

DIANGONG
JISHU JICHU

电工技术基础

电工技术基础

李寿清 主编



DGJS



349820

电工技术基础

李 寿 溥 主编



华中理工大学出版社



电 工 技 术 基 础

李寿溥 主编

责任编辑 邹献华

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社沔阳印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 14.75 字数: 330 000

1991年5月第1版

1991年5月第1次印刷

印数: 1-2 000

ISBN 7-5609-0544-7/TM·36

定价: 5.95元

前 言

本书是根据国家教委批准的“电工技术”课程55~70学时的教学基本要求而编写的。东北电力学院骆济寿同志、王欣棟同志和张维国同志对该书进行了详细审读，提出了大量修改意见，编者与他们进行反复讨论后修改定稿的。

本书通俗易懂，物理概念明确，例题较多，每节后有小结、作业题和思考题，非常适合自学。此书可作为非电专业的本科生教材和函授生教材。

对于此书的学习，要求达到如下目的：熟悉常见电路的分析和计算；熟悉常用电机的工作原理和主要的运行维护事项，并对常见的故障有一定的了解；会使用常见的电工仪表。

书中有“*”的节或其中的部分内容，属于加宽加深的内容，可以根据需要选择学习。函授生可缓学第四章、第六章、第十一章、第十二章和第十三章的内容，先集中力量学好其它各章，特别是第一至第三章的内容要重点学习。

本书的第八章和第九章由叶丽编写，其余各章由李寿溥编写。

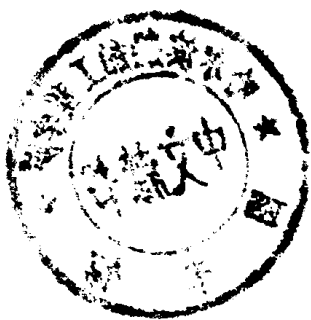
在此书中，作者对几个理论问题提出了个人的看法，改变了若干内容的分析和论证法。由于个人能力有限，内容中难免存在缺点错误，望广大读者批评指正。

编者

内 容 提 要

本书共分十三章。第一至七章为电路部分，内容包括：电路的基本概念和基本定律，线性直流电路，正弦交流电路，周期非正弦交流电路，三相电路，电路中的过渡过程，磁路和交流铁心线圈电路。第八至十二章为电机部分，内容包括：变压器，异步电动机，同步电机，直流电机，控制电机。第十三章为发电厂的电气部分。

此书的特点是：通俗易懂，物理概念明确，例题较多，每节后有小结、作业题和思考题，特别适合自学。本书既可作授课学时55~70的非电专业的本科生教材，又可作函授生教材。



目 录

第一章 电路的基本概念和基本定律.....	(1)
§ 1-1 电路的基本物理量	(1)
§ 1-2 电阻、欧姆定律和电位计算	(7)
§ 1-3 电能和电功率	(13)
§ 1-4 电路的工作状态	(16)
§ 1-5 电阻的串联和并联	(23)
§ 1-6 克希霍夫定律	(31)
§ 1-7 小结	(36)
第二章 线性直流电路.....	(38)
§ 2-1 概述	(38)
§ 2-2 电流源和电压源的等效互换	(40)
§ 2-3 支路电流法	(47)
§ 2-4 节点电压法	(53)
§ 2-5 重叠定理	(57)
§ 2-6 代维宁定理	(62)
§ 2-7 诺登定理	(66)
§ 2-8 电阻联接的Y- Δ 等值互换	(68)
§ 2-9 小结	(76)
§ 2-10 综合练习.....	(78)
第三章 正弦交流电路.....	(81)
§ 3-1 概述	(81)
§ 3-2 表示交流量变化快慢的名词	(82)

