

中等专业学校教学用书

电 工 学

DIANGONGXUE

石家庄机械制造工业学校等编

人民教育出版社

序

本书初稿于今年三月間完成,在付印前夕,正当教学改革运动普遍展开、全国技术革新和技术革命运动不断深入之际,原来的电工学内容已远不能适应新形势的要求,为此我們重新对全书作了較大的修改和补充,在編写过程中我們作了以下的一些努力:

一、貫徹党的“教育为无产階級政治服务,教育与生产劳动相結合”的方針,随时注意对学生进行政治思想教育:要求学生树立辯証唯物主义观点,重視理論联系实际;教育学生热爱祖国,热爱人民,热爱劳动,热爱专业,認真地学习苏联先进科学技术,为加速祖国的社会主义建設而頑强学习。

二、在教材內容方面,考虑到当前学生的实际水平,为了避免不必要的重复,对那些已經在物理課程中学到的有关概念,本书仅作扼要的敘述,在此基础上加强了电路和磁路計算方法的介紹;为了适应当前技术革新和技术革命运动的特点,本书在电子学自动控制方面添进了較多的內容,并收集一些設計參考資料,編在附录里。在系統安排方面,由于目前教改运动尚在深入发展,統一的教学大綱尚未出現,故本书暂时仍采用原来的电工学系統。毫無疑問,不久将来,本书将根据最新的教学大綱作必要的修訂。

参加本书的編审工作有田震,赵傳竹,彭浩,徐鴻,詹子岑,陈厚直,王兆征等同志,由于受政治水平和业务能力的限制,而且編写時間仓促,本书的缺点与謬誤之处在所难免,我們恳切希望各校教师和同學們不吝予以指正。对本书的意見請寄往石家庄机械制造工业学校或人民教育出版社高教用书編輯部。

在本书的編写过程中, 石家庄机械制造工业学校电工学师訓班同学提供了宝貴意見, 并协助完成稿件的抄写繪图等工作; 在最近的修訂工作中, 商务印书館上海办事处的同志們給予不少方便, 謹在此表示謝忱。

編 者

1960年7月

目 录

前 言	vii
第一章 绪 论	1

第一篇 电工基础和电气测量

第二章 直流电路	7
2-1. 电路概念	7
2-2. 电路的形式	9
2-3. 基尔霍夫定律, 支路电流法	10
2-4. 回路电流法	13
2-5. 节点电压法	16
2-6. 迭加原理	18
2-7. 电容器	20
2-8. 电容器的充电和放电, 电势能量	21

第三章 电 磁	28
3-1. 磁 场	28
3-2. 线圈中的磁场	29
铁磁体的磁化及反复磁化	31
磁路的欧姆定律与全电流定律	33
磁路计算	34
3-6. 电磁铁	36
3-7. 磁场对通有电流导体的作用	38
3-8. 电磁感应	39
3-9. 涡流	42
3-10. 自感应	44
3-11. 线圈的接通与短接, 磁场能量	45

第四章 单相交流电路	53
4-1. 概 述	53
4-2. 正弦电动势的产生	54

3-3.	相位	59
3-4.	正弦形交流电的图示法	60
3-5.	相位差	61
3-6.	同频率正弦量的加减法	63
3-7.	交流电的有效值	66
3-8.	纯电阻电路	68
3-9.	纯电感电路	71
3-10.	具有电阻与电感的交流电路	75
3-11.	纯电容电路	79
3-12.	电阻、电感与电容的串联电路。电压谐振	82
3-13.	电阻、电感与电容的并联电路。电流谐振及振荡电路	86
3-14.	提高功率因数的意义及方法	90
3-15.	趋肤效应与邻近效应	92
第 四 章	三相交流电路	99
4-1.	概述	99
4-2.	三相交流发电机	99
4-3.	发电机绕组的星形接法	101
4-4.	发电机绕组的三角形接法	103
4-5.	负载的连接方法	104
4-6.	负载的星形连接和中线的作用	105
4-7.	负载的三角形连接	108
4-8.	三相电功率	111
第 五 章	电气测量	116
5-1.	概述	116
5-2.	电工仪表分类及等级	116
5-3.	磁电式仪表。直流电流与直流电压的测量	119
5-4.	电磁式仪表。交流电流与交流电压的测量	121
5-5.	电动式仪表。单相交流功率的测量	122
5-6.	三相交流电功率的测量	123
5-7.	感应式测量机构及电能的测量	125
5-8.	电阻的测量	127
5-9.	绝缘电阻的测量	129
5-10.	万用表	130
5-11.	非电量电测法概念	

