

建筑电工 技能实训教程

梅开乡 梅军进 编著
刘瑾瑜 主审



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



建筑电工技能实训教程

梅开乡 梅军进 编著
刘瑾瑜 主审



机械工业出版社

本书是作者在多年教学、工程实践和科研工作的基础上,根据建筑电气安装工程电工《职业技能鉴定规范》的相关内容及考核要求编写而成的。主要内容有:建筑电气技术基础,电工基本操作技能,安全用电常识,建筑电气工程识图,供配电设备安装,电力电缆线路安装,室内配线,电气照明器具、应急电源,低压电器,防雷保护与接地、大厦智能化系统的安装,电梯设备的安装,建筑电气安装工程预算书编制及审查等。

本书从建筑电工岗位要求出发,少讲技术理论,注重实践技能,同时在安装工艺方面内容突出技术实用性和通用性,以图解的直观形式使读者加快理解,迅速建立起实际操作的概念,在较短时间内达到中级、高级职业技能鉴定的标准。本书图文并茂,直观明了,通俗易懂,深入浅出,适合建筑电工岗前培训或作为在职职工的职业资格技能鉴定的培训教材,也可作为高等院校本科、高职、高专的土木工程、工程管理、建筑工程技术、工程监理等专业的“建筑电工”课程教材。

图书在版编目(CIP)数据

建筑电工技能实训教程/梅开乡,梅军进编著. —北京:
机械工业出版社, 2008. 2
ISBN 978 - 7 - 111 - 23461 - 6

I. 建… II. ①梅…②梅… III. 建筑工程 - 电工 - 教材
IV. TU85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 017991 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 王黎庆

责任编辑: 王黎庆 版式设计: 霍永明 责任校对: 程俊巧

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 邓 博

北京京丰印刷厂印刷

2008 年 4 月第 1 版·第 1 次印刷

184mm×260mm·21.75 印张·537 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 23461 - 6

定价: 39.00 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) 68327259

封面无防伪标均为盗版

前言

随着社会的不断发展,科学技术的飞速进步,人们对工作和生活环境的需求不断提高,建筑行业也相应地得到迅速发展。摩天大楼、高级住宅、高级办公楼、豪华宾馆、写字楼、别墅、公寓等智能化建筑犹如雨后春笋,拔地而起,使用的功能也越来越多。建筑电气工程项目和内容也从过去单一的普通照明、灯具、插销、配电盘等逐步发展为高级灯具、各种艺术型式的高级装饰灯具、消防控制、空调控制、电梯控制、照明控制、会议电视、监控视频、可视电话、公共广播、移动通信等智能控制工程,它们占据着重要的位置。由于建筑电气技术是以电能、电子技术及电气技术为手段来创造、维持和改善人们居住或工作的生活环境的电、光、声、冷、暖环境的一门跨学科的综合性的技术科学,与时俱进,正在向多功能的纵深方向和普遍应用方向发展,于是使电气工程预算价值在目前已增加到整个建筑工程造价的10%~30%左右。在整个建筑工程造价中,占有越来越重要的位置。

当前,从土木建筑工程各个领域反馈回来的需求信息是:希望土建专业的工程技术人员不仅要具有般土木工程项目的结构设计、施工管理方面的能力,还应具有一定的电工理论基础,实际用电操作技能与建筑电气工程安装施工、管理、预算的能力,这样才能适应建筑施工技术快速发展的需要。本书是为适应这一市场需求而编写的。

本书在编写过程中强调下述6点:

(1) 以建筑电气安装工程的电工岗位要求为出发点,突出工艺要领和操作技能的培养。以照片、图解、图表的形式来编写,图文并茂,以此来帮助读者理解操作要领,使读者迅速建立实际操作的概念,在短时间内达到“中、高级建筑电工技能鉴定”的标准。

(2) 力图跟踪建筑电气安装工程领域最新的科研成果,突出新设备、新工艺、新技术、新应用、新成果的推广与应用。例如,大厦建筑设备自动化管理系统(BAS),大厦智能通信系统(CAS),大厦办公业务自动化系统(OAS),新型灯具中的高亮度照明发光二极管(LED)与电子节能灯,变频控制器,半导体针组消雷装置,单相、三相复费率电子电能表等内容。

(3) 在每个“技能训练”中,注意将成熟的操作工艺寓于多个典型案例之中,便于读者模仿和借鉴,避免了读者学习上走弯路,以便将所学知识更有效、更方便地运用到建筑电工职业的岗位上。例如,线槽配线施工的工艺流程,施工图预算案例分析,建筑设备智能化管理系统安装流程等。

(4) 本书的图形、符号均按照“GB/T 4728”等新“国标”编写,并将“电气工程

IV

设计常用图形符号”和《安全用电规程》作为附录列于书后。在本书编写过程中参照了国家建设部 2002 年 8 月颁发的《工程建设标准强制性条文》(房屋建设部分),《建筑电气工程施工质量验收规范》(GB50303—2002),《民用建筑电气设计规范》(JGJ/T 16—1992)及近年来颁发的有关建筑电气设计、施工、验收的规范和标准。

