

中等专业学校教学用书

电 工 学

上 册

南京无线电工业学校编



国防工业出版社

中等专业学校教学用书

电 工 学

上 册

南京无线电工业学校编



国防工业出版社

1959

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第 074 号
冶金工业出版社印刷厂印刷 新华书店发行

*

787×1092 $\frac{1}{25}$ 印张 12 $\frac{12}{25}$ 274 千字

1959 年 8 月第一版

1959 年 8 月第一次印刷

印数: 0,001—17,500 册 定价: (10) 1.50 元

NO. 2972

前 言

本教材是供无线电工业学校电工学课程用的,按照教学大纲要求,其内容包括: 1. 电工理论基础,讲课 153 小时; 2. 电工测量,讲课 35 小时; 3. 电机,讲课 50 小时。编写内容比上述内容约多 10~20%, 讲课时可作适当删减。在编写过程中,主要参考了苏联各种电工学书籍及国内有关电工学书籍,并得到了领导大力支持,和在我們亲密的师友苏联专家 P. B. 阿拉那江 同志的鼓舞和具体指示下进行的。编写教材是一个新的工作,结合无线电各种专业的特点而增加内容,还是初步尝试,加之我們水平有限,缺乏经验,因此在内容上存在缺点是难免的,我們希望教师、同学们和读者,在使用本教材时,发现缺点及时提出,以便再版时加以修正和补充。

南京无线电工业学校

1959年4月

目 录

前言	3
序言	8
第一章 电 场	15
1-1 物質构造	15
1-2 导体和电介質	16
1-3 电 場	18
1-4 点电荷的电場	19
1-5 电位、电压	23
1-6 电压和电場强度的关系	27
1-7 等位面	28
1-8 靜电感应电場中的导体和电介質	29
1-9 电介質的击穿电場强度	32
第二章 电容、电場能量	34
2-1 电場强度向量的通量、奥斯特罗格拉茨基-高斯定理	34
2-2 电容	38
2-3 平板电容器	39
2-4 多片电容器	41
2-5 圆柱形电容器	44
2-6 两导线間电容的决定	45
2-7 电容器的并联、串联和混联	47
2-8 电容器的充电和放电	50
2-9 电場能量	53
第三章 直流电路	55
3-1 电 流	55
3-2 金属导电的电子理論	56
3-3 电 势	57
3-4 欧姆定律	58
3-5 电阻和电导	61
3-6 电阻和溫度的关系	64

3-7 变阻器	65
3-8 欧姆定律的微分和积分形式	68
3-9 功率和能量	69
3-10 电能转变为热能——楞次-焦耳定律	73
3-11 熔断保险器	77
3-12 电热器	79
3-13 热敏式电流表	81
3-14 电位升降	81
3-15 电位图	83
3-16 克希荷夫定律	86
3-17 电阻的串联、并联和混联	88
3-18 导线上的电压降落	98
3-19 电源的串联、并联和混联	101
3-20 分支电流法	106
3-21 回路电流法	110
3-22 结点电压法	113
3-23 重叠原理	115
3-24 等效发电机定理	116
3-25 变换法	120
3-26 非直线性电路	124
第四章 液体、气体及真空中电流的流通	125
4-1 电解液的导电	125
4-2 电解、电解定律	127
4-3 电解在工业上的应用	128
4-4 原电池	129
4-5 蓄电池	133
4-6 气体及真空中的电流	139
4-7 热电动势	143
第五章 磁场	145
5-1 磁场	145
5-2 磁感应强度	148
5-3 磁通	152
5-4 比奥-沙瓦-拉普拉斯定律	153
5-5 导磁系数	155

5-6	磁場强度	156
5-7	全电流定律	157
5-8	帶有电流的直綫导体的磁場	159
5-9	二平行載流导体的相互作用	162
5-10	环形綫圈的磁場	163
5-11	在直綫导体中的感应电势的产生	165
5-12	机械能电能的相互轉換	167
5-13	回路中的感应电势	169
5-14	渦流	173
5-15	自感	175
5-16	互感	176
5-17	磁場中的磁性物質	180
5-18	铁磁性材料的磁化	184
5-19	磁路定律	189
5-20	磁場能量	195
5-21	电磁鉄	197
5-22	电鈴	199
5-23	电话	200
5-24	揚声器	200
第六章	交流的基本概念和定义	202
6-1	各种电流的概念	202
6-2	交变电流的周期和頻率	203
6-3	正弦电势的产生	205
6-4	交流的頻率与发电机的轉速、磁極对数的关系	206
6-5	相位与相位差	207
6-6	正弦量的圖示法	209
6-7	正弦量的加减法	212
6-8	交变量的平均值	215
6-9	交变量的有效值	216
第七章	交流电路	219
7-1	总論	219
7-2	具有电阻的电路	219
7-3	具有电感的电路	222
7-4	具有电阻和电感的电路	224