第二篇 电机、变压器及其控制

第六章 直流电机	185
6-1. 概述	185
6-2. 直流电机的基本原理	196
6-3. 直流电机的构造和分类	198
6-4. 电枢反应	142
6-5. 并激发电机	144
6-6. 复激发电机	146
6-7. 直流电动机	146
6-8. 并激电动机	149
6-9. 串激电动机	150
6-10. 直流电动机的起动	151
6-11. 直流电动机的调速和反转	152
6-12. 直流电机的损耗和效率	154
6-13. 发电机-电动机系统	155
6-14. 电机放大机	156
第七章 变压器	161
7-1. 概述	161
7-2. 单相变压器的构造	161
7-3. 空载时的变压器	164
7-4. 有负载时的变压器	165
7-5. 三相变压器	167
7-6. 自耦变压器	167
7-7. 仪用变压器	168
7-8. 多绕组变压器	172
第八章 交流电机	174
(一) 感应电动机	174
8-1. 概述	174
8-2. 感应电动机构造	174
8-3. 旋转磁场的产生	177
8-4. 感应电动机的工作原理	181
8-5. 转子的转差率	182
8-6. 定子绕组和转子绕组内的感应电动势	183

8-7. 轉子繞組电流的頻率.....	183
8-8. 轉子电路的阻抗.....	184
8-9. 轉子繞組电流和功率因数.....	184
8-10. 感应电动机的轉矩.....	184
8-11. 感应电动机的机械特性.....	186
8-12. 感应电动机的起动.....	187
8-13. 感应电动机的轉速調节与反轉.....	191
8-14. 单相感应电动机.....	192
(二)同步电机.....	195
8-15. 同步发电机.....	195
8-16. 同步电动机.....	197
8-17. 自动控制用电机.....	198
8-18. 电机的故障与维护.....	205
第九章 电力驱动	208
9-1. 概述.....	208
9-2. 电动机种类的选择.....	208
9-3. 电动机型式的选择.....	209
9-4. 电动机容量的选择.....	211
9-5. 电动机的控制设备.....	213
9-6. 熔断保护器与自动开关.....	219
9-7. 继电器.....	221
9-8. 自动化电路.....	223
9-9. 电气安全.....	232
第三篇 工业电子学	
第十章 整流设备	239
10-1. 电子发射.....	239
10-2. 二极管.....	241
10-3. 整流电路.....	243
10-4. 充气二极管.....	247
10-5. 闸流管.....	248
10-6. 汞弧整流器.....	252
10-7. 引燃管.....	253
10-8. 稳压管.....	255

10-9. 半导体整流器.....	256
第十一章 放大器与振荡器.....	261
11-1. 三极电子管.....	261
11-2. 电子管放大器.....	264
11-3. 直接耦合放大器.....	269
11-4. 阻容耦合放大器.....	270
11-5. 变压器耦合放大器.....	271
11-6. 推挽放大器.....	273
11-7. 放大器的反馈.....	275
11-8. 四极电子管与五极电子管.....	277
11-9. 晶体三极管.....	280
11-10. 电子管振荡器.....	281
第十二章 电子仪器及自动控制.....	289
12-1. 电子稳压器.....	290
12-2. 电子射线示波器.....	290
12-3. 电子式时间继电器.....	294
12-4. 光电管及光电继电器.....	295
12-5. 电动机的离子控制.....	296
12-6. 磁放大器及其应用.....	297

第四篇 电能的生产、输送和分配

第十三章 电能的生产、输送和分配	299
13-1. 概述.....	299
13-2. 发电站概述.....	300
13-3. 电能的输送和分配.....	303
13-4. 车间供电线路.....	306
附录.....	309
附录一 小型变压器的设计.....	309
附录二 交流电磁铁的 design.....	312
附录三 各种国产直流电机的型号.....	314
附录四 国产三相感应电动机.....	315
附录五 电子管、离子管及半导体的命名法.....	318
附录六 电子管离子管使用法.....	320
附录七 应用色点或色环的电阻及电容器的认识法.....	32

