

交通系統中等專業學校
函授試用教材

電工學

馬耀牲 等編

人民交通出版社

交通系統中等專業學校
函授試用教材

電工學

馬耀銓 等編

人民交通出版社

本書系根据交通系統中等专业学校函授教学的要求，由交通部教育司組織部分有关学校的教师集体編寫的。内容包括：电工基础和电气測量，电机、变压器及其控制，工业电子学，电能的產生、輸送、分配和安全用电等，基本与全日制中等专业学校課本相同。为了适应函授教学的特点，文字力求通俗、清晰，例題和插图較为丰富，并在各章之前明确指出目的与要求，使讀者易于自学；每節末附有自我檢查題，每章末附有小結和习題，另有測驗作业和实验指导書，可輔助讀者巩固所学知識。

本書供交通系統中等专业学校函授学校作教材使用，其他中等专业学校函授学校也可参考。

参加本書編寫工作的是：成都交通机械学校馬耀銓、黑龙江交通学校陈云統、武汉河运学校晏君志、济南交通学校武欣等四同志。

交通系統中等专业学校

函授試用教材

电 工 学

馬 耀 銓 等 編

*

人 民 交 通 出 版 社 出 版

(北京安定門外和平里)

北京市書刊出版业營業許可証出字第〇〇六号

新华书店北京发行所发行 全国新华书店經售

人 民 交 通 出 版 社 印 刷 厂 印 刷

*

1964年5月北京第一版

1964年5月北京第一次印刷

开本：787×1092

印張：11¹/₂張插頁2

全書：260,000字

印数：1—1,050 册

統一書号：K15044·8030

定价(科二)：1.00元

目 录

前 言	7
緒 論	8

第一篇 电工基础和电气测量

第一章 直流电路	10
§ 1-1 电路概念	10
§ 1-2 欧姆定律	12
§ 1-3 基尔霍夫定律及其应用	17
§ 1-4 电流的功和功率	22
§ 1-5 电容器及电容器的充电和放电	26
小 結	32

第二章 电磁学	34
§ 2-1 电流的磁场	35
§ 2-2 磁感应强度与磁场对通有电流导体的作用	37
§ 2-3 通有电流的直导体与线圈的磁场	40
§ 2-4 铁磁体的磁化及反复磁化	44
§ 2-5 磁路概念	48
§ 2-6 电磁感应	50
§ 2-7 自感应	55
§ 2-8 涡流	60
小 結	61

第三章 单相交流电路	64
§ 3-1 概述	65
§ 3-2 正弦交变电动势的产生	67

§ 3-3	交流电的相位、初相、相位差	73
§ 3-4	正弦量的表示法	76
§ 3-5	同频率正弦量的加减法	82
§ 3-6	交流电的有效值	86
§ 3-7	交流电路引言	89
§ 3-8	纯电阻电路	90
§ 3-9	纯电感电路	95
§ 3-10	电阻与电感串联的交流电路	100
§ 3-11	纯电容电路	109
§ 3-12	线圈与电容器并联电路	114
§ 3-13	提高功率因数的意义及方法	119
§ 3-14	趋表效应	125
	小 结	126
第四章	三相交流电路	130
§ 4-1	概述	130
§ 4-2	三相交流电动势的产生及表示方法	131
§ 4-3	发电机绕组的星形连接	133
§ 4-4	发电机绕组的三角形连接	136
§ 4-5	负载星形连接的三相电路	138
§ 4-6	负载三角形连接的三相电路	146
§ 4-7	三相电路的功率	150
	小 结	154
第五章	电气测量	158
§ 5-1	概述	158
§ 5-2	电工测量仪表的分类	159
§ 5-3	电工仪表的测量机构	161
§ 5-4	电流与电压的测量	167
§ 5-5	直流电功率及单相交流电功率的测量	170
§ 5-6	三相交流电功率的测量	171

