

中等专业学校教材

电 工 原 理

翟 民 等 編



國防工業出版社

中等专业学

电 工 原 理

翟 民 等 编

卢 明 松 审



国防工业出版社

1965

內 容 簡 介

本书是根据中等专业学校电机类各专业适用的《电工基础教学大纲(试行草案)》编写的。

全书包括电场、磁场、直流电路、单相及三相正弦交流电路、非正弦电流电路、过渡过程等几个部分。

本书取材力求少而精，并且注意了理论联系实际。

本书可作为中等专业学校电机类各专业电工原理课程的教科书或参考书，也可供有关工程技术人员参考。

电 工 原 理

翟 民 等 編

卢 明 松 审

*

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可出字第 074 号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $\frac{1}{32}$ 印张 7 $\frac{1}{8}$ 179 千字

1965 年 9 月第一版 1965 年 9 月第一次印刷 印数：00,001—16,000 册

统一书号：K 15034·999 定价：(科四) 0.90 元

序

本书是电工基础課程成套教材之一,这套教材的另两册是“电工原理习题集”和“电工测量”。

本书系根据电机类专业的《电工基础教学大纲(試行草案)》編写的,讲课时数为119。

为了使學生能在規定時間內把基本內容真正學到手,在取材方面力求少而精,着重讲清基本的物理概念,避免不必要的內容和过于繁瑣的数学論証。同时,也注意了理論联系实际、学以致用的原則。

本书的学术名詞、字母符号、电路图形符号等系分別参照中国科学院的《物理学名詞》、国际电工委员会的《电学中常用的国际字母符号》、第一机械工业部的《电工专业标准电(D)42-60》等选用的。书中脚注系用汉语拼音字母,为便于会意和讀音,除书末列表說明外,并在正文中作了注釋。

本书由翟民主編。执笔者有孙恒忻(第一、三、四章)、姜德仁(第五、六、七章)、寇仲元(第八、九章)、翟民(緒論,第二、十章)等四人,由卢明松同志負責审閱。

由于受水平及時間的限制,錯誤在所难免,殷切希望使用本书的师生和其他同志們多多提供宝贵意見,以便再版时予以訂正。

編 者

1965年1月

目 录

序	3
緒論	9
第一章 电場和电容	13
§ 1 电場 电場强度	13
§ 2 电压 电位	14
§ 3 电場中的导体	17
§ 4 电容器 电容	18
§ 5 电容器的并联和串联	21
复习提要	24
第二章 直流电路	26
§ 1 电路 电流	26
§ 2 电源 电动势	28
§ 3 閉合电路中持續电流的形成	30
§ 4 电能 电功率	31
§ 5 一段无源电路的欧姆定律	33
§ 6 电阻 电导	34
§ 7 全电路的欧姆定律	38
§ 8 电源的外特性	40
§ 9 电阻的串联	42
§ 10 电阻的并联	45
§ 11 电阻的混联	48
§ 12 多电源无分支电路	51
§ 13 电路中电位的計算	53
§ 14 导綫截面选择的概念	55
§ 15 基尔霍夫定律	57
§ 16 支路电流法	59
§ 17 节点电压法	62
复习提要	64

第三章 磁場和磁路	66
§ 1 电流的磁場	66
§ 2 磁感应强度	66
§ 3 磁通	69
§ 4 载流直导线的磁場 导磁系数	70
§ 5 磁場强度	71
§ 6 磁压	72
§ 7 全电流定律	73
§ 8 载流线圈的磁場 磁通势	75
§ 9 铁磁材料的磁化	77
§ 10 铁磁材料的反复磁化	79
§ 11 基本磁化曲线	82
§ 12 磁路 磁路定律	84
§ 13 无分支磁路的计算	88
§ 14 对称分支磁路的计算	90
§ 15 电磁铁	91
§ 16 磁場对电流的作用力——电磁力	92
复习提要	94
第四章 电磁感应	97
§ 1 直导线中的感应电动势	97
§ 2 机械能转换为电能	99
§ 3 电能转换为机械能	101
§ 4 回路中的感应电动势	102
§ 5 涡流	106
§ 6 自感应	108
§ 7 线圈的电感	110
§ 8 电感线圈的电压平衡式	112
§ 9 互感应	114
复习提要	115
第五章 正弦交流电路的基本概念	117
§ 1 正弦交变电流	117
§ 2 正弦电动势的产生	119
§ 3 相位和相位差	123