緒 論

一、电的应用、特点及对社会主义建設的作用

在这偉大的原子能时代里，电能已广泛应用到一切技术部門和人类生活各方面。电是大規模机器生产的基础之一，它是近代化工业、农业及交通运输业的主要动力来源。各种机床、軋鋼机、起重机、拖拉机、联合收割机、电气火車等都使用电动机来拖动。各种金属和各种合金的冶炼、电焊、电热、电火花加工等都普遍使用电能。要建立現代化的工业基地，必須首先解决电能供給問題。在通訊、自动控制及先进科学技术方面也广泛应用电能。由此可知，电是实现工业、农业与国防現代化所不可缺少的食粮，是建設社会主义的先行官之一。

电能所以成为动力的主要来源，并且应用如此广泛，是因为电能具有其独特的优点：

(1) 轉变簡便。电能可以簡便地从水能、热能、原子能等轉变而来，使其成为廉价的动力来源。同时又可以很簡便地轉变为其他形态的能量，例如：利用电动机轉变为机械能，利用电热器轉变为热能，利用电镀、电解轉变为化学能等等。

(2) 輸送分配方便。高压远距离輸电損失低微，效率高，所以国家可以充分合理利用所有动力資源。不仅輸送方便，而且分配也很方便，电能很容易分配到一台电动机和一盞电灯上。

(3) 控制与測量便利。这是生产自动化中不可缺少的条件，許多生产过程中的操作都可用电来控制，只要按动电鈕，一切操作都可自动地进行。用电来測量电量和非电量也比其他方法迅速而准确。

(4) 电可以由电磁波形式在空中傳播。

由于电具有上述优越性,便使我们有可能广泛地大规模利用各种自然资源把动力生产集中起来,以减少损耗和节约劳动力,使我们有可能实现电气化和自动化。

电气化不但革新了国民经济所有各技术部门——工业和农业,提高了劳动生产率。同时也改善了劳动条件 and 生产状况。在高度电气化的基础上,不仅要求工人及农民具有熟练的技能,而且还要求他们具备一定的文化科学知识。因此,电气化和自动化乃是消除脑力劳动和体力劳动差异的物质基础。此外,电气化对促进我国文化事业的发展也起着重大的作用。电影、电话、无线电、电视等是对广大群众进行政治、文化教育的重要武器。我国农村人民公社的出现,为农村实现电气化开辟了广阔的前途,其结果将使城市同乡村的差异逐渐消除。而消灭体力劳动和脑力劳动之间的差别以及城乡之间的差别则是共产主义建设的基本问题。由此可以体会到列宁的“共产主义等于苏维埃政权加上全国电气化”的科学名言的深远意义。

二、我国电气事业发展情况和发展远景

我们祖先给我们留下了极其丰富的文化科学遗产。战国末年(公元前300年左右)就已经发现了磁石及其吸铁性质。东汉初年(公元50年左右)已制出名叫司南的指南北的工具如图0-1所示。那时(公元100年)王充在“论衡”中就记载有磁石吸针及琥珀摩擦生电的现象。宋朝张邦基在“墨庄漫录”中有“孔雀毛著龙脑则相吸”的记载,龙脑是一种热带的乔木,孔雀

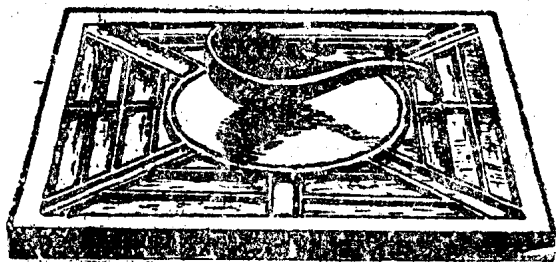


图0-1. 司南。

毛拂着这种木头则附着在上面。这显然是静电现象。全世界关于航海使用罗盘的最古记录见于宋朝朱彧的“萍洲可谈”(公元

1119年)中,那时我国劳动人民已普遍掌握了罗盘針的科学知識。这些事实充分說明了我国在电磁方面的发现与应用比世界上任何国家都早得多。

但是由于长期的封建統治,尤其是近百年来,我国人民又受到帝国主义、封建主义和官僚資本主义的三重压迫,致使工农业处在极端落后的境地,过去的成就得不到进一步的发展和提高,于是科学技术水平远远落在先进国家之后了。今天人民掌握了政权,勤劳智慧的中国人民,在中国共产党的领导下,一定能实现毛主席提出的“在不太长的時間內,赶上并超过世界先进的科学文化水平”的偉大号召。

