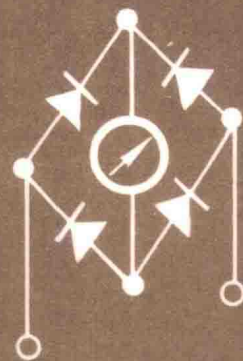


★ 职工高等工业专科学校教材

# 电 工 学

★ 秦曾煌



高等教育出版社

职工高等工业专科学校教材

# 电 工 学

秦 曾 煌

高等教育出版社

本书是按照 1983 年审订的职工高等工业专科学校《电工学教学大纲》(草案)并参照编者主编的高等工业学校教材《电工学》(1981 年修订本)编写的。全书分两篇,上篇是电工技术基础,下篇是电子技术基础。每章均附有习题。

本书由华东化工学院张南同志、沈阳松陵机械公司工学院张玉树同志和上海橡胶工业公司职工大学冯百皋同志审阅,并经职工高等工业专科学校电工学新编教材审稿会复审通过,可作为职工高等工业专科学校电工学课程的教材,同时适用于多学时(130 学时)和少学时(80 学时)的电工学课程,普通高等工业专科学校也可选用。

本书责任编辑 刘秉仁

#### 图书在版编目(CIP)数据

电工学/秦曾煌编著. —北京:高等教育出版社,1986. 12(2001 重印)

ISBN 7-04-001553-6

I. 电… II. 秦… III. 电工学-高等学校-教材 IV. TM1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(97)第 16882 号

---

出版发行	高等教育出版社		
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	邮政编码	100009
电 话	010—64054588	传 真	010—64014048
网 址	<a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>		
经 销	新华书店北京发行所		
印 刷	文字六〇三厂		
开 本	787×1092 1/16	版 次	1986 年 11 月第 1 版
印 张	27.75	印 次	2001 年 9 月第 17 次印刷
字 数	630 000	定 价	22.00 元

---

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

**版权所有 侵权必究**

## 序 言

教育部在1983年11月召开了全国职工高等工业专科学校基础课、技术基础课教学大纲审订会议,审订了多学时(130学时)和少学时(80学时)两份《电工学教学大纲》(草案),会上委托我编写一本同时适用于多学时和少学时的电工学教材。本书就是按照上述两份教学大纲,并参照我主编的高等工业学校教材《电工学》(1981年修订本)编写的。为了同时适用于多学时和少学时的电工学课程,书中有关章节前带有下列记号以资说明:

- \* 多学时电学工的加深加宽内容,用小号字排,对少学时电工学可以删去;
- † 少学时电学工的加深加宽内容,对多学时电工学是基本内容;
- †\* 多学时和少学时电学工的共同的加深加宽内容;
- △ 对少学时电工学可以删去的内容。

加深加宽的内容不计在学时之内,有些学校和学生如有余力,可以讲授或阅读这部分内容。

电工学是一门非电专业的技术基础课程。考虑到课程的基础性,本书分电工技术基础和电子技术基础两部分,主要讨论用电技术的基本理论和基本方法,以及专业常用的电子器件、机电器件及其基本电路,并使使学生受到必要的实验技能的训练,为学习专业知识以及从事工程技术工作和科学研究工作打好基础。为此,在本书中对基本概念、基本理论和基本分析方法都作了详尽的阐述,并通过实例、例题和习题来说明理论的实际应用,使学生对所学理论能更好地理解 and 掌握,以及了解电工技术的发展与生产发展之间的密切关系。

本书注意到与物理课的分工,避免了不必要的重复。部分内容,例如电路的基本物理量、欧姆定律、电路的参数、磁场的基本物理量及磁性材料的磁性能等,虽然都已在物理课程中讲过,但是为了加强理论的系统性和满足电工技术的需要,仍列入本书中,以便使学生(可以通过自学)对这些内容的理解能进一步巩固和加深,并能充分地应用和扩展这些内容。

本书除教学大纲规定的内容外,增加了“工业企业供电与安全用电”和“电工测量”两章,以及“三相异步电动机的选择”和“MOS集成电路”两节。这些内容应列入职工高等工业专科学校非电专业的电工学课程中,其中部分内容可作为加深加宽内容,电工测量可以结合实验进行教学(不计入学时内)。此外,考虑到电工技术的不断发展和不同专业的用电需要,教师对本书内容可作适当删减和补充。习题的选择也应视学时的多少和学生的实际水平而定。

本书对各章都提出基本要求<sup>①</sup>,供教师和学生参考;每节后差不多都有练习与思考,提出的问题都是基本的和概念性的,有助于课后复习巩固。此外,教师要注意培养学生(在教师指导下)的自学能力。讲课要精讲,主要讲清物理概念、基本理论、工作原理和分析方法;有些内容要留给学生自学。

