



高职高专规划教材

DIANGONG DIANZIXUE JICHU

电工电子学基础

主 编 黄杭美

副主编 王进满 范 忠

MOC3011

U12

MOC3011

U13

MOC3011

U14

MOC3011

U15

浙江大学出版社



高等院校计算机教材

电工电子学基础

主 编 曹俊良
副主编 曹俊良 曹 俊

DIANGONGDIANZIXUE JICHU

高职高专规划教材

电工电子学基础

主 编 黄杭美

副主编 王进满 范 忠

浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电工电子学基础 / 黄杭美主编. —杭州: 浙江大学出版社, 2004.12

高职高专机电类规划教材

ISBN 7-308-03839-4

I. 电... II. 黄... III. ①电工学—高等学校: 技术学校—教材 ②电子学—高等学校: 技术学校—教材
IV. ①TM1 ②TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 085904 号

丛书策划 樊晓燕

封面设计 刘依群

责任编辑 王大根 陈培里

出版发行 浙江大学出版社

(杭州天目山路 148 号 邮政编码 310028)

(网址: <http://www.zjupress.com>)

(E-mail: zupress@mail.hz.zj.cn)

排 版 浙江大学出版社电脑排版中心

印 刷 浙江省良渚印刷厂

开 本 787mm×960mm 1/16

印 张 21.25

字 数 428 千

版 次 2004 年 12 月第 1 版 2005 年 12 月第 2 次印刷

印 数 2001—4000

书 号 ISBN 7-308-03839-4/TM·031

定 价 28.00 元

前 言

电工电子学基础是高职高专非电类专业的一门技术基础课。通过本课程的学习可使学生获得电工电子技术的基本理论、基本知识和基本技能,为学习后续课程和专业知识打下理论基础。

本教材是浙江省高职高专机电类专业规划教材之一,是在浙江省教育厅职业技术教育处和浙江省高教学会高职教育委员会的支持下,以“电工电子技术基础”课程教学基本要求为依据组织编写的。在编写过程中,力求做到:内容丰富、取材得当、深浅适度、题目典型、通俗易懂,考虑职业教育的特点。在内容阐述方面,以物理概念为主,突出实践性、实用性,尽量减少过于复杂的理论推导与计算。同时,将成熟的新技术,如可编程控制器(PLC)等纳入教材,使学生初步了解其功能及应用。在电子技术方面,淡化了分立元件电路,加强了对中、大规模集成电路功能和使用的介绍。每章末有小结和习题,书末附有部分习题参考答案,以便学生自学。

本教材由杭州职业技术学院黄杭美任主编,嘉兴职业技术学院王进满和台州职业技术学院范忠任副主编,其中第1、12、13、14章由黄杭美编写,第5、6、7章由王进满编写,第8、9、10章由范忠编写,第2、3章由杭州职业技术学院何丽莉编写,第4、11章由嘉兴职业技术学院何莺编写。

本书由浙江大学贾爱民副教授主审,他对全书进行了认真、仔细的审阅,提出了许多宝贵的意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有不妥和错误之处,恳请读者给予批评指正。

编 者

2004年11月

内容提要

本书主要介绍电工电子技术的基本理论和知识。全书共 14 章,主要包括直流电路、交流电路、磁路和变压器、电动机、低压电器控制、供电和用电的基本知识、二极管整流电路、晶体管放大电路、运算放大器、数字电路基础等,每章后有小结和习题,书末附有部分习题参考答案,以便学生自学。

本书结合高职高专的特点,注重实用,以必需够用为度,深入浅出、通俗易懂,便于教学。可作为高职高专非电类专业的教材,也可供工程技术人员参考和作自学课本。

高职高专机电类规划教材

参编学校(排名不分先后)