(5) 本书读者对象主要针对在职职工。充分考虑到建筑电气安装行业的中、青年职工岗前培训或在职培训,力图在较短的时间内,取得“中、高级电工”或“中、高级安装电工”证书的教学要求。同时兼顾了高等院校本科、高职、高专“推行双证书制度,促进人才培养模式创新”的教学需求,避免单纯讲技术内容,注重图解操作要领和安装工艺。

本书第 1~第 8 章由梅开乡编写,第 9~第 14 章、附录由梅军进编写,全书由梅开乡统稿,黄石理工学院土木建筑工程学院刘瑾瑜教授担任主审。土木建筑工程学院的领导、老师和黄石宏维房地产开发公司的陈建国(教授级)高级工程师在本书编写过程中提出了许多宝贵的修改意见和建议,在此一并表示衷心感谢。

由于编写时间紧迫,编者水平有限,书中错误和疏漏之处在所难免,敬请各位专家、同行、读者批评指正。作者的电子邮件地址是 cims-hs2006@163.com。

编著者

目 录

前言

第1章 建筑电气技术基础	1
1.1 概述	1
1.2 直流电路	2
1.2.1 电路模型	2
1.2.2 电路元件的基本模型	3
1.2.3 电流及其参考方向	3
1.2.4 电压与电动势	4
1.2.5 电功率与电能	5
1.2.6 电路的工作状态	6
1.2.7 基本定律	6
1.2.8 直流电路的计算	10
1.3 交流电路	12
1.3.1 正弦量的基本概念	12
1.3.2 正弦交流电的相量表示法	13
1.3.3 单一参数的交流电路	15
1.3.4 串联交流电路	17
1.3.5 三相交流电路	19
※1.4 铁心线圈电路与变压器	25
1.4.1 磁路及磁路欧姆定律	25
1.4.2 交流铁心线圈电路	26
1.4.3 变压器	28
※1.5 模拟电子技术基础	31
1.5.1 半导体二极管及其应用	32
1.5.2 场效应晶体管(FET)及其放大 电路	34
训练题	37
第2章 建筑电工安全用电常识	38
2.1 安全用电	38
2.1.1 人体电阻及安全电压	38
2.1.2 电流对人体的影响	39
2.1.3 建筑电工安全操作	42
2.1.4 建筑施工工地上的电气安全 管理工作	45
※2.1.5 电气灭火常识	47
2.1.6 漏电电流保护器	48
※2.2 触电与急救的基本知识	49

2.2.1 触电事故的季节性与类型	49
2.2.2 常见的触电形式	49
2.2.3 触电事故产生的原因	51
2.2.4 触电救护	51
2.3 常用电气设备的安全运行	54
2.3.1 电动机	54
2.3.2 电焊机	55
2.3.3 电梯和自动扶梯	56
技能训练	57
第3章 建筑电气工程识图	59
3.1 电气工程图的种类、特点与阅读 程序	59
3.1.1 电气工程图的种类	59
3.1.2 建筑电气工程图的特点	61
3.1.3 电气工程图的阅读程序	63
3.2 电气图形符号和文字符号	64
3.2.1 电气图形符号	64
3.2.2 电气文字符号	68
3.3 动力与照明平面图阅读基础	69
3.3.1 室内配线方式	69
3.3.2 常用绝缘导线	70
3.4 动力与照明平面图阅读实例	70
3.4.1 进户线	72
3.4.2 各配电支路的负荷分配	73
技能训练	73
第4章 建筑电工基本操作技能	76
4.1 电工通用工具的认识与使用	76
4.1.1 低压验电器	76
4.1.2 螺钉旋具	77
4.1.3 钢丝钳	78
4.1.4 断线钳和尖嘴钳	79
4.1.5 剥线钳和电工刀	79
※4.2 内外线专用工具的认识与使用	80
4.2.1 冲击钻	80
4.2.2 紧线器	81
4.2.3 活动扳手	81
4.2.4 压接钳	81

