

普通高等教育“十一五”规划教材
普通高等教育智能建筑规划教材

电 工 学

马占敖 主编



普通高等教育“十一五”规划教材
普通高等教育智能建筑规划教材

电 工 学

主 编 马占敖
副主编 魏立明 姜志宏
参 编 江 萍 王琮泽 李 红 王亚娟
主 审 叶昌淮 王巨星

机械工业出版社

本书是根据教育部电工学课程指导组拟定的非电类电工、电子技术系列课程教学基本要求,为高等工科院校非电专业学生编写的系列教材之一。

全书共分10章,覆盖了电工、电子技术的基本内容。内容包括:电路的基本概念及基本定律、电路的分析方法;正弦交流电路;三相正弦交流电路;变压器;电动机及其控制;晶体二极管和整流电路;晶体三极管和交流放大电路;互补对称式功率放大电路;数字电路的基本知识和建筑施工现场用电等。各章配有思考练习题、本章小节和习题,并附有部分习题参考答案,便于学生正确理解课程内容,也便于自学。

本书在题目组织和编写安排上,力求防止面面俱到,针对非电专业学生的特点,具有内容排列层次分明、文字叙述通俗易懂、概念阐述清晰准确、讲授全面重点突出、注重实际应用、简化理论推导等特点。

本书为普通高等教育“十一五”规划教材,可以作为高等工科院校非电类各专业本科生“电工学”课程的教材,也可作为高职、高专、成人教育学院、电视大学、业余大学及各专业的教材或辅助教材,特别适合各电类专业本科生作为电路原理、模拟电子技术、数字电子技术课程的实用参考书,还可供相关专业的工程技术人员的学习和参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学/马占敖主编. —北京:机械工业出版社,
2010.2

普通高等教育“十一五”规划教材. 普通高等教育智
能建筑规划教材

ISBN 978-7-111-29419-1

I. 电… II. 马… III. 电工学-高等学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第241291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:贡克勤 责任编辑:贡克勤 版式设计:霍永明

封面设计:张静 责任校对:姚培新 责任印制:乔宇

北京京丰印刷厂印刷

2010年2月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·16印张·390千字

标准书号:ISBN 978-7-111-29419-1

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

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

封面无防伪标均为盗版

智能建筑教材编委会

主 任	吴启迪		
副主任	徐德淦	温伯银	陈瑞藻
委 员	程大章	张公忠	王元恺
	龙惟定	王 忱	张振昭

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了人们的生活。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。这正是这套建筑电气与智能建筑系列教材的出版背景。

我欣喜地发现,参加这套建筑电气与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。

吴恒建

写于同济园

2002 年 9 月 28 日

前 言

电工学是研究电磁理论及其在工程技术方面应用的一门科学。它包含电工技术和电子技术两大部分。由于电能具有便于转换、输送和控制等突出优点,因此在工农业生产、国防建设和人民日常生活中得到了广泛的应用。国民经济的各个技术领域和每个科技人员都与电有着密切的联系,特别是当今微电子技术、电子计算机技术的飞跃发展,诸如许多工程技术问题,如自然界中各种物理量的量测,数据运算与处理,能量的转换和控制等都广泛地采用了电子技术。在机械、汽车、建筑、化工等行业,应用得更为普遍。它标志着科学技术进入了一个崭新时代。同时,生产的需要又将推动测量技术、计算机技术及自动控制技术的迅速前进。随着世界经济一体化进程的加快,各个技术部门都朝着信息化、自动化的方向迈进。因此,所有非电专业的工程技术人员和科研人员都必须掌握一定的电工与电子技术,使本专业能适应科学技术的发展。

目前在机械工程、建筑工程、水利水电工程、桥梁、隧道等的施工中,经常使用的起重机、皮带运输机、混凝土搅拌机以及电力排灌中使用的抽水机;消防工程中所使用的排烟风机等都是由电动机来拖动的,作为工程技术人员必须正确选择使用这些设备;在建筑设计中还应全面考虑配电系统布局、照明器具的配置、建筑防雷接地与等电位连接,以节约电能、安全用电;在电梯、空调、闭路电视、楼宇自动化设备以及工厂中用来加工的数控车床等,经常会涉及到很多自动控制系统,所有自动控制系统中的控制设备又由电子系统组成。由此可见,电工电子技术在各个技术领域中成为不可或缺的一部分。为此,电工学课程也成为经济与管理类专业的选修课程之一。

本书是依据教育部电工学课程指导组拟定的非电类电工、电子技术系列课程教学基本要求,针对目前非电类电工学课程教学现状并结合编者多年教学和实践经验以及教学改革成果编写而成。