§ 4	正弦量的表示法	125
§ 5	正弦量的加減	129
§ 6	正弦交流的有效值	134
§ 7	純电阻电路	137
§ 8	純电感电路	139
§ 9	純电容电路	144
复习提要		148
第六章 简单正弦交流电路		151
§ 1	电阻和电感的串联电路	151
§ 2	交流电路的功率	155
§ 3	电阻、电感和电容的串联电路	159
§ 4	线圈和电容器的并联	165
§ 5	功率因数的提高	167
§ 6	导納	169
§ 7	趋肤效应	171
复习提要		171
第七章 符号法		175
§ 1	复数	175
§ 2	复数加減	179
§ 3	复数乘除	180
§ 4	正弦量的复数表示法	181
§ 5	复数形式的欧姆定律	184
§ 6	阻抗的联接	186
§ 7	复数形式的基尔霍夫定律	189
复习提要		190
第八章 正弦三相交流电路		192
§ 1	三相交流的基本概念	192
§ 2	三相发电机绕组的联接	194
§ 3	負載星形联接的三相四綫制电路	198
§ 4	負載星形联接的三相三綫制电路	201
§ 5	負載的三角形联接	206
复习提要		209

第九章 非正弦电流电路	211
§ 1 概述	211
§ 2 非正弦波的分解	212
§ 3 非正弦电流电路	215
复习提要	216
第十章 电路中的过渡过程	218
§ 1 概述	218
§ 2 RC 电路接通直流电源	218
§ 3 RC 电路的短接	220
§ 4 RL 电路接通直流电源	222
§ 5 RL 电路从电源切断	223
复习提要	225
本书所用脚注一览表	226

緒 論

一、电能的应用及其优越性

現在，电能已經广泛地应用到工业、农业、国防、交通運輸、日常生活等各个方面。在工业方面，許多机械，如軋鋼机、机床、紡織机等都用电能来傳动和控制。在农业方面，排灌、脫粒等近百种农业生产作业开始使用了电力。国防方面的通訊設備、炮火控制、舰船、飞机等，也普遍使用了电能。

为什么电能会得到如此广泛的应用呢？这主要是因为它具有以下一些优越性：

(1) 轉換方便：电能可以很容易地从热能（火力发电）、水能（水力发电）、化学能（电池）、光能（日光电池）及原子能（原子能发电）等轉換而得。并且，可以通过电动机、电炉、电灯等很簡便地轉換成其它能量。

(2) 輸送經濟：在远距离輸送时电能的损失很少，这是其它能量所比不了的。正因为如此，所以才把发电站設在拥有各种动力资源的地方，通过輸电綫将能量分別送到工业基地、广大农村和城市去，使这些资源都能得到充分的利用。

(3) 控制便利：电能的控制比較簡單、迅速，利用电能还可以实现自动化和远距离控制。

电能的这些优越性，有利于国民經济的电气化，有利于社会主义建設。

二、电工技术的发展

我們的祖先是世界上磁現象的最早发现者，在公元前二百多年（战国时代）写成的《吕氏春秋》一书中就有了磁石能够吸鉄

的記載。并且，很早发现了靜电現象，琥珀能够吸引輕微物体一事，在东汉年間（公元一世紀）的《論衡》一书中就曾提到过。在十一世紀时（宋朝），为了适应航海貿易的需要，我国劳动人民制成了人造磁針，这是世界上磁現象最早的利用。

以后，在世界範圍內，电工技术长期没有什么重大发展。直到十八世紀欧洲发生了产业革命，人們为了寻求更好的工业能源和设备，才开始对电磁現象进行系统而又广泛的研究，于是相继发明或发现了电池、电灯、欧姆定律、电磁感应現象、发电机、电动机以及电磁波等等，从而使生产技术、通訊及文化生活达到了更高的水平。

