

高等学校試用教科书

电 I 学

DIANGONGXUE

上 册

上海交通大学編

人民教育出版社

高等学校試用教科書

73.1
S31-1
上



基礎課閱覽室

电 工 学

DIANGONGXUE

上 册

上海交通大学編

全书共分三册，上、中册是上海交通大学编写的，已于1960年出版；下册原系北京工业学院所编写的讲义。全书在1961年3月间经西安交通大学、上海交通大学、浙江大学、清华大学、南京工学院、哈尔滨工业大学、华中工学院、西北工业大学等校电工学教研组的有关教师加以修改增删后出版（上、中册只小有修改，此次系再版）。

本书上册包括电工基础和电气测量部分；中册包括电机、拖动控制和发电、输电、配电等部分；下册包括电子技术及非电量的电测法等部分。

本书可作高等工业学校非电类专业“电工学”课程的试用教科书，也可供电工技术人员参考。

簡裝本說明

目前850×1168毫米規格紙張較少，本書暫以787×1092毫米規格紙張印刷，定價相應減少20%。

电 工 学

(上册)

上海交通大学編

人民教育出版社出版 高等学校数学用书编辑组
北京宣武门内承恩寺7号

(北京市书刊出版业营业许可出字第2号)

人民教育印刷厂印装
新华书店科技发行所发行
各地新华书店經售

统一书号 15010·954 开本 787×1092 1/32 印张 7 14/16

字数 185,000 印数 98,001—102,000 定价 (7) 半0.75

1960年8月第1版 1961年7月第2版(修订本) 1961年8月北京第5次印刷

目 录

緒論.....1

第一篇 电工基础

第一章 直流电路.....	
§ 1-1. 电流	
§ 1-2. 电位和电压	
§ 1-3. 电势与电源.....	
§ 1-4. 欧姆定律.....	
§ 1-5. 电阻与电导.....	
§ 1-6. 电功率·楞次-焦耳定律	16
§ 1-7. 电路.....	21
§ 1-8. 克希荷夫定律.....	23
§ 1-9. 电阻的串联、并联与混联	25
§ 1-10. 简单电路的计算	30
§ 1-11. 复杂电路的计算	33
§ 1-12. 迴路电流法	36
§ 1-13. 结点电压法	40
§ 1-14. 重迭原理	43
§ 1-15. 等值发电机定理	45
§ 1-16. 星形网络与三角形网络间的等值互换	48
第二章 电气设备中的介质	52
§ 2-1. 绝缘材料的电气性能.....	52
§ 2-2. 绝缘材料的级别.....	56
§ 2-3. 电容器.....	57
§ 2-4. 电容器的充电和放电.....	62
§ 2-5. 电场的能量.....	65
第三章 电磁	67
§ 3-1. 磁场.....	67
§ 3-2. 全电流定律.....	73



C0065640

§ 3-3. 铁磁物质	75
§ 3-4. 磁路计算	78
§ 3-5. 电磁感应	83
§ 3-6. 互感现象和自感现象	85
§ 3-7. 涡流	88
§ 3-8. 电感电路中电流的增长与衰减	90
§ 3-9. 磁场的能量	92
§ 3-10. 电磁铁的起重力	95
第四章 单相正弦交流电路	97
§ 4-1. 正弦交变电流的应用	97
§ 4-2. 正弦交变电动势的产生	98
§ 4-3. 相位及相位差	101
§ 4-4. 正弦交变量的有效值	103
§ 4-5. 正弦交变量的旋转矢量表示法	105
§ 4-6. 正弦交变量复数表示法	108
§ 4-7. 单一参数的交流电路	111
§ 4-8. 电阻、电感和电容的串联电路	121
§ 4-9. 电阻、电感和电容的并联电路	131
§ 4-10. 谐振电路	138
§ 4-11. 功率因数的提高	142
§ 4-12. 趋表效应	144
§ 4-13. 电感电路与正弦电压接通时的过渡过程	145
§ 4-14. 振荡电路	148
第五章 三相交流	156
§ 5-1. 多相制和三相制	156
§ 5-2. 三相电动势的产生	157
§ 5-3. 三相发电机绕组的接法	159
§ 5-4. 负载星形联接的三相电路	165
§ 5-5. 负载三角形联接的三相电路	170
§ 5-6. 三相制的功率	174
第六章 非正弦交流电路与具有铁心线圈的交流电路	177
§ 6-1. 非正弦电动势和电流的产生与非正弦周期性函数的分解	177
§ 6-2. 非正弦周期性函数的有效值	184
§ 6-3. 非正弦周期性电路的计算	186
§ 6-4. 非正弦电流的功率	187
§ 6-5. 具有铁心线圈的交流电路	190

