



21 世纪高等教育规划教材

E E

主 编 郝永发

副主编 李文慧 任卫东 李彦文

主 审 胡春宝

电 工 电 子 技 术

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

21 世纪高等职业教育规划教材

电工电子技术

主 编 郝永发

副主编 李文慧 任卫东 李彦文

主 审 胡春宝

 北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书分为“电工技术”和“电子技术”两部分,编者根据自身多年的教学经验,结合高等教育的特点和要求,在编写过程中,力求讲清基本概念,分析准确,减少理论论证,做到深入浅出,通俗易懂。

本书为高等教育非电类教材,也可作为普通成人高校非电类专业及有关工程技术人员参考用书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/郝永发主编. —北京:北京理工大学出版社, 2008. 8
ISBN 978 - 7 - 5640 - 1671 - 5

I. 电… II. 郝… III. ①电工技术 - 教材②电子技术 - 教材
IV. TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 107280 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 河北省昌黎县第一印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 15.25

字 数 / 360 千字

版 次 / 2008 年 8 月第 1 版 2008 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 3000 册

责任校对 / 陈玉梅

定 价 / 26.00 元

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题,本社负责调换

【前言】

本书是根据“高等学校工程专科电工学课程教学基本要求”编写的。本书结合应用型高等学校在校学生的实际情况，以培养应用型人才为特点，少讲理论推导，突出基本概念及其应用。每章之后有小结和思考题，便于教学和自学。

另外，为了帮助学生在有限的时间内迅速巩固基本知识，我们还编写了与之配套的《电工电子学习指导》。通过典型习题的练习，可使学生举一反三，起到事半功倍的效果。

建议授课学时为72学时（不含实验）。具体分配如下：电路24学时；电工技术24学时，电子技术24学时。

本书由从事多年教学工作的教师编著。郝永发任主编，胡春宝担当主审。副主编有李文慧、李彦文、任卫东。由于编者水平有限，书中缺点在所难免，望使用本书的老师和同学批评指正，以便今后修正提高。

编者
2008年6月

【目录】

绪论	1
第1章 直流电路	2
1.1 电路与电路模型	2
1.2 电路的主要物理量	3
1.3 电阻元件	6
1.4 电感元件、电容元件	8
1.5 电路的工作状态	10
1.6 电阻的连接	12
1.7 电阻的星形与三角形连接的等效电路	15
1.8 基尔霍夫定律	17
1.9 电压源和电流源	21
1.10 叠加定理	24
1.11 等效电源定理	26
1.12 电路中电位的概念及计算	28
本章小结	29
习题	30
第2章 正弦交流电路	34
2.1 正弦交流电的基本概念	34
2.2 正弦量的表示法	38
2.3 单一参数的交流电路	42
2.4 电阻、电感、电容串联交流电路	49
2.5 简单正弦交流电路分析	55
2.6 电路中的谐振	58
2.7 功率因数的提高	63
本章小结	65
习题	66
第3章 三相正弦交流电路	71
3.1 三相交流电源	71
3.2 负载的星形连接	74
3.3 三相负载的三角形连接	79
3.4 三相电路的功率	80
本章小结	81
习题	82

第4章 电路的过渡过程	84
4.1 过渡过程的产生与换路定律	84
4.2 RC 电路的过渡过程	86
4.3 RL 串联电路的过渡过程	89
本章小结	90
习题	90
第5章 磁路与铁心线圈电路	92
5.1 磁路的基本知识	92
5.2 交流铁心线圈电路、电磁铁	96
5.3 变压器概述	97
5.4 变压器的工作原理	98
5.5 其他变压器	101
5.6 变压器的运行特性与技术参数	105
本章小结	106
习题	107
第6章 异步电动机及其控制电路	108
6.1 三相异步电动机的结构	109
6.2 三相异步电动机的工作原理	111
6.3 三相异步电动机的机械特性	114
6.4 三相异步电动机的启动、调速与制动	118
6.5 三相异步电动机的铭牌与选择	122
6.6 *单相异步电动机	124
6.7 异步电动机的控制电路	127
本章小结	139
习题	141
第7章 整流电路	143
7.1 半导体的基本知识	143
7.2 半导体二极管	146
7.3 二极管单相整流电路	148
7.4 滤波电路	151
7.5 稳压电路	154
7.6 晶闸管整流调压电路	157
本章小结	160
第8章 放大电路	162
8.1 晶体管	162
8.2 基本放大电路	168
8.3 放大电路的微变等效分析方法	173
8.4 多级电压放大器	176
8.5 功率放大电路	179