本书是高等工科院校非电类专业技术系列教材之一,是一部“十一五”规划教材。可作为非电类(机械制造及其自动化、机械电子、工程材料、热能动力工程、环境设备、环境工程、安全工程、土木工程、道路工程、测量测绘、工程管理、建筑经济)等专业电工学课程教材,也可作为高职高专、成人高等教育等同类专业的教材,还可以供各电类专业本科生和工程技术人员的学习和参考。

本书分为电工技术和电子技术两大部分。全书包括电路(直流电路、交流电路)、电机和控制、电子技术(模拟、数字)和应用四大部分。电路部分是学习本课程及后续课程的理论基础,通过学习要求学生能够正确理解和运用有关的基础定律、定理,掌握电路的基本运算方法。电机和控制部分,要求学生掌握磁路的基本知识,了解变压器、电动机的原理和运行特性,并能正确地选择和使用这些设备。对继电器接触控制的基本电路必须熟悉。模拟电子部分应重点掌握整流、放大和功率放大等基本环节的工作原理和外部特性,建立放大倍数、输入电阻、输出电阻、反馈等基本概念,了解 OCL、OTL 电路的特点及工作原理和功率放大电路的效率。数字电路部分应使学生着重掌握基本的“与”“或”“非”及复合门电



路的原理及逻辑功能,同时要了解 TTL 与 MOS 门电路的特点,并能运用这些基本门电路,设计组合逻辑电路。逻辑代数中的二-十进制相互转换必须熟练掌握,能够熟练地运用公式法和卡诺图法化简逻辑函数式。掌握常用的组合逻辑电路的分析方法,理解常用组合逻辑器件中的编码器、译码器、加法器等部件的分析方法、逻辑功能及其使用。

应用部分重点了解施工现场临时供配电的特点,能够正确地进行负荷计算,掌握线缆和保护电器选择原则。同时还要了解一些触电急救常识。

本课程参考学时为 42~72 学时,由于各学科专业的要求不同,各学校可根据具体的授课学时和专业要求对教材的内容作适当的调整 and 选择。

本书由吉林建筑工程学院马占教教授主编,负责全书的组织统稿和定稿,并编写第 6~8 章;魏立明编写第 5 章;江萍编写第 10 章;王琮泽编写第 3、4 章;李红编写第 1 章;王亚娟编写第 2 章;长春工程学院姜志宏编写第 9 章。

本书由吉林建筑工程学院叶昌淮教授和长春工程学院王巨星教授担任主审。他们认真负责、逐字逐句、精心地审阅了书稿,指出了原稿中的缺点和不足之处,并提出了许多的宝贵意见和修改建议。在此深表感谢。

本书在编写过程中还得到了吉林建筑工程学院领导和同事们的大力支持。吉林建筑工程学院扬小天教授也对本书提出了宝贵意见。另外,杨佳讲师也为本书做了很多具体工作,编者在此一并向他们表示感谢。在编写过程中参阅或引用了部分参考资料,对这些作者,表示衷心的感谢。

限于编者水平,加之编写时间仓促,其中疏漏和不妥之处,在所难免。请使用本教材的师生及其他读者给予批评指正。

编 者

目 录

序 前言

第1章 直流电路	1
1.1 电路的组成	1
1. 电源	1
2. 负载	1
3. 中间环节	1
1.2 电路中电位的计算	2
1.3 电路的状态	4
1. 负载状态	4
2. 空载(开路)状态	5
3. 短路状态	6
1.4 基尔霍夫定律	7
1. 基尔霍夫电流定律	7
2. 基尔霍夫电压定律	8
1.5 支路电流法	9
1.6 叠加原理	11
1.7 等效电源定理	13
1.8 电容器的充电与放电	15
1. 电容的物理性质	15
2. 电容器的充电过程	17
3. 时间常数的物理意义	18
4. 放电过程	18
1.9 RL 电路与直流电压的接通	19
1. 电感的物理性质	19
2. RL 串联与直流电压的接通	21
3. 短路放电	22
4. 突然断开	22
本章小结	23
习题	24

第2章 正弦交流电路	28
2.1 交流电的基本概念	28
1. 周期电压和电流	28
2. 正弦电压和电流	29
3. 正弦量的特征	29

4. 正弦量的有效值	30
2.2 正弦量的矢量和复数表示法	31
1. 正弦量的旋转矢量表示法	31
2. 正弦量的复数表示法	32
2.3 单一参数的交流电路	34
1. 纯电阻电路	34
2. 纯电容电路	35
3. 纯电感电路	38
2.4 R 、 L 、 C 串联交流电路	40
1. 电压与电流的关系	40
2. 电路的功率	42
3. 串联谐振	43
2.5 负载并联的交流电路	46
1. 电路的计算	46
2. 并联谐振	46
3. 复数运算举例	47
2.6 功率因数的提高	49
本章小结	50
习题	50