7-5 有效电阻及趋表效应	229
7-6 具有电容的电路	230
7-7 具有电阻和电容的电路	233
7-8 具有电阻、电感和电容的串联电路	235
7-9 振荡电路	239
7-10 电压谐振	240
7-11 具有电阻和电抗的并联电路	242
7-12 电流谐振	246
7-13 三个或三个以上阻抗串联、并联和混联的交流电路	250
7-14 功率因数和它的提高	258
第八章 符号法	262
8-1 符号法的基本概念	262
8-2 复数的加法、减法、乘法和除法	264
8-3 电流、电压的复数表示法	265
8-4 欧姆定律的复数形式及复数阻抗、复数导纳	266
8-5 用复数计算串、并、混联交流电路	269
8-6 克希荷夫定律的复数形式	271
8-7 功率的复数计算	273
第九章 非正弦电流	274
9-1 非正弦电流的产生	274
9-2 非正弦曲线的表示方法	274
9-3 周期曲线的种类	276
9-4 电路中的非正弦电流和电压	279

序 言

电工学是研究电磁现象及其应用的科学。

在现在已知的各种能量形态中，电能占有特殊重要的地位。任何形式的能（机械能、热能、光能、化学能、原子能）很容易转变为电能，同样地，电能也很容易转变为其他形式的能（机械能、热能、化学能等）。能量转换的过程只有很少的损失。电能能够传送到遥远的地方去，分配给各种不同的用电设备，而且可以较方便地被控制、测量和调整，便于管理；另外尤其值得提出的，电能可以电磁波的形式在空中传播，能在极短时间内把信号传到遥远的地方，使远距离的无线电通信得以实现。所以在现代的工业、农业、运输业、通信、国防以及日常生活中极为广泛地应用电能。

要实现社会主义工业化，提高人民物质和文化生活水平，必须提高电工技术水平，实行电气化。利用电能来控制和管理生产，一方面可提高劳动生产率，另一方面也使生产自动化；因而可逐渐地缩小体力劳动和脑力劳动的差别，以及逐渐地缩小城市和乡村间的差别，这是由社会主义进入共产主义建设的基本问题。由此可以体验到具有历史性的列宁名言『共产主义就是苏维埃政权加全国电气化』的深刻意义。

中国电气工业和其他工业一样，基础是非常薄弱的，旧中国遗留下来的发电设备，数量很少，并且布置杂乱，管理腐败，在电机制造业上也只有装配性质的旧工厂。在抗日战争与解放战争期间，由于日本军阀和国民党反动派的摧残，仅有的一点设备，遭受了不少的破坏。解放前夕全国发电容量约185万千瓦，每年发电能量为43亿度。解放后工人阶级掌握了政权，在共产党和人民政府领导下，经过三年的经济恢复时期，到1953年每年发电能量达91亿度，为1949年的两倍多。1957年全年发电能量已达193亿度，1958年拟定全国发电能量为224.5亿度，现已超额完成275亿度，比57年增长42%，这种速度是史无前例的。

在第一个五年計劃中新建限額以上的發電站有 92 个，其設計發電容量为 376 万瓩，加上限額以下的發電站，全部設計發電容量为 406 万瓩。第一个五年計劃期間全部建成的發電容量为 205 万瓩。在 92 个限額以上的發電站中火力發電站 76 个（其中包括热电站 19 个），水力發電站 16 个，这些發電站都是用現代最先进技术 and 高度机械自动化标准設計的，这些發電站的建成，保証供应不断高漲的国民經济以充足的电能。

在第二个五年計劃期間，在各級党委統一领导下，貫徹了多快好省的原則，掀起了全民办电的群众性高潮，用“大洋群”和“小土群”两条腿走路的方法，發揮了群众高度智慧和冲天干劲，仅在 1958 年一年內，新增的發電設備已达 200 万瓩以上，相当于第一个五年計劃期間新增發電容量的 80%，比 1949 年旧中国遺留下来的全部發電能力还多 10%。