§ 5-7 电能的测量	173
§ 5-8 电阻的测量	177
§ 5-9 万用表	180
小 結	182

第二篇 电机、变压器及其控制

第六章 直流电机	184
§ 6-1 概述	184
§ 6-2 直流电机的基本原理	185
§ 6-3 直流电机的构造和分类	189
§ 6-4 电枢反应	195
§ 6-5 并激发电机	197
§ 6-6 复激发电机	201
§ 6-7 直流电动机概論	202
§ 6-8 并激电动机	204
§ 6-9 串激电动机	208
§ 6-10 直流电动机的起动	211
§ 6-11 直流电动机的調速和反轉	214
小 結	216
第七章 变压器	219
§ 7-1 概述	219
§ 7-2 变压器的构造	220
§ 7-3 变压器的工作原理	222
§ 7-4 变压器的工作过程	224
§ 7-5 三相变压器	226
§ 7-6 自耦变压器	227
§ 7-7 仪用变压器	228
小 結	232
第八章 交流电机	234

§ 8-1	概述	234
§ 8-2	异步电动机的构造	234
§ 8-3	旋轉磁场的产生	238
§ 8-4	异步电动机的工作原理	243
§ 8-5	轉差率	245
§ 8-6	轉差率与轉子各量間的关系	246
§ 8-7	异步电动机的轉矩	248
§ 8-8	异步电动机的机械特性	253
§ 8-9	异步电动机的起动	254
§ 8-10	异步电动机的調速和反轉	259
§ 8-11	单相交流电动机	261
§ 8-12	同步发电机	264
§ 8-13	同步电动机	266
§ 8-14	电动机的故障与維護	267
	小結	269

第九章 电力拖动

§ 9-1	概述	271
§ 9-2	电动机种类和型式的选择	272
§ 9-3	电动机容量的选择	273
§ 9-4	电动机的控制設備和保护設備	280
§ 9-5	閘刀开关	281
§ 9-6	油开关	281
§ 9-7	控制器	282
§ 9-8	按鈕	283
§ 9-9	接触器	284
§ 9-10	繼电器	286
§ 9-11	熔断保护器	289
§ 9-12	自动开关	290
§ 9-13	电动机的控制綫路	291

小結	296
----------	-----

第三篇 工业电子学

第十章 工业电子学	298
§ 10-1 概述	298
§ 10-2 电子发射	298
§ 10-3 二极电子管	299
§ 10-4 充气二极管	301
§ 10-5 固体整流元件	303
§ 10-6 整流电路	304
§ 10-7 汞弧整流器	307
§ 10-8 三极电子管与电子管放大器	309
小結	311

第四篇 电能的生产、输送、分配和安全用电

第十一章 电能的生产、输送、分配和安全用电	314
§ 11-1 发电站概述	314
§ 11-2 电能的输送和分配	319
§ 11-3 車間供电綫路	322
§ 11-4 安全用电	325
§ 11-5 保护接地与保护接中綫	326
§ 11-6 电气設備使用的安全常識	329
§ 11-7 触电急救常識	330
小結	333
測驗作业	334
第一次測驗作业	334
第二次測驗作业	339
第三次測驗作业	341
实验指导书	343

实验一 单相交流电路	343
实验二 三相交流电路	346
实验三 并激直流发电机	349
实验四 并激直流电动机	351
实验五 鼠笼式异步电动机	354

附录

一、导线与电缆的容许持续电流 (安)	360
二、普通保险丝的额定电流	361
三、电机产品目录举例	361
四、常用电动机型号说明	363
五、习题答案	364