第3章 三相交流电路	53
3.1 三相电源	53
1. 三相交流电的应用	53
2. 三相电动势的产生及其表示法	53
3. 三相电源的星形联结	55
4. 三相电源的三角形联结	57
3.2 三相负载	57
1. 三相负载的星形联结	58
2. 三相负载的三角形联结	63
3.3 三相电路的功率及其测量	65
1. 三相电路的功率	65
2. 三相有功功率的测量	67
本章小结	69
习题	70

第4章 变压器	71
4.1 变压器的基本结构	72



1. 铁心	72	5.8 异步电动机的选择	99
2. 绕组(线圈)	72	5.9 常用的控制电器	101
4.2 变压器的工作原理	73	1. 开关电器与熔断器	101
1. 变压器的作用原理	73	2. 主令电器	102
2. 变压器的负载运行	75	3. 执行电器	103
4.3 变压器的特性	77	5.10 异步电动机的控制电路	105
1. 变压器的外特性和电压调整率	77	1. 继电器—接触器控制电路图的 阅读方法	105
2. 变压器的损耗和效率	78	2. 继电器—接触器控制基本电路	105
4.4 单相变压器的极性	79	5.11 可编程序控制器(PLC)简介	108
4.5 三相变压器	79	本章小结	111
4.6 变压器的铭牌和额定值	81	习题	111
1. 型号	81		
2. 额定电压	81	第6章 晶体二极管和整流电路	113
3. 额定电流	81	6.1 半导体的基本知识	113
4. 额定容量	81	1. 本征半导体	113
5. 阻抗电压	81	2. P型半导体和N型半导体	113
6. 温升	82	3. PN结的形成	114
4.7 几种特殊用途的变压器	82	4. PN结的单向导电特性	115
1. 自耦变压器	82	6.2 晶体二极管的伏安特性和主要参数	117
2. 仪用互感器	83	1. 伏安特性	117
本章小节	85	2. 主要参数	117
习题	85	6.3 单相桥式整流滤波电路	118
		1. 整流电路的工作原理	118
第5章 异步电动机及其控制	87	2. 滤波电路的作用	121
5.1 概述	87	6.4 硅稳压管与稳压电路	123
5.2 异步电动机的结构	87	1. 稳压管的特性和主要参数	123
1. 定子	87	2. 稳压管稳压电路的工作原理	124
2. 转子	88	本章小结	126
5.3 异步电动机的工作原理	90	习题	126
1. 旋转磁场	90		
2. 旋转磁场的方向	92	第7章 晶体三极管和交流放大 电路	129
3. 工作原理	92	7.1 放大电路的功能	129
5.4 异步电动机的电磁转矩	93	7.2 晶体三极管	130
1. 三相异步电动机的定、转子电路 分析	93	1. 晶体管的基本结构	130
2. 电磁转矩	94	2. 晶体管的电流放大作用	131
5.5 异步电动机的机械特性	95	3. 晶体管的特性曲线	133
5.6 异步电动机的铭牌数据	96	4. 晶体管的主要参数	136
5.7 三相异步电动机的起动	97	7.3 放大电路的基本分析方法	138
1. 全压起动(直接起动)	98	1. 共射极基本放大电路的组成	138
2. 减压起动	98	2. 图解法	140
3. 绕线转子电动机转子电路串 电阻起动	99		