---

<sup>①</sup> 主要对多学时课程而言。

本书由华东化工学院张南同志、沈阳松陵机械公司工学院张玉树同志和上海橡胶工业公司职工大学冯百皋同志主审,参加审稿会议的还有陕西柴油机厂职工大学晁文祥、北京二七机车厂职工大学张新儒、江西电力职工大学李元璋、上海第二工业大学薛福元、胜利油田河口职工大学王新伦及高等教育出版社刘秉仁等同志,承他们提出了宝贵意见和修改建议,在此深表谢忱。

由于编者能力有限,见解不多,本书有些内容难免不够妥善,甚至会有错误之处。希望读者,特别是使用本书的教师和同学积极提出批评和改进意见,以便今后修订提高。

秦曾煌

于哈尔滨工业大学

1985年6月

# 目 录

<p><b>结论</b>.....1</p> <p style="text-align: center;"><b>上篇 电工技术基础</b></p> <p><b>第一章 直流电路</b>.....5</p> <p>  1-1. 电路的作用与组成部分.....5</p> <p>  1-2. 电路的基本物理量.....6</p> <p>    一、电流.....6</p> <p>    二、电压与电动势.....7</p> <p>  1-3. 欧姆定律.....8</p> <p>  1-4. 电路的有载工作状态、开路与短路.....10</p> <p>    一、有载工作状态.....11</p> <p>    二、开路.....13</p> <p>    三、短路.....14</p> <p>  1-5. 克希荷夫定律.....15</p> <p>    一、克希荷夫电流定律.....16</p> <p>    二、克希荷夫电压定律.....17</p> <p>  1-6. 电阻的串联与并联.....20</p> <p>    一、电阻的串联.....20</p> <p>    二、电阻的并联.....21</p> <p>  1-7. 支路电流法.....25</p> <p>  1-8. 叠加原理.....27</p> <p>  1-9. 电压源与电流源及其等效变换.....28</p> <p>    一、电压源.....28</p> <p>    二、电流源.....29</p> <p>    三、电压源与电流源的等效变换.....30</p> <p>  1-10. 等效电源定理.....35</p> <p>  1-11. 电路中电位的计算.....38</p> <p>  习题.....40</p> <p><b>第二章 正弦交流电路</b>.....46</p> <p>  2-1. 正弦电压与电流.....46</p> <p>    一、频率与周期.....47</p> <p>    二、幅值与有效值.....47</p> <p>    三、初相位.....48</p> <p>  2-2. 正弦量的相量表示法.....50</p> <p>  2-3. 电路的参数.....56</p> <p>    一、电阻元件.....56</p>	<p>    二、电感元件.....57</p> <p>    三、电容元件.....59</p> <p>  2-4. 电阻元件的交流电路.....62</p> <p>  2-5. 电感元件的交流电路.....64</p> <p>  2-6. 电容元件的交流电路.....67</p> <p>  2-7. 电阻、电感与电容元件串联的交流电路.....69</p> <p>  2-8. 阻抗的串联与并联.....76</p> <p>    一、阻抗的串联.....76</p> <p>    二、阻抗的并联.....77</p> <p>  2-9. 电路中的谐振.....81</p> <p>    一、串联谐振.....81</p> <p>    二、并联谐振.....84</p> <p>  2-10. 功率因数的提高.....87</p> <p>  2-11. 非正弦周期电压和电流.....89</p> <p>    一、非正弦周期量的分解.....89</p> <p>    二、非正弦周期量的有效值.....92</p> <p>  习题.....94</p> <p><b>第三章 三相电路</b>.....100</p> <p>  3-1. 三相电压.....100</p> <p>  3-2. 负载星形联接的三相电路.....103</p> <p>  3-3. 负载三角形联接的三相电路.....108</p> <p>  3-4. 三相功率.....109</p> <p>  习题.....110</p> <p><b>第四章 电路的暂态分析</b>.....112</p> <p>  4-1. 换路定则与电压和电流初始值的确定.....113</p> <p>  4-2. <math>RC</math> 电路的放电过程.....115</p> <p>  4-3. <math>RC</math> 电路的充电过程.....118</p> <p>    一、零状态.....118</p> <p>    二、非零状态.....121</p> <p>  4-4. 一阶电路暂态分析的三要素法.....123</p> <p>  4-5. <math>RL</math> 电路中的暂态过程.....125</p> <p>    一、与恒定电压接通.....125</p> <p>    二、短路与断开.....127</p> <p>  习题.....130</p>
---	---

