



二十一世纪普通高等教育系列教材

电工基础

DIANGONGJICHU

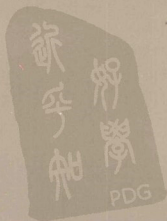
主编 孙绍彬



中国传媒大学出版社

责任编辑：沈德煊

封面设计：01008994018



ISBN 978-7-81127-283-3

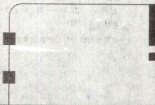
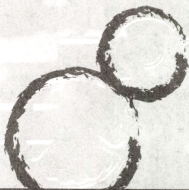


9 787811 272833 >

定价：26.00元



二十一世纪普通高等教育系列教材



电工基础

DIANGONGJICHU

主编 孙绍彬



中国石化大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工基础/孙绍彬主编. —北京:中国传媒大学出版社,

2008.5

21世纪高职高专规划教材

ISBN 978-7-81127-283-3

I. ①电… II. ①孙… III. ①电工学—高等学校;技术学校—教材 IV. TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第066408号

电工基础

主 编 孙绍彬

责任编辑 沈德信

责任印制 曹 辉

出 版 人 蔡 翔

出版发行 中国传媒大学出版社(原北京广播学院出版社)

北京市朝阳区定福庄东街1号 邮编 100024

电话:010-65450532 65450528 传真:010-65779405

<http://www.cucp.com.cn>

经 销 新华书店总店北京发行所

印 刷 北京市通县华龙印刷厂

开 本 787×1092mm 1/16

印 张 14.75

版 次 2008年6月第1版 2008年6月第1次印刷

书 号 978-7-81127-283-3 定 价 26.00 元

版权所有

侵权必究

印后增值

负责编校



前 言

FOREWORD

电力事业是关乎国家国计民生的大事,培养高素质的电工是普通高校教育义不容辞的责任。从这个基点出发,中国传媒大学出版社经过深刻调研,广泛听取高校教师及部分专家意见,组织全国知名高职院校教师共同编写了这本《电工基础》教材。

通过本课程的学习,学生可得到电工技术必要的基础理论、基本知识和技能,可以了解电工技术的发展,为学习后续课程及从事有关的工程技术和科学研究工作打下良好的理论和实践基础。

本书在编写上具有以下特点:

1. 内容精当,实践性强

“电工基础”作为电学的基础学科,要求教材对电学的基础理论——基本概念、元件、定律、方法等做一个详细介绍。本教材在整体涵盖以上知识门类的同时,通过多次精选,删繁就简,革故鼎新,最终入编的内容都是关键、实用、实践性强的知识。既能满足学生的理论学习需求,又能快速指导实践活动,学以致用。

2. 循序渐进,实例课堂

本书的基础理论知识由浅入深、循序渐进,原理阐释清晰明了。在重点介绍电工技术基础知识的同时,每章节给出了一些常用的、典型的和新型的实例,目的是使学生易于理解和掌握所学理论知识,提高学生实践认知和实践操作能力,拓展学生知识面。

3. 架构科学,边学边练

在注重理论、认知等动脑能力的同时,本教材对应设置了实验章节,这样

有利于学生对所学知识的及时考量和实践,以提升对理论知识的理解,提高自己的动手能力和解决实际问题的能力,同时也能够培养学生发现问题、解决问题的思维方式,为日后走上社会奠定实践基础。本教材每章节后面都附有本章练习题,用于学生自测。

本书共分七个章节和十次实验。七个章节依次为:电路的基本定律和基本分析方法,一阶动态电路的过渡过程,正弦交流电路,三相交流电路,变压器与异步电动机,继电器——接触控制线路,可编程控制器。本书由山东德州科技职业学院的孙绍彬、李桂花老师担任主编。本书适用于普通高等院校(或职业院校)理工科学生使用,可供职大、夜大、函授类学校使用,还可以供其他工科专业学者和从业人员阅读参考。

为保证教材内容的准确性和时代性,本书在编写过程中参考了诸多同行同仁们编写的优秀教材,在此,编委会向大家表示诚挚的谢意。

尽管本书在从组稿到定版几经专家教授反复修改斟酌,但由于编者能力和水平有限,加之实际教学实践过程中许多问题有待重新审定,因此不当之处在所难免,恳请广大师生和读者积极批评指正。

编者



编委会

主 编 孙绍彬 李桂花 王梦文

副主编 张扬林

编 者 孙绍彬 李桂花 王梦文

张扬林

CONTENTS

目 录

电路的基本定律与基本分析方法

第一节 电路的基本概念	(1)
第二节 电路的基本物理量	(3)
第三节 电路的工作状态	(8)
第四节 基尔霍夫定律	(12)
第五节 电路的等效变换	(17)
第六节 电路的基本分析方法	(28)
第七节 最大功率传输定理	(39)
第八节 电路中电位的概念及计算	(40)
习 题	(42)

