

21

世纪高职高专课程与教学改革系列教材

电工技术基础

张林国 主编



www.sciencep.com

电工技术基础

DIANGONGJISHUJICHU

ISBN 7-03-015943-8



9 787030 159434 >

ISBN 7-03-015943-8

定价：19.50元

21 世纪高职高专课程与教学改革系列教材

电工技术基础

张林国 主编

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书为“电工技术基础”课程教材,是根据教育部最新制订和颁布的《高职高专教育基础课程教学基本要求》编写的。在编写过程中,坚持理论知识够用、基础知识管用、专业知识适用的编写原则。全书共分七章,从日常生活常识开始,着重阐述直流电路、交流电路的基本原理和分析计算方法,电动机的基本组成结构和选用,电动机的运行方式控制和 PLC 编程控制方法。在教材编写和选材上,围绕基础应用,强化教学内容,巩固专业知识训练;在专业技能实训内容安排上,主要选择电动机电器控制和 PLC 编程控制操作,在实践中训练和掌握正确的装、拆机操作规程。书中带“*”号的内容为选学内容,供不同专业选用。各章后列有习题。

本书是高等职业教育机电技术及应用、机电一体化、数控技术、化工机械、计算机、水电、制药、建筑、经济、管理等专业的“电工技术基础”课程教材,也可作为中等职业学校的同类课程教材,还可以作为中高级职业资格与就业培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

电工技术基础/张林国主编. - 北京:科学出版社,2005

(21世纪高职高专课程与教学改革系列教材)

ISBN 7-03-015943-8

I.电… II.张… III.电工技术-高等学校:技术学校-教材 IV.TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 079853 号

责任编辑:王雨舸

责任印制:高 嵘/封面设计:王立革

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

湖北京山德新印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005 年 8 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2005 年 8 月第一次印刷 印张:13

印数:1~8 000 字数:296 000

定价:19.50 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本套《电工技术基础》、《电子技术基础》及实训教材是根据教育部最新制订和颁布的《高职高专教育基础课程教学基本要求》，以及高等职业教育的培养目标和课程教学改革的基本要求编写，是新世纪高职高专人才培养及其教学改革的系列教材之一，是高等职业教育机电技术及应用、机电一体化、数控技术、化工机械、计算机、水电、制药、建筑、经济、管理等专业的电工电子基础课程教材，以及相关专业相同课程的培训教材。

本套教材在编写过程中，充分参照有关行业最新颁发的职业鉴定规范及其高级技工等级标准所要求的专业基础，坚持理论知识够用、基础知识管用、专业知识适用的编写原则，以培养专业素质和职业应用技能为教材编写重点，将教材中的教学内容与职业培养目标紧密地结合，淡化理论推导，弱化各类复杂电路分析和计算，注重专业基础和专业综合素质教学，强化专业应用训练，讲述简捷，推导直观，力求实用。教材内容充分反映新知识、新技术、新工艺和新方法，具有先进性。

本书为“电工技术基础”课程教材，从日常生活常识开始，着重阐述直流电路、交流电路的基本原理和分析计算方法，电动机的基本组成结构和选用，电动机的运行方式控制和 PLC 编程控制方法。在教材编写和选材上，围绕基础应用，强化教学内容，巩固专业知识训练；在专业技能实训内容安排上，主要选择电动机电器控制和 PLC 编程控制操作，在实践中训练和掌握正确的装、拆机操作规程。书中带“*”号的内容为选学内容，供不同专业选用。各章后列有思考练习题。

本教材由张林国主编，陈克芹任副主编。由多位教学经验丰富的一线“双师型”教师参加编写，其中第一章由陈克芹、张清战编写，第二章由张林国编写，第三、四、五章由牛涛(武汉船舶职业技术学院)编写，第六章由张林国、黄中玉编写，第七章由夏章建编写，最后由张林国统稿、定稿。

