

电力工程概论

伍爱莲 主编

中国水利水电出版社

内 容 提 要

本书着眼于基础,全面、系统地介绍了电力工程方面的基本概念和基本知识。

本书共分二十一章,内容包括电路、电子技术、电机、电气一次、电气二次等五个部分。在选材上,各部分自成体系。

本书可作为高等教育(包括普通高等教育、函大、夜大、自考等)非电专业的教学用书,也可作为工矿企业有关方面的管理人员、工程技术人员的参考书,同时还可作为电力工程基础知识的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

电力工程概论/伍爱莲主编. —北京:中国水利水电出版社,1995

ISBN 7-80124-101-0

I. 电… II. 伍… III. 电力工程—概论 IV. TM7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 21070 号

书 名	电力工程概论
作 者	伍 爱 莲 主 编
出 版	中国水利水电出版社(北京市三里河路 6 号 100044)
发 行	
经 售	全国各地新华书店
排 版	地矿部航空物探遥感中心制印厂
印 刷	
规 格	787×1092 毫米 16 开本 19.375 印张 433 千字
版 次	1996 年 1 月第一版 1996 年 1 月北京第一次印刷
印 数	00001—5000 册
定 价	25.00 元

前 言

本书是根据经济、管理、思政教、水利、环保、市场营销、外语、安全保卫等类专业的学习需要,参照国家教委颁发的“电工课程教学基本要求”而编写的,可作为高等学校相关专业的电工课程教材,也可供工程技术人员和自学者使用。

本书的特点是内容全面,削枝强干,篇幅适宜,便利教学。考虑到本书读者的专业特点,也注意到原有基础,所以在选材上力求精干,表达上力求通俗易懂,内容上自成体系。通过本教材的学习,能使读者获得电力工程的基本理论、基本知识和基本技能,为自学其他课程以及在电力部门工作打下基础。

为了培养学生的自学能力,每章末编有复习思考题。其中,一部分题目结合各章的基本概念和基本内容,供复习和总结用;一部分题目供学生课后练习用。

本书由武汉水利电力大学张立宏同志仔细审阅,指出了错误,并提出了修改意见,提高了本书质量。庄曰平同志编写了初版校内讲义的第十章、十三章、十八章,对本书提出了建设性修改意见。使用过本书前身(初版和修订版的校内讲义)的教师和学生也提出了许多有价值的修改意见和建议,作者在此表示感谢。

参加本书编写的有:黎文安编写第一章、第十七章至第二十一章;伍爱莲编写第二章至第十六章及附录,并任主编,提出了编写大纲及负责全书统稿。

由于作者能力所限,书中有些内容可能欠妥,错误难免,恳请读者批评指正,以提高本书质量。

作 者

1995 年 6 月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 电 路

第一章 直流电路	5
----------	---

基本要求	5
------	---

§ 1-1 电路及其模型	5
--------------	---

§ 1-2 电路的基本物理量及其参考方向	8
----------------------	---

§ 1-3 电阻元件的特性和联接方式	9
--------------------	---

§ 1-4 电功和电功率	12
--------------	----

§ 1-5 电压源和电流源及其等效变换	14
---------------------	----

§ 1-6 基尔霍夫定律	17
--------------	----

§ 1-7 支路电流法	19
-------------	----

§ 1-8 叠加原理	20
------------	----

§ 1-9 戴维南定理	21
-------------	----

§ 1-10 电容元件及 RC 电路的时域响应	22
---------------------------	----

§ 1-11 电感元件及 RL 电路的时域响应	27
---------------------------	----

小结	30
----	----

复习思考题	30
-------	----

第二章 正弦交流电路	35
------------	----

基本要求	35
------	----

§ 2-1 正弦交流电的基本概念	35
------------------	----

§ 2-2 正弦交流电的表示法	41
-----------------	----

§ 2-3 电阻元件交流电路	43
----------------	----

§ 2-4 电感元件交流电路	45
----------------	----

§ 2-5 电容元件交流电路	48
----------------	----

§ 2-6 相量形式的基尔霍夫定律	51
-------------------	----

§ 2-7 RLC 串联电路	52
------------------	----

§ 2-8 一般正弦电流电路的功率	53
-------------------	----

§ 2-9 功率因数的提高及简单并联电路	57
----------------------	----

§ 2-10 电路中的谐振	58
---------------	----

小结	61
----	----

复习思考题	63
第三章 三相电路	67
基本要求	67
§ 3-1 三相电动势	67
§ 3-2 三相电源的联接	69
§ 3-3 三相电路的计算	71
§ 3-4 三相电功率的计算	78
小结	79
复习思考题	80