一阶动态电路的过渡过程

第一节 电路中的过渡过程	(47)
第二节 常见储能元件	(48)
第三节 换路定律	(55)
第四节 一阶电路的零输入响应	(57)
第五节 一阶电路的零状态响应	(62)
第六节 一阶电路的全响应	(67)
第七节 过渡过程的应用	(71)
习 题	(73)

正弦交流电路

第一节 正弦交流电的基本概念	(77)
第二节 交流电的表示方法	(81)
第三节 电阻元件的交流电路	(85)
第四节 电感元件的交流电路	(88)
第五节 电容元件的交流电路	(93)
第六节 相量形式的基尔霍夫定律	(97)



第七节	用相量法分析 RLC 串联电路及多阻抗串联电路	(98)
第八节	功率因数的提高	(105)
习 题		(107)

第 4 章

三相交流电路

第一节	三相电压	(109)
第二节	负载星形连接的三相电路	(112)
第三节	负载的三角形连接	(116)
第四节	三相电路的功率	(118)
习 题		(120)

第 5 章

变压器与异步电动机

第一节	磁场的基本物理量	(123)
第二节	铁磁材料的磁性能	(125)
第三节	磁路及其基本定律	(128)
第四节	交流铁心线圈电路	(129)
第五节	变压器	(131)
第六节	异步电动机及其特性	(143)
第七节	三相异步电动机的运行特性	(149)
第八节	三相异步电动机的应用	(152)
习 题		(159)

第 6 章

继电器—接触器控制线路

第一节	电器简介	(163)
第二节	低压控制电器	(164)
第三节	三相异步电动机的起动	(181)
第四节	三相异步电动机的运行	(185)
第五节	三相异步电动机的制动	(186)
习 题		(188)

第 7 章

可编程控制器

第一节	可编程控制器简介	(191)
第二节	PC 的组成与工作原理	(193)
第三节	FX2 系列 PC 简介	(197)
第四节	PC 的基本逻辑指令	(201)
第五节	PC 应用设计的基本方法与编程实例	(204)
习 题		(207)

实验部分

实验一	万用表的使用	(209)
实验二	基尔霍夫定律的实验验证	(211)
实验三	叠加原理实验	(213)
实验四	戴维南定理和诺顿定理实验	(214)
实验五	改善功率因数实验	(218)
实验六	三相电路	(220)
实验七	三相笼型异步电动机的拆卸与装配	(222)
实验八	认识常用低压电器	(222)
实验九	接触器自锁长动控制线路	(224)
实验十	可编程控制器(PC)实验	(225)



第1章 电路的基本定律与基本分析方法

第一节 电路的基本概念

一、电路的组成与功能

在日常生活和工作中,人们会遇到各种各样的电路。如照明电路,收音机中选取所需电台的调谐电路、电视机中的放大电路以及生产和科研中各种专门用途的电路等。电路是由电气设备和元器件按一定方式连接起来的整体,它提供电流流通的路径。图 1-1(a)所示的是一个最简单的实际电路——手电筒电路,它由电池、灯泡、开关及连接导线组成。

电源(如电池)、负载(如灯泡)、导线和控制设备(如开关及连接导线)是电路的基本组成部分。

电源是对外提供电能的装置,它将其他形式的能量转换成电能。例如,干电池和蓄电池将化学能转换成电能,发电机将热能、水能、风能、原子能等转换成电能。电源是电路中能量的来源,是推动电流运动的源泉,在它的内部进行着由非电能到电能的转换。

负载是用取电能的装置,它把电能转换为其他形式的能量。例如,白炽灯将电能转换成光能,电动机将电能转换为机械能,电炉将电能转换为热能等。

导线和控制设备用来连接电源和负载,为电流提供通路,起传递和控制电能的作用,并根据负载需要接通和断开电路。

二、电路模型和电路图

实际的电路器件在工作时的电磁性质是比较复杂的,不是单一的。例如白炽灯、电阻炉,它在通电工作时能把电能转换成热能,消耗电能,具有电阻的性质,但其电压和电



流还会产生电场和磁场,故也具有储存电场能量和磁场能量即电容和电感的性质。

(一)电路模型

在进行电路的分析和计算中,如果要考虑一个器件所有的电磁性质,是十分困难的。为此,对于组成实际电路的各种器件,我们忽略其次要因素,只抓住其主要电磁特性,把实际工程中的各种设备和电路元件用有限的几个理想化的电路元件来表示。

例如,白炽灯可用只具有消耗电能的性质,而没有电场和磁场特性的理想电阻元件来近似表征;一个电感线圈可用只具有储存磁场能量的性质,而没有电阻及电容特性的理想电感元件来表征。这种由一个或几个具有单一电磁特性的理想电路元件所组成的电路就是实际电路的电路模型,图 1-1(b)即为图 1-1(a)的电路模型。