由于电工技术基础是一门传统型专业基础课，许多经典定理、定律已经形成，编者在传授方式、知识取舍、选材编写上进行了创新，但由于对各专业教学改革方向存在理解上的差异，因此，在教学内容选取和讲述方式上总有不尽人意之处，衷心地欢迎广大读者和同行批评指正，与我们一起把高职高专教材建设做得更好。

编 者

2005年3月

目 录

第一章 直流电路分析与计算	1
1.1 直流电路的基本概念	1
1.1.1 电路的基本组成与作用	1
1.1.2 电压与电流的参考方向	2
1.1.3 电源电动势	4
1.1.4 电功与电功率	5
1.2 欧姆定律	5
1.3 电路的工作状态	7
1.3.1 电源与负载	7
1.3.2 电路的工作状态	8
1.4 电阻的串联与并联	11
1.4.1 电阻的串联	11
1.4.2 电阻的并联	12
1.4.3 电阻的混联	14
*1.4.4 电阻的 Y- Δ 变换	16
1.5 基尔霍夫定律	18
1.5.1 有关电路的基本概念	18
1.5.2 基尔霍夫电流定律	19
1.5.3 基尔霍夫电压定律	20
1.6 支路电流法	22
1.7 电压源与电流源	24
1.7.1 电压源	24
1.7.2 电流源	25
1.7.3 电压源模型与电流源模型的等效变换	26
1.8 叠加原理	30
1.9 戴维南定理	32
1.9.1 几个有关基本概念	32
1.9.2 戴维南定理	33
1.10 电路中电位的计算	36
习题 1	38
第二章 正弦交流电路	43
2.1 交流电路的基本概念	43
2.1.1 正弦交流电的产生	43
2.1.2 正弦交流电的三要素	46

2.1.3	有效值	49
*2.1.4	正弦交流电的平均值	49
2.2	正弦交流电的表示方法	51
2.2.1	正弦交流电的函数表示法	51
2.2.2	正弦交流电的曲线表示法	51
*2.2.3	正弦交流电的相量表示法	52
2.3	简单交流电路	54
2.3.1	纯电阻交流电路	54
2.3.2	纯电感交流电路	56
2.3.3	纯电容交流电路	58
2.4	串联交流电路	60
2.4.1	$R-L$ 串联交流电路	60
2.4.2	$R-C$ 串联交流电路	63
2.4.3	$R-L-C$ 串联交流电路	64
2.5	交流并联电路	67
2.5.1	$R-C$ 交流并联电路	67
2.5.2	$R-L$ 并联电路	68
2.5.3	$R-L-C$ 并联电路	69
2.6	交流电路提高功率因数的意义	70
2.7	交流电路的谐振	72
2.7.1	$R-L-C$ 串联谐振电路	72
*2.7.2	交流电路的并联谐振	75
2.8	三相交流电路	75
2.8.1	三相交流电的产生	75
2.8.2	三相发电机绕组的连接	76
2.8.3	三相负载的连接	78
2.8.4	三相功率	82
*2.8.5	三相负载不对称	84
习题 2		86
第三章	变压器	89
3.1	单相变压器	89
3.1.1	单相变压器的基本结构	89
3.1.2	单相变压器的工作原理	90
3.1.3	变压器绕组极性测定	92
3.2	三相变压器	93
3.2.1	三相变压器的结构	93
3.2.2	三相变压器的铭牌数据	94
3.2.3	自耦变压器	96
3.3	特殊变压器	97