在全国农村中于 1958 年又建成数以万計的水电站和少数火电站，同时又在各地試办了沼气、潮力、風力等电站。在目前又将掀起了一个“五县二十公社”农村初步电气化高潮，爭取在二、三年內或更短時間中实现全国农村初步电气化，每一农户有 100~150 瓦电力，每人每年平均 50~80 度电，全国發展 1500~1800 万瓩的电力，以便逐步地把我国农业生产轉到現代化大生产的技术水平上去。

全国在 1959 年初，有 170 多个大中型水力發電站和火力發電站正在緊張施工，它們的設計能力共有 2600 多万瓩，相当于我国目前所有發電設備的 4 倍。

我国不但煤矿丰富，尤其是水力資源位于世界前列（按河流平均流量算約为 5 亿 4 千万瓩）。因此确定“水电为主，火电为輔”的电力建設方針。在第二个五年計劃期內，全黃河的干流上設計装机 941 万瓩（包括三門峽及刘家峽两个电站），其中有 596 万瓩将投入运轉，給华北及西北工业用电創造了条件。

举世无双的長江三峽水电站，在最近打破常規提出各种办法，使施工期縮短到五年左右（原估計十年），計劃总装机容量为 2200 万瓩，每年發電量将达 1270 亿度（目前美国最大的水电站仅有 197.4 万瓩），

用世界上最大的30万瓩水輪發电机也觉太小，要求制造50~60万瓩甚至100万瓩的机組；并計劃采用60万伏的超高压輸送电能到1000公里以外的华中华北用电地区，到那时全国統一完整的电力網即将实现，为实现共产主义社会打下物質基础。

解放后我国的电机制造工业也有了新的發展，如新建的哈尔滨电机厂和仪表厂都是在苏联專家的帮助下，根据最先进的技术水平設計的。我国的工程师在1957年开始試制72,500瓩的水輪發电机組，在1958年沈阳变压器厂已制成第一台60,000千伏安110千伏的巨型电力变压器。在第二个五年計劃中将制造20~30万瓩的汽輪發电机組。

我国在无綫电工业上也有許多重要的改进、創造和發明，北京电子管厂、华北无綫电器材厂、北京有綫电厂等均已建成。品質优良的收音机已运銷国外，并已制造出120瓩的短波發射机在北京正式播音。預計在1959年有1000瓩的广播發射机在北京建成。

在第一个五年計劃中苏联帮助我国的211項企业其中有些是关于电工技术和无綫电技术工业的企业，在广播事业中以發射电力計算，到1957年全国总發射电力将达2650.2瓩；这些无綫电設備，适当地配备于主要城市、农村和边远地区。在58年已完成电子計算机、电视發射机和接收机的制造工作，現正向彩色电视和自动控制方向發展。

无綫电工业在全国范围内将建立成完整的工业体系，正确处理尖端生产，向超小型方向迈进；以无綫电国防工业儲备的力量来从事民用生产；充分發揮老基地的作用；开辟新基地，以西南、西北、华东、华北为主，东北、华中、华南在第二个五年計劃期間打下初步基础。

俄国在沙皇統治时期是一个农业国，十月革命胜利后，列宁認為恢复以及重建經濟的基本条件是电气化，亲自制定了全国电气化計劃，在10~15年内建設30个新的發电站，發电容量約150万瓩，較十月革命前的电力高出10倍。在战后五年計劃中（1946~1950年），建立了水力發电站，到1951年全国發电量已超过英国和法国电能产量的总和（1040亿度）；到1955年第五个五年計劃完成时其發电能量为1,700亿度，为1931年产量（19亿度）的89倍多。苏联發电容量平均每年增加23%，而在較大的資本主义国家中，在不發生危机的年

代里，每年平均只增加2%至3%左右。

在苏联共产党关于發展国民經济的第六个五年計劃的指示中規定：在第六个五年計劃完成时每年生产电能2300亿度，为1955年电力生产量的1.88倍。在七年計劃中是实现列宁关于苏联全盘电气化思想的決定阶段，1965年将增加5000~5200亿度，比58年增加1~1.2倍。

世界最大的發電容量为256万3000瓩的斯大林格勒水电站已于1958年部分投入生产，230万瓩的列宁伏尔加水电站（旧名古比雪夫發電站）已全部投入生产。同时在苏联东部地区将建立更大的水电站，其中安加拉河上的布拉茨克水电站和叶尼塞河上的克拉斯諾雅斯克水电站，它們的發電能力預計各为320万瓩。将来在叶尼塞河上将建立更大容量（500万瓩）的大水电站，并开始建設苏联統一电力系统。