前 言

根据函授教育的特点，本书在内容和章节的组织等方面都作了适当的安排，以适应函授生利用业余时间进行自学的需要。在学习本课程时应注意以下几点：

一、本书在各章之前，均明确指出本章的目的与要求，学员必须注意学习，以便围绕各章课题中心自学。

二、学完每节后，可根据每节后面的“自我检查题”，对照“目的与要求”自行检查学习效果。学完一章后，应结合学习“小结”复习全章，以求对全章各节内容融会贯通。

三、必须透彻了解各种物理概念和各种现象的变化规律，切忌死记公式。对于某些难以简单说明的内容和数学演算、推导的层次，本书叙述均较详细；而对一些易于混淆和误解的问题，则作对比，区分正误，以便学员能集中精力钻研主要内容。

四、本书所列“习题答案”，仅供检查运算结果的正误之用。演算习题必须在掌握所学知识和充分理解题意的基础上进行，以便达到巩固知识、提高运算能力的目的。

五、本书附有“实验指导书”，实验前，应认真阅读，明确实验目的和内容，提高实验质量。

六、“测验作业”是检查学习质量的重要方式之一，学员均应按时独立地完成。本书各项测验作业均有五套题，学号最后一个数字为“1”和“6”的学员作第一套题，最后一个数字为“2”、“7”，“3”、“8”，“4”、“9”和“5”、“0”的学员分别作第二、三、四和第五套题。

緒 論

《电工学》是研究电能应用到各种技术部門中的課程。它包括有电工基础理論、电能的产生、輸送和使用等內容，这些內容的实质在于闡述有关电的基本規律和运用，以及电能与其它形态的能量互相轉換的原理和方法。

学习电工学的目的在于获得基本的电工基础理論、技术知識和实际操作技能，为学习有关专业課打下必要的基础，并为正确地运用电气設備，不断改进操作技术提供必要的条件。

近几十年来，电能已广泛的应用于工业、农业、交通运输、通訊和日常生活中。在現代所有各种形态的能量中，电能占有特別重要的地位。所以这样，其原因在于：

一、电能可以簡便地和其它形态的能量（例如热能、机械能、化学能、光能和原子能等）互相轉換；

二、电能可以远距离輸送，輸送的設備較簡單，能量的損失也較小；同时，还可以方便地分配給各种用电設備；

三、电能的控制和測量都很方便、迅速、准确，便于順利地使用用电設備。

在我国国民經济各部門中广泛的利用电能，具有重大的意义。在現代生产中，用电控制可使生产自动化，从根本上改善劳动条件，大大提高劳动生产率与丰富社会財富。然而，生产的电气化和自动化必然要求生产者具有較高的文化科学技术水平。因此，生产电气化和自动化的实现，将为生产力的极大发展，为消除脑力劳动和体力劳动的差別、城市和乡村的差別、工农

之間的差別創造良好的物质条件。列宁說過：“共产主义等于苏維埃政权加上全国电气化。”这句话是有深远意义的。

解放前，由于帝国主义、封建主义和官僚资本主义的三重压迫和黑暗統治，我国的国民經济长期处于落后状态，电力工业十分薄弱，技术水平也极为低劣。在1949年解放前夕，我国发电机容量仅有185万千瓦，发电量为44.2亿度。而且，这些容量极小的发电站还集中在大城市里，主要为反动統治階級服务。

解放后，在党和政府的英明领导下，我国电力工业获得了飞跃的发展。1960年发电量达到550亿度，比上述的44.2亿度增长了約十二倍；1961年发电机的实有容量达到920万千瓦，比1949年約多四倍。不仅如此，在1959年，我国已制成10万千瓦的汽輪发电机組和12.5万千瓦的水輪发电机組。此外，还生产了33万伏和大遮断容量的多油式断路器、压缩空气断路器等。

在以农业为基础、以工业为主导的方針指引下，我国农村小型发电站、电力提水站、电力排灌站在大量地建設着。农业生产开始在許多方面使用电力，我国农民多少年来梦寐以求的“点灯不用油”的理想，也在全国农村很多地区的人民公社实现了。