浙江机电职业技术学院

杭州职业技术学院

宁波高等专科学校

宁波职业技术学院

嘉兴职业技术学院

金华职业技术学院

温州职业技术学院

浙江工贸职业技术学院

台州职业技术学院

浙江水利水电高等专科学校

浙江轻纺职业技术学院

浙江工业职业技术学院

丽水职业技术学院

湖州职业技术学院

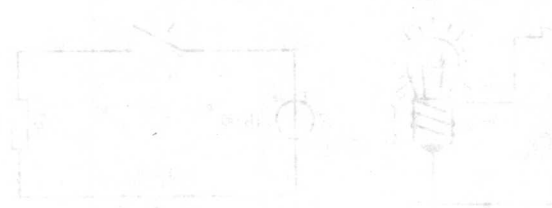
目 录

第 1 章 直流电路	1
1.1 电路及电路模型	1
1.2 电路的主要物理量	4
1.3 电路的基本定律.....	10
1.4 实际电源的两种模型及其等效变换.....	16
1.5 支路电流法.....	20
1.6 戴维南定理.....	21
1.7 叠加定理.....	24
本章小结	26
习 题	27
第 2 章 正弦交流电路	32
2.1 正弦交流电的基本概念.....	32
2.2 正弦量的三要素.....	33
2.3 正弦量的相量表示法.....	37
2.4 电阻、电感、电容元件的正弦交流电路.....	41
2.5 电阻、电感、电容元件的串联电路.....	50
2.6 阻抗的串联与并联.....	52
2.7 正弦交流电路的功率.....	54
2.8 电路中的谐振.....	58
本章小结	62
习 题	64
第 3 章 三相电路	69
3.1 三相电压.....	69

3.2 三相电源的联接	71
3.3 三相负载的联接	73
3.4 三相电路的功率	78
本章小结	80
习 题	80
第4章 磁路和变压器	83
4.1 磁 路	83
4.2 铁心线圈交流电路	88
4.3 变压器	89
4.4 常见变压器	95
本章小结	99
习 题	100
第5章 电动机	102
5.1 三相异步电动机的基本结构与工作原理	102
5.2 三相电异步动机的电磁转矩与机械特性	109
5.3 三相异步电动机的铭牌和参数	112
5.4 三相异步电动机的起动、调速及制动	114
5.5 单相异步电动机	119
5.6 直流电动机	123
5.7 控制微电机	128
本章小结	129
习 题	130
第6章 低压电器和基本控制电路	132
6.1 常用低压电器	132
6.2 三相异步电动机的基本控制电路	141
6.3 可编程序控制器及其应用	146
本章小结	159
习 题	160
第7章 供电和用电基本知识	163
7.1 电能的生产、输送与分配	163

7.2 安全用电	165
7.3 节约用电	171
本章小结	172
习 题	173
第 8 章 晶体二极管及整流电路	174
8.1 半导体的基本知识	174
8.2 半导体二极管	178
8.3 整流电路	183
8.4 滤波电路	186
8.5 稳压电路	190
8.6 三端集成稳压器	192
本章小结	195
习 题	195
第 9 章 晶体管放大电路	198
9.1 半导体三极管	198
9.2 基本放大电路的组成	204
9.3 放大电路的静态分析	205
9.4 放大电路的动态分析	207
9.5 射极输出器	213
9.6 场效应管及其放大电路	215
本章小结	223
习 题	223
第 10 章 运算放大器	226
10.1 集成运算放大器	226
10.2 理想集成运算放大器的分析方法	228
10.3 集成运算放大器的应用举例	229
10.4 负反馈放大电路	237
10.5 集成运算放大器使用中应注意的问题	242
本章小结	245
习 题	245

第 11 章 晶闸管	248
11.1 晶闸管	248
11.2 单相可控整流电路	251
11.3 晶闸管交流调压电路	253
11.4 晶闸管的保护	254
11.5 晶闸管触发电路	256
本章小结	258
习 题	259
第 12 章 门电路与组合逻辑电路	260
12.1 数字电路概述	260
12.2 逻辑门电路	264
12.3 组合逻辑电路的分析与设计	271
12.4 常用的组合逻辑模块	275
本章小结	284
习 题	285
第 13 章 触发器与时序逻辑电路	288
13.1 双稳态触发器	288
13.2 寄存器	293
13.3 计数器	297
13.4 555 集成定时器及其应用	302
本章小结	309
习 题	309
第 14 章 模拟量和数字量的转换	313
14.1 D/A 转换器	313
14.2 A/D 转换器	317
本章小结	323
习 题	323
部分习题参考答案	324
参考文献	328