§ 3-3	表示交流流量大小的名词	(85)
§ 3-4	表示交流流量变化位置——相位的名词	(88)
§ 3-5	正弦量的表示法	(95)
§ 3-6	交流电路的参数	(105)
§ 3-7	电阻电路	(109)
§ 3-8	电容电路	(114)
§ 3-9	电感电路	(122)
§ 3-10	同频率正弦量的加法和减法	(128)
§ 3-11	R 、 L 、 C 串联电路	(136)
§ 3-12	正弦交流电路的分析和计算	(149)
§ 3-13	复导纳与复阻抗的等值互换	(154)
§ 3-14	电路中的谐振	(158)
§ 3-15	功率因数的提高	(170)
§ 3-16	小结	(175)
第四章	周期非正弦交流电路	(178)
§ 4-1	概述	(178)
§ 4-2	周期非正弦电流的有效值	(179)
§ 4-3	周期非正弦线性电路的计算	(182)
第五章	三相电路	(188)
§ 5-1	概述	(188)
§ 5-2	三相发电机绕组的星形接线	(191)
§ 5-3	三相发电机绕组的三角形接线	(195)
§ 5-4	三相负载的Y接线	(198)
§ 5-5	三相负载的 Δ 接线	(208)
§ 5-6	负载的三相接线小结	(211)
§ 5-7	三相功率的测量	(215)
第六章	电路中的过渡过程	(220)

§ 6-1	概述·····	(220)
§ 6-2	电容器通过电阻放电·····	(221)
§ 6-3	R 、 C 串联接入恒定电压时的过渡过程 ·····	(226)
§ 6-4	载流线圈的短路·····	(235)
§ 6-5	线圈接入恒定电压·····	(240)
§ 6-6	小结·····	(244)
第七章	磁路和交流铁心线圈电路 ·····	(248)
§ 7-1	概述·····	(248)
§ 7-2	磁场的基本物理量·····	(249)
§ 7-3	铁磁物质的磁化·····	(251)
§ 7-4	磁路概述·····	(256)
§ 7-5	交流铁心线圈电路·····	(260)
§ 7-6	电磁铁·····	(269)
第八章	变压器 ·····	(271)
§ 8-1	概述·····	(271)
§ 8-2	变压器的结构及空载运行·····	(273)
§ 8-3	变压器带负载运行·····	(278)
§ 8-4	三相变压器和变压器的三相接线·····	(290)
§ 8-5	自耦变压器和多绕组变压器·····	(293)
§ 8-6	仪用变压器·····	(295)
§ 8-7	变压器的额定值·····	(298)
§ 8-8	小结·····	(299)
第九章	异步电动机 ·····	(300)
§ 9-1	概述·····	(300)
§ 9-2	三相异步电动机的基本构造·····	(301)
§ 9-3	三相旋转磁场·····	(303)

§ 9-4	三相异步电动机的基本工作原理	(308)
§ 9-5	三相异步电动机的定子电路	(311)
§ 9-6	三相异步电动机的转子电路	(314)
§ 9-7	三相异步电动机的转矩	(317)
§ 9-8	三相异步电动机的起动	(326)
§ 9-9	三相异步电动机的铭牌数据	(333)
§ 9-10	异步电动机的允许运行方式	(338)
§ 9-11	异步电动机的常见故障	(340)
§ 9-12	单相异步电动机	(345)
§ 9-13	小结	(351)
第十章	同步电机	(354)
§ 10-1	概述	(354)
§ 10-2	同步发电机的基本结构和工作原理	(355)
§ 10-3	带负载下的同步发电机	(362)
§ 10-4	同步发电机的并列运行	(366)
§ 10-5	同步发电机的额定值	(377)
§ 10-6	同步电动机	(378)
第十一章	直流电机	(380)
§ 11-1	概述	(380)
§ 11-2	直流电机的基本构造	(381)
§ 11-3	直流电机的基本工作原理	(383)
§ 11-4	直流发电机	(387)
§ 11-5	并激直流电动机	(395)
§ 11-6	直流电机的额定值	(402)
§ 11-7	小结	(403)
第十二章	控制电机	(404)
§ 12-1	概述	(404)