3.3.1 互感器	97
3.3.2 电焊变压器	99
习题 3	99
第四章 电动机	101
4.1 三相异步电动机的构造与工作原理	101
4.1.1 三相异步电动机的构造	101
4.1.2 三相异步电动机的工作原理	102
4.1.3 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性	105
4.2 三相异步电动机的启动	108
4.2.1 直接启动	108
4.2.2 降压启动	109
4.3 三相异步电动机的调速、反转与制动	113
4.3.1 三相异步电动机的调速	113
4.3.2 三相异步电动机的制动	114
4.4 三相异步电动机的铭牌和选择	116
4.4.1 三相异步电动机的铭牌	116
4.4.2 三相异步机的选择	119
4.5 单相异步电动机	121
*4.6 直流电动机	124
习题 4	126
第五章 低压电器控制电路	128
5.1 常用低压电器	128
5.1.1 按钮/刀开关	128
5.1.2 接触器	132
5.1.3 继电器	137
5.1.4 熔断器	141
5.2 鼠笼式异步电动机的控制线路	142
5.2.1 鼠笼式异步电动机的启动控制线路	142
5.2.2 鼠笼式异步电动机能耗制动控制电路	144
5.2.3 鼠笼式异步电动机正反转控制线路	145
5.2.4 鼠笼型异步电动机自动循环的控制线路	146
5.3 行程控制	147
5.4 时间控制	148
5.4.1 时间继电器	148
5.4.2 时间继电器实现的控制线路	150
*5.5 应用举例	151
5.5.1 阅读控制电路	151
5.5.2 单梁桥式起重机的控制电路	151
5.5.3 CA6140 型普通车床的电气原理图	153

习题 5	154
第六章 可编程控制器及其应用	156
6.1 可编程控制器概述	156
6.1.1 可编程控制器的沿革	156
6.1.2 可编程控制器的特点	157
6.1.3 可编程控制器的应用	157
6.1.4 可编程控制器的发展趋势	158
6.2 可编程控制器的组成及工作原理	159
6.2.1 可编程控制器的组成	159
6.2.2 可编程控制器的工作原理	161
6.3 可编程控制器的编程语言	165
6.3.1 可编程控制器性能简介	165
6.3.2 可编程控制器常用编程语言	168
6.3.3 可编程控制器内部各类继电器的编号及功能	170
6.4 可编程控制器的指令系统	171
6.5 梯形图程序设计	180
6.6 可编程控制器的应用举例	182
6.6.1 STL/RET 指令的格式、功能	182
6.6.2 编程方法与基本步骤	183
习题 6	186
第七章 输配电常识	188
7.1 发电、输电、配电概述	188
7.1.1 发电	188
7.1.2 输电	189
7.1.3 配电	190
7.2 安全用电	192
7.2.1 触电	192
7.2.2 用电保护	193
7.2.3 用电安全常识	196
7.3 节约用电	197
7.3.1 节约用电的意义	197
7.3.2 节约用电的措施	197
7.3.3 节约用电的主要方法	198
习题 7	199

第一章 直流电路分析与计算

电路知识是学习电工技术和电子技术的基础。本章主要简述在理想条件下, 直流电路中的电路元件、电路模型、电流和电压参考方向、电能与电功率等基本概念; 电路的欧姆定律、基尔霍夫定律等基本定律; 电路的支路电流法、电源等效变换法、叠加原理、戴维南定理等基本分析与计算方法。通过对上述内容的掌握, 为进一步学习后续课程及从事电类专业的实际工作奠定理论基础。

1.1 直流电路的基本概念

1.1.1 电路的基本组成与作用

1. 电路的基本组成

电路是指电流流过的闭合路径, 由电源、导线、用电设备(或负载)和控制开关等组成。

电路的组成结构有简单的, 也有复杂的, 但是, 任何结构形式的电路, 必须包含有电源、负载、导线和控制开关等四个组成部分。如图 1-1 所示电路是一个最简单的干电池照明电路结构图, 它由两节干电池(电源)、一只灯泡(负载)、一个按钮(控制开关)和一些连接导线组成。

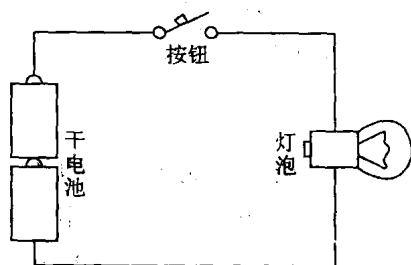


图 1-1 干电池照明电路图

2. 电路主要部分的作用

(1) 电源。电源是将其他形式的能量转换为电能的设备, 如常见的化学电池和各种发电设备。

(2) 导线。导线是将电能传输给用电负载的导体设备。

(3) 用电负载。用电负载是将电能转换为其他形式的能量的用电设备。例如, 电动机、照明电灯、电热器等, 其中电动机是将电能转化为机械能, 照明电灯是将电能转化为光能或热能, 电热器是将电能转化为热能。