第二篇 电 子 技 术

第四章 半导体二极管和整流电路	82
基本要求	82
§ 4-1 半导体的基本知识	82
§ 4-2 半导体二极管	84
§ 4-3 单相整流电路	89
§ 4-4 滤波电路	93
§ 4-5 稳压管和稳压电路	95
小结	97
复习思考题	97
第五章 晶体三极管及其放大电路	99
基本要求	99
§ 5-1 半导体三极管	99
§ 5-2 三极管放大电路	102
§ 5-3 场效应管及其放大电路	108
§ 5-4 集成运算放大器	111
小结	114
复习思考题	114
第六章 可控硅和可控整流电路	116
基本要求	116
§ 6-1 可控硅	116
§ 6-2 单相可控整流电路	119
小结	121
复习思考题	121
第七章 数字电路	123
基本要求	123
§ 7-1 数字电路的基本知识	123
§ 7-2 基本逻辑关系和逻辑门	126

§ 7-3 逻辑代数及组合逻辑电路	131
§ 7-4 触发器与时序逻辑电路	134
小结	141
复习思考题	141

第三篇 电 机

第八章 磁路和变压器	144
基本要求	144
§ 8-1 磁路的基本概念	144
§ 8-2 变压器的结构和冷却	147
§ 8-3 变压器的工作原理	148
§ 8-4 三相变压器和变压器绕组的极性	151
§ 8-5 变压器的铭牌和额定值	152
§ 8-6 变压器的运行特性	153
小结	155
复习思考题	156
第九章 异步电动机	158
基本要求	158
§ 9-1 三相异步电动机的基本结构	158
§ 9-2 三相异步电动机的工作原理	159
§ 9-3 三相异步电动机的运行特性和额定值	162
§ 9-4 三相异步电动机的起动、反转和调速	165
§ 9-5 单相异步电动机	167
小结	169
复习思考题	169
第十章 同步电机	171
基本要求	171
§ 10-1 同步电机的基本结构	171
§ 10-2 同步发电机的工作原理	172
§ 10-3 同步发电机与无穷大电网并联运行时功率的调节	173
§ 10-4 同步发电机投入并联运行的条件和方法	175
§ 10-5 同步发电机的励磁方式	179
§ 10-6 发电机的冷却方式	181
§ 10-7 同步电动机	182
小结	184
复习思考题	184

第四篇 电气一次部分

第十一章 电力系统概述	186
基本要求	186
§ 11-1 电力系统的组成和作用	186
§ 11-2 发电厂的类型	189
§ 11-3 电能质量及对电力系统的要求	192
§ 11-4 电力系统的连接和电压等级	193
§ 11-5 电力系统的中性点运行方式	195
§ 11-6 电力系统短路的基本概念	197
小结	198
复习思考题	199
第十二章 高低压电器	200
基本要求	200
§ 12-1 常用低压电器	200
§ 12-2 高压电器	203
小结	207
复习思考题	208
第十三章 发电厂电气主接线及自用电	209
基本要求	209
§ 13-1 对电气主接线的基本要求	209
§ 13-2 主接线中主要电器及其作用	210
§ 13-3 发电厂电气主接线的基本形式	212
§ 13-4 发电厂的自用电	215
小结	216
复习思考题	216
第十四章 配电装置	217
基本要求	217
§ 14-1 概述	217
§ 14-2 屋内配电装置	217
§ 14-3 屋外配电装置	220
§ 14-4 成套配电装置	222
小结	224
复习思考题	224
第十五章 工业企业供用电	225
基本要求	225
§ 15-1 工业企业供电系统及其组成	225
§ 15-2 企业电力负荷的计算	225