3. 近似计算法	145	1. 编码器	205
7.4 放大电路工作点的稳定问题	148	2. 译码器	207
1. 温度变化对工作点的影响	148	3. 加法器	212
2. 工作点稳定的典型电路	149	4. 数值比较器	214
7.5 阻容耦合多级放大电路	152	5. 数据选择器	216
7.6 放大电路中的负反馈	154	本章小结	217
1. 反馈的基本概念	154	习题	217
2. 负反馈放大电路的特例——射极 输出器	156		
3. 反馈的判别	159	第 10 章 施工现场供电与安全	221
4. 负反馈对放大电路性能的改善	160	10.1 施工现场供配电系统	221
本章小结	162	1. 施工现场临时供配电特点	221
习题	163	2. 电源的选择	221
		3. 高低压配电系统	221
第 8 章 互补对称式功率放大电路	168	4. 变压器选择及安装	222
8.1 共集电极放大电路的输出功率	168	10.2 施工现场负荷计算	224
8.2 乙类放大互补对称电路的工作原理	170	1. 负荷等级	224
8.3 甲乙类放大互补对称电路	170	2. 负荷计算	224
8.4 OTL 电路的输出功率和效率	172	3. 需要系数法	225
本章小结	174	10.3 导线的选择	227
习题	174	1. 常用线缆型号	227
		2. 线缆截面积选择方法	228
第 9 章 数字电路基本知识	176	3. 中性线 (N 线) 和保护线 (PE 线) 的截面积选择	230
9.1 数字电路概述	176	10.4 施工现场照明及配电线路	231
1. 模拟电路与数字电路	176	1. 现场照明的一般规定	231
2. 数制与码制	177	2. 照明的供电电压选择	231
9.2 基本逻辑门	181	3. 照明装置的安装	231
1. “与”逻辑及“与”门	181	4. 现场的配电线路	232
2. “或”逻辑及“或”门	182	5. 配电箱及安装	232
3. “非”逻辑及“非”门	183	6. 临时供电平面设计	233
4. 复合逻辑门	184	10.5 施工现场电气安全	234
5. 集成门	187	1. 电气安全基本知识	234
9.3 逻辑代数化简	193	2. 安全用电	235
1. 逻辑代数的基本定理和公式	193	3. 设备电击防护措施	235
2. 逻辑代数的公式化简法	195	4. 触电抢救措施	235
3. 逻辑代数的卡诺图化简法	197	5. 防雷与接地	236
9.4 组合逻辑电路的分析与设计	202	本章小结	237
1. 组合逻辑电路的分析	202	部分习题参考答案	238
2. 组合逻辑电路的设计	203		
9.5 常用的组合逻辑器件	205	参考文献	243

第 1 章

直流电路

随着科学技术发展, 电工学已广泛应用于各个生产领域当中。虽然电气设备种类繁多, 功能也不尽相同, 但大多数电气设备都是由各种基本电路组成的, 因此掌握电路的分析与计算方法十分重要。本章从电路的基本概念入手, 以直流电路为分析对象, 阐述了电路理论中的基本定律——基尔霍夫定律。并以此为基础, 分别讨论了几种常用的电路分析方法——支路电流法、叠加原理、等效电源定律。本章最后还介绍了含有储能元件的电路分析方法。

1.1 电路的组成

“电路”简单地说是电流的通路, 它是为了某种需要由某些电气设备或器件按一定方式组合起来。为了不同目的而设计的实际电路种类繁多, 但其作用主要可以分两大类: 其一为电能的传输和转换, 如发电、供电系统、电力拖动、电气照明等; 其二为传递和处理信号, 如各种电信号的产生、放大、整形、数字信号的运算、存储等。一般而言, 第二类电路中也伴随着能量的传输和转换, 但数量及能耗相对较小。

组成电路的元器件及其连接方式虽然多种多样, 但都包含有电源、负载和中间环节等三个基本组成部分。

1. 电源

电源是产生电能或电信号的设备。电源设备可以将其他形式的能量转换为电能, 例如发电机将机械能转换为电能; 蓄电池将化学能转换为电能; 光电池将光能转换为电能。电源设备也可将一种波形的信号变换为另一种波形的信号, 例如各种信号发生器, 在通信、无线电技术及控制技术中常称为信号源。

2. 负载

负载是取用电能的用电设备。负载设备将电能转换为其他形式的能量, 例如电动机将电能转换为机械能; 电灯将电能转化为光能; 电炉将电能转换为热能; 扬声器将电信号转换为声音等。

3. 中间环节

中间环节是连接电源和负载的部分, 起到传输和控制电能的作用。通常是一些连接导线、开关、接触器等辅助设备。

常用的手电筒是最简单的电路, 其实际电路元件有干电池、电珠、开关和筒体。为了便于对实际电路进行分析和数学描述, 将实际电路元件理想化, 即在一定条件下突出其主

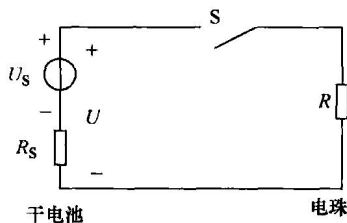


图 1-1 手电筒的电路模型



要的电磁性质，忽略次要因素，把它近似地看作理想电路元件或理想电路元件的组合。手电筒的电路模型如图 1-1 所示。

小灯泡是电阻元件，其参数为电阻 R ；干电池是电源，由一个电压源 U_s 和电阻 R_s 的组合表征；筒体是连接干电池和电珠的中间环节（包括开关），其电阻忽略不计，认为是一无电阻的理想导体。