1954年7月26日苏联的世界第一个原子能發電站的开始發電，为人类历史开辟了原子动力的新紀元。在第六个五年計劃里将广泛地建設和利用原子能發電站，規定原子能發電站总發電能量将达200万到250万瓩。

苏联在无綫电工业方面已掌握有高度技术水平，并自半导体的仪器發展后，半导体仪器已在現有的許多电路中用来代替电子管构成一些新的电路，为无綫电工业开辟了广闊的远景。

苏联科学已取得如此輝煌的成就，这些成就无可辯駁地証明了苏联的科学已經居于世界第一流。苏联科学的飞跃进步也显示了社会主义制度的无比优越性，因此必須努力學習苏联科学技术，挖掘潜力，大搞技术革命，来完成我国社会主义工业化。

我們祖先給我們留下了丰富的文化科学遺產。有着光輝无比的科学創造。在战国末年（公元前300年左右），我們的祖先已發現了磁石和它的吸鉄性；在东汉初年（公元50年左右）应用磁石来作指南北的工具，它的古名叫司南，在朝鮮洛浪地方的汉墓中，找到了司南实物，現放在苏联东方博物館展覽，这是世界上最早的一个指南針；我国也是世界上航海使用罗盘最早的国家，在宋朝的書中曾有記錄。东汉初年的書中記載了摩擦生电吸引輕物的現象，証明了我們的祖先很

早就注意到了靜电現象。

今日的电工技术，正是由于数百年来科学家的工作而达到的。俄国的科学家、工程师和技师們在电工这一門科学和技术領域中有着偉大的貢獻和成就。

俄国科学家M. B. 罗蒙諾索夫是众所公認的第一个电工学者，他第一次研究了大气中电的現象，1753年11月26日在科学院作了“关于由电气底力量所造成的天空現象”的报告，并在他的著作中指出应用避雷針防止人和房屋被閃电击毁的可能性，同时他曾預言“电气对于人类幸福有偉大的希望”，而这个預言在現在已被实现了。

1802年俄罗斯科学院院士B. B. 彼得洛夫首先發現电弧現象，并研究了金屬和液体的电流效应以及在真空中的放电現象。

1838年俄国科学院院士Э. X. 楞次在1833年确定了感应电 流 方向的楞次定律，同时他也研究了电流的热效应。

1838年科学院院士雅可比制造了第一个用原电池供电的电动机，并且他在1840年首創了电鍍法。

1871年莫斯科大学教授A. Г. 斯托列托夫研究了鉄的磁化过程对电器和电机的制造方面奠定了基础，同时他又制出了第一个光电管。

俄罗斯电气工程师П. Н. 耶布罗契果夫对电工技术的进一步發展有着重大的功績，他是电照（1876年）和交流發电机变压器的發明者。

俄国A. H. 罗迪琴第一次在1878年創造了白熾电灯，并且加以实际应用。

1882年俄国的Л. Л. 希陵首先实现了电磁远程通訊——电报。以后又由雅可比加以改进。

1891年M. O. 多里奧-多布罗沃利斯基發明了三相感应电动机、三相發电机及三相变压器，解决了用三相电 流 輸送的一些基本問題。

1895年俄国發明家A. C. 波波夫發明了具有世界意义的无线电放射，他所实现的无线电通訊为近代电子学的开端。

1895年П. Н. 列貝捷夫試驗超短波的發生和傳播工作成功，他并在1900~1910年間用实验証明光的压力。

苏联的科学家、工程师和技术人员很成功地探讨着理论和实用电工学中最新问题，也瓦维诺夫（关于电照的新的源泉）、尼斯廷（关于电焊接）、孙菲尔（关于电机）、曼捷塔姆和巴巴列西克（关于无线电技术）、车尔尼谢夫（关于高频技术）、米特凯维奇（关于理论电工学）、库列巴庚（关于电机的自动控制）等完成了新的研究工作。

学习电工学的目的在于：掌握电工学的物理基础方面的基本概括知识，为无线电专业课程的学习做好电工学方面的理论准备，并培养解决实际电工技术问题的基本技能。

电工学可分为两个主要部分：（1）电工学的物理基础；（2）电机及电工仪器。在第一部分中叙述电场、磁场、电路及电磁理论的基本问题；在第二部分中，叙述电机及电工仪器工作原理及工作特性。

电工学是一门很有趣的科学，然而研究电工学需要顽强的意志和毅力，在学习过程中要经常联系到物理、化学、数学等课程的内容。在「电工学的物理基础」部分，内容比较抽象，要树立比较多的概念，导出大部分定律和公式；「电机及电工仪器」部分，内容比较具体，没有什么新的理论，只是把前部分的定律定则加以应用。同学们必须透彻地理解电工基本理论，熟练地掌握有关电工问题的计算方法，初步掌握电机及电工仪器的原理和运用，并且通过实验和生产劳动来培养细致、认真、注意安全和爱护公共财产的优秀品质。