<b>第五章 磁路与铁心线圈电路</b> .....133	一、功率的选择.....182
5-1. 磁场的基本物理量.....133	二、种类和型式的选择.....184
一、磁感应强度.....133	三、电压和转速的选择.....186
二、磁通.....133	†*6-11. 单相异步电动机.....186
三、磁场强度.....134	*6-12. 交流伺服电动机.....189
四、磁导率.....135	习题.....191
5-2. 磁性材料的磁性能.....136	△ <b>第七章 直流电机</b> .....193
一、高导磁性.....136	7-1. 直流电机的构造.....193
二、磁饱和性.....137	7-2. 直流电机的基本工作原理.....194
三、磁滞性.....137	7-3. 直流发电机.....196
5-3. 磁路及其基本定律.....139	一、他励发电机.....197
5-4. 交流铁心线圈电路.....141	二、并励发电机.....198
5-5. 变压器.....144	*三、复励发电机.....200
一、变压器的工作原理.....145	7-4. 并励电动机的机械特性.....201
二、变压器的外特性.....149	7-5. 并励电动机的起动与反转.....203
三、变压器的损耗与效率.....150	7-6. 并励(他励)电动机的调速.....204
四、特殊变压器.....151	一、改变磁通 $\Phi$ (调磁).....205
五、变压器绕组的极性.....152	二、改变电压 $U$ (调压).....206
△5-6. 电磁铁.....153	*7-7. 直流伺服电动机.....207
习题.....156	*7-8. 直流测速发电机.....207
<b>第六章 异步电动机</b> .....159	习题.....209
6-1. 三相异步电动机的转动原理.....159	<b>第八章 继电接触器控制系统</b> .....211
6-2. 三相异步电动机的极数与转速.....161	8-1. 常用控制电器.....211
6-3. 三相异步电动机的构造.....163	8-2. 鼠笼式电动机直接起动的控制线路.....215
6-4. 定子电路与转子电路.....165	8-3. 鼠笼式电动机正反转的控制线路.....218
一、定子电路.....165	8-4. 行程控制.....219
二、转子电路.....166	8-5. 时间控制.....219
6-5. 三相异步电动机的转矩与机械特性.....168	*8-6. 速度控制.....222
一、转矩同哪些量有关系.....168	*8-7. 应用举例.....224
二、机械特性曲线.....169	一、加热炉自动上料控制线路.....224
6-6. 三相异步电动机的起动.....172	二、横梁自动升降控制线路.....225
一、起动性能.....172	习题.....227
二、起动方法.....173	<b>第九章 工业企业供电与安全用电</b> .....229
†6-7. 三相异步电动机的调速.....176	9-1. 发电、输电概述.....229
一、变频调速.....176	9-2. 工业企业配电.....230
二、变频调速.....177	*9-3. 导线截面的选择.....231
*三、变转差率调速.....177	一、根据发热条件选择导线截面.....231
†6-8. 三相异步电动机的制动.....177	二、根据容许电压损失选择导线截面.....232
一、能耗制动.....178	9-4. 接地和接零.....233
二、反接制动.....178	一、工作接地.....234
*三、发电反馈制动.....178	二、保护接地.....234
6-9. 三相异步电动机的铭牌数据.....179	三、保护接零.....235
6-10. 三相异步电动机的选择.....182	

习题	236
<b>第十章 电工测量</b>	237
10-1. 电工测量仪表的分类	237
10-2. 电工测量仪表的类型	239
一、磁电式仪表	240
二、电磁式仪表	241
三、电动式仪表	242
10-3. 电流的测量	243
10-4. 电压的测量	244
10-5. 万用表	245
一、磁电式万用表	246
二、数字式万用表	247
10-6. 功率的测量	248
一、单相交流和直流功率的测量	248
*二、三相功率的测量	248
*10-7. 兆欧计	250
习题	251

## 下篇 电子技术基础

<b>第十一章 半导体二极管和整流电路</b>	253
11-1. 半导体的导电特性	253
一、本征半导体	254
二、N型半导体和P型半导体	255
11-2. PN结	256
一、PN结的形成	256
二、PN结的单向导电性	257
11-3. 半导体二极管	258
一、基本结构	258
二、伏安特性	259
三、主要参数	259
11-4. 整流电路	260
一、单相半波整流电路	261
二、单相桥式整流电路	262
11-5. 滤波器	264
一、电容滤波器(C滤波器)	265
二、电感电容滤波器(LC滤波器)	267
三、 $\pi$ 形滤波器	267
11-6. 稳压管及其稳压电路	268
一、稳压管	268
二、稳压管稳压电路	270
习题	271

## 第十二章 半导体三极管和交流放大

<b>电路</b>	274
12-1. 晶体管	274
一、基本结构	274
二、电流分配和放大原理	275
三、特性曲线	278
四、主要参数	280
12-2. 基本交流放大电路的组成	283
12-3. 放大电路的图解法	284
一、静态分析	284
二、输出端开路时的动态分析	286
三、输出端接有负载时的动态分析	289
四、非线性失真	290
12-4. 静态工作点的稳定	292
一、温度对静态工作点的影响	292
二、分压式偏置电路	294
<sup>A</sup> 12-5. 放大电路的微变等效电路法	297
一、晶体管的微变等效电路	297
二、电压放大倍数的计算	298
三、放大电路输入电阻和输出电阻的计算	301
12-6. 阻容耦合放大电路	303
12-7. 放大电路中的负反馈	306
一、什么是负反馈	306
二、负反馈的类型	307
三、反馈的判别	310
四、负反馈对放大电路工作性能的影响	311
12-8. 射极输出器	316
12-9. 功率放大电路	318
一、对功率放大电路的基本要求	319
二、互补对称电路	320
*三、变压器耦合推挽功率放大电路	322
习题	323