8.6	放大电路中的负反馈	183
8.7	射极输出器	186
8.8	正弦波振荡器	189
	本章小结	193
	习题	194
第9章	直流放大电路与集成运算放大器	195
9.1	直接耦合放大器	196
9.2	差动放大电路	198
9.3	运算放大器的主要参数和工作特点	202
9.4	运算放大器的基本运算电路	204
	本章小结	207
	习题	208
第10章	数字电路	209
10.1	概述	209
10.2	基本逻辑门电路	211
10.3	组合逻辑电路	215
10.4	集成触发器	224
10.5	寄存器和计数器	229
	本章小结	232
	习题	233

绪 论

1. 电能的特点与应用

电能是一种优质的二次能源，在现代工业、农业、交通运输业、国防以及日常生活等各个方面应用极其广泛。其主要优点有以下三个方面。

(1) 便于转换。电能可以很方便地由水能、热能、化学能、核能等转换而来；同时电能又可以很方便地转换成人们需要的其他各种形式的能量。作为信息，电信号与各种非电量之间的相互转换也很容易。

(2) 便于传输。高电压远距离输送电能时，损耗小、效率高，并容易分配到各个用电设备上。作为电信号，不但可在线路中迅速、稳定、准确地传输，而且可以用无线电波的形式在空间传播。

(3) 便于控制和测量。电能或电信号的有关量值便于准确而迅速地进行控制和测量，利用电信号还可以对电量以及各种非电量进行遥控和遥测，这些都为自动化生产提供了有利的条件。

电能的应用有两大方面：一是作为一种能量电能来使用；另一是作为一种信息电信号来应用（通常把变化的电压和电流统称为电信号）。

2. 课程的性质、任务与内容

电工学与电子学是工科非电类各专业必需的技术基础课。作为专业基础课，它应具有基础性、应用性。

基础是指基本理论、基本知识和基本技能。所谓基础性是指，电工学应为后续专业课程打基础，应为学生毕业后从事有关电的工作打基础，也就是为自学、深造、拓宽和创新打基础。非电类专业学生学习电工学重在应用，他们应具有将电工和电子技术应用于本专业和发展本专业的一定能力。为此，课程内容要理论联系实际，要培养分析和解决实际问题的能力。

根据非电类专业的要求与特点，本书将讲述以下几个方面的内容。

(1) 电工基础理论。包括电路的基本定律、基本分析方法以及直流电路与交流电路的基本知识和简单应用。

(2) 电工技术。包括变压器、电动机以及常用控制电路的基本原理。

(3) 电子技术。包括直流电源、放大电路、组合逻辑电路和时序逻辑电路以及应用举例。

3. 建议学习方法

(1) 学习时对基本概念一定要搞清楚，必须循序渐进、温故知新，注意各部分知识的内在联系。尤其是对那些经常用到的，几乎贯穿于全课程的基本概念和基本定律，要深入钻研，达到充分理解和熟练掌握的程度。

(2) 在学习时要注意进行总结对比，课后要及时复习并仔细阅读教科书，多看几本参考书。遇到问题要及时解决，不应积攒。多和同学老师交流。

(3) 对抽象的概念要理解其物理意义；对推算过程要掌握分析方法，不要死记硬背。

(4) 重视实验，在保证安全的情况下多动手，熟练掌握一些基本仪器的使用。

直流电路

电路是电工技术和电子技术的基础，它是为学习后面的电子电路、电机电路以及控制与测量电路打基础的。

本章主要讨论电路的基本物理量、电路的基本定律、基尔霍夫定律、戴维南定理、叠加定理等以及应用它们来分析及计算各种直流电路的方法，电路的工作状态和电路中电位的计算等。本章所述定律和分析方法，虽是在直流电路中提出，但辅以数学工具，也适用于正弦交流电路以及其他各种线性电路。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成及作用