4.2.5 喷灯	81	7.1 导线材料的认识与选择	139
4.2.6 登高工具	82	7.2 配线的一般要求	142
4.3 常用电工仪表的选择与使用	83	7.3 配线工程施工	142
4.3.1 绝缘电阻表	83	7.3.1 塑料护套线配线	142
4.3.2 钳形表	85	7.3.2 线管配线	145
4.3.3 数字万用表(以 DT890D 表为例)	86	7.3.3 线槽配线	148
4.3.4 接地电阻测量仪	87	7.3.4 桥架配线	152
4.3.5 电能表	87	7.3.5 瓷夹板、鼓形绝缘子、瓷绝缘子 配线	152
技能训练	93	技能训练	154
第5章 供电配电设备的安装	99	第8章 电气照明器具的安装	158
5.1 建筑供电配电概述	99	8.1 灯具的种类及选用	158
5.1.1 电力系统的构成	99	8.2 开关、插座的种类	161
5.1.2 低压配电线路的技术要求	103	8.3 照明器具的安装与维修	163
5.1.3 低压供电及低压进户方式	104	8.3.1 照明装置安装规程	163
※5.2 架空线路的敷设	105	8.3.2 白炽灯的安装与维修	163
5.2.1 架空线路的施工程序	105	8.3.3 荧光灯的安装与维修	167
5.2.2 横担组件的安装	109	8.3.4 常用强光灯的安装与维修	173
5.2.3 登杆与下杆的方法	109	※8.3.5 照明发光二极管(LED) 的选用	176
5.2.4 导线的安装	111	※8.3.6 场致发光片和发光线(EL) 的选用	177
5.3 变配电工程安装施工程序与准备	116	技能训练	179
5.3.1 变配电工程安装施工程序	116	第9章 应急电源的安装	182
5.3.2 安装施工准备	117	9.1 应急电源基础	182
5.4 设备基础与接地系统的安装	118	9.1.1 三相同步发电机的结构与 铭牌	182
5.4.1 设备基础的安装	118	9.1.2 三相同步发电机的励磁与 传动	183
5.4.2 接地系统的安装	119	9.2 柴油发电机组的安装	185
5.5 电力变压器及柜(箱)的安装	121	9.2.1 柴油发电机组的选择	185
5.5.1 电力变压器的安装	121	9.2.2 柴油发电机组的安装流程	186
5.5.2 配电柜(箱)的安装	122	9.2.3 柴油发电机组的调试	188
5.6 母线与穿墙套管的安装	124	9.2.4 柴油发电机组的试验	189
5.6.1 母线的安装	124	9.3 常用小型发电机简介	189
5.6.2 穿墙套管的安装	125	技能训练	190
5.7 变配电设备的试验与调整	125	第10章 低压电器	192
技能训练	126	10.1 低压电动机及其控制设备的安装	192
第6章 电力电缆线路的安装	128	10.1.1 三相异步低压电动机的结构	192
6.1 电力电缆的种类、型号规格	128	10.1.2 电动机及其控制装置的安装	194
6.2 电缆线路的敷设	129	10.2 常用低压控制电器	196
6.3 低压电缆头的制作	132	10.2.1 交流接触器	196
6.4 低压电力电缆中间接线盒的制作	135		
6.5 电缆线路的运行维护	136		
技能训练	137		
第7章 室内配线工程	139		

10.2.2 继电器	198	12.1.2 雷电的危害	236
10.2.3 主令电器	203	12.2 建筑物的防雷装置	237
10.3 试运行	206	12.3 避雷针的保护半径	241
※10.4 变频控制器	207	12.4 防雷装置的安装	241
10.4.1 交—直—交变频器	207	12.4.1 阀式避雷器的安装	241
10.4.2 变频器的安装	208	12.4.2 避雷针的安装	242
10.4.3 带电动机负载试运行	209	12.4.3 避雷引下明线的安装	243
技能训练	210	12.4.4 避雷带的安装	243
※第11章 建筑智能化系统	213	12.5 接地、接零装置的制作与安装	243
11.1 建筑设备管理自动化系统 (BAS) 及其功能	213	12.5.1 接地的基本概念	243
11.1.1 建筑设备管理自动化系统 (BAS) 的基本功能	213	12.5.2 接地装置的制作与安装	246
11.1.2 建筑设备管理自动化系统 (BAS) 的监控范围	213	12.5.3 接地电阻的测量方法	249
11.1.3 建筑设备管理自动化系统 (BAS) 的基本结构	213	12.5.4 接地装置的测试	250
11.1.4 建筑设备管理自动化系统 (BAS) 的运行控制	218	技能训练	251
11.2 建筑设备管理自动化系统 (BAS) 的安装	219	第13章 电梯安装	253
11.2.1 对安装设备、材料的要求	219	13.1 电梯的结构分类和特点	253
11.2.2 传感器的安装	219	13.1.1 电梯的结构	253
11.2.3 建筑设备管理自动化系统 (BAS) 的安装流程	222	13.1.2 电梯的分类及特点	255
11.3 大厦供配电系统的管理实例	222	※13.2 电梯机房里的主要部件	256
11.4 大厦智能保安系统的管理实例	225	13.2.1 曳引机	256
11.5 大厦智能通信系统 (CAS) 的施工	228	13.2.2 限速器	258
11.5.1 大厦智能通信系统 (CAS) 的基本结构	228	13.2.3 终端保护装置	262
11.5.2 程控数字用户交换机系统	229	13.2.4 控制柜	263
11.5.3 语音与传真服务系统	230	13.2.5 选层器	263
11.5.4 传真信箱系统	232	※13.3 电梯井道里的主要部件	266
11.5.5 可视图文系统	232	13.4 电梯的安装与检验	272
11.5.6 通信设备和电子设备综合布线系统	232	13.4.1 安装准备工作	272
技能训练	234	13.4.2 电梯电气设备的安装	272
第12章 建筑物的防雷保护与接地	236	13.4.3 电梯控制系统的调整	277
12.1 雷电的种类与危害	236	13.5 电梯安装工程的验收	278
12.1.1 雷电的种类	236	13.5.1 电梯安装工程的质量检查	278
		13.5.2 电梯安装工程的安全可靠性检查	281
		技能训练	282
		第14章 建筑电气工程的预算书编制及审查	289
		14.1 概述	289
		14.1.1 电气工程预算书编制的重要性	289
		14.1.2 电气工程 (概) 预算的分类	290
		14.2 电气工程 (概) 预算的编制程序	291
		14.2.1 直接费用的计算依据	291