近三四十年来，由于社会生产力和科学技术水平的进一步提高，电工技术又得到了更加深入和广泛的发展，并取得了原子能发电、巨型和微型电机的制造、半导体器件、电子计算机、遙控等嶄新成就。对于当前的这些重大发展，必須給予密切的注意。

三、我国的电气事业

解放以前，由于帝国主义、封建主义、官僚資本主义三座大山压在中国人民的头上，我国电气事业异常落后。电力工业生产規模很小，发展速度很慢，而且百分之九十的发电设备集中在沿海和东北的少数大城市里。电工器材制造业則几乎是个空白点。

解放后，我国各族人民，在中国共产党和毛主席的英明领导下，高举毛澤东思想的光輝旗帜、坚持鼓足干劲、力爭上游、多快好省地建設社会主义的总路綫，在全国範圍內展开了階級斗争、生产斗争、科学实验三大革命运动，在此基础上，我国的电气事业获得了空前的发展。

在电力工业方面，全国发电量的增长极为迅速，1949年为43.1亿度，到1957年就上升到193亿度，在短短八年里增长了三倍半之多。从1958年以来，发电量得到了更飞跃的进展。此外，电站的分布也趋于合理了。

电工器材制造工业的年产量比旧中国最高年产量的 1947 年有了成百倍的增长；产品品种也有大量的增加。目前，我国国民经济建设和国防建设所需要的成套电工装备和一些高级的、特殊的、精密的电工产品，大部分已经能够自给。例如，我们已经掌握并能成批生产 50000 千瓦火力发电机组（五百万人口城市的照明用电，只要这样一组就够了）及 72500 千瓦水力发电机组；1960 年间，已经建成了达到世界先进水平的新安江大型水力发电站，它的装机容量达 65.25 万千瓦，这是我国人民自行设计、自制设备、自己施工安装的。这些成就的取得是坚决执行自力更生方针的结果。经过 1958 年到 1960 年的国民经济大发展，我们还掌握了不少电工尖端技术，象数字电子计算机、半导体器件、二十万倍电子显微镜等，它们在生产建设和科学研究等许多方面发挥了重大的作用。

至于工业企业、舰船、航空、炮火控制等方面的电气化和自动化的水平，也都有了巨大的提高。

四、本课程的任务、主要内容和学习方法

本课程是电机类专业的一门重要的基础技术课。

本课程的任务是讨论各种电工设备中所共有的基本电磁现象和电路的计算方法，为进一步学习专业知识和从事专业生产劳动准备必要的条件。

本课程的基本内容是电场、磁场、电磁感应、直流电路和交流电路。

本课程的特点是系统性和理论性较强，实验和计算较多。

针对上述情况，大家在学习时应该做到以下几点：

（1）认真钻研物理概念及基本理论，必须遵循毛主席的教导：“学会分析事物的方法，养成分析的习惯”●；“看事情必须要

- 《学习和时局》。《毛泽东选集》（普及版），人民出版社，第二版，第三卷第952页。本书以后所引《毛泽东选集》，版本、出版社、版次都与此处相同。

看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。”●。

(2) 注意联系实际，学会应用理论知识解决生产劳动和科学实验中的实际问题。毛主席说：“读书是学习，使用也是学习，而且是更重要的学习”●。我们应该牢牢记住。

(3) 重视实践环节。正如毛主席所说，“如果要直接地认识某种或某些事物，……也只有在亲身参加变革现实的实践的斗争中，才能暴露那种或那些事物的本质而理解它们”●。如果能认真对待实验课，那么就能更好地理解各种电磁现象，并且，通过实验，还能锻炼实际操作和处理实际问题的能力。

(4) 反复练习、及时巩固。毛主席早就说过：“说学习和使用不容易，是说学得彻底，用得纯熟不容易。”●我们应该很好地体会这句话。要想熟练掌握本课程的内容，就必须勤学苦练，并且对所学内容要及时加以巩固。

党和人民给大家安排了良好的学习条件，可以相信，在了解了本课程的作用和特点之后，大家一定会抱着实现我国国民经济电气化的伟大理想学好这门课程。

-
- 《星星之火，可以燎原》。《毛泽东选集》第一卷第103页。
 - 《中国革命战争的战略问题》。《毛泽东选集》第一卷第174页。
 - 《实践论》。《毛泽东选集》第一卷第276页。
 - 《中国革命战争的战略问题》。《毛泽东选集》第一卷第175页。