§ 6-6. 鐵磁穩压器	196
§ 6-7. 鐵磁功率放大器	198
第七章 电气測量	202
§ 7-1. 电气測量儀表的分类	202
§ 7-2. 电气測量儀表的一般原理和主要構造	208
§ 7-3. 磁電式儀表	210
§ 7-4. 電磁式儀表	212
§ 7-5. 電動式儀表	214
§ 7-6. 感應式儀表	216
§ 7-7. 電流的測量	217
§ 7-8. 電壓的測量	220
§ 7-9. 電阻和絕緣電阻的測量	221
§ 7-10. 電感和電容的測量	225
§ 7-11. 功率的測量	229
§ 7-12. 電能的測量	236
§ 7-13. 相位計及功率因數的測量	239
§ 7-14. 頻率計及頻率的測量	241
§ 7-15. 机电示波器	242

緒 論

電工學是研究電磁現象在工程技術上應用的科學，是研究有關電能的問題。它探討電能的生產(發電)、傳輸(輸電、配電)以及應用等問題。

電能的研究對於國民經濟的發展具有極大的意義。人們在儲藏自然能源集中的地方獲得大量電能，並把它很方便地經過遠距離傳輸到用電區域，然後極簡便地轉換成發展國民經濟所需要的其他形式的能量(機械能、光能、熱能、化學能、聲能等)。

在國民經濟的各個部門中，電能被廣泛地應用着。工廠中各種機械的傳動，如軋鋼機、起重機以及各種機床等都要用到電力；在冶煉方面利用電爐可以冶煉優質鋼和各種合金；在加工製造中，電焊及高頻淬火獲得廣泛的應用；在機械製造工業中，電火花加工等新技術有着廣闊的發展前途；在電化工業部門，電解、電鍍等是不可缺少的；在運輸部門，電力牽引正在逐漸代替蒸汽機、內燃機等其他動力機械的傳動；在農業生產中，如拖拉機、打谷機、收割機以及灌溉等亦極為廣泛地採用電能。至於其他方面也同樣不勝枚舉。

電能所以被廣泛應用，是由於它具有下列幾個重要特點：

(1) 變換容易：電能可以簡便地從水能(水力發電)、熱能(火力發電)、原子能(原子能發電)等轉換而來，使它成為廉價而具有許多優點的动力來源。同時電能可簡便地轉換成所需要的其他形式的能量，如利用電動機將電能轉變成機械能，利用電爐、電熱器

將電能變成熱能。這種轉換在現代設備中，能量的損耗是很小的。

(2) 輸送經濟：電能可以遠距離輸送，並且設備簡單，損耗微小，因此效率高。同時電能的分配也極為方便。

(3) 控制便利：電能是實現生產自動化中所必需的条件。各種機器若用電來控制，可以達到自動操作、自動調整和自動監督，以至實現全部自動化。

大力提高電工技術水平，實現自動化、電氣化，對加速實現社會主義工業化，提高人民物質和文化生活水平具有極其重大的意義。工業生產自動化、電氣化，一方面可以提高勞動生產率；另一方面可以使工人從繁重的體力勞動中解放出來，同時也要求他們不斷地提高政治、文化與技術水平，更好地掌握複雜的生產技術，因而對消滅體力勞動與腦力勞動之間的差別起了積極作用。隨着農業生產的逐漸機械化和電氣化，不斷要求農民提高文化技術水平和共產主義覺悟，這樣將加速縮小城鄉和工農之間的差別。

列寧曾經在1920年明確地指出，共產主義就是蘇維埃政權加上全國電氣化。同時，他還把全俄電氣化計劃稱為：黨的第二綱領。

1958年5月劉少奇同志代表中共中央向黨的第八屆全國代表大會第二次會議所作的工作報告中提出：“技術革命的主要任務是：把包括農業和手工業在內的全國經濟有計劃有步驟地轉到新的技術基礎上，轉到現代化大生產的技術基礎上，使一切能夠使用機器的勞動都使用機器，實現全國城市和農村的電氣化。”這是一個電氣化的綱領，就是說，無論在城市或農村，電力將是動力的基