第 1 章

直流电路

【概要】 电路理论是学习电工电子学的基础。本章主要讨论电路的基本知识、基本定律以及分析计算直流电路常用的几种方法:支路电流法、戴维南定理、叠加定理等。本章内容是电路分析与计算的基础。

1.1 电路及电路模型

1.1.1 电 路

电路是由若干个电气设备或器件按照一定的方式组合起来构成的电流通路。主要作用可以概括为两个方面:其一,传输和转换电能。典型的例子是电力系统。发电厂的发电机将其他形式的能量(势能、热能、原子能等)转换成电能,通过变压器、输电线等输送给各用电单位,各用电单位又将电能转换成其他形式的能量(光能、机械能、热能等)。其二,进行信号的传递与处理。典型的例子有电话、收音机、电视机等,这类电路的作用是将输入信号进行处理、放大后送到负载,负载将电信号转换成声音或图像等。

电路一般由电源、负载和中间环节(包括连接导线和控制开关)三部分组成,基本结构如图 1.1 所示,各部分的作用如下:

电源(供电设备):它的作用是将非电形态的能量转换成电能。例如,发电机将机械能转换成电能、电池将化学能转换成电能等。

负载(用电设备):它的作用是将电能转换成非电形态的能量。例如,电动机将电能转换成机械能、电灯将电能转换成光能和热能等。

中间环节:用来连接电源和负载,起着传输和控制电能的作用。最简单的中间环节可以仅由两根连接导线组成,而复杂的中间环节可以是一个庞大的控制系统。

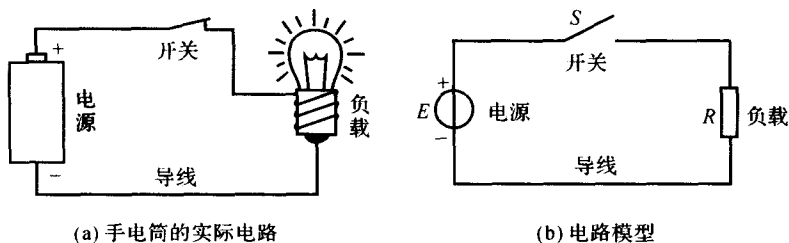


图 1.1 电路的基本结构

1.1.2 电路模型

实际电路都是由许多实际电路元件或器件构成的,它们的电磁性质较为复杂。为了便于对实际电路进行分析计算,必须把实际电路加以近似化、理想化,用一个能够表达其主要特性的“模型”来近似。

所谓电路模型是指由一些理想电路元件组成的电路,如图 1.1(b)所示。理想电路元件是在一定条件下突出实际元件的主要电磁性能,只反映某一种能量转换的元件。理想电路元件主要有电阻元件、电感元件、电容元件、理想电压源、理想电流源等。图 1.2 所示为各理想电路元件的模型。

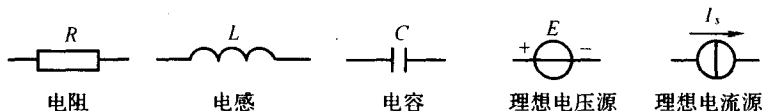


图 1.2 理想电路元件的模型

电阻 R 是由消耗电能的物理过程抽象出来的理想电路元件。凡是电能不可逆地转换成其他形式能量的物理过程都可用电阻元件来表示。电阻的单位是欧姆(Ω),对于大电阻常用千欧($k\Omega$)或兆欧($M\Omega$)表示。

$$1\Omega = 10^{-3}k\Omega = 10^{-6}M\Omega$$

电流通过电阻元件时要产生热效应,即在电阻元件中会发生电能转换成热能的过程,且电阻元件中的能量转换过程是不可逆的,因而电阻元件是一种耗能元件。

电感 L 是由磁场储能的物理过程抽象出来的理想电路元件。凡是磁场储能的物理过程都可以用电感元件来表示。电感的单位是亨利(H),也有用毫亨(mH)和微亨(μH)表示的。