§ 12-2	伺服电动机·····	(405)
§ 12-3	测速发电机·····	(410)
§ 12-4	自整角机·····	(415)
§ 12-5	回转变压器·····	(419)
§ 12-6	小结·····	(421)
第十三章	发电厂的电气部分·····	(422)
§ 13-1	概述·····	(422)
§ 13-2	切断电路时的电弧·····	(426)
§ 13-3	低压电器及其控制电路·····	(429)
§ 13-4	电气主接线·····	(438)
§ 13-5	发电厂的厂用电·····	(442)
§ 13-6	安全用电常识·····	(444)
§ 13-7	小结·····	(449)
习题答案	·····	(451)

第一章 电路的基本概念和基本定律

通常总是通过这样那样的电路来进行电能的传输和电信号的传递，因此，掌握电路理论是学习电工的基础。

本章主要介绍各基本电工量和电路遵循的基本规律。后者包括以下两个基本内容：其一是组成电路之各元件的外特性，即元件的端电压与流过它的电流的关系，这一关系用数学公式或特性曲线来表示；其二是整个电路中各元件相互间必须服从的关系，即克希霍夫电流定律和电压定律。由于以上内容基本上是物理学中有关内容的复习，所以在本章中一般只对它们作简短的概括和对比，读者如欲对这些内容作更详细的了解，希参看物理学中的相应章节。

由于本章的内容是整个“电工技术基础”中要用到的基本概念和基本规律，是学好“电工技术基础”的关键，所以要求读者熟悉本章所讲的定义、定律、公式、单位和符号，熟练掌握它们的应用，明确所有的概念。

§ 1-1 电路的基本物理量

一、电流

1. 电流及其大小

电荷按一定方向运动就形成了电流。电流的通路叫电路。

电流的大小用电流强度表示。单位时间内通过某物体横截面的电量就是通过该物体的电流强度。它的数学表达式为

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

式中， i ——随时间变化的电流；

dq —— dt 时间内通过某物体横截面的电量。

电流强度与时间无关的电流叫恒定电流，简称直流。直流
量均用大写字母表示。直流的电流强度为

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

式中， Q 为时间 t 内通过物体横截面的电量。

电流强度简称为电流。直流的电流强度简称为直流电流。

2. 电流的单位

在电工中应用国际单位制，它的时间单位为秒（s），长度单位为米（m），质量单位为千克（kg），电量单位为库仑（C），电流单位为安培，简称安（A）。每秒通过物体横截面的电量为1C时，它的电流就是1A，即

$$1\text{安(A)} = \frac{1\text{库(C)}}{1\text{秒(s)}}$$

较大的电流用千安（kA）和兆安（MA）表示，较小时电流用毫安（mA）、微安（ μA ）、毫微安或纳安（nA）、微微安或皮安（ $\mu\mu\text{A}$ 或pA）表示。

$$1\text{MA} = 10^6\text{A}, \quad 1\text{kA} = 10^3\text{A},$$

$$1\text{mA} = 10^{-3}\text{A}, \quad 1\mu\text{A} = 10^{-6}\text{A},$$

$$1\text{nA} = 10^{-9}\text{A}, \quad 1\text{pA} = 10^{-12}\text{A}.$$

上述计量单位用的M、k、m、 μ 、n和p等术语也同样适用于其它单位，例如 $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ 。计算结果应根据实际值选用适当的单位，如 13200A 宜写作 13.2kA ， $1.32 \times 10^{-5}\text{A}$ 宜记为 $13.2\mu\text{A}$ ， 0.005V 宜记为 5mV 。

3. 电流的方向

必须注意：电工量的方向均有实际方向和正方向的区别。

按照习惯，规定各电工量的实际方向时，均以正电荷为试验电荷。因此，某导体中的电流实际方向就是正电荷在它内部的运动方向（或电子运动的反方向）。按照这个规定，一般导体中的电流实际方向为从正极指向负极。正是由于这个习惯，今后讨论电荷的运动时，一般只讨论正电荷的运动。但是，由于