本形态。在工业、农业以及国民經济的各个方面和人民生活的各个方面，将广泛地应用电能。

电气事业的飞跃发展是由社会主义的社会制度所决定的。在资本主义条件下，根本不可能迅速而有计划地实行电气化，新的技术成就只有給资本家带来更大的利潤时才会被采用，这样也就更加加强了对工人的压迫和剝削。因此，在资本主义制度下，生产的社会性和生产资料的私人占有的矛盾，給生产的发展造成了不可克服的障碍。

解放前，国民党反动派与帝国主义互相勾結，对我国国民經济进行了殘酷掠夺和严重破坏，致使我国电气事业非常落后。

新中国成立后，在党和毛主席的领导下，根本改变了这种面貌，經過三年經济恢复时期，到1953年发电量增加到91亿度，为1949年的两倍多。当1957年第一个五年计划完成时，年发电量增加到193亿度。在党的社会主义建設总路綫的光輝照耀下，1958年我国工农业出现了全面大跃进的局面，电力事业以飞跃的速度从1957年的发电量193亿度跃进到275亿度。这一年新增加的发电设备容量为180万千瓦，相当于旧中国六十七年中所增加的全部发电设备。1959年是持續跃进的第二年，全年发电量又增加到415亿度，提前三年完成了第二个五年计划。

我国不但煤矿丰富，而水力资源也居世界前列，达5.44亿千瓦。若干50万千瓦以上的水电站已在各地开工建設，有的并已开始发电。

在党的一整套“两条腿走路”的方针指导下，从1958年开始，掀起了一个轰轰烈烈的全民办电运动。除了大型水电站、火电站的

大規模建設外，還建設了大批土洋結合的中小型水電站、火電站、沼氣發電站和潮汐發電站。此外，尚有利用高爐煤氣發電以及爐灶發電等。

解放前，我國電機製造工業幾乎沒有。解放後，經過三年恢復和第一個五年計劃，1957年生產成套發電設備19.8萬千瓦。在總路線的光輝照耀下和貫徹了黨的“兩條腿走路”的方針，成套發電設備的年產量已有很大的增加，並提前三年零三個月完成了第二個五年計劃。隨着生產量的巨大增長，技術水平也飛躍地向前發展，50,000千瓦的成套火力發電設備和一些大型的變壓器、電流互感器、高壓電纜等現在我們都已能夠自己製造了。

解放後，電器、儀表及電子技術也有了很大發展，並有許多重要的改進、創造和發明。除了許多大型工廠早已建成外，在“兩條腿走路”方針的鼓舞下，中小型工廠亦遍布全國。品質優良的許多電子儀器已遠銷國外，電子計算機、電視發射機及接收機均已生產。其他如50萬伏高壓電橋、高度精密儀表、八綫示波器等等，都已能自行設計與製造。

以機械化、半機械化、自動化、半自動化為中心的技術革新和技術革命的羣眾運動，已經在全國深入地展開。電力工業也和其他工業一樣，創造了很多宏偉的奇蹟，不僅勞動生產率得到迅速提高，重大新產品也是層出不窮。

經過三年多來連續大躍進的偉大實踐，我們已累積了比較豐富的建設社會主義的經驗，而建設社會主義的物質力量也比過去有了顯著加強。我們相信，在毛澤東思想的光輝照耀下，高舉總路

綫、大跃进、人民公社的紅旗，加上全国人民的忘我劳动，我們一定能够战胜任何困难，充分发挥电力工业的“先行”作用，以夺取新的胜利。

第一篇 电工基础

第一章 直流电路

§1-1. 电 流

自然界中一切元素都是由不同的原子所組成，同一种元素是由相同的原子組成。而各个原子又都是由电子、質子、中子等組成。电子和質子是带有电荷的单元微粒，或称带电質点。这些电荷决定着微粒的主要物理性质。电子带阴电(負电荷)，質子带阳电(正电荷)，而每个电子和質子所带的电量相等、性质相反。正常的原子，它的电子数目和質子数目相等，所以它呈现中性。若中性的原子或分子电离，便形成正的和負的带电微粒，电磁现象就是由这些带电微粒的作用所引起的。

在金属导体内，有很多电子可以在原子之間自由移动，这些电子称为自由电子。因为自由电子在导体内部是处于无規則的运动状态中，所以通过导体任何截面上的电量等于零。

导体中大量的自由电子，若在电場的作用下，便能进行有規則的运动。在电解液中，大量的正离子和負离子，若在电場作用下，它們便向相反方向运动。因之，这些自由电荷(电子、正及負离子)在电場作用下作規律的运动，便形成了电流。所以，电流是客观存在的物理现象，我們可以通过它的各种效应，例如热效应、力效应、磁效应等覺察到它的存在。