$$1H = 10^3mH = 10^6\mu H$$

电感元件是一种储能元件。当通过电感的电流上升时,电感将电能变为磁能储存在磁场中;当通过电感的电流减小时,电感将储存的磁能变为电能释放给电路。因而当通

过电感的电流变化时,电感只进行电能与磁能的转换,电感本身并不消耗能量。

电容 C 是由电场储能的物理过程抽象出来的理想电路元件。凡是电场储能的物理过程都可以用电容元件来表示。电容的单位是法拉(F),对于容量较小的电容则常用微法(μF)或皮法(pF)表示。

$$1\text{F}=10^6\mu\text{F}=10^{12}\text{pF}$$

电容元件也是一种储能元件。当电容两端的电压上升时,电容将电能储存在电场中;当电容两端的电压减小时,电容将储存的能量释放给电源。电容通过其两端电压的变化,进行能量的转换。电容本身也不消耗能量。

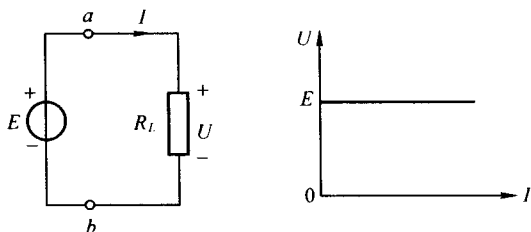


图 1.3 理想电压源的伏安特性

理想电压源是两端电压与通过它的电流大小无关的理想元件。也可以说,凡是两端电压可以按照某种规律变化而与其电流无关的电源,就称之为理想电压源。通过理想电压源的电流的大小取决于外接电路。若理想电压源的电压大小恒等于常数,则可称为恒压源,直流理想电压源属于这种情况。我们把电路元件两端的电压与通过它的电流之间的关系称为伏安特性。直流理想电压源的伏安特性如图 1.3 所示,即

$$\left. \begin{aligned} U &= E \\ I &= \frac{E}{R_L} \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

因为理想电压源的电压与外电路无关,所以与理想电压源并联的电路(器件)的两端电压等于理想电压源的电压。

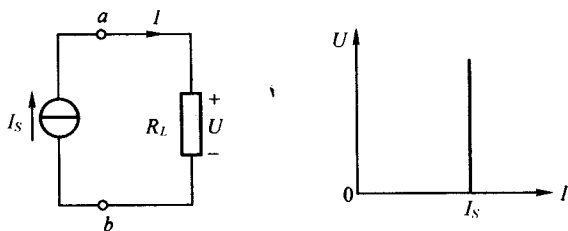


图 1.4 理想电流源的伏安特性

理想电流源是通过电流与其两端的电压大小无关的理想元件。也可以说,凡是通过电流可以按照某种规律变化而与其两端电压无关的电源,就称之为理想电流源。理想电流源两端电压的大小取决于外接电路。若理想电流源的电流大小恒等于常数,则可称为恒流源,直流理想电流源属于这种情况,其伏安特性如图 1.4 所示,即

$$\left. \begin{aligned} I &= I_S \\ U &= I_S R_L \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

因为理想电流源的电流与外电路无关,所以与理想电流源串联的电路(器件)的电流等于理想电流源的电流。

今后我们所说的电路,一般均指实际电路的电路模型,即由理想元件组成的电路。

1.2 电路的主要物理量

1.2.1 电流

1. 电流的定义

在电场作用下,电荷有规则的移动形成电流。衡量电流强弱的量是电流强度,简称电流,用 i 表示,定义为单位时间内流过导体横截面的电荷量,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1.3)$$

若电流的大小和方向都不随时间变化,即 $\frac{dq}{dt}$ 等于常数,则称这种电流为恒定电流,简称直流,用大写字母 I 表示。电流的实际方向规定为正电荷运动的方向。