(4) 开关。开关是实现电路接通和断开的控制设备。它是电流产生和电能实现转换的必要条件, 否则, 电路如同公路或铁路被阻挡物分隔开而无法实现正常的交通运输功能一样。

3. 理想电路元件与电路图

(1) 理想电路元件。组成实际电路的各种元件或器件的电性能、形状、大小一般比较复杂, 在电路分析时, 常将它们进行理想化, 将实际的元件或器件用一个理想模型来表征, 从而构成一个忽略它们的实际形状、大小和具体代表电性能的理想化电路元件模型。例如, 白炽灯的主要电性能是消耗电能, 可用一个代表消耗电能的理想电阻元件“(— \square —)”作为模型; 连接导线一般耗能极少, 可用完全不耗能的理想导线号“—”作

为模型。除此以外，常用的理想电路元件模型，还有电感(— $\overset{\sim}{\sim}$ —)、电容(— \parallel —)、电压源($\oplus \ominus$ U_s)、电流源($\ominus \oplus$ I_s)等。

(2) 电路图。电路图是由理想电路元件组成的理想化电路模型，简称电路图。在电路图中，各种电路元件必须使用国家统一标准图形和电气符号表示。

1.1.2 电压与电流的参考方向

在电路分析中，通常不知道电流和电压的实际正方向。在交流电路中，电流和电压的方向还随时间的变化而不断改变。因此，在对某个元件或某部分电路进行电流和电压计算时，需要在确定电流和电压的方向后，才能按照有关定律和定理列出计算表达式，求解各电流或电压的值。当电流和电压的方向不能确定时，必须假定电流和电压的参考方向，再计算和求解有关待求量。

1. 电流及其参考方向

(1) 电流。大量的自由电荷在电场力作用下做定向移动即形成电流。例如，金属导体中的电流是大量自由电子的定向移动而形成的，电解液中的电流是大量正、负带电离子做相向运动而形成的。电流产生的条件：一是电路中任意两点之间存在电势差；二是组成电路的导体中含有大量自由电子；三是要有形成电流的闭合路径。电流的正方向规定为正电荷在电场中受电场力作用做定向运动的方向。电流强度的大小在数值上等于单位时间内通过导体某横截面的电量总和，常用“ I ”表示，即

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

在国际单位制(SI)中，电流强度的基本单位是安培(A)，单位名称为安。千安(kA)、毫安(mA)、微安(μ A)也是常用的电流强度单位，它们之间的关系为

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

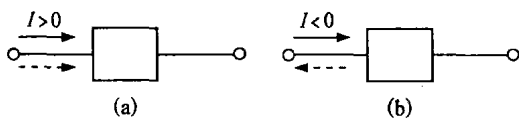


图 1-2 电流的参考方向

(2) 电流的参考方向。在分析和计算电路的各参数值时，电流的实际方向不可能事先知道，特别是在交流电路中，电流方向随时间不断地变化，很难在电路图中标出其实际方向。为了分析和计算电路参数的需要，可对

电路中的电流正方向先进行假定，这个事先假定的电流正方向称为电流的参考方向，如图 1-2 所示，图中电流的参考方向用实线箭头表示，电流的实际方向用虚线箭头表示。在通过电路计算后可知：当电流的实际数值为正值，即 $I > 0$ 时，说明电路中电流的实际方向与参考正方向一致，如图 1-2(a)所示；当电流的实际数值为负，即 $I < 0$ 时，说明电流的实际方向与电流参考正方向不一致或相反，如图 1-2(b)所示。电流的正负值，一定要在明确参考方向的条件下讨论，离开参考方向讨论电流的正负值是没有意义的。