§ 15-3 工业企业变配电所	228
§ 15-4 工业企业电力线路	230
小结	230
复习思考题	231
第十六章 防雷保护和安全用电	232
基本要求	232
§ 16-1 防雷保护	232
§ 16-2 安全用电	234
小结	239
复习思考题	240

第五篇 电气二次部分

第十七章 常用电工仪表及其测量	241
基本要求	241
§ 17-1 常用电工仪表的分类	241
§ 17-2 磁电式仪表及直流电压和电流的测量	241
§ 17-3 电磁式仪表及交流电压和电流的测量	243
§ 17-4 电动式仪表及功率的测量	244
§ 17-5 数字仪表概述	247
小结	248
复习思考题	248
第十八章 二次接线及操作电源	249
基本要求	249
§ 18-1 二次接线的基本概念	249
§ 18-2 测量和绝缘监视系统	251
§ 18-3 控制及信号系统	253
§ 18-4 直流操作电源	255
小结	257
复习思考题	257
第十九章 继电保护和自动装置	258
基本要求	258
§ 19-1 概述	258
§ 19-2 几种常用的电磁式继电器	259
§ 19-3 继电保护装置的配置	262
§ 19-4 自动装置	263
§ 19-5 晶体管继电保护简介	266
§ 19-6 继电保护技术的发展动向与趋势	267
小结	267

复习思考题	268
第二十章 企业用电管理	269
基本要求	269
§ 20-1 计划用电	269
§ 20-2 节约用电	270
小结	272
复习思考题	272
第二十一章 计算机在电力系统中的应用	273
基本要求	273
§ 21-1 计算机在电力系统设计中的应用	273
§ 21-2 电力系统的计算机实时监控	274
§ 21-3 计算机在继电保护中的应用	275
小结	277
复习思考题	277
附 录	278
附录一 部分符号、单位和缩写	278
附录二 常用熔丝(保险丝)规格及其选择方法	279
附录三 常用半导体器件参数	280
附录四 常用电气设备的图形符号	286
附录五 常用电器的文字符号	291
附录六 常用三相异步电动机系列及技术数据	291
附录七 常用低压电器技术数据	293
附录八 常用电力工程名词术语汉英对照	295
参考文献	300

绪 论

毫无疑问,我们正置身于一个电气化的时代,电能和电子技术正广泛地应用于工业、农业、国防、科学技术等社会生活的各个领域,时刻影响和改变着我们身边的生活。整个科学技术与社会经济发展的关系密不可分,近两个世纪来人类所创造的前所未有的物质、文化财富,电能的应用功不可没。电力工程就是研究电能及其应用的技术基础课程。

一、电能及其发展概况

(一) 电工技术的发展

尽管人类真正了解电的本质并创造电能,广泛为自身造福不过是一个多世纪的事情,但人们认识电的现象已有两千多年的历史。电这个词,最早来源于古希腊语“琥珀”,我国的古籍上也曾有“慈石召铁”和“琥珀拾芥”的记载,这是人类最初对摩擦生电等自然现象的感性认识。真正对电磁现象进行深入研究是因为18世纪末到19世纪初社会生产发展的需要,许多杰出的科学家为揭示电的神秘本质而进行了不懈的努力,并做出了极大的贡献。

法国科学家库仑在1785年首先从实验中确定了电荷间的相互作用力,从而使电荷具有定量的意义。

1800年,意大利人伏打发明了伏打电池,从而为电磁学研究奠定了重要的物质基础,开辟了电流研究的新时代。

1820年,丹麦物理学家奥斯特揭示了电和磁之间的联系,宣告了电磁学的产生。同年,法国科学家安培也揭开了磁现象的本质问题。

德国人欧姆在1826年建立了反映电路上各种物理量关系的欧姆定律。21年之后,基尔霍夫对分支电流问题进行了补充,发表了著名的基尔霍夫定律。

1823年建立的安培定律,用严密的数学形式表述了电流产生磁力的基本现象,开辟了电动力学的新领域。英国物理学家法拉第1831年发现了电磁感应现象,奠定了电工技术的重要理论基础。俄籍德国人楞次在1833年建立了确定感应电流的定则(楞次定则),随后又阐明了电机可逆性的原理。