1.2 电路中电位的计算

在电子技术中，常应用电位的概念来分析和计算电路。应用电位概念，不仅可以简化电路的分析和计算，还可以简化电路图的画法。在线性电路中，电位与电流有着确定的关系，只要知道各点的电位值，各支路电流就很容易得到求解；在实际工作中，通过测量电路中各点的电位，可以很方便地判断电路的工作状况。

由物理学可知，电力场在单位正电荷从电路的某一点移至参考点时所消耗的电能，也就是在移动中转换成非电形态能量的电能，称为该点的电位，而参考点的电位则为零。在直流电路中电位用字母 V 表示。

电工学对电位的描述可以这样来理解：在电路中指定某点作为参考点，规定其电位为零，电路中其他点与参考点之间的电压，称为该点的电位。

在分析和计算电路的电位之前，应首先选定电路中的某一点作为参考点，用符号“ $\perp$ ”表示，并规定参考点的电位为零。参考点也称为“地”。在实际电路中，如果电路有接地点时，则以大地为零电位点；如果没有接地点，而有金属机壳时，通常将这个机壳作为“地”，但它并不一定与大地连接。在电子测量时，常把电压表的“-”端接机壳，而“+”端依次接触各节点，所测量的电压表读数分别是各节点的电位值。在电路分析时，一般是选择多条支路的连接点作参考点。

例如，在图 1-2a 所示电路中，以 b 点电位作参考电位， $V_b = 0V$ 。则电路中各点电位为

$$V_a - V_b = U_{ab} \Rightarrow V_a = U_{ab} = (4 \times 10)V = +40V$$

$$V_c - V_b = U_{cb} \Rightarrow V_c = U_{cb} = (4 \times 10 + 4 \times 10)V = +80V$$

$$V_d - V_b = U_{db} \Rightarrow V_d = U_{db} = (6 \times 5 + 4 \times 10)V = +70V$$

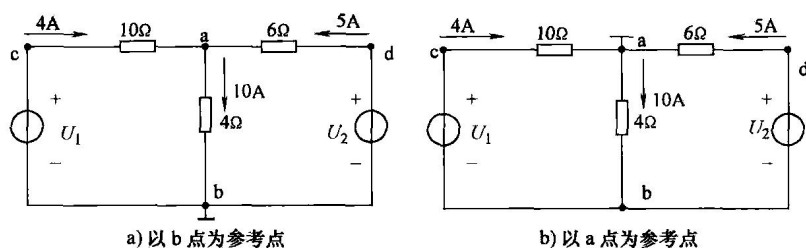


图 1-2 电位参考点



在图 1-2b 所示电路中, 以 a 点电位作参考电位, $V_a = 0V$ 。则电路中各点电位为

$$V_b - V_a = U_{ba} \Rightarrow V_b = U_{ba} = (-4 \times 10)V = -40V$$

$$V_c - V_a = U_{ca} \Rightarrow V_c = U_{ca} = (4 \times 10)V = +40V$$

$$V_d - V_a = U_{da} \Rightarrow V_d = U_{da} = (5 \times 6)V = +30V$$

而两点间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b = 40V$$

$$U_{cb} = V_c - V_b = 80V$$

$$U_{db} = V_d - V_b = 70V$$

$$U_{ca} = V_c - V_a = 40V$$

$$U_{da} = V_d - V_a = 30V$$

从图 1-2 电路可以看出: 尽管电路中各点的电位与参考电位点的选取有关, 但在任意两点间的电压值 (即电位差) 是不变的。在图 1-2a、b 中, a、b、c、d 4 个点的电位值随参考点不同而不同, 但 a 点电位比 b 点电位高 40V、比 c 点和 d 点分别低 40V 和 30V 是相同的。所以电位的高低是相对的, 而两点间的电压值是绝对的。

综上所述, 可以得出以下几点结论:

1) 电路中任一点的电位都等于该点相对于参考点之间的电压。也就是说电位实质上还是两点之间的电压, 只不过是将其一点规定为参考点。因此, 电路中离开参考点来讨论电位是没有意义的。