解放前我国电力工业和其他工业一样,基础非常薄弱。

解放后,在党和政府的英明领导下,电力工业从1949年发电量为44.2亿度增加到1959年的415亿度。图0-2的数字表明十年来我国发电量的增长速度是多么迅速。尤其在1958年及1959年的大跃进时代里,逐年的增长率竟达42.5—50%以上。1960年计划发电量为555至580

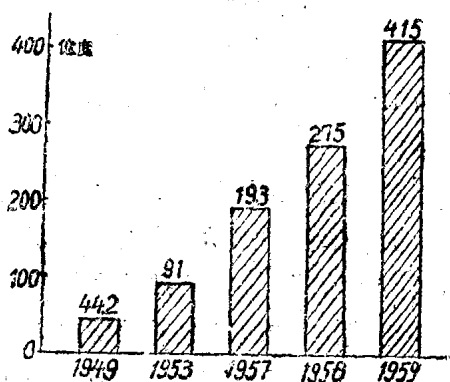


图0-2. 十年来发电量的增长。

亿度,这无疑仍然是繼續跃进的指标。此外,在发电设备及輸电网建設方面也相应地剧增,全国已有多个11万伏以上的电力系统。

值得特别提出的是,十年来除了建立了一些最新式大型热电站外,水电站的建設更是星罗棋布。若干大、中型水电站正在大力兴建,而小型水电站则已遍及全国各地。

我国煤炭蘊藏量亦极为丰富,这将使我国的火力发电事业有着无限广阔的发展前途。

解放后仅仅十年，新中国的电机工业已根本上改变了解放前的落后局面。当时汽輪发电机及水輪发电机从未生产过，电动机容量最大不超过 300 馬力。而目前，我国电机制造工业已形成一个能独立設計并大量生产成套設備的完整体系了。1959 年已制成了大型汽輪发电机组、水輪发电机组、变压器及若干高級的微型电机等。为了适应我国大規模的工农业建設及大型电站的建立，我国电机工人和技术人員正在进一步向“高精尖大”的目标迈进。这些成就充分証明，我国电机工业在总路綫的光輝照耀下，已經迅速掌握了复杂的技术，走向世界先进水平行列。

工业方面的尖兵——工业电子学，在我国更是从无到有。随着工业电子学的日益发展，促进了工业上的自动化。現在我們已經有了一些自动化程度很高的工厂，是資本主义国家同类工厂所望尘莫及的。随着工业电子管的应用，还制造出众多的自动化机床，而且发展了新技术。

三、苏联的电工技术及电气化概况

俄国学者，在十九世紀中对电磁学的理論以及对电工技术的发明有着偉大的贡献。我們熟悉的科学家如俄国科学院士 9. X. 楞次于 1833 年确定了感应电动势的楞次定律，他还研究了电流的热效应。

天才的发明家 M. O. 多里沃-多勃罗沃利斯基在 1891 年发明了三相感应电动机、三相发电机和三相变压器，并解决了三相电能的輸送問題。

A. C. 波波夫在 1895 年发明了无綫电，为近代电子学的发展开辟了道路。但在革命前的俄国，电气事业的发展还是相当落后的，尤其是受到战争的破坏；1913 年全年发电量仅約 20 亿度，到 1920 年竟减至 4—5 亿度。就在 1920 年的时候，根据列宁指示成立的全苏电气化委员会，制定了苏联电气化計劃。經過苏联劳动人民 30 年的努力，到 1951 年电能生产量上升了 200 倍，达到 1,040 亿度，超过了英法电能

生产量的总和。最近八年电能的年产量又增加了一倍多,到1958年止达2,330亿度,发电设备安装为5,300万千瓦。1959—1965年发展苏联国民经济计划中,规定到1965年发电量为5,000至5,200亿度,比1958年增加1.1至1.2倍。