14.2.2	看懂全部图样掌握施工方案	291
14.2.3	确定估价汇总表、确定分项工程 项目	291
14.2.4	工程量的计算	292
14.2.5	工程直接费的计算	294
14.3	施工图预算的审查	297
14.3.1	施工图预算的审查要点	297
14.3.2	审查施工图预算的方法	298
※14.4	施工图预算举例	298
14.4.1	某医院急诊楼（二楼）电气工程	

预算	298
14.4.2 某车间电气动力工程安装	
预算	311
技能训练	318
附录	324
附录 A 电气工程设计常用图形符号	324
附录 B 安全用电规程	335
参考文献	337
注：标有“※”号的内容为选学内容，各教学班可根据学时多少予以取舍。	

第 1 章 建筑电气技术基础

1.1 概述

建筑电气是现代建筑工程中的重要组成部分，它相当于人体的“神经系统”，与土建主体不可分割，而且与给水排水、冷暖气供应、通信及安保等系统纵横交错、休戚相关。因此，一个完善的电气设计是各个专业密切协调下的产物。建筑电气的设计必须按照建筑的格局进行布置，同时不影响结构的安全，在土建结构安全许可的范围之内“穿墙越户”。针对建筑电气设备与其他建筑设备有时发生碰撞、“争夺地盘”的矛盾，建设部于 2003 年 6 月 1 日发布了关于《建筑工程设计文件编制深度的规定》及《建筑工程质量管理条例》等，执行相关的行业标准，使不同功能的建筑设备相互协调。例如，在楼梯间敷设干线、干管时，设计中先约定电气线槽与设备干管分别沿楼梯间左、右侧敷设，并协商好互相跨越时的标高。

“建筑电气设计、施工及验收”方面的项目见表 1-1。从表 1-1 中可知，电气装置使用的能源和信息来自不同的市政系统，与这方面相关联的设施是供电网络、通信网络、供水网络、消防报警网络等。因此，在开始进行设计方案构思时，事先要和上述主管部门进行业务联系。

表 1-1 建筑电气设计、施工及验收的项目

项 目		内 容
“强电”系统	室外电气	架空线路及杆上电气设备安装,变压器、箱式变电所安装,成套配电柜(箱)和动力、照明配电箱(盘)及控制柜(屏、台)安装,电线、电缆导管和线槽敷设,电线、电缆穿管和线槽敷线,电缆头制作、导线连接和线路电气试验,建筑物外部装饰灯具、航空障碍标志灯和庭院路灯安装,建筑照明通电试运行,接地装置安装
	变配电室	变压器、箱式变电所安装,成套配电柜(箱)和动力、照明配电箱(盘)及控制柜(屏、台)安装,裸母线、封闭母线、插接式母线安装,电缆沟内和电缆竖井内电缆敷设,导线连接和线路电气试验,接地装置安装,避雷引下线和变配电室接地干线敷设
	电气动力	成套配电柜(箱)和动力、照明配电箱(盘)及控制柜(屏、台)安装,电动机、电加热器及电动执行机构检查、接线,低压电器动力设备检测、试验和空载运行,桥架安装和桥架内电缆敷设,电线、电缆导管和线槽敷设,电线、电缆穿管和线槽敷线,电缆头制作、导线连接和线路电气试验,插座、开关、风扇安装
	备用和不间断电源安装	成套配电柜(箱)和动力、照明配电箱(盘)及控制柜(屏、台)安装,柴油发电机组安装,蓄电池组安装,不间断电源的其他功能单元安装,裸母线、封闭母线、插接式母线安装,电线、电缆导管和线槽敷线,电缆头制作、导线连接和线路电气试验
	防雷及接地安装	接地装置安装,避雷引下线和变配电室接地干线敷设,建筑物等电位连接,接闪器安装

(续)

项 目	内 容
建筑物设备自动化系统	暖通空调及冷热源监控系统,供配电、照明、动力及备用电源监控系统,卫生、给水排水、污水监控安装,其他建筑设备监控系统安装
火灾报警与消防联动控制系统	火灾报警系统安装,防火排烟设备联动控制系统安装,气体灭火设备联动控制系统安装,消防专用通信安装,事故广播系统,应急照明系统安装,安全门、防火门或放火水幕控制系统,电源和接地系统调试
建筑物安保监控系统	闭路电视监控系统、防盗报警系统、保安门禁系统、巡更监控系统安装,线路敷设,电源和接地系统调试
建筑物通信自动化系统	电话通信和语音留言系统、卫星通信和有线电视广播系统、计算机网络和多媒体系统、大屏幕显示系统安装,线路敷设,电源和接地系统安装,系统调试
建筑物办公自动化系统	电视电话会议系统、语音远程会议系统、电子邮件系统、计算机网安装,线路敷设,电源和接地安装,系统调试
广播音响系统	公共广播和背景音乐系统及音响设备安装,线路敷设,电源和接地安装,系统调试
综合布线系统	信息插座、插座盒、适配器安装,跳线架、双绞线、光纤安装和敷设,干路电缆馈线、光缆安装和敷设,管道、直埋铜缆或光缆敷设,防雷、防浪涌电压装置安装,系统调试

“安全用电”在建筑设计、施工中是摆在重要位置上的课题,显然,在电气设计中既要考虑到安全用电的措施切实可行,又要保证建筑电气的内容完全符合国家电气有关规程、规定。因此,当地的供电、供水、电信、消防等部门不但是能源和信息的供应单位,而且还是“安全用电”、“防火报警”方面的主管部门。建筑电气设计与安装的关键部位务必经过这些部门的审查批准后方能施工与验收;否则容易造成返工或建筑功能丧失或惨重的经济损失。