## 第十三章 直流放大电路和运算

<b>放大器</b>	329
13-1. 直流放大电路的直接耦合	330
一、前级与后级静态工作点的相互影响	330
二、零点漂移	332
13-2. 差动放大电路	333
一、差动放大电路的工作情况	333
二、典型差动放大电路	335
13-3. 运算放大器	340
一、集成运算放大器的简单介绍	340
二、运算放大器的基本运算电路	343
*三、应用举例	348



习题	350	门电路	390
<b>第十四章 正弦波振荡电路</b>	354	一、工作原理	390
14-1. 自激振荡	354	二、主要参数	391
14-2. <i>LC</i> 振荡电路	356	16-5. 逻辑门电路的组合	392
一、工作原理	356	一、组合逻辑电路的分析和综合	393
*二、应用举例——半导体接近开关	357	*二、应用举例——二进制加法器	395
14-3. <i>RC</i> 振荡电路	359	16-6. 双稳态触发器	398
习题	360	一、 <i>R-S</i> 触发器	398
<b>第十五章 可控硅和可控整流电路</b>	363	二、 <i>J-K</i> 触发器	401
15-1. 可控硅	363	三、将 <i>J-K</i> 触发器转换为 <i>D</i> 触发器和 <i>T'</i> 触发器	404
一、基本结构	363	16-7. 寄存器	405
二、工作原理	364	一、并行输入并行输出寄存器	406
三、伏安特性	365	二、串行输入串行输出寄存器	406
四、主要参数	366	16-8. 二进制计数器	407
15-2. 可控整流电路	367	一、异步二进制加法计数器	408
一、单相半波可控整流电路	367	二、同步二进制加法计数器	408
*二、单相半控桥式整流电路	369	*16-9. <i>MOS</i> 集成电路	410
15-3. 可控硅的保护	371	一、绝缘栅场效应管	410
一、可控硅的过电流保护	371	二、 <i>MOS</i> 门电路	412
二、可控硅的过电压保护	372	习题	414
15-4. 单结晶体管触发电路	373	<b>附录</b>	418
一、单结晶体管	373	附录一 国际单位制(SI)、静电单位制	
二、单结晶体管触发电路	375	(CGSE)和电磁单位制(CGSM)	
*三、应用举例——可控硅直流调速系统	378	之间的关系	418
习题	379	附录二 国际单位制(SI)的词头	418
<b>第十六章 数字电路</b>	381	附录三 常用导电材料的电阻率和电阻	
16-1. 脉冲信号	381	温度系数	419
16-2. 晶体管的开关作用	382	附录四 半导体器件型号命名方法	419
16-3. 基本逻辑门电路	384	附录五 常用半导体器件的参数	420
一、基本概念	384	附录六 集成电路型号命名	425
二、二极管“与”门电路	386	附录七 电阻器标称阻值系列	426
三、二极管“或”门电路	387	附录八 布尔代数运算法则	426
四、晶体管“非”门电路	388	部分习题答案	429
16-4. 晶体管-晶体管逻辑(TTL)“与非”			

# 绪 论

## 1. 电能的应用及其与生产发展的关系

电工学是研究电能和技术领域中应用的技术基础课程。电能的应用范围是极其广泛的。现代一切新的科学技术的发展无不与电有着密切的关系。所谓电气化,就是要把整个国民经济转移到最先进的机器设备的基础上,在生产和生活中最广泛地应用电能。

电能的应用,在生产技术上曾引起了划时代的革命。在现代工业、农业及国民经济的其他各个部门中,逐渐以电力作为主要的动力来源。工业上的各种生产机械(如机床、起重机、轧钢机、锻压和铸造设备、鼓风机、水泵等)都是用电动机来驱动的。在机械制造工艺上,如电镀、电焊、高频淬火、电炉冶炼金属、电蚀加工、超声波加工,电子束和离子束加工等,都是电能的应用。对生产过程中所涉及到的一些物理量(如长度、速度、压力、温度、水位、流量等),都可用电的方法来测量和进行自动调节,以实现生产过程的自动化。农业生产的进一步发展要靠现代化的技术,而现代化农业技术的主要动力是电力。在农业上将日益广泛地采用电力排灌设备、粮食和饲料的电力加工装置等。电也是现代物质、文化生活中所不可缺少的,如电灯、电话、电影、电视、无线电广播及 X 射线透视等都是电能的应用。

随着生产和科学技术发展的需要,电子技术得到高度发展和广泛应用(如空间电子技术、生物医学电子技术、信息处理和遥感技术、微波应用等),它对于社会生产力的发展,也起着变革性的推动作用。电子水准是现代化的一个重要标志,电子工业是实现现代化的重要物质技术基础。电子工业的发展速度和技术水平,特别是电子计算机的高度发展及其在生产领域中的广泛应用,直接影响到工业、农业、科学技术和国防建设,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,关系着广大群众的切身利益。