2) 电路中某点电位的高低与参考点的选取有关。参考点位置不同, 电路中同一点的电位就具有不同的数值, 即电位值是相对量。

3) 当参考点选取之后, 电路中各点电位的数值也就确定了, 即各点的电位具有单值性。它同电压一样, 与路径的选取无关。

4) 电压的高低与参考点的选择无关, 即两点间的电压值是绝对量。

电位参考点被选定, 电路常可不画电源部分, 各节点标以电位值, 这样可以简化电路图使之更清晰。图 1-2a 电路图可简化为图 1-3 所示电路。

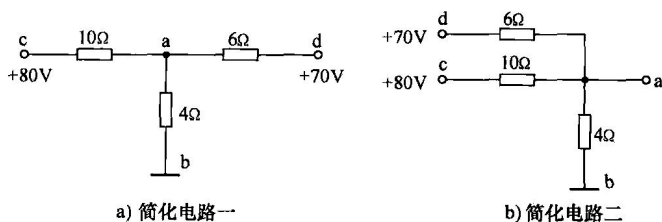


图 1-3 图 1-2a 的简化电路



【例 1-1】 求图 1-4 所示电路中开关 S 闭合和断开两种情况下 a、b、c 三点的电位。

解 (1) 开关 S 闭合时, b 为电位参考点, 则

$$V_b = 0V$$

$$V_a = \left(\frac{4}{4+2} \times 12 \right) V = 8V$$

$$V_c = \left[\frac{4}{4+2} \times (-6) \right] V = -4V$$

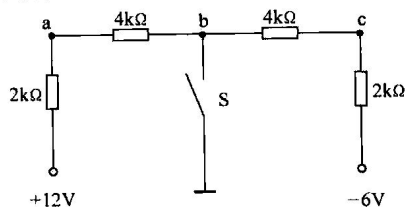


图 1-4 例 1-1 的电路

(2) 开关 S 断开时, 以大地为电位参考点, 则

$$V_a = \left[12 - \frac{2 \times 10^3}{(2+4+4+2) \times 10^3} \times (12+6) \right] V = 9V$$

$$V_b = \left[12 - \frac{(2+4) \times 10^3}{(2+4+4+2) \times 10^3} \times (12+6) \right] V = 3V$$

$$V_c = \left[-6 + \frac{2 \times 10^3}{(2+4+4+2) \times 10^3} \times (12+6) \right] V = -3V$$

1.3 电路的状态

电路在不同的工作条件下, 会处于不同的状态, 并具有不同的特点。实际电路在使用过程中, 可能处于负载、空载或短路三种不同的基本状态。熟悉电路各种不同状态的特点对于正确使用和安全用电都是很重要的。

1. 负载状态

在图 1-5a 所示的电路中, 当开关 S 闭合、电源和负载接通时, 电路中就有了电流及能量的输送和转换。电路的这一状态称为负载状态或有载状态, 有时也称为通路。

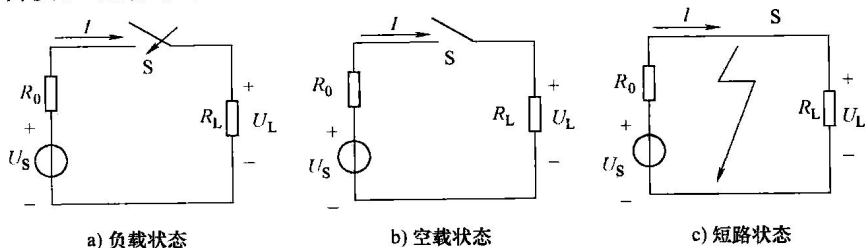


图 1-5 电路的三种工作状态

负载状态时, 利用欧姆定律可列出电路中的电流表达式为

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

式中, U_s 是电源的电压, 单位为 V; R_0 为电源内阻, 通常很小, 单位为 Ω ; R_L 是电器设备的等效负载电阻, 单位为 Ω , 如果电路中所接的电器设备变动了, 则 R_L 也会变化。

此时, 负载电阻两端的电压为



$$U_L = R_L I \quad (1-2)$$

由式 (1-1) 和式 (1-2) 可得

$$U_L = U_s - R_0 I \quad (1-3)$$

由此可见, 负载的端电压不仅与负载电阻有关, 也与电源内阻有关。当并联的电器设备增多时, R_L 变小, I 增大, 则 IR_0 增大, U_L 降低; 若电源内阻越大, 则内压降 IR_0 越大, 负载的端电压就越低。一般来说, $R_0 \ll R_L$, 所以 IR_0 可忽略不计。这样, 负载变动虽然引起电流变化, 但负载上的端电压变化却基本不变。故有

$$U_L \approx U_s \quad (1-4)$$

将式 (1-3) 等式两边同乘以电流 I , 得电路的功率平衡式为

$$U_L I = U_s I - R_0 I^2 \text{ 或 } P = P_s - \Delta P \quad (1-5)$$

式中, P_s 是电源产生的功率, $P_s = U_s I$, 单位为 W; ΔP 是电源内阻上损耗的功率, $\Delta P = R_0 I^2$, 单位为 W; P 是电源输出的或负载吸收的功率, $P = U_L I$, 单位为 W。

