

高等学校教学用书



电 工 学

DIANGONGXUE

上 册

上海交通大学电机工程系

电工学教研组编

人民教育出版社

本书是上海交通大学电机工程系电工学教研组根据近年来的教学經驗以及参照了有关的教学大纲集体编写而成的。

全书共分三册出版，上册包括电工基础和电气测量部分；中册包括电机部分；下册包括工业电子学、电力拖动与控制、电热、电焊、照明及发电、输电、配电等部分。

本书讲解清楚，由浅入深，注意到与其他课程的联系，而且例题较多。因此，本书比较适合我国目前学生的水平，可以作为学时较多的高等工业院校非电类专业“电工学”课程的教材。

簡裝本說明

目前 850×1168 公厘規格紙張較少，本書暫以 787×1092 公厘規格紙張印刷，定价相应减少20%。希鉴諒。

电 工 学

上 册

上海交通大学电机工程系电工学教研组編

人民教育出版社出版 高等学校教学用书编辑部
北京宣武門内大街27号

北京市书刊出版业营业许可証出字第2号

工人日报印書厂印裝 新华書店發行

統一書号 15410·945 开本 787×1092 $\frac{1}{32}$ 印张 7 $\frac{1}{8}$

字数 185,000 印数 0001—45,000 定价 (7) 元 0.75

1960年8月第1版 1960年8月北京第1次印刷

序

电工学是高等工业院校非电工类各专业的基礎技术課程。由于电能是工业的原动力，是发展工业的基础；也是农业和交通运输业等方面的主要动力，所以发展电工事业对于国家社会主义工业化起着极其重要的作用；又由于电工技术是国民經济中采用自动化的重要环节，并且电能又在人民生活中日益得到广泛应用，所以电工学課程就显得相当重要了。

在社会主义建設总路綫的光輝照耀下，在社会主义建設大跃进与繼續跃进的形势鼓舞下，不断学习党的教育方針，进一步發揮潜力，我們在党的领导下，根据几年来的教学經驗，又参考了1956年修訂的原高等教育部頒布的电工学教学大綱及苏联的电工学教学大綱，集体进行本书的編写来迎接偉大的祖国建国十周年。

考虑到工业生产过程正在逐步自动化以減輕劳动强度和提高劳动生产率，所以在有关章节中增加一些相应的內容；各章講授內容可視各专业而定。

本书共分三册出版，上册包括电工基础和电气測量部分；中册包括电机部分；下册包括工业电子学、电力拖动与控制、电热、电焊、照明及发电、輸电、配电等部分。

由于我們的經驗与水平有限，主观力量不够，時間也不充裕，錯誤和不当之处一定难免，所以我們誠懇地要求讀者多多提出宝貴意見，使本书得以改进，以利教学。

上海交通大学电工学教研組

一九五九、十、一

目 录

序.....	vi
緒論.....	1

第一篇 电工基础

第一章 直流电路.....	6
§ 1-1. 电流.....	6
§ 1-2. 电位和电压.....	8
§ 1-3. 电势与电源.....	10
§ 1-4. 欧姆定律.....	11
§ 1-5. 电阻与电导.....	13
§ 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. 回路电流法.....	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.....	53
§ 2-2. 绝缘材料.....	56
§ 2-3. 电容器.....	63
§ 2-4. 电容器的充电和放电.....	70
§ 2-5. 电场的能量.....	74
第三章 电磁.....	78
§ 3-1. 磁场.....	78
§ 3-2. 全电流定律.....	81