电能所以会得到这样广泛的应用,是因为它具有无可比拟的优越性。电能的优越性主要表现在下列三个方面:

(1) 便于转换 电能可以从水能(水力发电)、热能(火力发电)、原子能(原子能发电),化学能(电池)及光能(光电池)等转换而得;同时也可以将电能转换为其他所需要的能量形态,如利用电动机将电能转换为机械能,利用电炉将电能转换为热能,利用电灯将电能转换为光能,利用扬声器将电能转换为声能。电能之间也可以转换,如利用整流器将交流电能转换为直流电能,利用振荡器将直流电能转换为交流电能。

此外,工业生产中为了实现自动控制和调节,也可以将非电量利用传感器转换为电量(信号)。

(2) 便于输送 电能可以方便地被输送到远方,而且输电设备简单,输电效率很高。我们知道,工厂通常建于原料产地或运输方便之处,而发电站则大多建于有能源的地方,二者之间有一

定的距离。动力基地与工业基地在位置上存在的这个矛盾，由于电能的远距离输送而得到了解决。电能不仅输送方便，而且分配也很容易，自几十瓦的电灯到几千千瓦的电动机，根据用电需要，都可以分配自如。

此外，电能也可以不通过导线而以电磁波的形式传播。

(3) 便于控制 利用电能可以达到高度自动化。例如，能控制生产过程或设备，实现程序控制、数字控制或最佳状态控制；能检测生产过程的各种参数，转换成一定的电信号，实现自动调节和管理自动化。

此外，利用电能还能实现巡回检测、分析数据、程序显示、处理故障等功能。

所以，电能的应用对劳动生产率的提高和社会生产力的发展起着巨大的作用。

## 2. 电工技术发展概况

现在，人们已经掌握了大量的电工技术方面的知识，而且电工技术还在不断地发展着。这些知识是人们长期劳动的结晶。

我国很早就已发现电和磁的现象，在古籍中曾有“慈石召铁”和“琥珀拾芥”的记载。磁石首先应用于指示方向和校正时间，在《韩非子》和东汉王充著的《论衡》两书中提到的“司南”就是指此。以后由于航海事业发展的需要，我国在十一世纪就发明了指南针。在宋代沈括所著的《梦溪笔谈》中有“方家以磁石磨针锋，则能指南，然常微偏东，不全南也”的记载。这不仅说明了指南针的制造，而且已经发现了磁偏角。直到十二世纪，指南针才经由阿拉伯人传入欧洲。

在十八世纪末和十九世纪初的这个时期，由于生产发展的需要，在电磁现象方面的研究工作发展得很快。库仑(C. A. Coulomb)在1785年首先从实验确定了电荷间的相互作用力，电荷的概念开始有了定量的意义。1820年，奥斯特(H. C. Oersted)从实验发现了电流对磁针有力的作用，揭开了电学理论的新的一页。同年，安培(A. M. Ampère)确定了通有电流的线圈的作用与磁铁相似，这就指出了磁现象的本质问题。有名的欧姆定律是欧姆(G. S. Ohm)在1826年通过实验而得出的。法拉第(M. Faraday)对电磁现象的研究有特殊贡献，他在1831年发现的电磁感应现象是以后电工技术的重要理论基础。在电磁现象的理论与实用问题的研究上，楞次(Э. Х. Ленц)发挥了巨大的作用，他在1833年建立了确定感应电流方向的定则(楞次定则)。其后，他致力于电机理论的研究，并阐明了电机可逆性的原理。楞次在1844年还与英国物理学家焦耳(J. P. Joule)分别独立地确定了电流热效应定律(焦耳-楞次定律)。与楞次一道从事电磁现象研究工作的雅可比(Б. С. Якоби)在1834年制造出世界上第一台电动机，从而证明了实际应用电能的可能性。电机工程得以飞跃地发展是与多里沃-多勃罗沃尔斯基(М. О. Доливо-Добровольский)的工作分不开的。这位杰出的俄罗斯工程师是三相系统的创始者，他发明和制造出三相异步电动机和三相变压器，并首先采用了三相输电线。在法拉第的研究工作基础上，麦克斯韦(C. Maxwell)在1864年至1873年提出了电磁波理论。他从理论上推测到电磁波的存在，为无线电技术的发展奠定了理论基础。1888年，赫兹(Hertz)通过实验获得电磁波，证实了麦克斯韦的理论。但实际利用电磁波为人类服务的还应归功于马可尼(Marconi)和波波夫(А. С. Попов)。大

