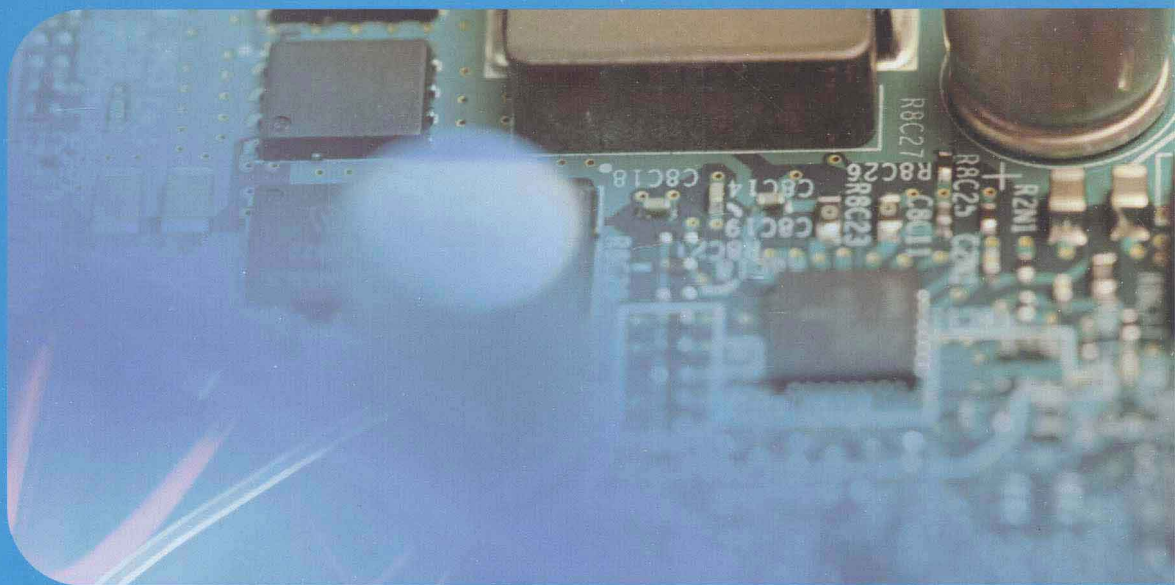




普通高等教育“十二五”规划教材
(电工电子课程群改革创新系列)

电 工 学 (少学时)

主 编 吴显金 张晓丽
副主编 姜 霞 刘曼玲
主 审 邹逢兴



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

014017567

TN1-43

86

普通高等教育“十二五”规划教材

电 工 学

(少学时)

主 编 吴显金 张晓丽

副主编 姜 霞 刘曼玲

主 审 邹逢兴



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



定价

01704406

内 容 提 要

本书是高等学校工程管理类本科专业电工电子基础课程的教材。全书共5章, 主要内容包括电路基本概念及元器件、电路基本定律及分析方法、正弦交流电路、信号放大与运算电路和数字逻辑电路。

本书着眼基础, 内容简明, 例题计算简单, 概念、理论阐述清晰, 通俗易懂。同时, 书内设有问题引导、思考与讨论, 除每章末尾附有本章小结外, 需重点掌握的知识另附小结, 十分方便教师教学和学生课后学习。为增加学生的阅读兴趣, 书中适当穿插电学发展及日常用电知识介绍, 增加了教材的趣味性。每章均附有与本章知识紧密联系的应用实例, 以提高学生应用知识的能力。

本书既可以作为高等工科院校工程管理类专业的电工电子基础课程教材, 也可供电气、电子爱好者自学及相关工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工学: 少学时 / 吴显金, 张晓丽主编. -- 北京: 中国水利水电出版社, 2014. 1
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-1624-3

I. ①电… II. ①吴… ②张… III. ①电工学—高等学校—教材 IV. ①TM

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第321837号

策划编辑: 雷顺加 责任编辑: 宋俊娥 封面设计: 李 佳

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 电工学(少学时)
作 者	主 编 吴显金 张晓丽 副主编 姜 霞 刘曼玲 主 审 邹逢兴
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京蓝空印刷厂
规 格	170mm×227mm 16开本 12.5印张 233千字
版 次	2014年1月第1版 2014年1月第1次印刷
印 数	0001—4000册
定 价	22.00元

凡购买我社图书, 如有缺页、倒页、脱页的, 本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

普通高等教育“十二五”规划教材
(电工电子课程群改革创新系列)