电路 (electric circuit, 简称 circuit) 也叫网络 (network), 就是电流所通过的路径。它是由若干电气器件 (electrical device) 按一定方式连接起来组成的总体。

图 1-1 所示的电路是一个最简单的直流电路, 它由两节干电池、一个小灯泡、一个开关 (switch) 和连接导线 (手电筒金属壳体) 组成。当开关闭合时, 电池、导线和灯泡构成电流通路, 电路中有电流流动, 灯泡发光。当开关断开时, 切断了电流流通的路径, 电路中没有电流, 灯泡熄灭。

由这个简单电路我们可以看出, 作为一个完整电路, 一般由以下三个基本部分组成:

(1) 电源 (electric source) 是将非电能转换成电能的装置。例如干电池和蓄电池是将化学能转化成电能, 而发电机是将热能、水能或原子能等转换成电能。所以电源是电路中的能量来源, 是推动电流流动的源泉, 在它的内部进行着由非电能到电能的转换。

(2) 负载 (load) 是将电能转换成非电能的装置。例如电灯是将电能转换成热能, 电动机是将电能转换成机械能等。所以负载是取用电能的装置, 在它的内部进行着由电能到非电能的转换。

(3) 中间环节是把电源与负载连接起来的部分, 起传递和控制电能的作用。上述电路常

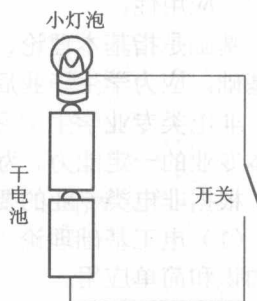


图 1-1 手电筒电路

用于电力及一般用电系统中，称为电力电路。

电路的另一种作用是信号 (signal) 的处理。输入的信号叫激励 (excitation)，输出的信号叫响应 (response)。中间部分便是对信号进行处理的一些器件。例如扩音机的输入 (激励) 是声的信号，通过晶体管组成的放大器输出 (响应) 便是放大了声的信号，实现了放大功能。这类电路称为信号电路或电子电路。

此外，在电工学中对于一个完整的电路 (又称全电路)，通常把电源内部的那段电路称为内电路；而把电源外部的那段电路称为外电路。

1.1.2 电路模型

实际电路是由实际的电路元件和连接线组成的。实际的电路元件，其电磁性质较为复杂，为了简化电路分析的过程，往往只考虑其主要性质，而忽略其次要性质，即实现了实际电路元件的理想化。

我们把实际的电气元件看作为电源、电阻、电感与电容等有限种理想的电路元件 (circuit element)，用这些元件构成物理模型，进行数学上的分析，或者说建立数学模型。用理想元件构成电路的物理模型 (model) 叫电路模型 (circuit model)，用特定的符号代表元件连接成的图形叫电路图 (circuit diagram)。

一般的理想元件具有两个与外部连接的端钮，叫二端电路元件 (two terminal circuit element)。没有说明具体性质的二端电路元件用方框符号表示 (图 1-2 (a))。图 1-2 则是常用的几种理想电路元件的符号，其中图 1-2 (a) 为电阻元件，图 1-2 (b) 为电感元件，图 1-2 (c) 为电容元件，图 1-2 (d)、(f) 分别为理想电压源和理想电流源，图 1-2 (e) 是电池的符号。

图 1-3 是一个最简单的手电筒电路。它又是一个电阻元件，中间是一个控制电路接通或断开的开关。

不论电能的传输和转换，或者信号的传递和处理，都要通过电流、电压和电动势来实现，所以在分析和计算电路之前，首先要讨论一下电路的这几个基本物理量。

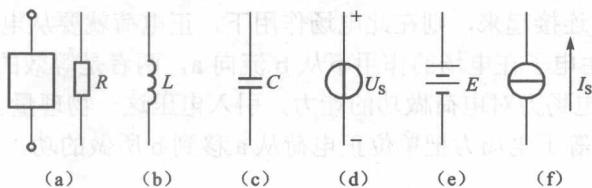


图 1-2 几种常见的理想电路元件

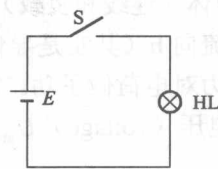


图 1-3 手电筒的电路图

1.2 电路的主要物理量

1.2.1 电流

电流 (electric current) 是一种物理现象，是带电粒子 (电荷) (electric charge) 有规则的定向运动形成的。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向，电流的大小常用单位时间内