约在赫兹实验成功七年之后,他们彼此独立地分别在意大利和俄国进行通信试验,为无线电技术的发展开辟了道路。

人类在向自然界斗争的过程中,不断总结和丰富着自己的知识。电子科学技术就是在生产斗争和科学实验中发展起来的。1883年美国发明家爱迪生(Edison)发现了热电子效应,随后在1904年弗莱明(Fleming)利用这个效应制成了电子二极管,并证实了电子管具有“阀门”作用,它首先被用于无线电检波。1906年美国的德福雷斯(De Forest)在弗莱明的二极管中放进了第三个电极——栅极,而发明了电子三极管,从而建树了早期电子技术上最重要的里程碑。半个多世纪以来,电子管在电子技术中立下了很大功劳;但是电子管毕竟成本高,制造繁,体积大,耗电多,从1948年美国贝尔实验室的几位研究人员发明晶体管以来,在大多数领域中已逐渐用晶体管来取代电子管。但是,我们不能否定电子管的独特优点,在有些装置中,不论从稳定性、经济性或功率上考虑,还需要采用电子管。

集成电路的第一个样品是在1958年见诸于世的。集成电路的出现和应用,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;同传统的电子元件的设计与生产方式、电路的结构形式有着本质的不同。随着集成电路制造工艺的进步,集成度越来越高,出现了大规模和超大规模集成电路(例如可在一块 $6\text{mm}^2$ 的硅片上制成一个完整的计算机),进一步显示出集成电路的优越性。

在工业上可控硅也获得广泛应用,使半导体技术进入了强电领域。

随着半导体技术的发展和科学研究、生产与管理等的需要,电子计算机应时而兴起,并且日臻完善。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、集成电路及大规模集成电路四代,现在正向“第五代”(智能化)进军。特别是从七十年代微型计算机问世以来,由于它价廉、方便、可靠、小巧,大大加快了电子计算机的普及速度。

“在生产斗争和科学实验范围内,人类总是不断发展的,自然界也总是不断发展的,永远不会停止在一个水平上。”<sup>①</sup>

### 3. 课程的目的、任务和学习方法

在职工高等工业专科学校非电专业的教学计划中,电工学是一门实践性较强的技术基础课程。它的目的和任务是使学生获得电工和电子技术方面的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课程以及今后从事工程技术工作打下必要的基础。

为了学好本课程,首先要求具有正确的学习目的和态度,应为我国社会主义现代化事业而学习。在学习中要能够刻苦钻研,踏踏实实,获得优良成绩。现就本课程的几个教学环节提出学习中应注意之点,以供参考。

(1) 学习时要抓住物理概念、基本理论、工作原理和分析方法;要理解问题是如何提出和引伸的,又是怎样解决和应用的;要注意各部分内容之间的联系,前后是如何呼应的;要重在理

<sup>①</sup> 《周恩来总理在第三届全国人民代表大会第一次会议上的政府工作报告》,1964年12月31日,《人民日报》。

解,能提出问题,积极思考,不要死记。本书各章都有基本要求,指出哪些是主要内容。每节后差不多都有练习与思考,提出的问题都是基本的和概念性的,有助于课后复习巩固。此外,在教师指导下要培养自学能力,并且要多看参考书。

(2) 通过习题可以巩固和加深对所学理论的理解,并培养分析能力和运算能力。为此,各章安排了适当数量的习题。解题前,要对所学内容基本掌握;解题时,要看懂题意,注意分析,用哪个理论和公式以及解题步骤也都要搞清楚。习题做在本子上,要书写整洁,图要标绘清楚,答数要注明单位。

(3) 通过实验验证和巩固所学理论,训练实验技能,并培养严谨的科学作风。实验是本课程的一个重要环节,不能轻视。实验前务必认真准备;实验时积极思考,多动手,学会正确使用常用的电子仪器、电工仪表、电机和电器等设备,能正确联接电路,能准确读取数据;实验后要对实验现象和实验数据认真地整理分析,编写出整洁的实验报告。

# 上篇 电工技术基础

## 第一章 直流电路

本章主要讨论电路的基本物理量、电路的基本定律以及应用它们来分析及计算各种直流电路的方法、电路的工作状态和电路中电位的计算等。这些问题虽然在直流电路中提出,但也适用于交流电路,它们是分析与计算电路的基础理论。其中有些内容虽然已在物理课程中讲过,但是为了加强理论的系统性和满足电工技术的需要,仍列入本章中,以便使读者(可以通过自学)在温故知新的基础上,对这些内容的理解能进一步巩固和加深,并能充分地应用和扩展这些内容。

本章的基本要求是:

1. 能正确应用电路的基本定律;
2. 理解电压、电流正方向的意义;
3. 了解电路的有载工作、开路与短路状态和额定值的意义;
4. 学会分析与计算电路的几种方法,重点是叠加原理和戴维南定理;
5. 了解指定电路中某点为参考零电位点的意义,并由此能计算电路中各点的电位。

### 1-1. 电路的作用与组成部分

电路是电流的通路,它是为了某种需要由某些电工设备或元件按一定方式组合起来的。

电路的结构形式和所能完成的任务是多种多样的,但电路一般是由电源、负载及中间环节三个基本部分组成的,如图 1-1 所示。最常见的是供电电路,它的作用是实现电能的传输和转换。其中,电源是供应电能的设备,如发电机和电池等,它们把非电能量(如热能、水能、化学能等)转换为电能。负载是取用电能的设备,如电灯、电炉、电动机等,它们分别把电能转换为光能、热能、机械能等。中间环节是联接电源和负载的部分,是用来传输和控制电能的。最简单的中间环节是联接导线和开关,较为复杂的可由多种元件或电气设备组成。