在国际单位制(SI)中,电流的单位为 A(安培),简称安。在 1s(秒)内通过导体横截面的电荷量为 1C(库仑)时,其电流是 1A。表示数量大的电流可用 kA(千安),表示较小的电流可用 mA(毫安)、 μ A(微安)或 nA(纳安),它们的关系为:

$$1\text{kA} = 10^3\text{A}$$

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

2. 电流的参考方向

在电路分析计算中,流过某一段电路的电流实际方向往往是不知道的,我们可以任意假定一个电流方向,作为电流参考方向。电流方向的表示如图 1.5 所示,可以用箭头表示,也可以用双下标表示,例如: i_{ab} 表示电流由 a 流向 b , i_{ba} 则表示电流由 b 流向 a ,显然 $i_{ab} = -i_{ba}$ 。

当参考方向选定后,根据参考方向进行计算,若所得结果为正,则说明电流的实际方向与参考方向相同,如图 1.6(a)所示;若所得结果为负,则说明电流的实际方向与参考方向相反,如图 1.6(b)所示。

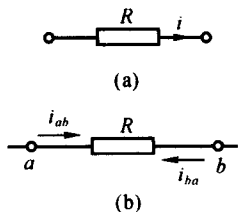


图 1.5 电流方向的表示

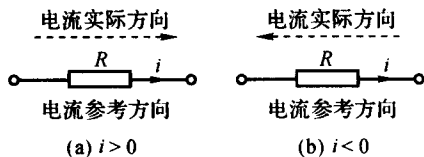


图 1.6 电流参考方向和实际方向的关系

1.2.2 电压、电位及电动势

1. 电压

电压是衡量电场力对电荷做功能力大小的物理量。电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功称为 a, b 间的电压, 用 u_{ab} 表示。

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1.4)$$

式中, dq ——电荷量, C;

dw ——电场力移动电荷所做的功, J;

u_{ab} ——电压的瞬时值, V。

大小和方向都不随时间变化的电压称为直流电压, 用 U_{ab} 表示。电压的实际方向规定为由高电位指向低电位。

电压的 SI 单位为 V(伏特), 简称伏。如果电场力把 1C 的正电荷从 a 点移到 b 点所做的功为 1J(焦耳), 则 a, b 两点间的电压为 1 伏。常用的电压单位还有 kV(千伏)、mV(毫伏)和 μV (微伏)。各种电压单位之间的关系如下:

$$1\text{kV} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

在电路分析中, 同样由于电路的复杂性, 难以判断电路中电压的实际方向。为了分析电路方便, 可任选一电压方向作为电压参考方向。电压参考方向可用箭头来表示, 如图 1.7(a) 所示; 或用极性符号来表示, “+”表示高电位, “-”表示低电位, 如图 1.7(b) 所示; 也可用双下标表示, 如图 1.7(c) 所示。

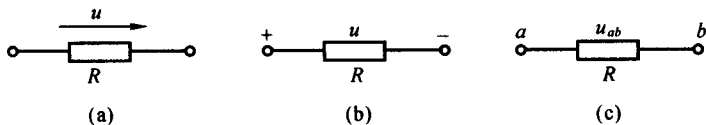


图 1.7 电压方向的表示

当根据电压参考方向进行计算时, 若计算结果为正值 ($u > 0$), 说明电压的实际方向

与参考方向相同;若计算结果为负值($u < 0$),说明电压的实际方向与参考方向相反。

若一个元件或一段电路上的电流、电压的参考方向选得一致,则称之为关联参考方向,如图 1.8(a)中的 i 和 u ;否则为非关联参考方向,如图 1.8(b)中的 i 和 u 。

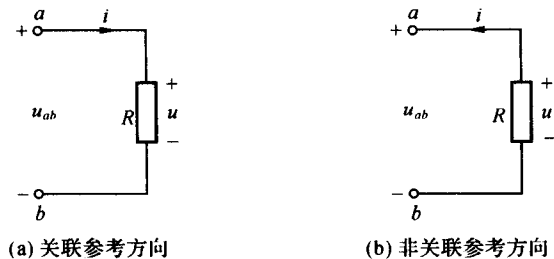


图 1.8 电压、电流参考方向

2. 电位

电路中 a 点与电位参考点 O 之间的电压称为 a 点的电位,用 v_a 表示。可见,要确定电路中任一点的电位,必须首先选定参考点,规定参考点的电位为零,用图形符号“ $\perp$ ”表示。