2. 电压及其参考方向

(1) 电压。电压是指电路中任意两点(点 a、点 b)间的电位差(或电势差)，在数值上等于单位正电荷在电场力作用下从点 a 移到点 b 时电场力所做的功，即

$$U_{ab} = \frac{W}{q} \quad (1-2)$$

在国际单位制(SI)中,电压的基本单位是伏特(V),单位名称为伏。若电场力将1库仑(C)的电荷从点a移到点b时,电场力所做的功为1焦耳(J),则a、b两点间的电压为1伏特(V)。千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μ V)也是电压的常用单位,它们之间的关系为

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

(2) 电压的参考方向。电压的正方向规定为正电荷在电场力作用下移动的方向,即从高电位指向低电位的方向。在分析和计算电路的各参数值时,不能事先确定电压的方向,往往要先假定电路中某一条支路上电压的参考方向,事先假定的电压正方向称为电压的参考方向。电压的参考方向可以用实线箭头“ \rightarrow ”表示,也可以用“+”、“-”号表示,所以电压的参考方向又称为参考极性。在用“+”、“-”号表示电压的参考方向时,“+”称为参考正极,“-”称为参考负极,图1-3所示为电阻R两端电压的极性。此外,还可以用双下标来表示电压的参考方向,例如, U_{ab} 表示电压的参考方向从a指向b, U_{ba} 表示电压的参考方向从b指向a,即与 U_{ab} 相反,显然 $U_{ab}=-U_{ba}$ 。

在分析具体电路时,常出现电压的正、负值,电压为正值,说明电压的实际方向与参考方向一致,如图1-3(a)所示;电压为负值,说明电压的实际方向与参考方向相反,如图1-3(b)所示。在讨论电压的正、负值时离开参考方向是没有意义的。

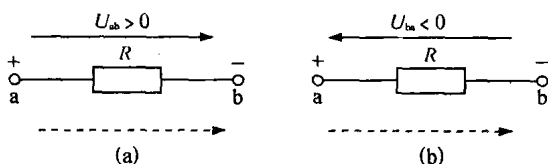


图1-3 电压的参考方向

(3) 电位。为了便于分析电路,在电场中选取某一点O为参考点,当电场力把单位正电荷从电路中任意一点a移动到参考点O时,电场力所做的功称为a点的电位,即电位是指电路中某一点a的电压相对于参考点的电压,记为 U_a 。在此规定下,参考点O本身的电位为零,即 $U_O=0$,那么,参考点O的电位称为参考点电位。

电路中的参考点是任意选择的,参考点选取不同,电路中各点的电位数值也不同,即两点之间的电压大小与电位的参考点选择有关,这是电位的“相对性”。参考点一旦选定后,电路中各点的电位数值就是惟一,此即电位的“单值性”。

如果点a的电位为 U_a ,点b的电位为 U_b ,那么,任意两点a、b之间的电压就等于a、b两点的电位之差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-3)$$

因此,当a、b两点位置确定,不管其参考点如何变更,a、b两点之间的电压只有一个数值,即电压的“绝对性”,也就是说两点之间的电压大小与电位的参考点选择无关。

例1.1 如图1-4所示,设 $U_{ab}=5\text{V}$, $U_{ac}=3\text{V}$,若分别选择点a、点b为参考点,求 U_a 、 U_b 、 U_c 的数值大小。

