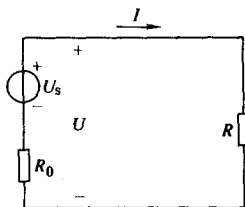


图 1-12 全电路的欧姆定律

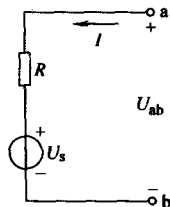


图 1-13 含源支路的欧姆定律

1.2.2 基尔霍夫定律

基尔霍夫定律旧译为克希荷夫定律, 是分析与计算电路的基本定律, 在电路分析中具有重要的地位, 很多电路的分析方法都是根据它设计的。在介绍这个重要的定律之前, 先对一些名词进行解释。

1. 名词解释

(1) 支路和支路电流 电路中的每一个分支即为支路, 一条支路中只流过同一个电流, 称为支路电流。

(2) 节点 电路中汇聚 3 条或 3 条以上支路的点称为节点。

(3) 回路 是指电路中的任意闭合路径, 电路中的单孔回路称为网孔。

基尔霍夫定律的节点、回路和网孔如图 1-14 所示。根据以上定义, 在图 1-14 中, 共有 3 条支路, I_1 、 I_2 、 I_3 为支路电流; 节点数为 2 个, 是 a 点和 b 点; 并有 3 个回路, 分别是 adbca、abca 和 abda, 其中 adbca 和 abda 是网孔。

基尔霍夫定律又分为第一定律和第二定律, 下面分别加以介绍。

2. 基尔霍夫第一定律——基尔霍夫电流定律 (KCL, Kirchhoff's Current Law)

基尔霍夫电流定律又称节点电流定律, 顾名思义, 它主要是说明电路中任一节点上的电流关系的基本规律。由于电流具有连续性, 所以流入任意节点的电流之和必定等于流出该节点的电流之和。

例如, 对于图 1-14 所示电路的节点 a, 可以列出电流方程式

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

即

$$\sum I = 0 \quad (1-12)$$

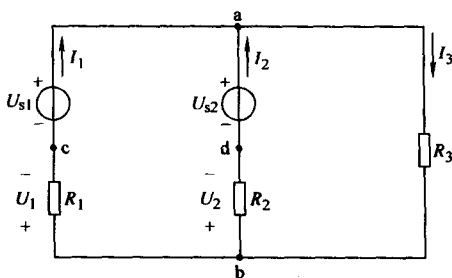


图 1-14 基尔霍夫定律的节点、回路和网孔