通过导体横截面的电荷量来表示，即

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

单位为安培 (ampere)，SI 单位符号为 A，有时也会用到 kA、mA，它表示 1 秒 (s) 内通过横截面的电荷为 1 库仑 (coulomb)，简称库 (C)。大写字母 I 表示不随时间变化的电流即直流电流 (direct current) $I = Q/t$ 如图 1-4

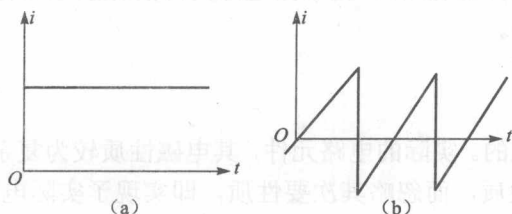


图 1-4 直流与交变电流
(a) 直流电流; (b) 交变电流

(a)，小写字母 i 表示随时间变化的电流，称为变动电流。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流则称为交变电流，如图 1-4 (b) 所示。

电流的方向是客观存在的，但实际方向有时难以确定，因此引入“参考方向” (reference direction) 这一概念。

电流的参考方向，即电流的假定正方向 (positive direction)，可任意选定。当然，所选的电流参考方向不一定就是电流的实际方向。当电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正值 ($I > 0$)；当电流的参考方向与实际方向相反时，电流为负值 ($I < 0$)。这样，在选定的电流参考方向下，根据电流的正负，就可以确定电流的实际方向，如图 1-5 所示。

在分析电路时，首先要假定电流的参考方向，并以此为准去分析计算，最后从答案的正负值来确定电流的实际方向。本书电路图上所标出的电流方向都是指参考方向。

1.2.2 电压与电动势

带电粒子在电场中运动必然要做功。

在图 1-6 中，a 和 b 是电源的两个电极，a 是正极 (positive pole)，b 是负极 (negative pole)，a 带正电，b 带负电，因此在电极 a、b 之间产生电场 (electric field)，其方向由 a 指向 b。如果用导体 (连线和负载) 将 a 和 b 连接起来，则在此电场作用下，正电荷就要从电极 a 经连接导体流向 b (其实是导体中的自由电子在电场的作用下从 b 流向 a，两者是等效的)。这就是电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力，引入电压这一物理量。a、b 两点间的电压 (voltage) U_{ab} 在数值上等于电场力把单位正电荷从 a 移到 b 所做的功。



图 1-5 电流的方向
(a) $I > 0$; (b) $I < 0$

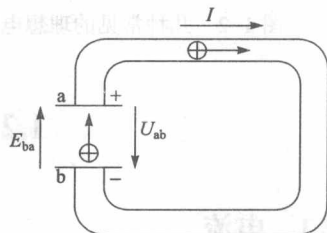


图 1-6 电压与电动势

即
$$U_{ab} = A/Q \text{ (对直流来说)} \quad (1-2)$$

在电场内两点间的电压也常称为两点间的电位差 (electric potential difference), 即

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

式中, V_a 为 a 点的电位; V_b 为 b 点的电位。

在法定计量单位中, 电压的单位是伏特 (volt), 简称伏 (V)。电压的方向规定为由高电位点指向低电位点。但在分析时, 也需选取电压的参考方向, 当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正 ($U > 0$); 相反时, 电压为负 ($U < 0$)。电压的参考方向可用箭头表示, 也可用正 (+)、负 (-) 极性表示, 如图 1-7 所示。