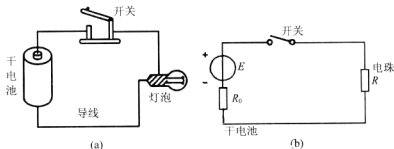


图 1-1 手电筒电路

(二)电路图

由理想电路元件构成的电路叫做实际电路的电路模型,它是对实际电路电磁性质的科学抽象和概括,也叫做实际电路的电路原理图,简称为电路图。在电路图中,各电路元件必须使用多家统一标准的图形和符号表示。部分常用的电气元件符号见表 1-1。

表 1-1 常用理想元件及符号

名称	符号	名称	符号
电阻		电压表	
电池		接地	
电灯		熔断器	
开关		电容	

名称	符号	名称	符号
电流表		电感	

第二节 电路的基本物理量

一、电流

电荷的定向移动形成电流。电流的实际方向一般是指正电荷运动的方向。电流的大小通常用电流强度来表示,电流强度指单位时间内通过导体横截面的电荷量。电流强度习惯上简称为电流。

电流主要分为两类:一类为恒定电流,其大小和方向均不随时间变化而变化,简称为直流,常简写作 dc 或 DC ,其强度用符号 I 表示。另一类为变动电流,其大小和方向均随时间变化而变化,其强度用符号 i 表示。其中,一个周期内电流的平均值为零的变动电流称为交流电流,常简写作 ac 或 AC ,其强度也用符号 i 表示。图 1-2 给出了几种常见电流,(a)为直流,(b)、(c)均为交流。其中(b)为正弦交流电流,(c)为锯齿波电流。

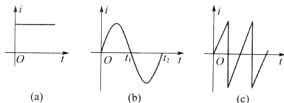


图 1-2 几种常见电流

对于直流电流,单位时间内通过导体横截面的电荷量是恒定不变的,其电流强度为:

$$I = \frac{Q}{t}$$

对于变动电流(含交流),若假设在一很小的时间间隔 dt 内,通过导体横截面的电荷量为 dq ,则该瞬间电流强度为:

$$i = \frac{dq}{dt}$$

电流的单位是安培,用符号为 A 。它表示 1 秒(s)内通过导体横截面的电荷量为 1 库仑(C)。有时也会用到千安(kA)、毫安(mA)或微安(μA)等,其关系如下:

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

在一段电路或一个电路元件中,事先任意假设的一个电流方向称为电流的参考方向。电流的参考方向可以任意假设,但电流的实际方向是客观存在的,因此,所假设的电流参考方向并不一定就是电流的实际方向。本书中用实线箭头表示电流的参考方向,用虚线箭头表示电流的实际方向。电流的参考方向与实际方向如图 1-3 所示。

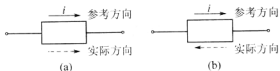


图 1-3 电流的参考方向与实际方向

由图 1-3 可以看出,当 $i > 0$ 时,电流的实际方向与假设的参考方向一致;当 $i < 0$ 时,电流的实际方向与假设的参考方向相反。

【例 1-1】 如图 1-4 所示,选取电路中电流的参考方向由 $A \rightarrow B$,当电流 $I = -2\text{A}$ 时,电流的实际方向如何?

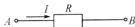


图 1-4

解: $B \rightarrow A$ 。

二、电压

电路分析中另一个基本物理量是电压。直流电路中 a 、 b 两点间电压的大小等于电场力把单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功。电压的实际方向就是正电荷在电场中受电场力作用移动的方向。在直流电路中,电压为一恒定值,用 U 表示,即

$$U = \frac{W}{Q}$$

在变动电流电路中,电压为一变值,用 u 表示,即

$$u = \frac{dW}{dq}$$

电压的单位是伏特,简称伏,符号为 V ,即电场力将 1 库仑(C)正电荷由 a 点移至 b 点所做的功为 1 焦耳(J)时, a 、 b 两点间的电压为 $1V$ 。

有时也需用千伏(kV)、毫伏(mV)或微伏(μV)作电压的单位。

像电流需要指定参考方向一样,在电路分析中,也需要指定电压的参考方向。在元件或电路中两点间可以任意选定一个方向作为电压的参考方向。

电路图中,电压的参考方向一般用“+”、“-”极性表示(电压参考方向由“+”极性指

向“-”极性),如图 1-5 所示。

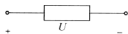


图 1-5 电压的参考方向表示法

当然,电压的参考方向也可用实线箭头或双下标 u_{ab} (电压参考方向由 a 点指向 b 点) 表示。

当 $u > 0$, 即电压值为正时,电压的实际方向与它的参考方向一致;反之,当 $u < 0$, 即电压值为负时,电压的实际方向与它的参考方向相反。电压的参考方向与实际方向的关系如图 1-6 所示。