1.2 直流电路

1.2.1 电路模型

电路是为了完成某种功能,将电器元件或设备按一定方式联接起来而形成的系统,通常用以构成电流的通路。从工农业生产、科学研究中用到的各种生产机械的电气控制部分、计算机、各种测量仪器仪表到日常生活中使用的家用电气设备等,都是实际中的电路。最简单的照明电路如图 1-1a 所示。在图 1-1a 中,灯泡的模型可以用电阻 R 表示,电池的模型可以用一个端电压为 U_s 的理想电压源串联其内电阻 R_0 来表示。一个实际照明电路的模型,如图 1-1b 所示。

实际电路的种类繁多,就其功能来说,可以归纳为两个方面:一是进行能量的传输、分配与转换。典型的例子是电力系统中的供配电线路及用户负载构成的系统,如图 1-2a 所示。

在图 1-2a 中, 由发电机将其他形式的能量转换成电能, 再通过变压器、输电线路送到用户负载, 负载又将电能转换成机械能、光能、热能等其他形式的能量 (如电灯、电炉、电动机等)。二是实现信息的传递处理。典型的例子有电话、收音机、电视机等, 如图 1-2b 所示。在图 1-2b 中, 话筒 (或摄像头) 将语音或图像转换成电信号, 经放大处理后送到负载, 负载将电信号还原成语音 (或图像) 等。

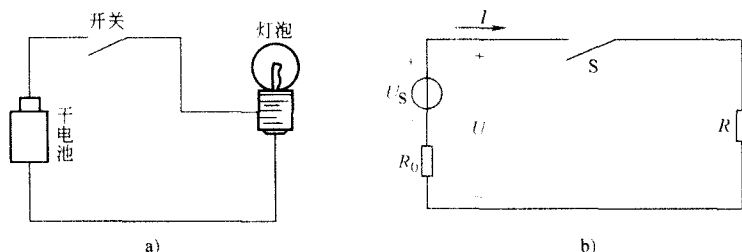
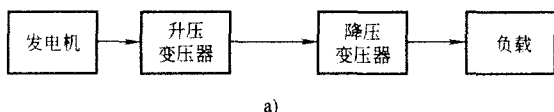


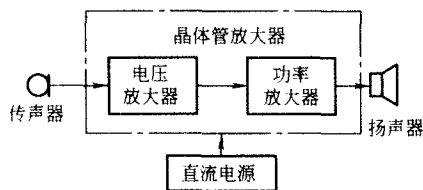
图 1-1 实际的照明电路

a) 实际电路 b) 电路模型

从图 1-1 可以看出, 电路主要由电源 (或信号源)、负载和传输通路三部分组成。对于简单和复杂电路来说, 最大的区别是传输通路的复杂程度。照明电路的传输通道可以是两根导线、一个开关, 而收音机、电视机、电话机的传输通道就复杂得多。



a)



b)

图 1-2 电路的功能

a) 强电电路 b) 弱电电路

1.2.2 电路元件的基本模型

理想电路元件是在一定的条件下, 突出其主要的电磁性能, 只反映某一种能量转换的元件。理想元件主要有: 电阻器、电容器、电感器三种无源元件; 此外, 还有电压源、电流源等有源元件, 如图 1-3 所示。



图 1-3 电路元件的基本模型

1.2.3 电流及其参考方向

电流是由电荷作定向移动而形成的。金属导体内含有大量的自由电子 (带负电荷), 在电场力作用下作定向运动, 如图 1-4a 所示。自由电子定向移动形成电流, 其作用效果与等量正电荷在电场力作用下移动是一致的。因此, 习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向, 即由电源的正端出发回到负端, 如图 1-4b 所示。

计量电流大小的物理量称为电流强度，简称为电流。其定义为：单位时间 t 内通过导体横截面的电量 Q 。若任一瞬间，电量 Q 是恒定的，则电流强度 I 为

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

根据国家标准，将不随时间变化的电参数（直流量）用大写字母表示，随时间变化的电参数用小写字母表示，则

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

式 (1-2) 中， i 为某瞬间电流值，称为瞬时值。

电流的参考方向（也称正方向），就是任意选定某一方向作为电流方向。所选电流的参考方向不一定与电流的实际方向一致，但不会影响电路分析所得结论的正确性。按照参考方向求解得出的电流值有两种可能，得正值，说明参考方向与实际方向一致。若为负值，则说明参考方向与实际方向相反。在图 1-5 中，电流 I_1 和 I_2 分别为 R_1 、 R_2 中电流的参考方向，由图 1-5 中给出的参数可得： $I_1 = 2\text{A}$ ， $I_2 = -2\text{A}$ 。显然 R_1 中电流的实际方向与参考方向 I_1 相同， R_2 中电流的实际方向与参考方向 I_2 相反。因此，有了电流的参考方向，再结合分析计算结果，就可以确定各支路电流的实际方向。