第一章 電 場

1-1 物質構造

自然界中的任何物質，都是由不同的分子所構成。分子還可用化學或物理的方法分成更小的微粒叫原子。原子是由電子和原子核組成的。原子核又是由中子和質子組成（除氫原子外）的。中子不帶電荷，質子帶有正電荷，電子帶有負電荷，電子圍繞着原子核按一定軌道運動着。正象行星繞着太陽運動一樣。

根據實驗知道，組成任何元素原子的原子核和電子都具有一定的質量和電荷量，所以叫做帶電質點。

在已被發現的 90 多種元素中，質量最小而結構最簡單的氫原子，只有一個電子圍繞着原子核運動。它的質量是電子質量的 1848 倍，電子的質量是 9.10660×10^{-28} 克，電荷量是 1.59×10^{-19} 庫倫。其他元素的原子，都具有較多的電子，依不同的軌道圍繞着原子核運動，而原子核中有與電子數相等的質子和許多中子所組成。例如，銅原子是由 29 個電子組成，這些電子排列成四層（電子層）繞着原子核運動，原子核內的中子和質子的質量近似地相等。

在化學上講過，一切物質的分子結構可分為離子鍵、共價鍵和金屬鍵三種。

離子鍵（電價鍵）——在兩個原子接近時，A 原子放出它的外層電子，填滿 B 原子的電子外層，使 A 原子成為帶有正電荷的離子，而 B 原子成為帶有負電荷的離子。離子鍵的分子的典型例子是氯化鈉（ NaCl ），鈉原子外層的一個電子放出來，加入氯原子最外電子層中去（圖 1-1），於是這個分子是由鈉的正離子和氯的負離子所組成，這種分子叫做電價聯繫的分子。

共價鍵——某些單純物質的分子或兩種不同元素的原子所構成的化合物，原子外層的電子一方面繞着原來運動的軌道，同時又在相鄰

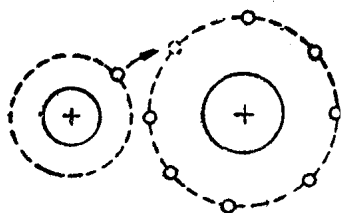


圖1-1 氯化鈉分子結構。

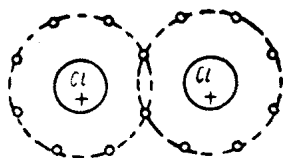


圖1-2 氯氣分子結構。

的一定的原子的电子軌道上运动，这种分子叫做共价联系的分子。例如，气体中的氯气 (Cl_2 ，圖 1-2)、氧气 (O_2) 和氢气 (H_2) 等，液体中的水 (H_2O) 以及油类等，固体中的橡皮、云母以及許多有机化合物等。

金屬鍵——金屬物質是由晶体組成，在金屬原子中的外層电子容易脫离本身原子在金屬中自由移动，沒有脫离原子核的电子和原子核，在金屬內整齐地以一定的規律排列成一定的形式組成該金屬的骨架(又叫晶格)，不同的金屬有不同的骨架，例如，圖 1-3 所示是金屬銅的面心立方骨架。銅物質就是这些骨架堆积而成，原子外層的电子就在这些骨架中自由移动着。

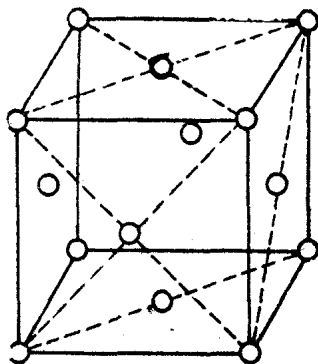


圖1-3 銅的晶体。

1-2 导体和电介質

根据电的性質，所有物体可分为两类：导体和电介質（介質、絕緣体或电介体）。

导体的特点是带电質点（指电子或离子）能在物体的体积內自由移动。

导体分为两种：第一种是金屬；第二种是电解液。

在金屬內最外層軌道上的电子与原子核的联系（吸引力）比較弱；在靠近原子核的軌道上的电子与原子核的联系比較强，所以在外層軌道的电子容易离开它們自己运动的軌道，从一个原子核的作用範圍轉移到另一个原子核的作用範圍，这种能自由移动的电子叫做自由