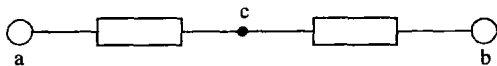


图1-4 例1.1电路图

解 (1) 选择点b为参考点,即 $U_b=0$,则由 $U_{ab}=U_a-U_b$,得

$$U_a=U_{ab}+U_b=5+0=5(\text{V})$$

又由 $U_{ac}=U_a-U_c$, 得

$$U_c=U_a-U_{ac}=5-3=2(\text{V})$$

(2) 选择点 a 为参考点, 即 $U_a=0$, 则由 $U_{ab}=U_a-U_b$, 得

$$U_b=U_a-U_{ab}=0-5=-5(\text{V})$$

又由 $U_{ac}=U_a-U_c$, 得

$$U_c=U_a-U_{ac}=0-3=-3(\text{V})$$

1.1.3 电源电动势

1. 电源电动势

电源是提供电能的装置, 电动势是衡量电源内部非电能转化为电能的固有特性的物理量, 用“E”表示, 其基本单位是伏特(V)。图 1-5 所示电路为电源的一种外接电路形式, 图中电源有正(a)、负(b)两极, 正极带正电荷, 负极带负电荷, 电源内部的电动势正方向由负极(b)指向正极(a), 即电位升高方向; 电源外部端电压正方向由正极(a)指向负极(b), 即电位降低方向。电源电动势的正方向与电源端电压的正方向彼此相反。

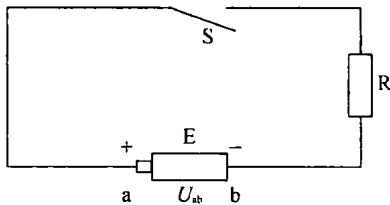


图 1-5 电源电动势电路

2. 电动势产生

如果用导线将正(a)、负(b)两极连接起来(或闭合开关 S), 正电荷将源源不断地从 a 极经过导线移动到 b 极, 电路中产生电流, 其结果是 a 极的正电荷不断减少, 电位逐渐下降, b 极的负电荷不断减少(由于同 a 极移来正电荷中和), 电位逐渐升高, a、b 两极之间的电位差将越来越小, 两极之间的电场力也将越来越小, 当 a、b 两极的电位相等时, 导体中不再有电荷的移动, 两极之间的电场力等于零, 电路中电流也等于零。为了维持导体中电荷源源不断地移动, 必须要有一种外力克服电场力的作用, 即通过另外一条途径, 不断地将正电荷从低电位端负极(b 极)移到高电位端正极(a 极), 以保持导体中有一个恒定电荷量在不断移动, 这种外力在移动电荷过程中做功能力的强弱就是电源的电动势。电源内部的这种外力不同于静电场力的特殊外力, 如化学能、水能、核能、太阳能、风能等, 对外表现特性的力称为非电场力。这种外力把单位正电荷 q 从低电位 b 极, 经过电源内部移动到高电位 a 极所做功的大小, 在数值上等于电源的电动势, 用符号“E”表示, 其表达式为

$$E = \frac{W}{q} \quad (1-4)$$

注意: 在电源内部, 电动势 E 的方向规定为从低电位端指向高电位端, 即当电动势为正时($E > 0$), 电动势的方向是电位升高的方向。

例 1.2 设电动势 $E_1=12\text{V}$, $E_2=10\text{V}$, 其方向如图 1-6 所示。求 U_{AB} 及 U_{BA} 的大小。

解 假设电压降的方向为 U_{AB} , 则

$$U_{AC}=E_1=-12(\text{V}) \quad U_{CB}=E_2=10(\text{V})$$

$$U_{AB}=U_{AC}+U_{CB}=-12+10=-2(\text{V})$$

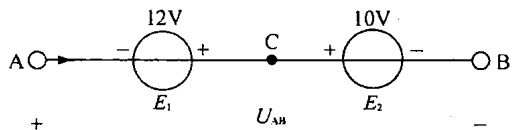


图 1-6 例 1.2 电路图

$$U_{BA} = -U_{AB} = 2(\text{V})$$

1.1.4 电功与电功率

由于电路在工作状态下总伴随着电能与其他形式能量之间的相互转换，同时电气设备、电路元件本身都有功率的限制，所以了解电能和电功率的概念与计算是非常重要的。

1. 电功

在一段电路两端接上电源，电场力使电荷移动形成电流，电场力在移动电荷过程中做功，则这个功被称为电流做功，简称电功(又称电能)。电能就是电源的电流对外所做电功的能力，电流对外做了多少功，说明电源有多少电能转化成其他形式的能量，也可以指该段电路消耗的电能，即电流做功的多少就是电能的大小。