编审委员会名单

主任：施荣华 罗桂娥

副主任：张静秋 宋学瑞

成员：(按姓氏笔画排序)

王力为 刘子建 刘曼玲 吕向阳 寻小惠

吴显金 宋学瑞 张亚鸣 张晓丽 张静秋

李飞 李力争 李中华 陈宁 陈明义

陈革辉 罗群 罗桂娥 罗瑞琼 姜霞

胡燕瑜 彭卫韶 覃爱娜 谢平凡 赖旭芝

秘书：雷皓

主审：邹逢兴

序

电能的开发及其广泛应用成为继蒸汽机的发明之后，近代史上第二次技术革命的核心内容。20世纪出现的大电力系统构成工业社会传输能量的大动脉，以电、磁、光为载体的信息与控制系统则组成了现代社会的神经网络。各种新兴电工电子材料的开发和应用丰富了现代材料科学的内容，它们既得益于电工电子技术的发展，又为电工电子技术的进步提供物质条件。

电工电子技术的迅猛发展和广泛应用，可以说“无所不用，无处不在”，日益渗透到其他科学领域，促进其发展，在我国现代化建设中具有重要的作用。电工电子技术成为每一名工科学生的必修课程。

为了满足高校不同专业的学生对电工电子技术知识和技能的不同要求，在共性和差异之间找到平衡点，经过多年的探索，中南大学电工电子教学与实验中心构建了一套“多类别模块化组合式”的电工电子系列课程体系。根据中南大学课程群建设的总体规划，并结合现代电工电子技术发展的趋势与当今电工电子的应用环境，我们与中国水利水电出版社合作出版电工电子系列教材。计划首次出版10本，包括理论教材和实践教材两类。

理论教材按照不同专业分4个层次共7本：

电气信息类：电路理论，模拟电子技术，数字电子技术；

机制能动类：电工技术，电子技术；

材料化工类：电工学（多学时）；

工程管理类：电工学（少学时）。

实践教材按照不同教学环节共3本：

电路与电子技术实验教程；

电子技术课程设计教程；

电工电子实习教程。

本系列教材的特色可以归纳为以下几点：

1. 对于相同的教学内容，不同层次的理论教材中，教学深度、广度和表述方法不同，以期符合不同的教学要求，满足对不同专业学生的教学需要。

2. 注重基础知识的提炼与更新，注重工程性内容的引入，让学生既有扎实的理论基础，又能联系实际，培养学生的工程概念和能力。

3. 紧跟科技发展的步伐，注重教学内容的关联性和完整性。具体体现在降

低教学难度，注重介绍基本内容、基本方法和典型应用电路，尤其是集成电路的应用。

4. 引入仿真工具，对常用基本电路进行仿真分析，建立理论与实践沟通的桥梁。减少重要结论的推导和证明，将学生的注意力吸引到对电路结构的认识、元件参数的选择、性能指标的测试和实际制作上来。

目前我国高校的教育和教学模式还有赖于改革和完善，各专业的培养方案和课程建设也还在不断地探索中。本系列教材在满足本校教学要求的同时，也希望得到广大师生的批评、建议和鼓励。

中南大学电工电子课程群改革创新系列教材编委会
2013年12月18日

前 言

《电工学》(少学时)是高等学校工程管理类专业电工电子技术基础课程。本书是该课程所使用的配套教材,适用学时数在40学时左右。通过本课程的学习,学生在掌握电工电子技术方面的基本概念、基本理论、基本知识和基本技能的同时,还能熟悉其应用和发展,从而拓宽视野、开阔思维,提高能力,为从事相关工程技术管理工作奠定基础。

针对工程管理类专业对于电工电子技术方面的知识需求,本教材在编写过程中主要着眼于基础,注重基本概念及理论知识,突出应用,减少计算,立足于教材的可读性、实用性和趣味性。本教材的主要特点在于:

(1)教材编写时避免复杂公式推导,简化公式推导过程。减少教材中例题和习题计算的复杂程度,且计算是为了更加清楚地说明概念、定理的内容,减少学生学习的畏难情绪,使学生更容易理解和掌握所学知识。适当加入跟教材内容密切相关的电工电子技术发展趋势的介绍,增加教材的可读性和趣味性。