§ 3-3. 铁磁物质	83
§ 3-4. 磁路计算	86
§ 3-5. 电磁感应	91
§ 3-6. 互感现象和自感现象	93
§ 3-7. 涡流	96
§ 3-8. 电感电路中电流的增长与衰减	98
§ 3-9. 磁场的能量	100
§ 3-10. 电磁铁的起重力	103
第四章 单相正弦交流电路	105
§ 4-1. 正弦交变电流的应用	105
§ 4-2. 正弦交变电动势的产生	106
§ 4-3. 相位及相位差	109
§ 4-4. 正弦交变量的有效值	111
§ 4-5. 正弦交变量的旋转矢量表示法	113
§ 4-6. 正弦交变量复数表示法	116
§ 4-7. 单一参数的交流电路	119
§ 4-8. 电阻、电感和电容的串联电路	129
§ 4-9. 电阻、电感和电容的并联电路	139
§ 4-10. 谐振电路	146
§ 4-11. 功率因数的提高	150
§ 4-12. 趋表效应	152
第五章 三相交流	154
§ 5-1. 多相制和三相制	154
§ 5-2. 三相电动势的产生	155
§ 5-3. 三相发电机绕组的接法	157
§ 5-4. 负载星形联接的三相电路	163
§ 5-5. 负载三角形联接的三相电路	168
§ 5-6. 三相制的功率	172
第六章 非正弦交流电路与具有铁心线圈的交流电路	175
§ 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	175
§ 6-2. 非正弦周期性函数的有效值	182
§ 6-3. 非正弦周期性电路的计算	184
§ 6-4. 非正弦电流的功率	185
§ 6-5. 具有铁心线圈的交流电路	188
§ 6-6. 铁磁稳压器	194
§ 6-7. 铁磁功率放大器	196

第七章 电气测量	200
§ 7-1. 电气测量仪表的分类	200
§ 7-2. 电气测量仪表的一般原理和主要构造	206
§ 7-3. 磁电式仪表	208
§ 7-4. 电磁式仪表	210
§ 7-5. 电动式仪表	212
§ 7-6. 感应式仪表	214
§ 7-7. 电流的测量	215
§ 7-8. 电压的测量	218
§ 7-9. 电阻和绝缘电阻的测量	219
§ 7-10. 电感和电容的测量	223
§ 7-11. 功率的测量	227
§ 7-12. 电能的测量	235
§ 7-13. 相位计及功率因数的测量	238
§ 7-14. 频率计及频率的测量	240
§ 7-15. 非电量的电测法	241

緒 論

电工学是研究电磁现象在工程技术上应用的科学，是研究有关电能的问题。它探讨电能的生产(发电)、传输(输电、配电)以及应用等问题。

电能的研究对于国民经济的发展具有极大的意义。人们在储藏自然能源集中的地方获得大量电能，并把它很方便地经过远距离传输到用电区域，然后极简便地转换成发展国民经济所需要的其他形式的能量(机械能、光能、热能、化学能、声能等)。

在国民经济的各个部门中，电能被广泛地应用着。工厂中各种机械的传动，如轧钢机、起重机以及各种机床等都要用到电力；在冶炼方面利用电炉可以冶炼优质钢和各种合金；在加工制造中，电焊及高频淬火获得广泛的应用；在机械制造业中，电火花加工、导电切削等有着广阔的发展前途；在化工工业部门，电解、电镀等是不可缺少的；在运输部门，电力牵引正在逐渐代替蒸汽机、内燃机等其他动力机械的传动；在农业生产中，如拖拉机、打谷机、收割机以及灌溉等亦极为广泛地采用电能。至于其他方面也同样不胜枚举。

电能所以被广泛应用，是由于它具有下列几个重要特点：

(1) 变换容易：电能可以简便地从水能(水力发电)、热能(火力发电)、原子能(原子能发电)等转换而来，使它成为廉价而具有许多优点的动力来源。同时电能可简便地转换成所需要的其他形式的能量，如利用电动机将电能转换成机械能，利用电炉、电热器

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條件。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。在資本主义制度下,根本不可能迅速而有計劃地实行电气化,因为在資本主义条件下,生产力的发展造成了与生产关系的不可調和的矛盾,某种科学和技术的成就,只有使工人失业和貧困,电气化不可避免地要加强資本家对工人和农民的压迫与剝削。因此,当資本主义和生产資料私有制存在的时候,电气化是不可能迅速和有計劃地实行的。