第一章 電場和電容

自然界中任何物体内都含有大量的带电微粒(电子、质子等)。用摩擦或其它方法,可以使物体获得或失去电子,成为带负电或带正电的带电体。带电体的周围存在着电场。本章研究电场的基本物理量——电场强度、电压和电位,以及有关电容的一些问题。

§1 电场 电场强度

带电体的周围存在着一种特殊形态的物质——电场,带电体之间的相互作用就是通过电场发生的。电场的主要特性是带电体在其中要受到电场力的作用。

在研究电场的特性时,常需要一种放在电场中作测试用的带电体,其电量用 q 表示。这种带电体的电量和体积都非常小,且带正电,叫作试验电荷。

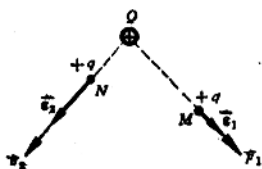


图1-1 电场力和电场强度

当试验电荷 q 放在正电荷 Q 的电场中时(图1-1),它在 M 点和 N 点所受的电场力,大小不同,方向也不同。这说明在电场中各点,电场的强弱程度和方向可能是不同的。我们引用电场强度矢量 $\vec{E}$ 来表示电场中任意点的电场强弱程度和方向。任意点电场强度的大小等于在该点的试验电荷所受的电场力 F 与试验电荷的电量 q 之比,

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (1-1)$$

实验表明,电场力 F 与试验电荷的电量 q 是成正比的。在 M 点上,若将试验电荷的电量增大为 $2q$ 、 $3q$,则它所受的电场力也增大为

2F、3F。因此，电场强度的大小与试验电荷的电量 q 无关。

电场强度的方向就是试验电荷所受电场力的方向（图 1-1），即电场的方向。

电场强度的实用制单位[●]是伏特/米[●]（V/m）。还有一些辅助单位，如伏特/厘米（V/cm，等于 100 伏特/米）和伏特/毫米（V/mm，等于 1000 伏特/米）。

〔例 1〕在电场中某点放有 10^{-10} 库仑的试验电荷时，这试验电荷所受的电场力为 10^{-6} 牛顿，求该点电场强度的大小。

$$[\text{解}] \quad \epsilon = \frac{F}{q} = \frac{10^{-6}}{10^{-10}} = 10^4 \text{ 伏特/米。}$$

如果电场中每一点的电场强度大小相等、方向相同，这样的电场叫作均匀电场。两块分别带有等量、异性电荷的平行金属极板，当极板之间的距离很小，而极板面积很大时，极板之间就存在均匀电场（图 1-2）。均匀电场的电场线均匀分布，而且是一些互相平行的直线。



图1-2 均匀
电场

§ 2 电压 电位

电场强度是从电场力的方面来描述电场中每点特性的物理量。本节所研究的电压和电位是从功和能方面来说明电场特性的物理量。下面只研究均匀电场中的电压和电位。

在均匀电场中（图 1-3），当试验电荷 q 受电场力 F 的作用沿着电场方向由 M 点运动到 N 点时，电场力对试验电荷所做的功 A 与试验电荷的电量 q 之比叫作由 M 点到 N 点的电压 U_{MN} ，即

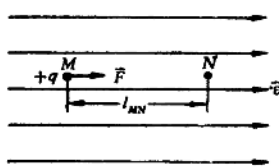


图1-3 电场力做功

● 实用制单位的基本单位是米、公斤、秒和安培。

● 这单位可从 $[\epsilon] = \left[\frac{F}{q} \right] = \frac{\text{牛顿}}{\text{库仑}}$ 推演得来，伏特是电压的实用制单位（见本章第 2 节）。

$$U_{MN} = -\frac{A}{q} \quad (1-2)$$

式中

$$A = F l_{MN} = q \mathcal{E} l_{MN},$$

因此

$$U_{MN} = \mathcal{E} l_{MN} \quad (1-3)$$

可見，沿着電場方向兩點間的電壓等於電場強度與所取綫段長度的乘積。而且電壓的大小與試驗電荷的電量無關。電壓在數值上等於一個單位正電荷由一點至另一點時，電場力所做的功。