(2)注意与日常用电结合,注重实用性。在介绍交流电时,对日常生活中应用较多的三相四线制作了重点介绍,略去了应用范围较少的三相电源和负载的三角形接法。同时,在辅修内容中加入与生活密切相关的家庭供电的介绍,包括家庭用电负荷估算、电路的组成、节电等知识的介绍,以符合现代社会提倡的低碳、环保、节能的理念。

(3)从应用角度考虑,对于元器件主要介绍其伏安特性等外部物理特性。如二极管只介绍其单向导通特性;触发器则介绍其特性表及触发方式,不涉及传统课程讲解中的内部结构电路。

(4)每一章都加入与本章所学内容紧密相关的应用电路实例,在提高学生学习兴趣的同时,也使学生觉得学之有用。

(5)每一章都含有辅修内容,其内容为与本章有紧密联系并且应用较为广泛的知识点。辅修内容部分可以方便学有余力的学生自学,也方便教师教学时根据学时的多少自行决定对教学内容进行增补或删减。

(6)教材编排时增加了问题引导、思考与讨论。除在每章末尾附有本章小结外,在需重点掌握知识处另附小结,方便教师教学的同时还可以帮助学生课后学习和思考。

本书共分5章。第1章为电路基本概念及元器件,介绍电路的基本概念及常

用元器件；第2章为电路基本定律及分析方法，介绍基尔霍夫定律、支路电流法、叠加定理和戴维宁定理；第3章为正弦交流电路，介绍正弦交流电路的基本概念、三相四线制供电系统和交流电路的功率；第4章为信号放大与运算电路，介绍单管共射放大电路和常见的运算放大电路；第5章为数字逻辑电路，介绍逻辑函数基础、组合逻辑电路分析和时序逻辑电路分析。

本书由吴显金、张晓丽任主编，姜霞、刘曼玲任副主编。其中，张晓丽负责第1章1.1~1.4节，第2章2.1~2.4、2.6节的编写；吴显金负责第1章1.8节，第2章2.5节，第3章的编写；姜霞负责第1章1.5、1.6、1.9节，第4章的编写；刘曼玲负责第1章1.7节，第5章的编写。全书最后由吴显金统稿和定稿。

本书在编写过程中，得到了中南大学电工电子教学与实验中心诸多老师的关心、支持与帮助，特别是罗桂娥老师、宋学瑞老师、张静秋老师不辞辛劳多次审阅了本书的编写提纲和书稿，并提出了许多宝贵的意见。刘子建老师、胡燕瑜老师、张亚鸣老师、谢平凡老师和罗瑞琼老师也提出了许多有益的建议，在此表示诚挚的谢意。

国防科技大学邹逢兴教授担任本书的主审，邹教授在百忙之中精心审阅了全部书稿，提出了许多宝贵意见，对完善和提高教材质量起到了重要作用，在此向邹教授表示深深的谢意。

最后，由于编者水平有限，书中不妥和错误之处在所难免，殷切期望读者批评指正！

编者

2013年12月于中南大学

目 录

序
前言

第 1 章 电路基本概念及元器件	1
1.1 电路概述	1
1.1.1 电路的组成与作用	2
1.1.2 电路模型	3
1.1.3 电路的基本状态	4
1.2 电路的基本物理量	6
1.2.1 电流及其参考方向	7
1.2.2 电压及其参考方向	7
1.2.3 电功率和电能	9
1.3 无源元件	11
1.3.1 电阻元件	11
1.3.2 电容元件	14
1.3.3 电感元件	16
1.4 有源元件	19
1.4.1 理想电压源	19
1.4.2 理想电流源	21
1.4.3 受控源	22
1.5 半导体器件	24
1.5.1 半导体基础知识	24
1.5.2 半导体二极管	26
1.5.3 双极型晶体管	31
1.6 集成运算放大器	37
1.6.1 集成电路基础知识	37
1.6.2 理想的运算放大器	39
1.7 集成逻辑门电路	42
1.7.1 基本逻辑运算及其门电路	42
1.7.2 复合逻辑运算及其门电路	46