世界上最早的电动机出现于1834年,德国科学家雅可比证明了实际应用电能的可能性。1873年,阿尔滕内克制成了德国第一台高效率的自激式直流发电机,使直流发电机开始进入实用阶段。

爱迪生发明了电灯、电表,又发展了三线输电方法,还尝试建造了许多实用的小型发电站。法国的德普勒远距离直流输电试验成功,揭开了电力在工业上广泛应用的序幕。随后,交流电动机和变压器也应运而生。

俄国工程师多利沃·多布罗沃利斯基最先发明了三相系统,并于1891年首次实现了三相交流电的输送,促使了电机工程的飞跃发展。

显然,许多杰出科学技术工作者,以自己可贵的探索工作为电能的发展利用打下了坚实

的基础,使电能大规模造福人类成为可能。由于电能具有转换效率高、输送经济、分配方便、控制及测量准确迅速等其他能源所无法比拟的优点,它已成为今天人们生产和生活的重要动力来源。

(二)电子技术的发展

伴随着电能的应用,电子科学技术也随着生产斗争和科学实验逐渐发展起来。无线电技术就是一个重大的技术发明。1864年麦克斯韦提出的电磁波理论,为无线电技术的发展奠定了理论基础。1888年赫兹通过实验获得了电磁波,证实了麦克斯韦的先见。1890年和1894年,法国的布冉利和英国的洛奇制成和改进了无线电波接收器。1890~1894年间,意大利的马可尼和俄国的波波夫分别实现了无线电的传播与接收。随后,人们在二极管的基础上发明了三极管,无线电技术领域从此被开拓出来了。

电子二极管于1904年由英国人弗莱明最先发明,其原理来源于1883年爱迪生发现的热电子效应。随后德福雷斯发明了三极管,这些都是早期电子技术上最重要的里程碑。半个多世纪间,电子管在电子技术中立下了很大功劳。但是,由于它成本高、制造繁、体积大、耗电多,因此自第一个晶体管1948年在美国贝尔实验室研制成功之后,在大多数的领域中电子管已被晶体管所取代。

1958年集成电路的第一个样品问世,其应用标志着电子技术发展到了一个新的阶段。它实现了材料、元件、电路三者之间的统一,在设计与生产方式、电路的结构形式等方面,具有传统电子元件电路无可比拟的优越性。

半导体技术的最大成就是电子计算机,自从1946年诞生第一台电子计算机以来,已经历了电子管、晶体管、集成电路和大规模集成电路四代,现在正朝人工智能方向发展。未来人们的生产和管理将在很大程度上依赖电子计算机。自它实现了微型化以来,已在人们的工作、生活中大大加快了其普及速度。

数控工具从1952年研制出来后,也获得了很大的发展和应用,还有可控硅在工业上的广泛使用,使半导体技术进入了强电领域,提高了自动化程度和劳动生产率。

人类探索科学技术的工作永远不会停止,电子技术作为一项新兴的科学技术,在改造自然的实践中将发挥越来越重要的作用,有关它的知识还将不断地认识和发展。

二、电能与工业革命、生产发展的关系

电能的应用,是生产技术上的一场划时代的革命,也是人类历史上第二次技术革命的主要内容。自从19世纪末高压交流输电技术的成功发明和推广,世界各国都争先修建发电站,使发电量急剧增长,到第二次世界大战前夕,世界上各主要的资本主义国家电力在其能源构成上已占了相当的比例。由于发电量的剧增和电子技术的应用,一些采矿、冶金等传统技术得到了改造,减轻了劳动强度,提高了劳动生产率和产品质量。电力拖动代替了蒸汽时代笨重的轴传动、皮带传动方式,使在更大规模上组织现代化的工业生产以及实现生产过程自动化成为可能。电照明又使工厂、街道、家庭发生了很大的变化。由于有了电,涌现出一系列以电为能源和动力的新兴技术部门,并出现了一系列新材料和新的加工方法。由于有了电,使得锅炉、汽轮机、水轮机、发电机、电动机、变压器、电线电缆、各种电器、电工仪表、绝缘材料等迅速建立起专门的生产部门,形成一个庞大的电气工业技术体系。由于有了电,还使电话、