直流电位用大写字母 V 表示。电位的单位与电压的单位相同,用 V (伏)表示。

电路中两点间的电压也可用两点间的电位差来表示。

$$u_{ab} = v_a - v_b \quad (1.5)$$

在电路计算中,电位是一个很重要的概念,引入电位后,可以简化计算,简化电路画法。

【例 1.1】 在图 1.9 所示电路中,已知 $E_1 = 10V$, $E_2 = 4V$,分别以 c, a 为参考点,求 a, b, c 各点的电位值及 a, b 两点之间的电压。

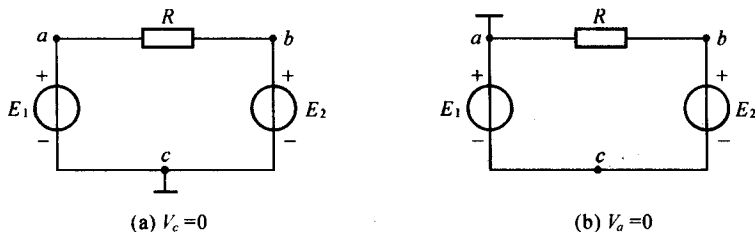


图 1.9 例 1.1 的图

解:电路中各点的电位是指该点对参考点的电压降。比参考点高的电位为“+”,比参考点低的电位为“-”。

(1)以 c 点为参考点($V_c = 0$), a, b, c 点的电位为

$$V_c = 0$$

$$V_a = E_1 = 10\text{V}$$

$$V_b = E_2 = 4\text{V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = (10 - 4) = 6(\text{V})$$

(2) 以 a 点为参考点 ($V_a = 0$), a, b, c 点的电位为

$$V_a = 0\text{V}$$

$$V_b = E_2 - E_1 = (4 - 10) = -6(\text{V})$$

$$V_c = -E_1 = -10\text{V}$$

$$U_{ab} = V_a - V_b = (0 - (-6)) = 6(\text{V})$$

可见, 电路中各点电位随参考点选择的不同而不同, 但两点间的电压是不随参考点的选择而变化的。选择参考点从原则上讲是任意的, 但一经选定, 在分析和计算过程中就不得改动。

3. 电动势

电场力做功使电路中有电流通过, 为了维持电路中持续不断的电流通过, 在电源内部必须要克服电场力把正电荷从低电位移向高电位, 即非电场力做功。为了衡量非电场力对电荷做功的能力, 引入电动势这一物理量。其定义为: 在电源内部非电场力把单位正电荷从电源的负极移动到电源的正极所做的功称为电动势, 用 e 表示。

$$e = \frac{dw}{dq} \quad (1.6)$$

与电压一样, 直流电动势用大写字母 E 表示。电动势单位与电压相同用 V (伏) 表示。

在图 1.10 中, 电压 U_{ab} 是电场力把单位正电荷由外电路从 a 点移到 b 点所做的功, 由高电位指向低电位。电动势是电源内部非电场力将正电荷从电源负极移到电源正极所做的功, 是将非电能转换为电能, 使正电荷获得电能而电位升高。因此电动势的实际方向是由负极指向正极, 即电位升高的方向。电源内部电流从低电位流向高电位, 而电源外部即外电路的电流是高电位流向低电位。所以, 电源一旦接通, 电路中的电流就能连续不断。

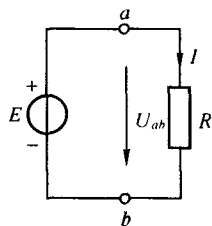


图 1.10 电源电动势

1.2.3 电能与功率

虽然电流和电压是分析电路的两个重要参数, 但是它们不足以表达电路的各种性质。在实际电路中, 经常需要了解一个电器设备最大的工作功率是多少。另外, 在计算电费时, 经常使用的是在一段时间内消耗了多少能量的电量。因此, 功率和电能是分析电路的另外两个重要物理量。