1.8	应用实例：直流稳压电源	47
1.9	辅修内容	50
1.9.1	发光二极管	50
1.9.2	光电二极管	51
1.9.3	光电三极管	52
1.9.4	光电耦合器	52
	本章小结	53
	习题一	55
第2章	电路基本定律及分析方法	60
2.1	基尔霍夫定律	60
2.1.1	基尔霍夫电流定律	61
2.1.2	基尔霍夫电压定律	62
2.2	支路电流法	64
2.3	叠加定理	65
2.4	戴维宁定理	68
2.5	应用实例：惠斯登电桥测温电路	71
2.6	辅修内容	73
2.6.1	结点电压法	73
2.6.2	弥尔曼定理	74
	本章小结	75
	习题二	76
第3章	正弦交流电路	79
3.1	正弦交流电路的基本概念	79
3.1.1	正弦量的三要素	80
3.1.2	正弦量的相量表示	81
3.1.3	阻抗	85
3.2	三相四线制供电系统	86
3.2.1	三相四线制供电电路	86
3.2.2	三相电路负载的连接	89
3.3	交流电路的功率	93
3.3.1	单相交流电路功率	93
3.3.2	三相交流电路功率	95
3.4	应用实例：漏电保护器的工作原理	96
3.5	辅修内容	97

3.5.1	家庭用电负荷	97
3.5.2	家庭配电线路设计	98
3.5.3	家庭用电安全	100
3.5.4	家庭节约用电	102
	本章小结	103
	习题三	104
第4章	信号放大与运算电路	106
4.1	共发射极放大电路	106
4.1.1	共发射极放大电路的工作原理	106
4.1.2	共发射极放大电路的静态分析	109
4.1.3	共发射极放大电路的动态分析	110
4.2	运算放大电路	117
4.2.1	比例运算电路	118
4.2.2	求和运算电路	121
4.3	应用实例	124
4.3.1	简单运放混音器	124
4.3.2	触摸延时照明开关	125
4.4	辅修内容	126
4.4.1	多级放大电路	126
4.4.2	差分放大电路	128
	本章小结	130
	习题四	131
第5章	数字逻辑电路	136
5.1	逻辑函数基础	136
5.1.1	逻辑函数的表示方法	136
5.1.2	逻辑函数的化简	138
5.2	组合逻辑电路的分析	140
5.2.1	组合逻辑电路的分析方法	140
5.2.2	常见中规模组合逻辑器件	141
5.3	时序逻辑电路的分析	154
5.3.1	触发器	154
5.3.2	数码寄存器	162
5.3.3	计数器	164
5.4	应用实例	172

5.4.1 产品分类电路	172
5.4.2 彩灯控制电路	174
5.5 辅修内容	175
5.5.1 555 定时器的电路结构及工作原理	175
5.5.2 555 定时器构成的多谐振荡器	176
本章小结	178
习题五	179
附录 基本逻辑门电路图形符号	183
部分习题答案	184
参考文献	187

第 1 章 电路基本概念及元器件



本章首先介绍电路的基本概念，电路模型、电路的基本物理量，电压、电流的参考方向，然后介绍电路的元器件，研究其特性及其在电路中所起的作用。

1.1 电路概述

现代生活中电是不可缺少的，电能已被广泛应用于动力、照明、冶金、化学、纺织、通信、广播等各个领域，它是科学技术发展、国民经济飞跃的主要动力。电能来源于其他形式的能量（如水能、原子能、风能、化学能等），也可以转换成其他能量形式，能以有线或无线的形式作远距离的传输，这些功能都是由电路完成的。

电路，简单地说就是电流流通的路径。包括电子电路在内的各种电路都是由各种元件和各种器件组成的。电路元件通常指电路中的无源元件（Passive component），电阻（Resistance）、电容（Capacitance）、电感（Inductance）是三种基本的无源元件。具有单向导通特性的二极管（Diode）、具有放大功能的晶体管（Transistor）等往往称为电子器件。在半导体芯片上集成多个元件的集成电路，由于所有元件在结构上已组成一个整体，因此通常也把集成电路称为器件。

近年来出现了一种新型的电路元件——忆阻器（Memristor）。1971 年美国华裔科学家蔡少棠（Chua）在研究如图 1-1 所示的电学四个基本变量 V 、 I 、 q 、 Φ （电压、电流、电荷、磁通量）之间两两组合成的六种关系时，发现其中只有 Φ 、 q 之间的关系在电学中无定义，据此从理论上提出了忆阻器的概念，其数学表达式如下

$$M(q) = \frac{d\Phi}{dq}$$

其中 $M(q)$ 为忆阻值，具有电阻的量纲，它与曾流过的电荷量相关。在撤掉电压（电流）后，忆阻器能将忆阻值一直保持下去，具有非易失特性，因此忆阻器是一类具有电阻记忆行为的非线性电路元件，被认为是除电阻、电容、电感外的第四个