从科学技术水平来看,苏联人民在苏联共产党的领导下,经过40多年的艰苦努力,已跃居世界首位,随着人造卫星、宇宙火箭和宇宙飞船的飞上天空,进一步形成“东风压倒西风”的局面,在电工技术方面,同样取得了极其辉煌的成就,举世闻名的列宁—伏尔加河水电站是现代世界上最大的水电站。从斯大林格勒水电站到莫斯科的输电綫全长1,000公里,电压40万伏,是世界上电压最高、距离最远的输电綫,现在正建設着更大的水电站,如布拉茨克水电站等。1954年6月苏联建立第一座5,000千瓦的原子能发电站,开辟了一个新的历史时代。最近又准备建造一些功率达到40—60万千瓦的原子能发电站。电气事业的飞跃发展,标志着国民经济的繁荣昌盛,充分显示了社会主义制度的无比优越性。为了把我国的电气事业在最短时期内赶上世界先进水平,我們必須認真地向苏联学习。

四、学习电工学的目的和本书的主要内容

学习电工学的目的是要求学生在具有电工学的理論知識的基础上了解生产中常用的电机、电器、电子离子仪器和自动化元件的一般結構及原理。并掌握其使用和选择的方法。从而能在以机械化、半机械化、自动化、半自动化为中心的技术革新和技术革命运动中發揮应有的作用。

本书的主要内容可分为以下四部分:

(1) 电工基础和电气測量:这部分内容侧重于介紹交直流电路和磁路的基本概念及計算方法,主要測量儀器的結構及測量方法。为了避免不必要的重复,那些已在物理課程中学到的有关概念,在这里只作扼要的复习。

(2) 电机、变压器及其控制：叙述一般电机、变压器及控制用电机的结构、工作原理、特性及使用方法；同时对电机的选择、控制设备及其控制线路也作了必要的介绍。

(3) 工业电子学：这部分系统地分析了整流器、放大器、振荡器等电子离子电路；同时还介绍电子学在近代科学和工业上的新成就，以及电子学自动控制方面的知识。

(4) 电能的产生、输送和分配：简单介绍了各种发电站的概况，并列举了目前新的供电方式及导线选择的方法。

五、学习电工学的方法

学习电工学与学习其他课程一样，需要有端正的学习态度和顽强的学习意志，同时要学会善于掌握电工学的特点，进行刻苦钻研，只有在这基础上才能学好这门课程。电工学是一门理论性和系统性较强而且和生产实际密切联系的课程，故在学习中应注意以下两点：

(1) 每当学到一种新概念时，要抓住问题的关键，深入思考分析，在搞清物理概念的基础上进行数学的推导和计算，切忌死记硬背。

(2) 电工学是一门紧密联系实际课程，所以在生产实践过程中，要学会运用辩证唯物主义观点来观察分析出现的电磁现象，运用已学到的概念来解释这些现象的物理过程，通过联系、对比、总结等方法来发现各种现象的内在联系，而不能把一个现象和其他现象隔离开来孤立地研究。只有这样才能全面地深刻地掌握电工知识。因此要求同学们在重视理论学习的同时，要认真作好实验工作，做到有预习，有总结；实验时要精力集中，细心大胆，务期通过实验以达到巩固知识，熟练操作的目的。还应在可能范围内，进行科学研究工作，将所学知识密切联系实际。

第一篇 电工基础和电气测量

第一章 直流电路

1-1. 电路概念

电路是由电源、负载(用电器)和联接导线所组成(图 1-1), 电源称为内电路, 导线和负载称为外电路。

在电路中电源是把非电形态的能量变成电能的基本元件, 例如日常使用的干电池、蓄电池把化学能变成电能, 水电站、火电站的发电机将机械能变成电能,



图 1-1. 简单电路。

这是目前电能的主要来源。在电源内部由于外力作用的结果产生电动势, 它是电路中产生电流的主要根据。按照一般的规定, 电流在外电路流动方向是从电源正极到负极, 与电子移动方向相反; 在内电路是从负极到正极, 与电源电动势方向相同。

负载则是将电能变为其他形态的能量的电路元件, 通过负载可把电能利用到生产和生活中去。负载的种类很多, 一般有电热、电照及转换机械能的电力负载等。负载的大小由其所消耗功率多少而定。