电报等一整套电信技术迅速兴起。所有这些技术领域的全面变革,都将从根本上改变 19 世纪以来的生产、生活状况,推动着人类文明的进步,给人类社会带来了根本性的、广泛而深刻的变化。到 19 世纪末、20 世纪初,全部工业体系都转移到电力技术基础上了。人类开始进入了电气化的时代。电力技术的形成和发展,是一系列新型技术的直接基础,可以毫不夸张地说,现代科学技术没有一个领域能够离开电力技术,它们正是从电力技术中脱胎而来的。

现代生产发展与电能须臾不可分,这已是一个不可争辩的事实。随着电力技术的高度发展,人们的生活会更加丰富多彩、轻松便捷,人类的智力和能力会更加无限延伸,渗透到国民经济的各个领域,在效率和速度中起着举足轻重的作用。电子技术水准已是现代化的一个重要标志,它的发展如何,直接影响到工业、农业、科学技术和国防的建设,关系着社会主义建设的发展速度和国家的安危,也直接影响到亿万人民的物质、文化生活及人民群众的切身利益。如果说电能的广泛应用使人类社会进入到当今以电气化为特征的工业文明时代,那么在可以预想的将来,随着电子技术和电子器件的进一步发展,一场更为深刻的广泛的工业革命即将到来,人类社会将大踏步进入信息时代,生产和生活的智能化将完全成为可能。在这个理想的前景上,社会的主要动力来源仍将是更为发达的电能。为此,电能的转换能量基础,除了传统的水力发电、火力发电之外,核能、潮汐能、风能、太阳能、地热能等开发利用也将得到长足的发展。

三、我国电力工业发展概况

能源工业是衡量一个国家的综合实力和现代化水平的一个重要指标,本世纪以来,世界各国都不遗余力地发展以电力工业为主导的能源工业。电力工业在一个国家的工业体系中占着越来越重要的地位。世界上发达国家已在这方面得到了非常完善的发展。我国的电力工业是在旧社会非常薄弱的基础上发展起来的,经过解放后 40 多年的努力,工业水平已达到一定的规模和水准,取得了举世瞩目的成绩。据统计,1949 年我国发电装机容量和年发电量分别居世界第二十五位和二十一位。到 1982 年上升到世界第六位。1990 年达到世界第四位。1994 年,我国电力总装机容量达 19989 万 kW,总发电量达 9278 亿 kW·h。超过了俄罗斯,跃居为仅次于美国和日本的世界第三电力生产大国,特别是当年全国新增发电装机容量达 1700 万 kW,成为世界上发展速度最快的国家。目前全国在建电站的装机容量仍居世界首位,正在与发电装机容量(为 21000 万 kW)处于世界第二位的日本迅速缩小差距。

但是,我们仍应清醒地看到,跟发达国家相比较和现实发展的需要,我国的现代化水平仍有很大的差距。在生产能力上也有极大的不足。改革开放以来,我国的国民经济已全面地走上高速发展的轨道,民族的振兴和国家的繁荣已是为期不远,而在高速发展的过程中也受到了一些客观经济条件的严重制约。其中,电力不足就是一个尤为突出的问题。尽管这些年来我国新建成了不少大、中型水电站,兴建了不少火电厂、核电厂,但电力不足的现象仍然没有得到根本的缓解。在经济高速发展的今天,电力这个缺口的“瓶颈”作用已越来越引起全国人民的关注。我们的四个现代化目标,从某种意义上说,就是国民经济的电气化、电子化。一日不解决好电力问题,就不能为现代化建设提供完全的动力支持,民族就难以实现腾飞。