基本电路元件。2008年由惠普（HP）公司宣布成功研制出了固态的忆阻器，验证了忆阻器的存在。忆阻器的出现不仅丰富了现有的电路元件类型，而且与其他电子器件可以构成新型的混合电路，用以实现以前难以实现的功能，如依赖其记忆性能的高密度非易失性存储器，对生物记忆行为的电路仿真等。

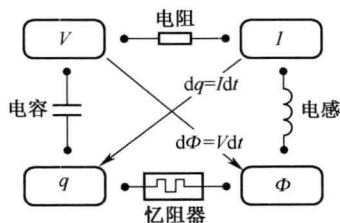


图 1-1 四个电量的关系及对应转换元件

1.1.1 电路的组成与作用

由于电路功能不同，实际电路千差万别，如日常所见的洗衣机、电视机、计算机、通信系统和电力网络等。虽然电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的，但根据功能的不同可将电路分为两大类。

1. 实现电能的传输、分配与转换

在图 1-2 所示的电力系统中，发电机将其他形式的能量转换为电能，通过变压器（Transformers）、传输线及其他控制部件传输、分配给用电设备（如电炉、电动机等），再转换为其他形式的能量。

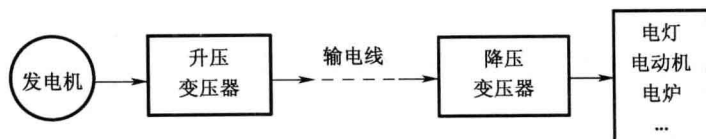


图 1-2 电力系统电路示意图

2. 实现信号的传递与处理

如图 1-3 所示的电子电路扩音机中，话筒将声音转换为电信号，通过放大器放大等处理后传递给扬声器，再将电信号转换为声音。

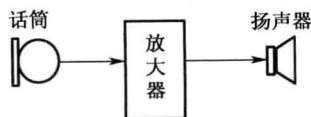


图 1-3 扩音机电路示意图

一个完整的电路要有三个基本组成部分。第一个组成部分是电源或信号源，它是产生电能或信号的设备，工作时将其他形式的能量（如机械能、光能、声能等）转换成电能或电信号，如图 1-2 中的发电机（电源）和图 1-3 中的话筒（信号源）；第二个组成部分是负载，它是用电设备，是消耗电能的装置，工作时将电能转换成其他形式的能量（如光能、机械能、热能、声能等），如图 1-2 中的电灯、电动机和图 1-3 中的扬声器；第三个组成部分是电源与负载之间的连接部分，这部分除连接导线外，还可能有控制、保护电源用的开关和熔断器等，如图 1-2 中的变压器和图 1-3 中的放大器。

不论电能的传输和转换，或信号的传递和处理，其中电源或信号源的电压或电流称为激励，它推动电路工作；由激励在电路各部分产生的电压或电流称为响应。

1.1.2 电路模型

电阻、电容、线圈、变压器、晶体管、运算放大器（Operational Amplifier）、传输线、电池、发电机和信号发生器等一些实际电气设备和器件按一定方式连接，可以构成实际电路。实际电路器件的电磁性质较为复杂。如白炽灯，它除具有消耗电能的性质（电阻性）外，当通有电流时还会产生磁场，也就是说它还具有电感性。但电感性微小，可忽略不计，于是可认为白炽灯是一电阻元件。

为了便于对实际电路进行分析和用数学描述，将实际元件理想化，即在一定条件下突出其主要的电磁性质，而忽略其次要的因素，把它近似地看作理想电路元件（理想电路元件是具有某种确定的电磁性质并具有精确数学定义的基本结构）。由一些理想电路元件所组成的电路，就是实际电路的电路模型，它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括。在理想电路元件中主要有电阻元件、电感元件、电容元件和电源元件等。例如图 1-4（a）所示电路的干电池可用一个电阻元件和一个电压源元件的组合构成，灯泡可用电阻元件替代，则它的电路模型如图 1-4（b）所示。

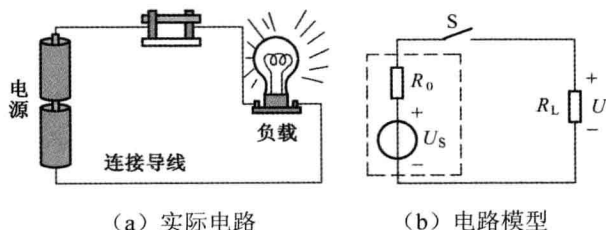


图 1-4 手电筒的实际电路与电路模型

本书所涉及的电路都是指由理想电路元件构成的电路模型。在电路图中，各种电路元件用国家规定的图形符号表示。

1.1.3 电路的基本状态

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。电路的状态主要有三种。下面以直流电路为例具体讨论这三种不同的基本状态。