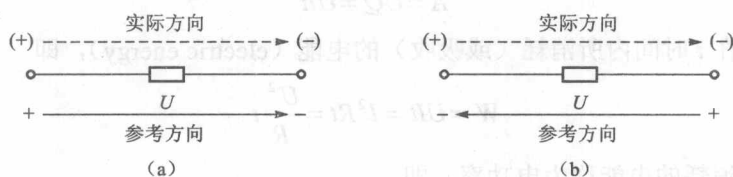


图 1-7 电压参考方向与实际方向的关系

(a) $U > 0$; (b) $U < 0$

在图 1-8 (a) 中, 电压的参考方向选作由 a 指向 b, 则 $U = U_{ab}$, $U_{ab} = 2 \text{ V}$; 而在图 1-8 (b) 中, 电压的参考方向选作由 b 指向 a, 则 $U = U_{ba} = -U_{ab} = -2 \text{ V}$ 。由此可见, 不管参考方向如何选取, 同样说明了 a 点的电位高于 b 点的电位。

顺便指出, 对于无源元件 (电阻、电感或电容) 上的电压和电流参考方向的假定, 原则上是任意的, 但为了方便起见, 常采用元件上的电压与通过其中的电流取一致的参考方向, 即称为关联参考方向 (associated reference direction)。如在图 1-9 中, 图 (a) 所示的 U 与 I 参考方向一致, 则其电压与电流的关系是 $U = RI$; 而图 (b) 所示的 U 与 I 参考方向不一致, 则电压与电流的关系是 $U = R(-I) = -RI$ 。可见在列写电压与电流的关系式时, 式中的正负号由它们的参考方向是否一致来决定。

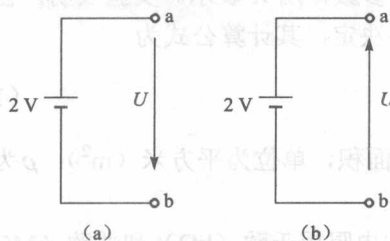


图 1-8 不同的电压参考方向

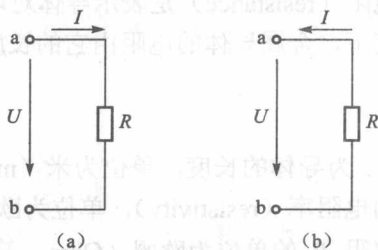


图 1-9 U 与 I 参考方向的选择

在图 1-6 所示的电路中, 为了维持电流不断地在连接导体中流通, 并保持恒定, 则必须使 a、b 间的电压 U_{ab} 保持恒定, 也就是要使电极 b 上所增加的正电荷经过另一路径流向电极 a。但由于电场力的作用, 电极 b 上的正电荷不能逆电场而上, 因此必须有另一种力能克服电场力而使电极 b 上的正电荷流向电极 a。电源就能产生这种力, 我们称它为电源力。例如在发电机中, 当导体在磁场中运动时, 导体内便出现这种电源力; 在电池中, 电源力存在于电极与电解液的接触处。我们用电动势 (electromotive force, 简称为 emf) 这个物理量衡量电

源力对电荷做功的能力。电源的电动势 E_{ba} 在数值上等于电源力把单位正电荷从电源的低电位端 b 经电源内部（也是导体）移到高电位端 a 所做的功，也就是单位正电荷从 b 点（低电位）移到 a 点（高电位）所获得的电能。在电源力的作用下，电源不断地把其他形式的能量转换为电能，它的单位也是伏（V）。

1.2.3 电能和电功率

在图 1-9 (a) 所示的直流电路中， a 、 b 两点的电压为 U ，电路中的电流为 I ，则由电压定义可知，在 t 时间内，电场力所做的功（work）为

$$A = UQ = UI t \quad (1-4)$$

这就是电阻元件在 t 时间内所消耗（或吸收）的电能（electric energy），即

$$W = UI t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t \quad (1-5)$$

单位时间内消耗的电能称为电功率，即

$$P = \frac{W}{t} = UI = I^2 R t = \frac{U^2}{R} \quad (1-6)$$

在我国法定计量单位中，能量的单位是焦耳，简称焦（J）；功率的单位是瓦特（Watt），简称瓦（W）。有时电能的单位可用千瓦时（ $\text{kW} \cdot \text{h}$ ）表示， $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 就是指 1 kW 功率的设备，使用 1 h 所消耗的电能。如 100 W 的灯泡，工作 10 h ，其消耗的电能就是 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。 $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 俗称 1 度电。 $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1000 \text{ W} \times 3600 \text{ s} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$ 。