党和国家历来非常重视电力工业和电子工业的发展。在国家的“八五”计划和十年规划中都把它们列在充分重要的地位上,并已投进了大量的资金和力量进行建设。任重而道远,

我国的电力事业具有巨大的潜力和辉煌的前景,广大的电力工作者也肩负着艰巨的责任和光荣的使命。

四、本课程的任务、地位和作用

《电力工程概论》是研究电工和电子技术及其在电力工程中的应用的一门科学。本书是面向电力系统从事思想政治教育、经济、市场营销、管理等非电专业的学习者而编写的。非电专业的学习者了解、掌握一定程度的电力技术知识,既是时代的需要,也是学习任务的需要。一方面,电气化时代和信息社会即将来临,一些与电有关的物质生产、生活资料跟我们的生活联系越来越密切。学习了解一些必要的电的常识既是生活的需要,也是人的现代化素质培养的一个内容。另一方面,随着四化建设的进行,各个技术部门都朝着电气化、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技人员都必须掌握一定的电工和电子技术方面的知识,以便逐步了解和掌握这些先进科学技术,为从事本专业的工作打下一定的基础。

本书内容包括电路、电子技术、电机、电气一次、电气二次五部分。电路部分是学习本课程的理论基础,通过学习,要求学生能够正确理解和运用有关的基本定律、定理,掌握电路的基本概念和分析方法。电子技术部分应着重掌握电子元件的作用及整流、放大等基本环节的工作原理,理解各基本物理概念。电机部分要求掌握磁路的基本知识,了解变压器、电机的工作原理和运行特性,并能正确地选择和使用这些设备。电气一次、二次部分要求掌握基本的概况,熟悉继电接触控制的基本电路,具备一定的安全用电知识。

电力事业仍然是一项充满朝气的“朝阳事业”,有无限宽广的前景和未来。愿同志们以百倍的热情投身于这项光荣的事业,深入地学习更多的电力科技知识,为社会主义现代化事业做出最大的贡献。

第一篇 电 路

第一章 直 流 电 路

基 本 要 求

1. 了解电路的组成、作用、模型及其常见的运行状态。
2. 掌握电路的基本物理量及其参考方向、电阻元件的联接。
3. 掌握电路的两类约束关系：一是电路元件的伏安关系，二是基尔霍夫定律。
4. 掌握电路的常用分析方法：支路电流法、等效变换法（戴维南定理、电压源与电流源的等效变换）和叠加原理。
5. 理解电路的暂态和稳态、激励和响应及时间常数的概念。
6. 掌握一阶电路的零输入响应、零状态响应和全响应。

§ 1-1 电 路 及 其 模 型

一、电路的组成

电流所经之路，称为电路。图 1-1 (a) 所示为一个最简单的实际电路。它由三部分组成：① 干电池；② 白炽灯泡；③ 联接导线及开关等。这三部分分别称为电源、负载和中间环节，它们是电路的基本组成部分。一般电路可用图 1-1 (b) 所示的框图表示。各组成部分及其作用简述如下：

(1) 电源是向负载提供电能的设备，它是将其他形式的能量转换为电能或者把一种形式的电能转换成另一种形式的电能或信号的装置。常见的电源设备有发电机、干电池和信号发生器等。

(2) 负载是用电设备，或称用电器，它是将电能转换为其他形式能量，或者接收、传递电信号的装置或元器件。实际用电设备有电炉、电动机、电烙铁、电感器、二极管、电子管等各种器件。

(3) 中间环节除了联接导线和开关以外，还有变压器、电工仪表、熔断器（保险丝）等多种设备。它们在电路中的作用为联接电源和负载，控制电能的传送和分配等。

二、电路的作用

电路的种类很多，其作用也多。概括起来，主要有以下两个大的方面。

一方面，在电力工程中，电路起输送、分配和转换电能的作用。通常，发电机发电、输电线

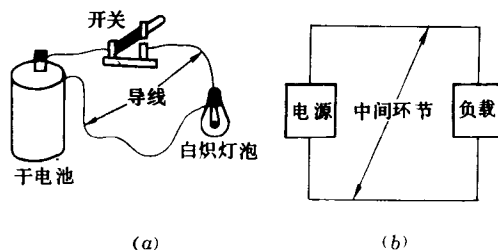


图 1-1 一个简单电路及其框图

(a) 电路的组成；(b) 电路框图

输电、变电站变配电、电力拖动、电气照明、电热等都属于电力工程的范畴。

另一方面,电路还起着信号(即有信息的电压和电流)的变换与处理作用,也就是对外加输入信号(电路分析中称为激励)进行加工处理,使之成为需要的输出信号(称为响应)。由于对信号进行加工处理,必须经过电流和电压的变化才能实现,因此就其本质而言,信号的变换和处理仍属于能量的转换。这方面的例子很多。如:

(1)放大。将一个微弱的信号,输入到放大电路,在其输出端得到一个较大的而形状未改变的信号,如图 1-2 所示。常见的收音机、扩音器电路便是放大电路的实例。

(2)电能转换。将交流电转换为直流电(图 1-3)或将直流电转换为交流电,都属于电能转换。常见的直流稳压电源,就是将工频交流电转换成直流电的例子。

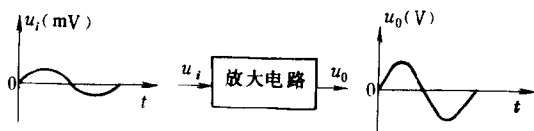


图 1-2 信号波形放大

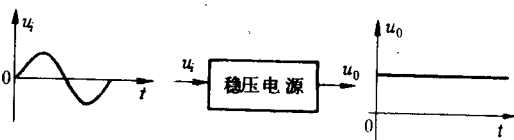


图 1-3 交流电转换成直流电

(3)信息处理。信息常分为模拟信息和数字信息。采用一定形式的电路,将信息处理为需要的形式,称为信息处理。

(4)存储。将信息保存下来,待需要时再取出,称为存储信息。例如一台计算机中,就有几百万个起存储作用的单元电路。

三、电路模型

为了用数学方法来描述和分析电路,使之简单明了,常将实际电路和电路器件模型化,也就是建立电路模型。正如在经典力学中引入质点和刚体等模型一样。电路模型是由反映单一电磁性质的理想电路元件构成的。

实际电路元件的种类虽然繁多,但它们有着共同特点:所有电路,伴随电流的流动,存在着能量转换的电磁现象。一般而论,导体总具有电阻,当电流通过它时,会发热而消耗电能;有电流通过就会有磁场,磁场会储存磁场能量;有电压建立就会有电场,电场会储存电场能量。这三种电磁现象可以用下面三个电路参数来反映:电阻反映电能的消耗,电感反映磁场能量的储存,电容反映电场能量的储存。

严格地说,上述参数是分布在电路之中。但是,当电路在工作中电磁波的波长远大于实际电路的尺寸时,我们可以忽略次要因素,考虑主要矛盾,用集中的电阻 R 、电感 L 和电容 C 作为电路参数。并且认为:电能消耗集中在电阻元件中进行,磁场储能集中在电感元件中进行,电场储能集中在电容元件中进行。

电路分析中所讨论的电路,是指由理想电路元件和电源元件构成的模型。这种电路模型也称为原理电路图。例如,与图 1-1 (a) 所示电路相对应的电路模型,如图 1-4 所示。图中, E 和 R_0 串联电路是干电池的模型; R_L 是灯泡的模型; S 是开关的模型;联接导线的电阻远小于负载电阻,将其忽略视为理想导体(电阻为零)。

四、电路常见的运行状态

电路运行时,有各种不同的工作状态。现以图 1-5 所示的电路为例进行讨论。在图中, E 和 R_0 分别是电源的电动势和内阻, R 是供电线电阻, R_L 是负载电阻。

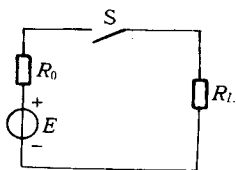


图 1-4 图 1-1 (a) 所示电路的模型

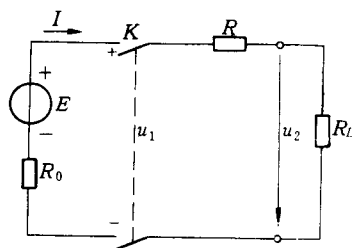


图 1-5 开路

(一) 开路

在图示电路中,当开关 K 断开时,称为开路或断路。开路时,电路中的电流为零,相当于负载电阻无穷大,电源的端电压等于电动势。开路又名空载。

(二) 通路

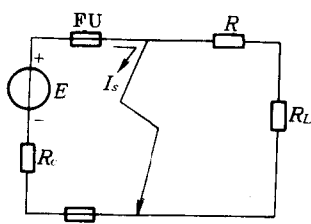
合上开关 K ,使负载接通电源,组成闭合回路,称为通路。图 1-5 所示电路在通路时负载的电流为 I ,端电压为 u_2 。通路又名有载。