電壓的實用制單位是伏特 (V)，簡稱伏，

$$[U] = \left[\frac{A}{q} \right] = \frac{\text{焦耳}}{\text{庫侖}} = \text{伏}。$$

電壓的輔單位有：千伏 (kV，等於 10^3 伏)、毫伏 (mV，等於 10^{-3} 伏) 和 微伏 (μ V，等於 10^{-6} 伏)。

〔例2〕 圖 1-3 中，已知電壓 $U_{MN} = 5$ 伏，試驗電荷的電量 $q = 2 \times 10^{-10}$ 庫侖和綫段長 $l_{MN} = 10$ 厘米。求由 M 點至 N 點電場力對試驗電荷所做的功，以及電場強度的大小。

〔解〕 因為 $U_{MN} = -\frac{A}{q}$ ，所以電場力所做的功

$$A = q U_{MN} = 2 \times 10^{-10} \times 5 = 10^{-9} \text{ 焦}。$$

又因

$$U_{MN} = \mathcal{E} l_{MN},$$

所以

$$\mathcal{E} = \frac{U_{MN}}{l_{MN}} = \frac{5}{0.1} = 50 \text{ 伏/米}。$$

研究表明，正電荷在電場中的每一點都具有一定的電位能 W 。圖 1-3 中，正電荷受電場力作用而移動時，電場力做功，正電荷的電位能減少，即 M 點的電位能 W_M 大於 N 點的電位能 W_N 。

試驗電荷在電場中某點所具有的電位能與試驗電荷的電量之比叫作該點的電位，用 V 表示。例如 M 點和 N 點的電位分別是

$$V_M = \frac{W_M}{q}, \quad V_N = \frac{W_N}{q}。$$

由於功和能的單位相同，所以電壓和電位的單位也相同。

根據功和能的关系，可以得到電壓和電位的关系式。

當試驗電荷由 M 點移動到 N 點時，電場力對它做的功 A 等於

試驗電荷所減少的電位能 $W_M - W_N$ ，即

$$A = W_M - W_N,$$

或

$$\frac{A}{q} = \frac{W_M}{q} - \frac{W_N}{q},$$

$$U_{MN} = V_M - V_N \quad (1-4)$$

因此，電壓又叫作電位差。由式 (1-4) 可知，由電壓可以算出某點的電位，但必須先知道另一點的電位。

電位與位能一樣，只具有相對的意義。如果先規定了電位為零的點（即參考點），就能確定其它各點的電位值。工程上常取大地或交通工具的金屬外殼作為參考點。

在圖 1-3 中，若選取 N 點為參考點（即 $V_N = 0$ ），則 M 點的電位

$$V_M = U_{MN}.$$

可見，電場中某點的電位等於該點至參考點的電壓。

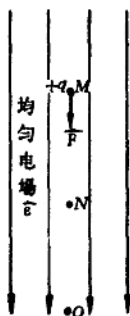


圖 1-4 例 3 的圖

〔例 3〕圖 1-4 中，電壓 $U_{MN} = U_{NO} = 55$ 伏。如果選取 N 點為參考點，求 M 點和 O 點的電位。

〔解〕已知 $V_N = 0$ 。

由於 $U_{MN} = V_M - V_N$ ，因此 $V_M = U_{MN} + V_N = 55 + 0 = 55$ 伏；

由於 $U_{NO} = V_N - V_O$ ，因此 $V_O = V_N - U_{NO} = 0 - 55 = -55$ 伏。

電位是一個代數量，它的數值可以有正的或負的。如果某點的電位高於參考點的電位，則該點的電位值為正；反之，電位值為負。

根據正電荷受電場力作用而運動的方向可以判斷電場中各點電位的高低。例如在圖 1-4 中， $V_M > V_N > V_O$ ，即正電荷在電場力的作用下，总是由高電位點向着低電位點運動。

電壓也是一個代數量。由高電位點至低電位點的電壓值是正的，反之就是負的。我們常將電位降低的方向規定為電壓的正方向，因此電壓又常叫作電壓降。