如果某一段电路的负载电阻 R 两端的电压为 U ，通过 R 的电流为 I ，则在时间 t 内电源电流所做的电功大小可表示为

$$W = UIt \quad (1-5)$$

在国际单位制中，电压 U 的单位是伏特(V)，电流 I 的单位是安培(A)，时间 t 的单位是秒(s)，电功 W 的单位是焦耳(J)。

例 1.3 一个电炉接到 220V 的电源上，流过电炉的电流为 1A，求在 1h 内电源所做电功的大小。

解

$$W = UIt = 220 \times 1 \times 3600 = 792\,000(\text{J})$$

通过计算，说明该电炉在 1h 内消耗的电能 792 000J。

2. 电功率

电功率是电路分析中的另一个常用物理量，它用来衡量元器件在单位时间内消耗的电能或电流在单位时间内完成的电功，用“ P ”表示。对于一段直流电路，当电路两端的电压是 U ，电路中通过的电流是 I ，则这段电路在单位时间内所消耗的电功率可表示为

$$P = \frac{W}{t} = \frac{UIt}{t} = UI \quad (1-6)$$

在国际单位制中，功率的基本单位是瓦特(W)，单位名称为瓦。常用单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)等，它们之间的关系是

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

如果电压 U 、电流 I 的参考方向一致，由式(1-6)计算的功率为正值(即 $P > 0$)，说明该段电路吸收(或消耗)功率；反之，如果电压 U 、电流 I 的参考方向不一致，由式(1-6)计算的功率为负(即 $P < 0$)，说明该段电路输送(或提供)功率。

负载上消耗的电能可用公式 $W = Pt$ 来计算，工程上常用“千瓦时”(kW·h)作为电能的实用单位，通常电度表上显示的读数“1度”表示：功率为 1 千瓦(kW)的电气设备使用 1 小时(h)所消耗的电能，即 1 度 = 1kW·h，它是电能的另一个工业计量单位。

1.2 欧姆定律

欧姆定律是电路的最基本定律之一，是用来确定电路各部分的电压、电流之间关系

的定律，也称为电路的 VCR(voltage current relatio)方程。根据欧姆定律在电路分析和计算的表示形式，它可分为一段无源支路欧姆定律、全电路欧姆定律和一段有源支路欧姆定律等三种形式。

1. 一段无源支路欧姆定律

所谓一段无源支路欧姆定律，是指通过某段支路电阻上的电流强度 I 的大小与加在其两端的电压 U 大小成正比，与该支路电阻 R 大小成反比。

一段无源支路欧姆定律的数学表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = RI \quad (1-7)$$

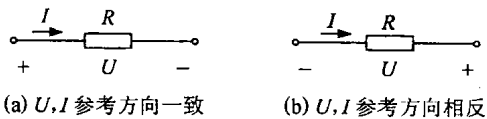


图 1-7 一段无源电阻电路图

在图 1-7(a)所示电路中，当电压 U 与电流 I 的参考方向一致时，电流与电压之间关系由式(1-7)确定： $I = \frac{U}{R}$ 或 $U = RI$ ；当电压 U 与电流 I 的参考方向不一致时，即方向彼此相反时，如图 1-7(b)所示，电流与电压之间关系为

$$I = -\frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = -RI \quad (1-8)$$

2. 全电路欧姆定律

全电路的欧姆定律是指由一条含有电源的支路和电阻组成的闭合电路，在电路中所产生的电流与该支路中电源电动势 E 成正比，与该闭合电路中的总电阻($R+R_0$)成反比。全电路欧姆定律对应的电路，如图 1-8 所示。