(1) 在交流电路中，电流的实际方向随时间改变。

(2) 在较复杂的直流电路中，计算前很难判断每条导线中的电流实际往哪个方向流，一般只有完成电路计算之后才能知道每条导线中电流的实际方向。

因此，作电路分析和计算时，总是先给每条导线中的电流任意规定一个方向为它的正方向。当电流的实际方向与正方向一致时，这个电流就是正值，反之为负值。例如在图 1-1 中，设 a 端接电源正极， b 端接电源负极，则电流的实际方向显然是从 a 到 b 。如果这个电流的正方向设为从 a 到 b ，并用符号 I_{ab} 表示（图中常用箭头指向表示正方向），则电流 I_{ab} 为正值；若以从 b 到 a 为电流的正方向并用符号 I_{ba} 表示，则 I_{ba} 为负值，并且

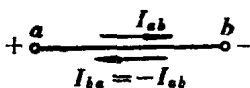
$$I_{ba} = -I_{ab}$$


图 1-1

二、电压

1. 电压的大小

电荷间同性相斥、异性相吸的相互作用力叫电场力。电场力将单位正电荷从一点搬到另一点时所作的功，就是这两点间的电压。 a 、 b 两点间的直流电压为

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} = \int_a^b \vec{F} d\vec{l} / Q \quad (1-3)$$

式中, W_{ab} 为电场力 F 将电荷 Q 从 a 移动到 b 时电场所作的功。

2. 电压的单位

在国际单位制中, 电压的单位为伏特, 简称伏, 伏特的符号为 V 。当电场力将 1 库仑的电量从一点移动到另一点所作的功为 1 焦耳时, 这两点间的电压就是 1 伏特。即

$$1 \text{ 伏 (V)} = \frac{1 \text{ 焦 (J)}}{1 \text{ 库 (C)}}$$

3. 电压的方向

电压的实际方向就是电场力移动正电荷的方向, 即从正极指向负极。

电压的正方向也是任意假设的。符号 U_{ab} 表示电压的正方向是从 a 到 b , U_{ba} 则表示电压的正方向为从 b 到 a 。显然

$$U_{ba} = -U_{ab}$$

三、电位

电位就是“物理”中讲的电势。任一点 a 到参考点的电压 U_a 就是 a 点的电位。参考点即零电位点, 它是任意选定的。物理学中以无限远点作参考点, 电工中常以大地作参考点。

电位既然是特殊的电压, 所以它的单位也是伏特。

两点间的电压等于这两点间的电位之差, 即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

故电压也叫电位差。

四、电(动)势

电(动)势在电工中简称为电势。直流电势的符号为 E 。

电场力使正负电荷中和（图 1-2）。在电场力作用下，正极的正电荷不断跑到负极与它的负电荷中和，使两极的电荷都愈来愈少，以至完全中和，这时，不再存在电场力，从而也不再有电场力引起的电流。由此可见：只有电场力，不能维持连续不断的电流；要维持连续不断的电流，必须在电场力使两极电荷中和的同时，还有一种力使正负电荷分

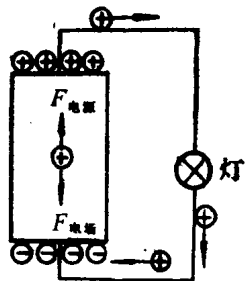


图 1-2

开，从而在两极间保持一定的电压。能使正负电荷分开的力叫电源力。在电源外部的电路——外电路中，电场力使正电荷从电源正极流向它的负极，而在电源内部——内电路，电源力克服电场力的反作用，使正电荷由电源负极再移动到它的正极，或者说，外电路的电流（实际）方向从正到负，而内电路的电流（实际）方向则从负到正。在发电机中，导线运动时切割磁力线产生的电磁力就是使其正负电荷分开的电源力。