电路的另一种作用是传递和处理信号,例如用热电偶测量炉温,热电偶把温度(信息)转换为热电动势(电信号),而后用毫伏计来测量。其中,热电偶是输出信号的设备,称为信号源,相当于电源,但是它与上述的发电机、电池这种电源不同,信号源输出的电信号(电压和电流)的变化规律是取决于所加的信息的。毫伏计是接受和转换信号的设备,也就是负载。

信号传递和处理的例子是很多的,如收音机和电视机,它们的接收天线(信号源)把载有语音、音乐、图象信息的电磁波接收后转换为相应的电信号,而后通过电路(中间环节)把信号传递

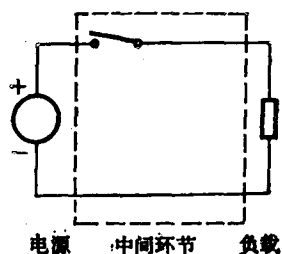


图 1-1 电路的组成部分

和处理(调谐、变频、检波、放大等),送到扬声器和显象管(负载),还原为原始信息。

不论电能的传输和转换,或者信号的传递和处理,都要通过电流、电压和电动势来实现,所以在分析与计算电路之前,首先要讨论一下电路的这几个基本物理量。

## 1-2. 电路的基本物理量

### 一、电流

电流是由电荷(带电粒子)有规则的定向运动而形成的。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量。

设在极短的时间  $dt$  内通过导体横截面  $S$  (图 1-2) 的微小电荷量为  $dq$ , 则电流为

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

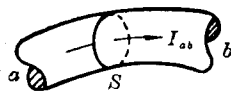


图 1-2 导体中的电流

上式表示电流是随时间而变化的,是时间的函数。

如果电流不随时间而变化,即  $\frac{dq}{dt} = \text{常数}$ ,则这种电流称为恒定电流,简称直流。直流常用大写的字母  $I$  表示,所以式(1-1)可改写为

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

式中  $q$  是在时间  $t$  内通过导体横截面  $S$  的电荷量。

我们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方向(实际方向)。电流的方向是客观存在的。但在分析较为复杂的直流电路时,往往难于事先判断某支路中电流的实际方向;对交流讲,其方向随时间而变,也无法用一个箭标来表示它的实际方向。为此,在分析与计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流的正方向,或称为参考方向。所选的电流的正方向并不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与其正方向一致时,则电流为正值[图 1-3(a)];反之,当电流的实际方向与其正方向相反时,则电流为负值[图 1-3(b)]。因此,在正方向选定之后,电流之值才有正负之分。

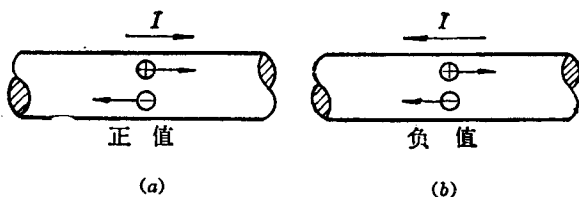


图 1-3 电流的正方向

本书中电路图上所标的电流方向都是正方向。

电流的正方向除用箭标表示外,还可用双下标表示。如图 1-2 中的  $I_{a,b}$  即表示正方向是由  $a$  指向  $b$  的电流。如果正方向选定为由  $b$  指向  $a$ ,则为  $I_{b,a}$ ,两者之间相差一个负号,即

$$I_{ab} = -I_{ba} \quad (1-3)$$

我国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, 电流的单位是安培 (A)。当每秒内通过导体横截面的电荷量为 1C(库仑)时, 则电流为 1A。

## 二、电压与电动势

在图 1-4 中,  $a$  和  $b$  是电源的两个电极,  $a$  带正电,  $b$  带负电, 因此在电极  $a, b$  之间产生电场, 其方向由  $a$  指向  $b$ 。如果用导体(联线和负载)将  $a$  和  $b$  联接起来, 则在此电场作用下, 正电荷就要从电极  $a$  经联接导体流向  $b$  (其实是导体中的自由电子在电场的作用下从  $b$  流向  $a$ , 两者是等效的)。这就是电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力, 引入电压这一物理量。 $a, b$  两点间的电压  $V_{ab}$  在数值上等于电场力把单位正电荷从  $a$  点移到  $b$  点所做的功, 也就是单位正电荷从  $a$  点(高电位)移到  $b$  点(低电位)所失去的电能。