事实证明，我国的电力工业和其它事业一样，正在以资本主义国家望尘莫及的速度飞跃地发展着。

第一篇 电工基础和电气測量

第一章 直 流 电 路

目的与要求

本章是在物理学的电学基础上讲述电路的概念，并介紹欧姆定律、基尔霍夫第一、第二定律及电路中的能量轉換等問題。

通过这一章的学习，要求明确电路組成及电流产生的概念，建立电路內能量及功率轉換的概念，并掌握其中的計算方法。要求正确地掌握欧姆定律及基尔霍夫第一、第二定律，并能熟练地运用它們解决电路的計算問題。建立电容器的概念，了解电容器充放电过程，及确定儲存于电場中的能量。

本章是电工学的重要理論基础之一，所以必須彻底掌握本章各基本概念及定律。本章內容是以物理学中的电学部分为基础的，故在学习本課程之前应复习电学中有关部分（靜电場及直流电）的內容，为学习本課程打下基础。

§ 1-1 电 路 概 念

电路是由电源、負載（用电器）和連接导綫所組成（图1-1）。

电源內的电路称为內电路，負載及連接导綫称为外电路。电路中装有控制設備（如閘刀开关），用以控制电路的断开和接

通（如图 1-1 中 K 所示）。当电路接通时，电路内就有电流通过，同时在电路内将发生能量的转换。

电源（例如蓄电池、发电机等）是将化学能、机械能或其他形式的能量转变为电能的装置。负载（例如电灯、电动机等）是将电能转变为光能、热能、机械能或其他形式能量的装置。

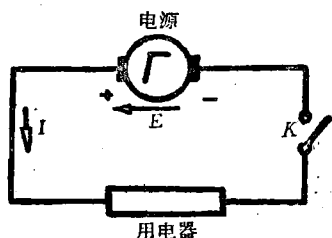


图 1-1 电路的组成

由于电源内具有移动电荷的外力，因此在电源的一端聚集着正电荷称为正端，而在另一端聚集着负电荷称为负端；在正、负端间存在着电位差，正端是高电位，负端是低电位。电位差在电源内部形成了电场，它的方向是从电源的正端指向负端。外力反抗电场对正电荷的作用力，而驱使正电荷自低电位移向高电位，这样，外力就对电荷做了功，将其他形式的能量转变为电能。在电源内，外力驱使单位正电荷由低电位端移向高电位端所做的功，称为电源的电动势，用 E 表示，即

$$E = \frac{A_{\text{外}}}{Q} \quad (1-1)$$

我们将外力作用在正电荷上的方向规定为电动势的方向，也就是指向电位升高的方向。

当电路接通时，由于电源两端的电位差在外电路中建立了电场，因而在电场力的作用下，使电路内的电荷作有规律的运动而形成了电流。我们规定正电荷运动的方向为电流的方向。在内电路中，电流是由电源的负端流向正端；在外电路中，电流则由正端流向负端。电流的强弱是用电流强度（简称电流）来度量的，用 I 表示。电流强度是单位时间内通过导体截面的电量，即

$$I = \frac{Q}{t}。 \quad (1-2)$$

如果电流的量值和方向在足够长的时间内保持不变，则这种电流称为恒定电流或直流。

△电流通过负载时，电场力克服负载中的阻力，驱使正电荷从高电位移向低电位而做功，此时负载将电能转换为其他形式的能量。电场力驱使单位正电荷从高电位经负载移向低电位所做的功，称为负载两端的电压，也称电位差，用 U 表示，即

$$U = \frac{A_{\text{电}}}{Q}。 \quad (1-3)$$

它的方向与电位降低的方向一致，所以电压就是电位降落，故又称电压降。

在实用单位制中，电动势与电压的单位是伏特（简称伏），电流的单位是安培（简称安）。

自我检查题

1. 电路是如何组成的？电路中的电流是如何形成的？
2. 电动势与电压有何区别？它们在电路中的作用有何不同？

§ 1-2 欧姆定律

若将电压加在导体两端，导体内的电荷就在电场力的作用下有规律的运动而形成电流。实验证明：通过导体的电流是与该段导体两端的电压成正比，而与该段导体的电阻成反比。可用公式表示：