由此可知, 电路处于负载状态时, 电源向负载输出电功率, 电源产生的电功率应等于电路各部分消耗的电功率之和, 电源输出的电功率应等于外电路中各部分消耗的电功率之和, 即功率应该是平衡的。

电源带负载运行, 总希望整个电路运行正常、安全可靠, 然而随着电源所带负载的增加, 负载吸收电源的功率增大, 即电源输出的总功率和总电流就会相应增加。这说明电源输出的功率和电流决定于其所带负载的大小。从电路可靠正常运行角度讲, 电气设备也不是在任何电压、电流下均可正常工作, 它们要受其绝缘强度和其耐热性能等自身因素决定。各种电气设备在工作时, 其电压、电流和功率都有一定的限额, 这些限额是用来表示它们的正常工作条件和工作能力的, 称为电气设备的额定值。额定值通常在铭牌上标出, 也可从产品目录中找到。

在使用电气设备时, 应严格遵守额定值的规定。如果电流超过额定值过多或时间过长, 由于导线发热、温升过高会引起电气设备绝缘材料损坏。若电压超过额定值, 绝缘材料也可能被击穿。若当设备在低于额定值下工作, 不仅其工作能力没有得到充分作用, 而且设备不能正常工作, 甚至损坏设备。例如一白炽灯的电压为 220V, 功率为 60W, 这表示该灯泡在正常使用时应把它接在 220V 的电源上, 此时它的功率为 60W, 并能保证正常的使用寿命, 而不能把它接在 380V 的电源上。又如某直流发电机的铭牌上标有 2kW、230V、10A, 这些都是额定值。发电机实际工作时的电流和其发出的功率取决于负载的需要, 而不是铭牌上的标注。通常发电机等电源设备可以近似为电压源, 即其端电压基本不变。负载是与电源并联的, 当负载增加时 (指并联负载数目的增加), 负载电流就会增加; 反之, 当负载减小时 (指并联负载数目的减小), 负载电流就会减小。

2. 空载 (开路) 状态

在图 1-5b 所示的电路中, 当开关 S 断开时, 由于电路中的电源和负载之间没有构成闭合回路, 电路的这一状态称为开路状态。开路时, 由于电源没有接上负载, 故称为空载状态。这时电路没有电流, 则电源内阻中就没有电压降。电源的端电压即开路电压用 U_{oc} 表示, 等于电源的电压降。

$$U_s = U_{oc} \quad (1-6)$$

在这种状态下, 电源不产生功率, 负载与电源内部均不消耗功率, 即



$$P_s = P = \Delta P = 0 \quad (1-7)$$

电路发生开路有两种情形：一种是人为的正常控制，通过切断电源，使电器设备不工作，例如用开关断开来关闭电灯；另一种是电路本身由故障引起的开路。对后者，可以通过测量电位或电压等方法来确定开路位置。

【例 1-2】 图 1-6 所示是一个存在有开路点的电路。其中，电源电压 U 为 12V，当开关 S 闭合时，电压表 (V) 接在 a 点与 f 点之间测量时的读数为 12V，电流表 (A) 的读数为零，试确定该电路的开路位置。

解 先设电路的 f 点为参考点，用电压表的 (-) 表笔端固定接在 f 点上，而表笔 (+) 端分别接到 b 、 c 、 d 、 e 点，可测得这些点的电位值。若测得的某点电位为 12V，则表示该点到 f 点之间是连通的。因为串联电路中出现断开时，电流为零，使连通点之间电路的电位处处相等，均等于 12V。若测得某点电位为零，表明该点与前一个测量点之间存在开路，从而确定开路位置。

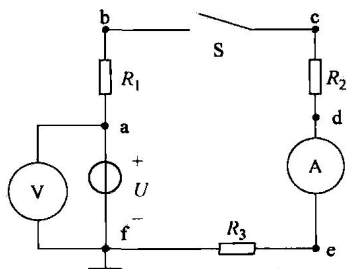


图 1-6 例 1-2 的电路

3. 短路状态

在图 1-5c 所示的电路中，当电源的两端由于某种原因被电阻可以忽略不计的导线或开关闭合在一起时，电源则处于短路状态。

电源短路状态时，外电阻可视为零，电源端电压为零，电流不经过负载，电流回路中仅有很小的电源内阻 R_0 ，因此回路中的电流很大，这个电流称为短路电流，用 I_s 表示。