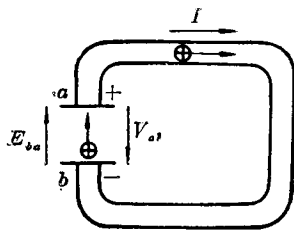


图 1-4 电荷的回路

在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差, 即

$$V_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

式中  $V_a$  为  $a$  点的电位,  $V_b$  为  $b$  点的电位。

为了维持电流不断地在联接导体中流通, 并保持恒定, 则必须使  $a, b$  间的电压  $V_{ab}$  保持恒定, 也就是要使电极  $b$  上所增加的正电荷经过另一路径流向电极  $a$ 。但由于电场力的作用, 电极  $b$  上的正电荷不能逆电场而上, 因此必须要有另一种力能克服电场力而使电极  $b$  上的正电荷流向电极  $a$ 。电源就能产生这种力, 我们称它为电源力。例如在发电机中, 当导体在磁场中运动时, 导体内便出现这种电源力; 在电池中, 电源力存在于电极与电解液的接触处。我们用电动势这个物理量衡量电源力对电荷做功的能力。电源的电动势  $E_{ba}$  在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端  $b$  经电源内部(也是导体)移到高电位端  $a$  所做的功, 也就是单位正电荷从  $b$  点(低电位)移到  $a$  点(高电位)所获得的电能。在电源力的作用下, 电源不断地把其他形式的能量转换为电能。

电压和电动势都是标量, 但在分析电路时, 和电流一样, 我们也说它们具有方向。电压的方向规定为由高电位端指向低电位端, 即为电位降低的方向。电源电动势的方向规定为在电源内部由低电位端指向高电位端, 即为电位升高的方向。

和电流一样, 在电路图上所标的电压和电动势的方向也都是正方向(也用箭标或双下标表示)<sup>①</sup>。它们是正值还是负值, 视选定的正方向而定, 如图 1-5 所示。例如, 电压  $V$  的正方向与实

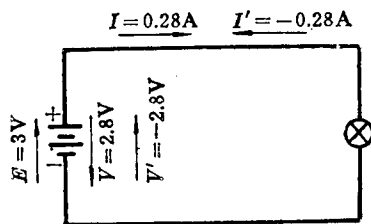


图 1-5 电压和电流的正方向

<sup>①</sup> 有些书上, 电压不用正方向, 而用参考极性“+”、“-”表示, 而在本书中, “+”和“-”表示电压的实际极性。



际方向一致,故  $V$  为正值;而电压  $V'$  的正方向与实际方向相反,故  $V'$  为负值。

在国际单位制中,电压的单位是伏特(V),简称伏。当电场力把 1C 的电荷量从一点移到另一点所做的功为 1J(焦耳)时,则该两点间的电压为 1V。

电动势的单位也是伏特。

### 【练习与思考】

1-2-1. 在图 1-6(a)中,  $V_{ab} = -5\text{V}$ , 试问  $a, b$  两点哪点电位高?

1-2-2. 在图 1-6(b)中,  $V_1 = -6\text{V}, V_2 = 4\text{V}$ , 试问  $V_{ab}$  等于多少伏?

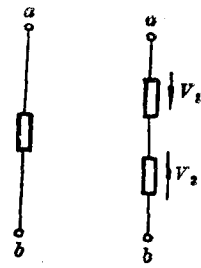


图 1-6 练习与思考 1-2-1 和 1-2-2 的图

## 1-3. 欧姆定律

通常流过电阻的电流与电阻两端的电压成正比,这就是欧姆定律。它是电路的基本定律之一。对图 1-7(a)所示的电路,欧姆定律可用下式表示:

$$\frac{V}{I} = R \quad (1-5)$$

式中的比例常数  $R$  即为该段电路的电阻。

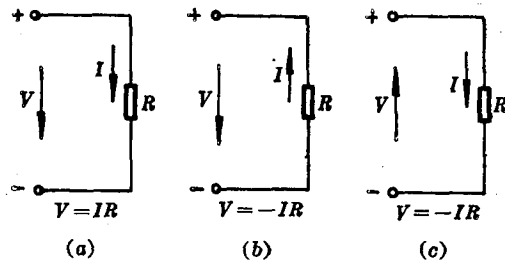


图 1-7 欧姆定律

由式(1-5)可见,当所加电压  $V$  一定时,电阻  $R$  愈大,则电流  $I$  愈小。显然,电阻具有对电流起阻碍作用的物理性质。

在国际单位制中,电阻的单位是欧姆( $\Omega$ )。当电路两端的电压为 1V、通过的电流为 1A 时,则该段电路的电阻为  $1\Omega$ 。

根据在电路图上所选电压和电流的正方向的不同,在欧姆定律的表示式中可带有正号或负号。当电压和电流的正方向一致时[图 1-7(a)],则得出式(1-5),即

$$V = IR \quad (1-6)$$

当两者的正方向选得相反时[图 1-7(b)和图 1-7(c)],则得

$$V = -IR \quad (1-7)$$

这里应注意,一个式子中有两套正负号,上两式中的正负号是根据电压和电流的正方向得出的。此外,电压和电流本身还有正值和负值之分。在图 1-7 中,“+”和“-”表示电压的实际极