$$I = \frac{U}{r}， \quad (1-4)$$

这就是我们所熟知的欧姆定律。

在实用单位制中，电流、电压及电阻的单位分别是安、伏及欧姆（简称欧）。

式（1-4）仅表示一段电路的欧姆定律，下面进一步讨论全电路的欧姆定律。

在闭合电路中，电源内部电路也有电阻，简称为内电阻，用 r_0 表示。当有电流通过时，在 r_0 上就要产生电压降落，简称内电压降。我们将这样的电源用一个电动势 E 和一个电阻 r_0 串联的等值电路来代替，如图 1-2 所示。这时整个电路的电阻为 $r + r_0$ 。

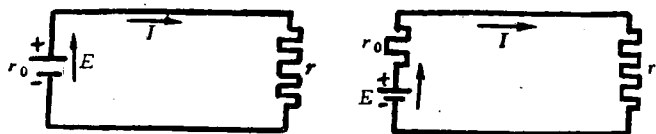


图1-2 等值电路

根据一段电路的欧姆定律，即可得知电路内电流 I 与电动势 E 成正比，而与整个电路的电阻 $r + r_0$ 成反比，即

$$I = \frac{E}{r + r_0}, \quad (1-5)$$

上式表示全电路的欧姆定律。

式（1-5）可写成

$$Ir = E - Ir_0,$$

根据一段电路的欧姆定律： $U = Ir$,

故
$$U = E - Ir_0. \quad (1-6)$$

式中 Ir_0 为电源内部电阻上的电压降， U 为电源端电压，也是外电路负载电阻上的电压降，故电源端电压为电动势与电源内电压降之差。

从式（1-5）及式（1-6）可看出：若电阻 r 越大时，电流

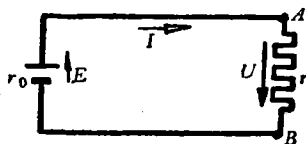
I 就越小, 电压降 $I r_0$ 也就越小, 端电压 U 就越接近于电动势 E 。故可推知: 当外电路断开时 (即 $r = \infty$), 也就是在空载时, 电流为零, 式 (1-6) 则成为:

$$U = E \quad (1-7)$$

由此可知: 当空载时 ($I=0$), 电源端电压等于电动势。

例1-1 如图1-3, 已知 $E=12$ 伏, $r_0=0.1$ 欧, $r=3.9$ 欧, 求电路中电流 I , 电源内电压降 $I r_0$, 电源端电压 U 。又问 A 、 B 二点的电位哪一点高? U 的方向应怎样画?

解 电路中电流 $I = \frac{E}{r + r_0}$,



得
$$I = \frac{12}{0.1 + 3.9} = \frac{12}{4} = 3 \text{ 安};$$

图 1-3

电源内电压降为 $I r_0$ 。

得
$$I r_0 = 3 \times 0.1 = 0.3 \text{ 伏};$$

电源端电压
$$U = E - I r_0,$$

得
$$U = 12 - 0.3 = 11.7 \text{ 伏}。$$

因为电流在外电路是从高电位流向低电位, 所以 A 点电位比 B 点高; 电压的方向如图中箭号所示。

在电路中, 由于电阻连接形式不同, 所以总电阻的计算也不同。电阻可以接成串联、并联及混联等形式。

图1-4所示为串联形式。电阻接成串联时, 各负载电阻通

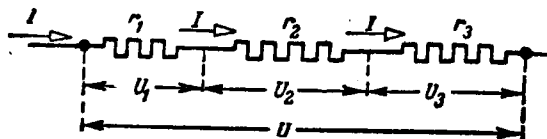


图1-4 电阻串联电路