在这种状态下，电源所产生的功率将全部消耗在电源的内电阻和连接导线的电阻上，即

$$P_s = \Delta P = R_s I_s^2 \quad (1-8)$$

电源处于短路状态时，其危害性是很大的，它会使电源或其他电气设备因严重发热而烧毁，因此应该积极预防和在电路中增加安全保护措施。造成电源短路的原因主要是：绝缘损坏或接线不当，因此在实际工作中要经常检查电气设备和线路的绝缘情况。此外，在电路中可接入熔断器等短路保护装置，以便在电源短路时能迅速将电源与电路的短路部分断开防止电气设备的进一步损坏。

【例 1-3】 某直流发电机： $E = 230\text{V}$ ， $R_0 = 0.5\Omega$ ，负载电阻 $R_L = 11\Omega$ 。试求：(1) 直流发电机的端电压；(2) 电源产生的功率、内阻消耗的功率和负载吸收的功率。

解 (1) 电路中电流为

$$I = E / (R_0 + R_L) = [230 / (0.5 + 11)] \text{A} = 20\text{A}$$

发电机的端电压为

$$U = E - R_0 I = (230 - 20 \times 0.5) \text{V} = 220\text{V}$$

(2) 电源产生的功率为

$$P_E = EI = (230 \times 20) \text{W} = 4.6\text{kW}$$

内阻消耗的功率为

$$\Delta P = R_0 I^2 = (0.5 \times 20^2) \text{W} = 0.2\text{kW}$$

负载吸收的功率为

$$P = UI = (220 \times 20) \text{W} = 4.4\text{kW}$$



思考练习题

1. 额定功率相同的两个电阻, 阻值大的额定电流大还是小? 额定电压大还是小?
2. 将一只 220V、40W 的白炽灯接到 220V、1kW 的电源上, 白炽灯能否正常工作? 为什么?

1.4 基尔霍夫定律

由若干电路元件按一定的连接方式构成电路后, 电路中各部分的电压、电流必然受到两类约束: 一类来自于元件的本身性质, 即元件的电压电流关系; 另一类来自于元件的相互连接方式, 即基尔霍夫定律。基尔霍夫定律是分析与计算电路的基本定律, 又分为基尔霍夫电流定律和基尔霍夫电压定律。

在介绍基尔霍夫定律之前, 先结合图 1-7 所示电路, 介绍常用的名词或术语。

支路 (Branch): 电路中每一条含有电路元件的分支称为支路。含有电源元件的支路称为有源支路, 不含电源元件的支路称为无源支路。一条支路流过一个电流称为支路电流。在图 1-7 中共有三条支路: abc、adc 和 ac, 其中 abc 和 adc 为有源支路, 支路电流分别为 I_1 和 I_2 , ac 为无源支路, 支路电流为 I_3 。

节点 (Node): 电路中三条或三条以上支路的连接点称为节点。两节点之间的电压称为节点电压。在图 1-7 中共有两个节点, 分别是 a 节点和 c 节点, 而 b 点和 d 点都不是节点。从图 1-7 还可以看出, 每一条支路都是连接在两个节点之间的。

回路 (Loop): 电路中任一闭合的路径称为回路。在图 1-7 中共有三条回路, 分别是 acba、acda 和 adcba。任一回路可列出一个电压方程, 但并非所有回路列出的方程都是独立的电压方程。

网孔 (Mesh): 电路中未被其他支路分割的回路称为网孔。在图 1-7 中共有两个网孔, 分别是 adcba (网孔 I) 和 acda (网孔 II)。

1. 基尔霍夫电流定律

基尔霍夫电流定律 (Kirchhoff's Current Law, KCL) 是描述电路中任意节点处各支路电流之间相互关系的定律。该定律指出, 在任何时刻, 流入节点的电流总和等于流出节点的电流总和。例如对图 1-7 所示电路的节点 a 来说, 有

$$I_1 + I_2 = I_3$$

或改写成

$$I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

这说明, 如果流入节点的电流前面取正号, 流出节点的电流前面取负号, 节点上电流的代数和等于零。

即

$$\sum i = 0$$

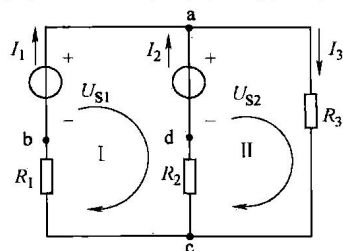


图 1-7 电路举例