电流强度是从量的方面来衡量电流大小的一个物理量，它的定义是：在单位時間內通过导体橫截面的电量。电流强度是在电

工学中极为常用的一个物理量，亦简称为电流。所以电流这个名词就不仅代表一种物理现象，而且也代表一种物理量，以符号 i 或 I 来代表。

根据电流强度的定义，设在极短时间 dt 内，流过截面 S 的无限小的电量为 dq ，则电流强度为：

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

电流强度一般是时间的函数，称为变化的电流。

假使电流不随时间而变化，即是在相同的时间间隔内，流过 S 截面的电量都相等，那末这种电流便称为恒定电流，或简称直流。这样，电流强度可以写成下式：

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

式中 q 是在时间 t 内流过 S 截面的电量。

在 MKSA 合理化单位制(实用单位制)中，电流的单位为安培，简称安(或用 A 、 a 代表)。

$$1 \text{ 安培} = \frac{1 \text{ 库仑}}{1 \text{ 秒}}$$

即是：若在一秒钟内，通过导体截面的电量为一库仑(简称库)时，那末，导体内的电流便等于一安培。在度量微小电流时，取一安培的千分之一为单位，称为毫安(或用 ma 代表)；或取一安培的百万分之一为单位，称为微安(或用 μa 代表)。

电流是一个代数量，即是在假定的正方向下，它可以是正值或负值。通常在导体中采取正电荷流动的方向作为电流的方向，也就是说，电流的方向是指导体中正电荷运动的方向，而与电子的运动方向相反。当然，在没有规定正方向的情形下，电流的正或负是没有意义的。

§ 1-2. 电位和电压

假定将单位正电荷放在正点电荷 $\textcircled{+}Q$ 的电场内 A 点(图 1-1),

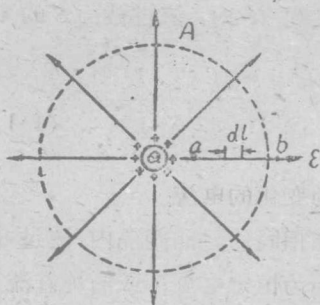


图 1-1. 电场。

那末, 此单位正电荷将受到电场的斥力而运动, 我们规定此斥力就代表电场内 A 点的电场强度的大小, 斥力的方向就是电场强度的方向。所以电场强度的定义是单位电荷在电场中受到的电场作用力, 即:

$$\epsilon = \frac{F}{q} \text{ (牛/库或伏/米)}, \quad (1-3)$$

式中 ϵ 为电场中某点的电场强度, q 为受试电荷, F 为电场作用于受试电荷的电场力。

实际上, 电荷在电场力作用下运动的过程, 即是电场对电荷做功的过程。假使正点电荷 q 在电场中受到电场的斥力 F 而移动了 dl 的距离, 那末电场力所作的功为:

$$dA = Fdl. \quad (1-4)$$

假定由 a 点移动到 b 点, 因此, 电场力所作的功, 可以写成:

$$A = \int_a^b Fdl = q \int_a^b \epsilon dl = qU_{ab}, \quad (1-5)$$

式中 U_{ab} 即是 a 点到 b 点的电压, 即是静电场把单位电荷从 a 点移动到 b 点所做的功。所以,

$$U_{ab} = \frac{A}{q} = \int_a^b \epsilon dl. \quad (1-6)$$

① 点电荷就是带电物体的几何尺寸和受试电荷之间的距离相比, 小到可以略去不計, 因而可以视为一点。

如果在均匀电场中, ε 为常数, 那末,

$$U_{ab} = \varepsilon l_{ab}. \quad (1-7)$$

电压也是一个代数量, 在假定的正方向下, 它可以是正值或负值。例如, 若 $U_{ab} = 10$ 伏, 那末, $U_{ba} = -10$ 伏。

我們若取任意一点 p 作为参考点, 而将 a 点到此参考点的电压 U_{ap} 称为 a 点的电位, 以 φ_a 来表示, 即:

$$U_{ap} = \varphi_a = \int_a^p \varepsilon dl. \quad (1-8)$$

于是, 在此情况下, 参考点本身的电位便等于零。即是:

$$\varphi_p = \int_p^p \varepsilon dl = 0.$$

因此, 根据电位的概念, 可以用 a, b 两点的电位之差来表示电压; 从 a 点到 b 点的电压为:

$$\begin{aligned} \varphi_a - \varphi_b &= \int_a^p \varepsilon dl - \int_b^p \varepsilon dl = \\ &= \int_a^p \varepsilon dl + \int_p^b \varepsilon dl = \\ &= \int_a^b \varepsilon dl = U_{ab}. \end{aligned} \quad (1-9)$$