1.3 电阻元件

1.3.1 电阻元件

电阻（resistance）是表示导体对电流起阻碍作用的参数，用 R 表示。实验表明：在一定的温度下，金属导体的电阻由它的长度、截面积及材料决定，其计算公式为

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-7)$$

式中， l 为导体的长度，单位为米（m）； S 为导体的截面积，单位为平方米（ m^2 ）； ρ 为导体材料的电阻率（resistivity），单位为欧·米（ $\Omega \cdot \text{m}$ ）。

电阻 R 的单位为欧姆（Ohm，简称 Ω ），大阻值的电阻用千欧（ $\text{k}\Omega$ ）和兆欧（ $\text{M}\Omega$ ）表示，它们之间的关系是

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

只具有电阻的二端元件称为电阻元件，也简称为电阻。故“电阻”这一名词有时指电阻元件，有时指元件的参数。实际中有两种用电设备可看作电阻元件。一种本身就是电阻器（resistor），如电子电路中用的各种电阻及实验室用的标准电阻、滑线变阻器（rheostat）等；另一种是从理论上可抽象为电阻元件的设备，它们借电阻发热而达到应用的目的，如白炽灯、电炉、电烙铁等。

电阻的倒数称为电导 (conductance), 是表征材料导电能力的一个参数, 用符号 G 表示

$$G=1/R \quad (1-8)$$

电导的单位是西门子 (simens), 简称西, 其 SI 单位符号为 S。

电阻率的倒数叫电导率 (conductivity), 用符号 γ 表示, 单位是西/米 (S/m), 实际常用西/毫米² (S/mm²) 则

$$G = \gamma \frac{S}{l} \quad (1-9)$$

$$\gamma = \frac{1}{\rho} \quad (1-10)$$

表 1-1 为常用金属材料的电阻率及电阻温度系数。

表 1-1 常用金属材料的电阻率及电阻温度系数

材料名称	用途	20 °C 时的电阻率 $\rho \times 10^6 / (\Omega \cdot m)$	20 °C 时的电阻温度系数 $\alpha / (1 \cdot ^\circ C^{-1})$
银	导电材料	0.016 5	0.003 8
铜		0.017 5	0.004 0
铝		0.028 3	0.004 2
锰铜	电阻材料	0.42	0.000 005
康铜		0.49	0.000 005
铂		0.105	0.003 89
镍铬		1.08×10	0.000 13
铁铝铬		1.35×10	0.000 05
碳			0.000 5

从表 1-1 可知, 银的电阻率最小, 导电性能最好, 但它的价格昂贵, 仅用于制造接触器、继电器的触头等。铜和铝的电阻率很小, 使用最为广泛。铜的导电性比铝好些, 但铝资源丰富、价格低、质量轻, 目前电力系统的架空线、变压器、电动机等都尽量采用铝线, 以铝代铜。

一般金属导体的电阻会随温度升高而增大。电阻与温度的关系用下式表示

$$R_2 = R_1 [1 + \alpha(t_2 - t_1)] \quad (1-11)$$

式中, R_1 和 R_2 为温度 t_1 和 t_2 时的电阻值; α 为金属材料的电阻温度系数 (temperature coefficient of resistance), 它等于温度每变化 1 °C 时电阻增大的百分数, 单位是 1/°C。

不同金属材料的电阻温度系数不同: 康铜和锰铜的电阻温度系数很小, 常用来制造精密电阻。如用锰铜制作直流电工仪表中的分压器、分流器等。镍铬合金不但电阻率高, 且能长期承受高温, 常用于制造各种电热器发热电阻丝。

1.3.2 欧姆定律与电阻元件的伏安特性

图 1-10 是一段电阻电路。1826 年德国科学家欧姆 (George Simon Ohm) 通过实验总结出: 电阻中的电流与加在电阻两端的电压成正比, 而与电阻阻值成反比, 即