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,经过三年經济恢复时期,到 1953 年发电量增加到 91 亿度,为 1949 年的两倍多。当 1957 年第一个五年計劃完成时,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 亿度跃进进到 275 亿度。这一年新增加的发电設備容量为 180 万千瓦,相当于旧中国六十七年中所增加的全部发电設備。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計劃。

我国不但煤矿丰富,而水力資源也居世界前列,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”的方針指导下,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。在總路綫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許多重要改進、創造和發明。除北京電子管廠、華北無線電器材廠、北京有線電廠等許多大型工廠早已建成外，在“兩條腿走路”方針的鼓舞下，中小型工廠亦遍佈全國。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，已經在全國形成了新高潮。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。

事實告訴我們，共產主義社會在我國已經不是遙遠的將來。我們是不斷革命論者，經過兩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、大躍進、人民公社的紅旗，加上全國人民的忘

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,更加多快好省地繼續大跃进。

72.80
65.52
7.28

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、质子、中子等組成。电子和质子是带有电荷的单元微粒，或称带电质点。这些电荷决定着微粒的主要物理性质。电子带阴电(负电荷)，质子带阳电(正电荷)，而每个电子和质子所带的电量相等、性质相反。正常的原子，它的电子数目和质子数目相等，所以它呈现中性。若中性的原子或分子电离，便形成正的和负的带电微粒，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间自由移动，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规则的运动状态中，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，若在电场的作用下，便能进行有规律的运动。在电解液中，大量的正离子和负离子，若在电场作用下，它们便向相反方向运动。因之，这些自由电荷(电子、正及负离子)在电场作用下作规律的运动，便形成了电流。所以，电流是客观存在的物理现象，我们可以通过它的各种效应，例如热效应、力效应、磁效应等觉察到它的存在。

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：在单位时间内通过导体横截面的电量。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^① Q 的电场内 A 点(图 1-1),

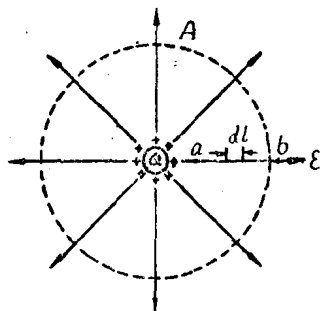


图 1-1. 电场。

那末, 此单位正电荷将受到电场的斥力而运动, 此斥力就代表电场中 A 点的电场强度, 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。根据上述定义:

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

式中 E 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:

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

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,

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

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, 小到可以略去不计, 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。

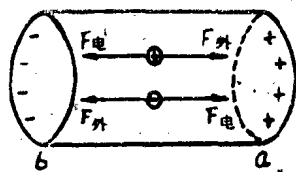
电位、电压及电位差的单位, 在 MKSA 合理化单位制中均为伏特, 简称伏(或用 V , v 代表)。一伏即相当于移动一库仑的电量

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 $F_{\text{外}}$ 与静电场的强弱无关，而电



场力 $F_{\text{电}}$ 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。

和静电场中的情形一样，电荷受到局外力的作用而运动时，局外力也要做功。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，

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

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, $F_{\text{电}} = F_{\text{库}}$, 它们的作用方向相反, 于是

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

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。

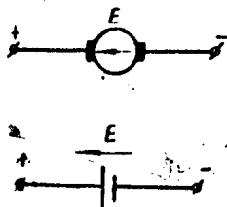


图 1-3. 电源。

§ 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。

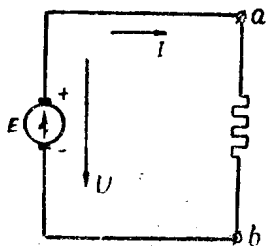


图 1-4. 电源与无源支路接通。

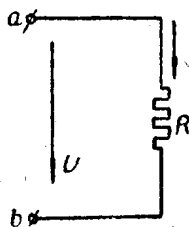


图 1-5. 电阻电路。