闭合电路的全电路欧姆定律数学表达式为

$$I = \frac{E}{R_0 + R} \quad (1-9)$$

式(1-9)中 E 为闭合电路中一条支路上的电源电动势，也可以是该闭合电路中所有电源电动势的代数和，当电动势 E 与电流 I 的参考方向一致者， E 取“+”值；相反者取“-”值。 R 为闭合电路中所有支路上电阻之和， R_0 是电源内电阻， I 是闭合电路中的电流。图 1-9 所示电路中的电流为

$$I = \frac{E_2 - E_1}{R_1 + R_2}$$

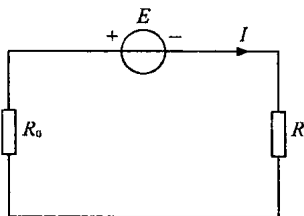


图 1-8 全电路欧姆定律

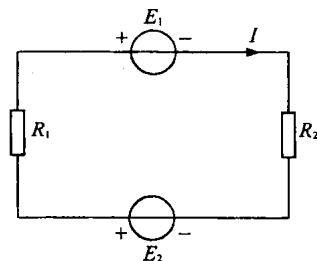


图 1-9 双电源电路欧姆定律

3. 一段有源支路欧姆定律

如果某段电路不仅有电阻元件还有电源，那么这段电路称为有源支路。有源支路 ab

中电阻 R_1 、 R_2 和电源 E_1 、 E_2 的端电压 U_{ab} 及支路中电流 I 的参考方向，如图 1-10 所示，则

$$U_{ab} = R_1 \times I - E_1 + R_2 \times I + E_2$$

整理后，得

$$I = \frac{U_{ab} + E_1 - E_2}{R_1 + R_2}$$

若有源支路中有多个电阻和多个电源，则支路中的电流 I 、电阻 R 、电源电动势 E 三者之间的关系为

$$I = \frac{\pm U_{ab} + \sum E}{\sum R} \quad (1-10)$$

式(1-10)为一段有源电路的欧姆定律： U_{ab} 表示有源支路的端电压，当端电压 U_{ab} 与电流 I 的参考方向一致时， U_{ab} 取“+”值，反之取“-”值； $\sum E$ 表示有源支路中所有电动势代数和，当电动势 E 与电流 I 的参考方向一致时， E 取“+”值，反之取“-”值； $\sum R$ 表示有源支路的所有电阻的和。

4. 电阻

电阻 R 表示一个消耗电能的理想电路元件，也代表该元件的参数，电阻分为线性电阻和非线性电阻两大类。如果电阻是一个常数，它的大小与通过它的电流及其两端的电压无关，这种电阻称为线性电阻；当流过电阻上的电流或电阻两端的电压变化时，电阻的值也随之改变，这种电阻的大小随电流或电压的变化而改变的电阻称为非线性电阻。本书中无特殊说明的电阻均指线性电阻。

在温度不变的情况下，金属导体电阻的大小 R 与导体的长度 L 成正比，与导体的横截面积 S 成反比，还与导体的材料有关，这就是电阻定律。电阻定律的数学表达式为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-11)$$

式(1-11)中，导体长度 L 的基本单位是米(m)，横截面积 S 的基本单位是 m^2 ，电阻率 ρ 反映导体材料的导电性能，基本单位是欧姆·米($\Omega \cdot m$)。

电阻的单位是欧姆(Ω)，单位名称为欧。常用的单位有千欧(k Ω)、兆欧(M Ω)等，它们之间的关系是

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega \quad 1k\Omega = 10^3 \Omega$$

电阻的倒数称为电导，用符号“ G ”表示，基本单位是西门子(S)，单位名称为西。电导 G 也是电阻元件的物理量之一，它与电阻的关系式为

$$G = \frac{1}{R} \quad (1-12)$$

1.3 电路的工作状态

1.3.1 电源与负载

在日常生活中，电风扇的电动机在交流电的作用下而旋转，手电筒的小灯泡在电池作用下而发光，此时交流电和电池就是这两种电路中产生电流的动力源，在电路中将这