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

上式称为欧姆定律。式中， U 的单位为 V ， R 的单位为 Ω ， I 的单位为 A 。

凡遵循欧姆定律的电阻称为线性电阻 (linear resistance)。线性电阻的阻值只与导体的材料和尺寸有关，而与通过导体的电流 (或两端的电压) 大小无关。本书如无特别强调，涉及的电阻均为线性电阻。

电阻端电压 U 和流过它的电流 I 的关系曲线称为电阻的伏安特性 (volt ampere characteristic)，线性电阻的伏安特性是一条通过原点的直线，如图 1-11 所示。

不遵循欧姆定律的电阻，叫非线性电阻。非线性电阻的伏安特性是一条曲线，即 U 、 I 不是正比关系。图 1-12 为晶体二极管的伏安特性。白炽灯灯丝、避雷器的砂砾陶，也都是非线性电阻。

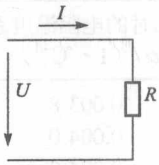


图 1-10 电阻电路

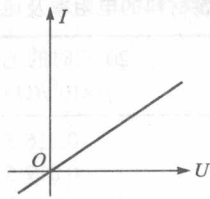


图 1-11 线性电阻伏安特性

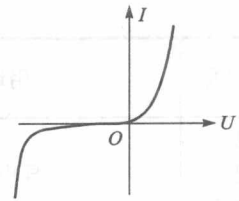


图 1-12 晶体二极管的伏安特性

1.4 电感元件、电容元件

1.4.1 电感元件

电感元件是反映电流周围存在磁场，储存磁场能量这一物理属性等效于一个电阻为零的线圈。

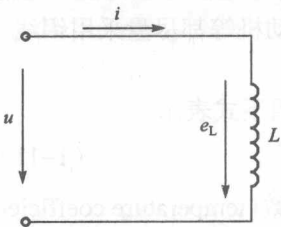


图 1-13 电感元件

根据电磁感应定律，电流 i 通过电感元件 L 时，将在线圈周围产生磁场。当电流 i 变化时，磁场也随之变化，并在线圈中产生感生电动势 e_L (self-induced emf) 如图 1-13 所示。在各电量的参考方向一致的情况下

$$e_L = -L \frac{di}{dt}$$

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-13)$$

上式表明电感元件两端的电压，与它的电流对时间的变化率成正比。比例常数 L 称为电感 (inductance)，是表征电感元件特性的参数。当 u 的单位为伏 (V)， i 的单位为安 (A) 时， L 的法定计量单位为亨利 (henry)，简称亨 (H)，较小的计量单位有毫亨 (mH)、微亨 (μH)。习惯上我们常把电感元件称为电感器 (inductor)，故“电感”这个名词既表示电路元件，又表示元件的参数。

由式 (1-13)，当 L 中流过稳定的直流电流 I ，因 $dI/dt=0$ ，故 $u=0$ ，这时电感元件相当于

短路,这是因为直流电流 I 产生的磁场是恒定不变的,不会在线圈中产生自感电动势, $e_L=0$ 。

从式(1-13)还可看到,电感元件中的电流 i 不能跃变。因为如 i 跃变, di/dt 为无穷大,电压 u 也应为无穷大,而这实际上是不可能的。

当 u 、 i 参考方向一致时,电感元件的功率

$$p = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1-14)$$

在 t 时刻电感元件中储存的磁场能量为

$$\omega_L = \int_0^t p dt = \int_0^t u i dt = \int_0^t L i di = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1-15)$$