联接导线是由电阻很小的金属导体制成, 以减少线路上的电压降落, 导体外层包有绝缘(棉纱、橡皮、漆等)。电路中还装有控制设备用以控制电路的开断和接通。

当电路接通时, 电路内产生电流, 其大小可按全电路欧姆定律计算:

$$I = \frac{E}{r_0 + r}, \quad (1-1)$$

式中 r_0 为电源内电阻, r 为负载电阻。

(1-1)式可改写为:

$$\begin{aligned} E &= Ir + Ir_0 \\ &= U + Ir_0, \end{aligned} \quad (1-2)$$

式中 Ir_0 为电源内部电压降落; $U = Ir$ 为负载电压降落(通路时电源端电压)。

(1-2)式为电路的电压平衡方程式,从式中可以看出,当电流愈大时,电源端电压愈低;当电路开断时,电流为零,则电源电动势等于其端电压:

$$E = U_0. \quad (1-3)$$

根据能量守恒定律,电源产生的功率必等于负载消耗功率、线路损耗功率以及电源内部损耗功率的和,即:

$$EI = UI + I^2 r_0 + \Delta UI, \quad (1-4)$$

式中 EI —电源产生的电功率;

UI —负载消耗的功率;

$I^2 r_0$ —电源内部损耗功率;

ΔUI —线路损耗功率($\Delta U = I^2 r_{\text{线路}}$ ——电路上电压降落)。

在计算时 ΔUI 往往与 UI 一起考虑。并由上式看出,电路中电流愈大,负载消耗的功率愈大,电源产生的功率亦愈大。

如果导线的绝缘损坏,或其他原因使两导线相互接触,则电路的电阻变得很小,即发生短路,如图 1-2 所示:这时电流可能达到很大数值从而产生很大的热量。根据楞次-焦耳定律:

$$Q = 0.24 I^2 r t. \quad (1-5)$$

可见电源及线路上的设备可能因产生热量过大而烧坏。为了防止这一危险,常在线路中装置一定容量的熔断保护器(保险丝)或其他保护装置。

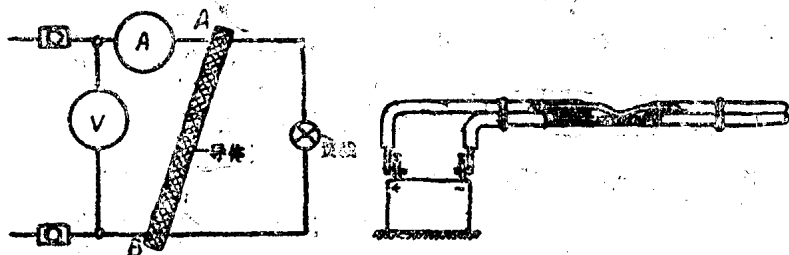


图 1-2. 线路的短路。

1-2. 电路的形式

由于电源和负载的数目及其联接方式的不同,电路的形式有很多,一般可分为简单电路和复杂电路。物理中学过的负载串并联电路都是属于简单电路,简单电路可用负载串并联法则及根据欧姆定律解出其电流和功率。

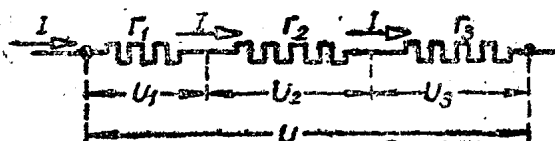


图 1-3. 串联负载电路。

图 1-3 为串联负载电路,在串联电路中,各负载通过同一电流,而总电阻为各分电阻之和。

图 1-4 为并联负载电路,在并联电路中各负载具有同一电压,其总电阻的倒数为各分电阻倒数之和。电路中联接三个或更多导线的点称为节点,如图中 A 、 B 两点即是,两节点间的一电路称为支路。

若一电路内有多电源同时作用着,因而不能用一般串并联方法和欧姆定律进行计算。

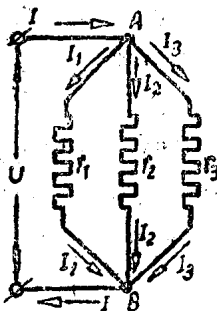


图 1-4. 并联负载电路。