1. 通路状态

简单直流电路如图 1-5 所示，其中，由电动势为 E 的理想电源和电阻 R_0 串联表示实际电源， R_L 表示负载电阻。

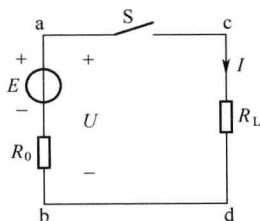


图 1-5 简单直流电路

若开关闭合，就会有电流 I 通过负载，电路处于通路状态（又称电源有载状态）。此时，电路中的电流为

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

电源的端电压为

$$U = E - R_0 I \quad (1-1)$$

式 (1-1) 表明了电源的端电压与其电流的关系，即电源的端电压等于电源的电动势 E 与其内阻 R_0 上的电压降之差。当电流 I 增加时，电源的端电压 U 将随之有所下降。若用曲线表示，则称此曲线为电源的伏安特性或电源的外特性，如图 1-6 所示，其斜率与电源内阻有关。电源内阻一般很小。当 $R_0 \ll R_L$ 时，则

$$U \approx E \quad (1-2)$$

式 (1-2) 表明，当电流（负载）变动时，电源的端电压变动不大，这说明它带负载能力强。

图 1-5 中，由 $U = E - R_0 I$ 得

$$UI = EI - R_0 I^2$$

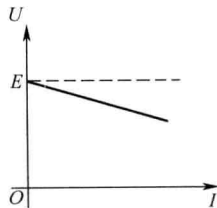


图 1-6 电源的外特性曲线

即

$$P = P_E - P_{R0} \quad (1-3)$$

$$P_E = P + P_{R0}$$

式(1-3)称为功率平衡方程式,其中 $P_E = EI$ 为电源产生的功率, $P = UI$ 为电源提供给负载的功率, $P_{R0} = I^2 R_0$ 为内阻损耗的功率,表明电源产生的功率中一部分输送给负载,而另一部分则消耗在电源内阻上。

电路处于通路状态时,一般认为电源电动势的大小不变,但电源产生的功率及输出的电压、电流和功率会因负载的变化而变化。为了表明电气设备的工作能力与正常工作条件,在电气设备铭牌上标有额定电流(I_N)、额定电压(U_N)和额定功率(P_N)等额定值。额定值是根据绝缘材料在正常寿命下的允许温升,考虑电气设备在长期连续运行或规定的工作状态下允许的最大值,同时兼顾可靠性、经济效益等因素规定的电气设备的最佳工作状态。

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、温度过高会引起电气设备绝缘材料损坏,严重时,绝缘材料也可能被击穿。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利用,而且设备不能正常工作,甚至损坏设备。例如,一只白炽灯的额定电压为220V,额定功率为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。另外,电气设备铭牌上标出的额定值不一定是设备的实际输出值,如某直流发电机的铭牌上标有2.5kW、220V、10.9A,这些都是额定值,发电机实际工作时的电流和发出的功率取决于负载当时的工作情况。一般情况下电气设备有三种运行状态,即额定工作状态,此时 $I = I_N$, $P = P_N$,电路处于经济、合理和安全可靠的运行状态;过载(超载)状态,此时 $I > I_N$, $P > P_N$,超出了允许的安全运行条件,会降低设备、元器件的使用寿命甚至导致其损坏,或造成安全性事故;欠载(轻载)状态,此时 $I < I_N$, $P < P_N$,一般不会超出安全条件,但是经济上不是最合理、优化的,运行性能较差,容易造成浪费。

2. 开路状态

开路状态又称断路状态。在图1-5所示电路中,当开关断开时,电源处于开路状态(又称电源空载)。此时, $I = 0$,电流为零; $U = U_0 = E$,电源的端电压即开路电压 U_0 等于电源的电动势 E ; $P = 0$,负载功率为零。

对于如图1-7所示的其他电路,如电路中某处断开,则在开路处具有以下特征:

(1) 开路处的电流等于零,即 $I = 0$;



图1-7 电路某处开路状态