当电流为直流 I 时

$$W_L = \frac{1}{2} L I^2 \quad (1-16)$$

式中, W_L 的单位是焦耳 (J)。

上式说明:电感元件在某时刻储存的磁场能量与该时刻流过元件的电流的平方成正比。电感元件不消耗能量,是一种具有储存磁场能量的元件。

在工程上,各种实际的电感线圈如荧光灯上用的镇流器,电子线路中的扼流线圈等,当忽略其线圈导线的电阻及匝间电容时,便可认为它们是只具有储存磁场能量特性的电感元件。

1.4.2 电容元件

电容元件是反映存储电荷产生电场,储存电场能量这一物理现象的理想电路元件。在图 1-14 中,电容器 (capacitor) C 是由绝缘非常好的两块金属极板构成。当在电容元件两端施加电压时,两块极板上将出现等量的异性电荷,并在两极板间形成电场。电容器极板上所存储的电量 q ,与外加电压 u 成正比,即

$$q = Cu \quad (1-17)$$

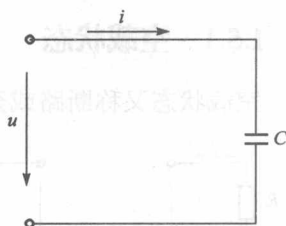


图 1-14 电容元件

式中,比例常数 C 称为电容 (capacitance),是表征电容元件特性的参数。当电压的单位为伏 (V),电量的单位为库仑 (C),则电容的法定计量单位为法拉 (Farad),较小的计量单位为微法 (μF) (microfarad) 或皮法 (pF)。电容元件简称电容,“电容”这个名词既表示电路元件,又表示元件的参数。

当电压 u 和电流 i 的参考方向一致时

$$i = \frac{di}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-18)$$

上式表明,只有当电容元件两端的电压发生变化时,电路中才有电流流过,电压变化越快,电流也越大。当电容元件两端施加直流电压 U ,因 $du/dt=0$,故电流 $i=0$,因此电容元件对于直流稳态电路相当于断路,即电容有隔断直流的作用。

从式(1-18)还可看出,电容两端的电压不能跃变,因为如果电压跃变,电流 i 也为无穷大,对实际电容器来说,这当然是不可能的。

当电压 u 和电流 i 的参考方向一致时, 电容元件的功率

$$p = ui = Cu \frac{du}{dt} \quad (1-19)$$

在 t 时刻电容元件储存的电场能量为

$$w_C = \int_0^t p dt = \int_0^t u i dt = \int_0^u C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-20)$$

当电压为直流电压 U 时

$$W_C = \frac{1}{2} C U^2 \quad (1-21)$$

式中, W_C (W_C) 的单位是焦耳 (J)。

上式说明: 电容元件在某时刻储存的电场能量与元件在该时刻所承受的电压的平方成正比。故电容元件不消耗能量, 是一种具有储存电场能量的元件。

在工程上, 各种实际的电容器常以空气、云母、绝缘纸、陶瓷等材料作为极板间的绝缘介质, 当忽略其漏电阻和引线电感时, 便可认为它是只具有储存电场能量特性的电容元件。

1.5 电路的工作状态

电路在工作时, 可能处于空载 (noload)、短路和负载三种状态。下面分别讨论每种状态的特点。

1.5.1 空载状态

空载状态又称断路或开路 (open circuit) 状态, 如图 1-15 所示, 它是电路的一个极端运行状态, 当开关断开或连接导线折断, 就会发生这种状态。电路空载时, 外电路所呈现的电阻可视为无穷大, 故电路具有下列特征:

- (1) 电路中的电流为零, 即 $I = 0$ 。
- (2) 电源的端电压等于电源的电动势, 即

$$U_1 = E - R_0 I \approx E$$

图 1-15 电路的空载状态

此电压称空载电压或开路电压, 用 U_0 表示。由此可以得出测量电源电动势的方法。

(3) 电源的输出功率 P_1 和负载所吸收的功率 P_2 均为零。这是因为, 电源对外不输出电流, 故 $P_1 = U_1 I = 0$, $P_2 = U_2 I = 0$ 。

1.5.2 短路状态

当电源的两输出端钮由于某种原因 (如电源线绝缘损坏, 操作不慎等) 相接触时, 会造成电源被直接短路 (short circuit) 的情况, 如图 1-16 所示, 它是电路的另一种极端运行状态。当电源直接短路时, 外电路所呈现

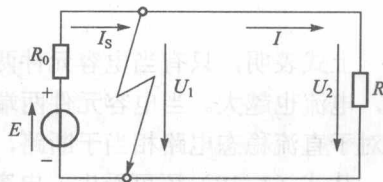


图 1-16 电路的短路状态