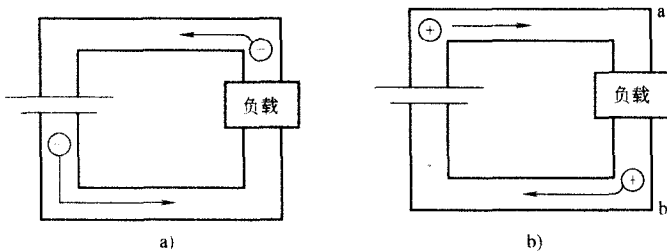


图 1-4 电荷运动示意图

a) 负电荷在电场力作用下作定向移动的方向 b) 正电荷在电场力作用下作定向移动的方向

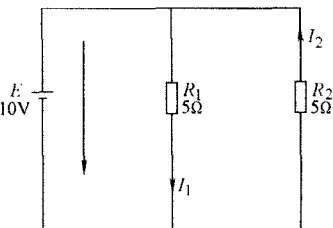


图 1-5 电流的参考方向与实际方向

1.2.4 电压与电动势

1. 电压

电压是衡量电场力对移动电荷作功能力大小的物理量。在图 1-4b 中，正电荷在电场力的作用下，从电源正极 a 端经过电阻移到电源负极 b 端，形成电流使电阻发热，说明电场力做了功。所以， a 、 b 两点间，电压 U_{ab} 在量值上等于把单位正电荷 q 从 a 点移到 b 点电场力所做的功 W ，表示为

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

电压又称为电压降或电位差，表示电路中 a 点电位高于 b 点电位，即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

在国际单位制中，电压的单位为“伏特”（记为“V”），将 1 库仑（1C）的正电荷从图 1-4b 中 a 点移到 b 点，电场力作功为 1 焦耳（1J），则 a 、 b 两点间的电压为 1 伏特（1V），记为 $U_{ab} = 1\text{V}$ 。

2. 电压的实际方向

如图 1-6 所示，电压的实际方向是由电路中的高电位端指向低电位端的。

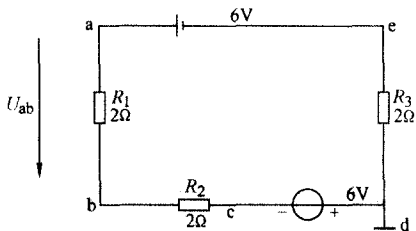


图 1-6 电压、电位的表示

可以用极性符号表示,“+”表示高电位,“-”表示低电位;或用箭头表示,由高电位端指向低电位端;或用下标表示, U_a 表示高电位, U_b 表示低电位。

3. 电压的参考方向

在电路的分析过程中必须对其设定参考方向。电压参考方向与实际方向间的关系由分析计算结果确定,计算结果值为正,则参考方向与实际方向相同,否则相反。电压参考方向可任意设定,但为了分析方便起见,对于同一个电路的无源元件往往将电流、电压设定相同的参考方向,即称为“关联的参考方向”。如图 1-7 所示, R_1 、 R_2 中的电压与电流为关联参考方向, R_3 中的电压与电流为非关联方向。

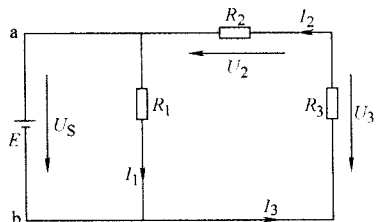


图 1-7 电压参考方向示例

4. 电位

电路中任一点的电位是指该点对参考点电位的电压降。若没有事先选定电路中电位的参考点而谈某点的电位是没有任何意义的。选定电路中某点为电位的参考点(即零电位点),可用图形符号“—”表示,如图 1-6 中的 d 点。比参考点高的电位为“+”,比参考点低的电位为“-”。例如,若取 c 点为参考点,则可表示为 $U_c = 0$,其余各点 $U_a = 6V$, $U_b = 4V$, $U_d = 8V$, $U_e = 2V$ 。所以,参考点改变,各点的电位随之相应改变,但两点间的电位差(即电压)并不改变,例如 $U_{ab} = 4V$ 。

5. 电动势

电动势是衡量电源做功本领的一个物理量,这和前面所述的电压是衡量电场力做功本领是相似的。它们的区别在于电场力能够在外电路中将正电荷从高电位端(正极)移到低电位端(负极),电压的方向就是电位降低的方向,即规定为由高电位端指向低电位端;而电动势能够将电源内部的正电荷从低电位端(负极)搬移到高电位端(正极),电动势的方向就是电源内部电位升高的方向,即规定为由电源负极经电源内部指向正极。

1.2.5 电功率与电能

一个元件的电功率等于该元件两端的电压与通过该元件电流的乘积。元件的电功率有的是释放,有的是吸收。如何确定其类型呢?如图 1-8 所示,消耗电功率的元件是 R , R 上 U 与 I 的实际方向相同,其乘积 $P_R = U_R I > 0$;而释放电功率的是电源 E , E 的 U 与 I 的实际方向相反,其乘积 $P_E = U_E I < 0$ 。在国际单位制(SI)中,电功率的单位是 W(瓦)($1W = 1V \cdot 1A$),还可以采用 kW, mW 表示,它们的关系是:

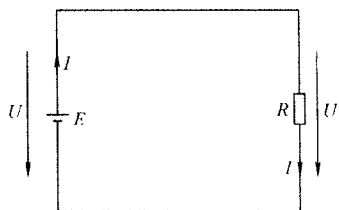


图 1-8 电路的电功率计算图示

$$1kW = 10^3 W$$

$$1W = 10^3 mW$$

用电设备工作一段时间 t 之后所消耗的电能(或称为电功) W ,电功可以表示为

$$W = pt \quad (1-5)$$

当电功率的单位为 kW,时间的单位为 h(小时)时,则电能的单位为 kW·h,且 $1kW \cdot h = 1$ 度,一般电能表的计量单位为“度”。

1.2.6 电路的工作状态

电源、负载通过中间环节连接成电路,由于中间环节的控制作用,电路可能处于开路、短路和带负载工作三种状态,如图1-9所示。

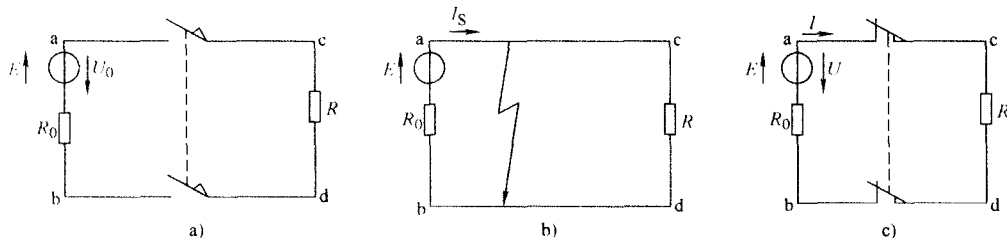


图 1-9 电路的工作状态

a) 开路 b) 短路 c) 带负载工作状态

1. 开路

在图1-9a中,当开关打开时,电路处于开路(空载)状态。电路的电流为零,电源内阻上的电压降 $IR_0 = 0$,这时电源的端电压(即空载电压)等于电源的电动势 E ,负载 R 上不消耗功率。

2. 短路

在图1-9b中,由于某种原因电源两端不经过负载电阻,即 R 为零时,则电路处于短路状态。这时,电源端电压 U 也为零,电源的电动势 E 全部降落到电源的内阻 R_0 上。一般电源的内阻 R_0 很小,因此电路的电流就很大,此电流称为短路电流。它们可以表示为

$$\left. \begin{aligned} U &= 0 \\ I &= I_s = \frac{E}{R_0} \\ P_E &= I^2 R \end{aligned} \right\} \quad (1-6)$$

电路出现短路故障时,短路电流 I_s 很大,容易损坏电源或设备,对此所采取的保护措施是在电源开关后安装熔断器,或自动断路进行保护。

3. 负载工作状态

在图1-9c中,当合上开关时,电流流过负载电阻 R ,电路处于带负载工作状态。电路的电流、电压、电功率可表示为

$$\left. \begin{aligned} I &= \frac{E}{R_0 + R} \\ U &= IR = E - IR_0 \\ P &= UI = EI - I^2 R_0 = P_E - P_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-7)$$

式中 P_E ——电源释放的电功率;

P_0 ——电源内阻 R_0 上所消耗的电功率。

1.2.7 基本定律

1. 全电路欧姆定律

由直流发电机或蓄电池等作为电源供电的电路如图1-10a所示。图中电源的电动势

为 E , 电源的内阻为 R_0 , E 与 R_0 构成了电源内部电路, 如图中虚线框内的部分。负载电阻 R 是电源的外电路, 外电路 R 和内电路 E 、 R_0 共同组成了全电路。全电路的欧姆定律表达式为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-8)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{或 } E &= U + IR_0 = IR + IR_0 \\ U &= E - IR_0 \end{aligned} \right\} \quad (1-9)$$

式 (1-9) 中, U 称为电源的端电压, IR_0 称为内阻电压降。

当 K 闭合时, 电源的端电压 U 见式 (1-9), 电流 I 越大, 则电源的端电压 U 下降得越多, 表示它们关系的曲线, 称为电源的外部特性曲线, 如图 1-10b 所示。

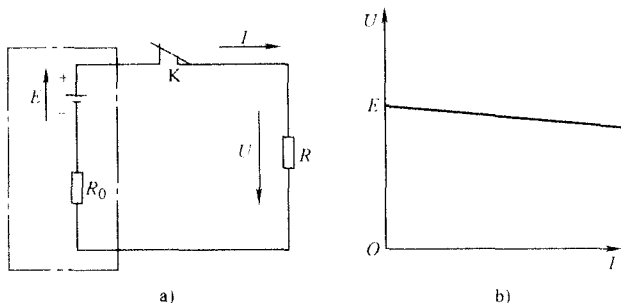


图 1-10 全电路及电源的外部特性曲线

a) 全电路 b) 电源的外部特性曲线

【例 1-1】 如图 1-10a 所示, 电源的电动势 $E = 12\text{V}$, 电源的内阻 $R_0 = 0.5\Omega$, 负载电阻 $R = 10\Omega$, 当开关 K 闭合后, 试求: (1) 电阻 R 中流过的电流 I , 电阻 R 两端的电压 U 和消耗的电功率 P , 电源内阻 R_0 上电压降 U_0 和 R_0 上消耗的电功率 P_0 各为多大? (2) 当 $R = 0$ 时, 电路中的 I 、 U 、 P 、 U_0 及 P_0 又各是多少? (3) 当 $R = \infty$ 时, 电路中的 I 、 U 、 P 、 U_0 及 P_0 又各是多少?