电源力将单位正电荷从电源的负极移动到它的正极时所做的功，叫这个电源的电势。直流电势为

$$E = \frac{W}{Q} = \frac{\int_{\text{负极}}^{\text{正极}} \overline{F_{\text{电源}}} d\vec{l}}{Q} \quad (1-5)$$

式中， W 为电源力将正电荷 Q 从电源负极移到正极时所做的功。

电势的单位也是伏特。电势的实际方向就是电源力移动正电荷的方向，即由电源负极指向电源正极。可见，在电源内部，电压的实际方向与电势的实际方向相反。

五、小结

1. 正方向和实际方向

各电工量的实际方向是以正电荷作试验电荷定出来的。因此，电流的实际方向是：外电路从正极流向负极，内电路从负极流向正极。电压的实际方向从正极指向负极，而电势的实际方向则从负极指向正极。

正方向是任意假定的方向。今后电路中标示的电流和电压的方向均为正方向。如实际的电流（或电压）方向与所设正方向相同，则电流（或电压）为正，反之为负。

2. 电压、电位和电势的相互关系

电位是特殊的电压，任一点的电位就是这点对参考点的电压。两点间的电压等于这两点的电位差。

电势表示电源力作功的能力，而电压则表示电场力作功的能力，它们的单位都是伏特，但电势的实际方向是从电源负极指向正极，而电压的实际方向则与之相反，是从正极指向负极。

六、作业题和思考题

1-1-1 设 $U_{AB} = 10\text{V}$ ， $U_A = 3\text{V}$ ，求 $U_B = ?$ 又若 $U_A = -3\text{V}$ ，求 $U_B = ?$

1-1-2 在图1-3中，设 $U_A = 10\text{V}$ ， $U_B = 3\text{V}$ ， $U_C = 4\text{V}$ ， U_1 、 U_2 、 U_3 的正方向如图中所示，求 U_1 、 U_2 和 U_3 各等于多少？

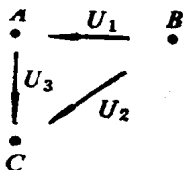


图 1-3

1-1-3 如果改变电位的参考点，能否改变两点间的电压？为什么？

1-1-4 在图1-3中，如以B点为参考点，求 U_A 、 U_B 和 U_C 各等于多少？

必做的作业：1-1-1、1-1-2和1-1-4。

§ 1-2 电阻、欧姆定律和电位计算

一、欧姆定律

当电流在物体中流过时，总要受到一定的阻力，例如运动的电荷（自由电子或正负离子）与其它原子相碰撞，这种碰撞使运动电荷的动能（由电位能转换而来）变为被碰撞原子的热能。因此，沿电流实际方向，电位能不断下降，或者说，产生了电压降。物体对电流流动的阻力用电阻表示。电阻的符号为 R 。

实验和理论都证明：当电流和电压的正方向如图 1-4 所示时，电阻的端电压与其电流的关系为

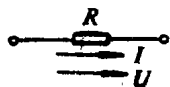


图 1-4

$$U = IR \quad (1-6)$$

这就是欧姆定律。

在国际单位制中，电阻的单位是欧姆，简称欧，符号为 Ω 。由欧姆定律可知，

$$1\text{欧}(\Omega) = \frac{1\text{伏}(\text{V})}{1\text{安}(\text{A})}$$

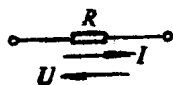


图 1-5

若电流和电压的正方向如图 1-5 所示，则欧姆定律应写为

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

按照习惯，今后电流和它产生的电阻压降取相同的正方向，因此只用公式 (1-6)。

思考题1-2-1 公式 (1-6) 和 (1-7) 是否符合沿电流的实际方向电位能不断下降的论断？试举例说明之。

二、电阻的大小与哪些条件有关

(1) 任一物体的电阻与该物体的长度 l 成正比，与它的横