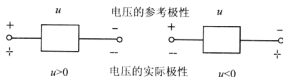


图 1-6 电压的参考方向与实际方向

在电路分析中,电流的参考方向和电压的参考方向都可以各自独立地任意假设。但为了分析问题的方便,对一段电路或一个元件,通常采用关联参考方向,即电压的参考方向与电流的参考方向是一致的。电流从标电压“+”极性的一端流入,并从标电压“-”极性的另一端流出,如图 1-7 所示。

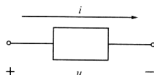


图 1-7 电流和电压的关联参考方向

【例 1-2】 如果移动 10C 的电荷需要消耗 50J 的能量,求电压是多少?

解:

$$U = \frac{W}{Q} = \frac{50\text{J}}{10\text{C}} = 5\text{V}$$

【例 1-3】 试在图 1-8(a)中标出元件 1、2、3、4 的电压实际方向及 5、6 电流实际方向。

解:各电压电流的实际方向如图 1-8(b)所示,虚线箭头代表实际方向。

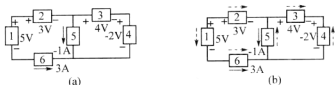


图 1-8

三、电阻和电导

(一)电阻

电阻元件是对电流呈现阻碍作用的耗能元件,例如灯泡、电热炉等电器。导体的电阻是客观存在的,它与导体两端有无电压无关,即使没有电压,导体仍然有电阻。实验证明:当温度一定时,均匀导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面积成反比,并与导体的材料性质有关,即:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

式中: ρ 为制成电阻的材料电阻率,国际单位制为欧姆·米, $\Omega \cdot \text{m}$;

L 为绕制成电阻的导线长度,国际单位制为米, m ;

S 为绕制成电阻的导线横截面积,国际单位制为平方米, m^2 ;

R 为电阻值,国际单位制为欧姆, Ω 。

经常用的电阻单位还有千欧($\text{k}\Omega$)、兆欧($\text{M}\Omega$),它们与 Ω 的换算关系为

$$1\text{k}\Omega = 10^3 \Omega; \quad 1\text{M}\Omega = 10^6 \Omega$$

(二)电导

电阻的倒数叫做电导,用符号 G 表示,即:

$$G = \frac{1}{R}$$

导体的电阻越小,电导就越大,表明导体的导电性能越好。电阻和电导是导体同一性质的不同表示方法,并不是导体在本质上有什么变化。电导的单位是西门子,简称西,用字母 S 表示。

四、电能和功率

(一)电能

电能是指在一定的时间内电路元件或设备吸收或发出的电能量,用符号 W 表示,其国际单位制为焦耳(J),电能的计算公式为:

$$W = P \cdot t = UI t$$

通常电能用千瓦时($\text{kW} \cdot \text{h}$)来表示大小,也叫度(电):

$$1 \text{ 度(电)} = 1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}.$$

即功率为 1000 W 的供能或耗能元件,在 1 小时的时间内所发出或消耗的电能量为 1 度。

(二)电功率

电功率(简称功率)所表示的物理意义是电路元件或设备在单位时间内吸收或发出的电能。两端电压为 U 、通过电流为 I 的任意二端元件(可推广到一般二端网络)的功率大小为:

$$P = UI \text{ 或 } P = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

功率的国际单位制单位为瓦特(W),常用的单位还有毫瓦(mW)、千瓦(kW),它们与 W 的换算关系

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}; 1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

吸收或发出:一个电路最终的目的是电源将一定的电功率传送给负载,负载将电能转换成工作所需要的一定形式的能量。即电路中存在发出功率的器件(供能元件)和吸收功率的器件(耗能元件)。

习惯上,通常把耗能元件吸收的功率写成正数,把供能元件发出的功率写成负数,而储能元件(如理想电容、电感元件)既不吸收功率也不发出功率,即其功率 $P = 0$ 。通常所说的功率 P 又叫做有功功率或平均功率。

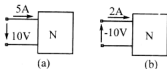


图 1-9

【例 1-4】 判断图 1-9 所示 (a) (b) 各网络是发出功率还是吸收功率?

解: (a) $P = 50 \text{ W} > 0$ 吸收功率 (b) $P = 20 \text{ W} > 0$ 吸收功率

【例 1-5】 有一 220 V 、 60 W 的电灯,将其接在 220 V 的直流电源上,试求通过电灯的电流和电灯电阻。如果每晚用 3 小时,则一个月消耗多少电能?

解: $I = P/U = 60/220 = 0.273 \text{ A}$

$$R = U/I = 220/0.273 = 806 \Omega$$

电阻也可用下式计算:

$$R = P/I^2 \text{ 或 } R = U^2/P.$$