【解】 (1) $I = \frac{E}{R_0 + R} = \frac{12}{0.5 + 10} \text{ A} = 1.14 \text{ A}$

端电压 $U = IR = 1.14 \times 10 \text{ V} = 11.4 \text{ V}$

电阻 R 上消耗的电功率 $P = I^2 R = (1.14)^2 \times 10 \text{ W} = 13 \text{ W}$

内阻 R_0 上的电压降 $U_0 = IR_0 = 1.14 \times 0.5 \text{ V} = 0.57 \text{ V}$

内阻 R_0 上消耗的电功率 $P_0 = I^2 R_0 = (1.14)^2 \times 0.5 \text{ W} = 0.65 \text{ W}$

(2) 当 $R = 0$ (即外电路处于短路状态) 时, 则

$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{E}{R_0} = \frac{12}{0.5} \text{ A} = 24 \text{ A}$$

$$U = IR = 0$$

$$P = I^2 R = 0$$

$$U_0 = I_0 R_0 = 24 \times 0.5 \text{ V} = 12 \text{ V}$$

$$P_0 = I^2 R_0 = 24^2 \times 0.5 \text{ W} = 288 \text{ W} \text{ (此时电源发烫, 瞬间可能损坏)}$$

(3) 当 $R = \infty$ (即外电路处于开路) 时, 则

$$I = 0$$

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

$$P = 0$$

$$U_0 = 0$$

$$P_0 = 0$$

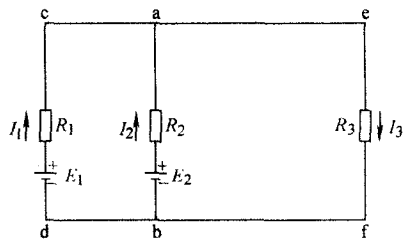


图 1-11 复杂电路

2. 基尔霍夫电流定律 (KCL)

不能用简单串联、并联方法简化为单一回路的电

路,称为复杂电路或网络。计算这类电路中的电参数,需要利用基尔霍夫电流定律。例如图 1-11 所示电路。在 1-11 中 cd、ab、ef 称为支路,a、b 两点为三条(或三条以上)支路的联结点,称为节点。图 1-11 中的 abdca、aefba、aefbdca 为闭合路径,即称为回路,其中回路 abdca、aefba 内部不含支路,称为网孔。

基尔霍夫电流定律指出:在任一瞬间,流入电路中任一节点的电流之和等于流出该节点的电流之和,即

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-10)$$

若规定流入节点的电流为正,流出节点的电流为负,则式(1-10)可改写为

$$\sum I = 0 \quad (1-11)$$

3. 基尔霍夫电压定律(KVL)

基尔霍夫电压定律指出:在任何一瞬间,沿电路任一回路循行一周(顺时针方向或逆时针方向)时,回路中各段电压的代数和恒等于零,即

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

一般规定电位升取正号,电位降取负号。对于由电源电动势和电阻构成的回路,基尔霍夫定律指出:回路中各电阻上的电压降的代数和等于各电动势的代数和。于是,式(1-12)可改写为:

$$\sum E = \sum IR \quad (1-13)$$

应用基尔霍夫电压定律分析计算具体电路时,首先要确定回路的循行方向。若电动势的正方向与循行方向一致时,该电动势取正号,相反时取负号。通过电阻的电流方向与循行方向一致时,该电阻上的电压降取正号,相反取负号。电动势列在方程的一边,电阻上的电压降列在方程的另一边。

4. 焦耳—楞次定律

当电流流过任何导体时,有部分电能转换为热能,使导体的温度上升。我们把这种将电能转换为热能,释放热量的现象,称作“电流的热效应”。实验证明:电流经过导体所产生的热量 Q 与电流 I 的平方成正比,与导体本身的电阻 R 成正比,与通电的时间成正比,这个关系式称为焦耳—楞次定律,可表示为

$$Q = I^2 RT \quad (1-14)$$

式(1-14)中,电流 I 的单位为“A”,电阻 R 的单位为“ Ω ”,时间 T 的单位为“s”时,则 Q 的单位为“J(焦耳)”。

电流的热效应在一些场合有益于人类,例如电炉、电烙铁等。但是在某些场合却是有害的,例如电动机、变压器、计算机主板电源等设备。电流通过线圈时所产生的热量会使其温度升高,如果散热条件不好,严重时可能烧坏设备。

为了使电气设备能安全、经济运行,就必须对电压、电流和功率等参数值给予一定的限制。电气设备在安全状况下工作时,允许长期工作的电压、电流和功率等数值,称为“额定值”,通常用“ I_e 、 U_e 、 P_e ”等符号表示。

5. 电压源和电流源

(1) 电压源。为电路提供一定电压的电源称为电压源。电压源用电动势 E 和内阻 R_0 串联来表示,如图 1-12a 所示。若电压源的内阻 R_0 为零,电压源将提供一个恒定的电压,称为理想电压源,又称恒压源。恒压源有输出电压恒定不变和电路中的电流取决于负载电阻大