(三) 短路与短接

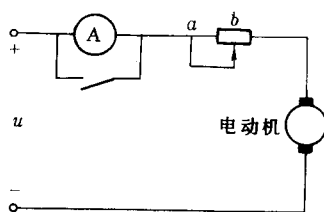
电路中电位差较大的两点不经负载被导体直接相连,称为短路,如图 1-6 (a) 所示。此时的电流称为短路电流 I_s ,其值为

$$I_s = \frac{E}{R_0}$$

一般电源内阻很小,故短路电流很大,远大于电源的额定电流。因此必须在电路中接入熔断器或自动断路器,以便在发生短路时,迅速切除故障电流,避免设备损坏。



(a)



(b)

图 1-6 短路与短接

(a) 短路; (b) 短接

上面讨论的电源短路是严重事故。不过,由于某种需要,有时将电路的某一部分短路。例如电动机在起动时,电流较大,为了避免过大的起动电流损坏电流表,在起动期间可用开关将电流表 $\textcircled{A}$ 短接,如图 1-6 (b) 所示。常将这种有用短路称短接。

§ 1-2 电路的基本物理量及其参考方向

一、电流及其参考方向

电荷的定向运动形成电流。电流的大小用电流强度表示。单位时间内通过导体某一截面的电量,定义为电流强度。习惯上,将电流强度简称为电流,用字母 I 表示,即

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

上式中的 Q 表示通过导体横截面的电量。

习惯上我们将电流的实际方向规定为正电荷移动的方向。要判别电流的实际方向,只有在简单的直流电路中才有可能。当电路比较复杂(图 1-7),或者电源的极性随时间改变时,要确定电流的实际方向就不容易了。因此,研究电路时,总是预先选定某一个方向作为电流的方向。这个选定的方向,称为电流的参考方向。参考方向是任意选定的,不必考虑其实际方向。在一定参考方向下,电流有正负之分。当电流的参考方向与它的实际方向相同时,则电流值记作正;反之,其值记作负,如图 1-8 所示。为此,电流的参考方向也称作电流的正方向。

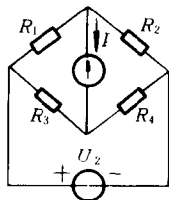


图 1-7 直流电桥电路

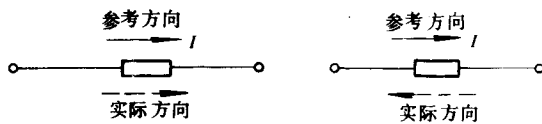


图 1-8 电流的参考方向和实际方向

(a) $I > 0$ (正值); (b) $I < 0$ (负值)

我国规定,在国民经济、科学技术和文化教育等一切领域中,必须采用以国际单位制(SI)为基础的法定计量单位。在国际单位制中,电荷[量]的单位为库仑,简称库,用符号 C 表示;时间的单位为秒,用符号 s 表示;电流的单位为安培,简称安,用符号 A 表示。

二、电压及其参考方向

电路中两点之间的电压等于电场力把单位正电荷从电路一点移到另一点所作的功。电压用字母 U 表示,表达式为

$$U = \frac{A_u}{Q}$$

电压也有参考方向或参考极性。电压的实际方向规定为由高电位点指向低电位点,即电位降低的方向。电压的参考方向也是任意选定。当电压的参考方向与它的实际方向一致时,其电压值记作正;否则,其电压值记作负。和电流一样,电压也可以用一个箭头表示其参考方向,见图 1-9 (a)。同时,电压也可以采用“+”、“-”极性表示,见图 1-9 (b),其参考方向从“+”端到“-”端。