所以, a, b 两点间的电压又称为 a, b 两点的电位差。当然, 参考点是任意选择的, 一般选择无限远的地方或地面作为参考点。但是必须注意: 当选定的参考点不同时, 则各点的电位也不同, 但任意两点间的电势差或电压却仍然不变。

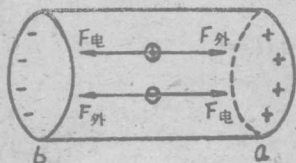
电位、电压及电位差的单位, 在 MKSA 合理化单位制中均为伏特, 简称伏(或用 V, v 代表)。一伏即相当于移动一库仑的电量

所作的功为一焦耳时的电压。度量微小电压时，取一伏的千分之一为单位，称为毫伏(或以 mV 代表)；或取一伏的百万分之一为单位，称为微伏(或以 μV 代表)。若度量高电压时，则可以用千伏(10^3 伏)为单位(或以 KV 代表)。

§ 1-3. 电势与电源

电源是产生电流的泉源。静电场使正电荷从高电位处向低电位处运动，这种运动的结果，便改变了产生静电场的电荷的分布情况，因而亦就改变了各处的电场强度和电位，也就不可能保持恒定电流。要保持恒定电流，必须有一种外力，能使电荷自低电位处流向高电位处，这种外力称为局外力。例如，导体在磁场中运动，导体内部就有局外力存在；蓄电池的电极与电解液的接触处亦有局外力存在。受局外力的作用，能把其他形式的能量转换为电能的导体，即称为电源。

导体在局外力的作用下，正负电荷发生相反方向的运动(图 1-2)，因而形成静电场，但局外力 F_{*} 与静电场的强弱无关，而电



场力 $F_{电}$ 则决定于静电场的强弱。于是，电荷便同时受到局外力和电场力的共同作用，此两力对电荷的作用方向相反。

图 1-2. 电荷上受场力的作用。

和静电场中的情形一样，电荷受到局外力的作用而运动时，局外力也要作功。于是，相似于电压的定义，我们把单位电荷在局外力作用下，自导体一端移动到另一端时，局外力所作的功，称为电源的电动势(或称为电势)。用 E 来表示，于是，

$$E = \frac{F_{*} l_{ab}}{q} \quad (1-10)$$

根据电势的定义可知，电势与电压具有相同的单位。而且电势也是一个代数量，若选择的正方向不同，同一个电势可以是正值或负值。

当平衡时， $F_{*} = F_{电}$ ，它们的作用方向相反，于是

$$E = \frac{F_{*} l_{ab}}{q} = \frac{F_{电} l_{ab}}{q} = U_{ab} \quad (1-11)$$

上式说明，在平衡条件下，电流为零时，电势等于电源的端电压。

原电池、蓄电池、发电机等都是常用的电源，它们可以用图 1-3 来表示。

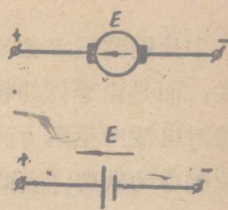


图 1-3. 电源。

§ 1-4. 欧姆定律

从上节所述原理可知，即使在局外力作用下的导体（电源），若不将其接成通路，也不会产生电流，此时电源的电势即等于电源两端的电压。

若电源两端与一段无源的电路（即不存在局外力的电路）接通（图 1-4），形成一个闭合回路，于是，电路中便有电流产生。为了从量的方面来对电路各部分的电流及电压进行计算，我们必须讨论最基本的两个定律，即是欧姆定律与克希荷夫定律，本节只讨论欧姆定律。

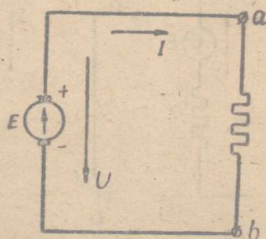


图 1-4. 电源与无源支路接通。

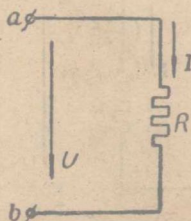


图 1-5. 电阻电路。