



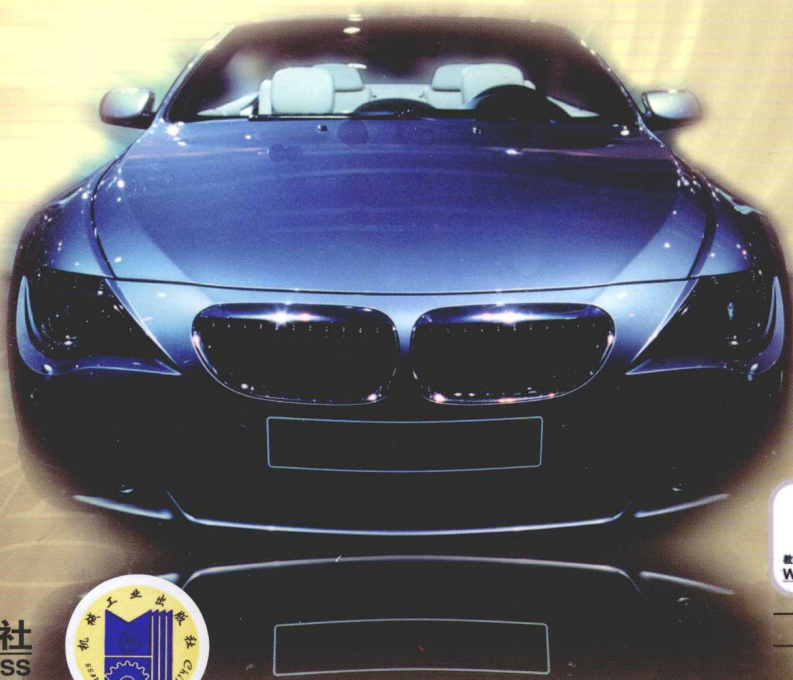
普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新世纪高等职业教育规划教材

汽车电工与电子技术基础 第2版

QICHE DIANGONG YU DIANZI JISHU JICHU



冯渊 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



配电子课件

普通高等教育“十一五”国家级规划教材
新世纪高等职业教育规划教材

汽车电工与电子技术基础

第2版

主 编 冯 渊
副主编 吕 玫
参 编 陆 荣 张 卉
主 审 曹建林



机械工业出版社

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书内容共七章,内容包括:直流电路与分析、正弦交流电路、磁路和线圈电路、电动机与发电机、电气控制电路及其在汽车中的应用、常用半导体器件及应用、数字电子技术基础。每章后都附有小结和习题。教材内容紧扣汽车电路特点和应用,同时兼顾了电工与电子应用的普适性。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、民办高校及本科院校的二级职业技术学院的汽车及相关专业的教学用书,也可作为社会相关从业人员的业务参考书及培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工与电子技术基础/冯渊主编. —2版. —北京:机械工业出版社, 2010.

普通高等教育“十一五”国家级规划教材. 新世纪高等职业教育规划教材

ISBN 978-7-111-30256-8

I. ①汽… II. ①冯… III. ①汽车—电工—高等学校:技术学校—教材②汽车—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. ①U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 055187 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:葛晓慧 责任编辑:葛晓慧 张双国

版式设计:张世琴 责任校对:陈延翔

封面设计:赵颖喆 责任印制:李妍

北京振兴源印务有限公司印刷

2010 年 7 月第 2 版第 1 次印刷

184mm×260mm·15 印张·370 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-30256-8

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
电话服务 网络服务

社服务中心:(010) 88361066

销售一部:(010) 68326294

销售二部:(010) 88379649

读者服务部:(010) 68993821

门户网:<http://www.cmpbook.com>

教材网:<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

前 言

随着汽车工业的快速发展,智能、环保、安全和节能成为世界汽车技术发展的主题。汽车新技术、新工艺、新材料不断出现,汽车已成为集机械技术、自动控制技术、电子技术、计算机技术、通信技术、人工智能技术、激光技术等高度融合的产物。电工、电子产品及其相关产品的成本占整车的比例不断上升。汽车技术的发展必然对当代汽车从业人员提出更高的要求,只有不断加强电工电子等相关知识,完善知识结构,才能满足对汽车检测、维修及相关售后服务的工作要求。

为适应现代汽车发展的需要,高等职业教育必须与时俱进,贴近市场需求,不断更新教学理念,为此作者编写了《汽车电工与电子技术基础第2版》一书,本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材。全书共七章,内容包括:直流电路与分析、正弦交流电路、磁路与线圈电路、电动机与发电机、电气控制电路及其在汽车中的应用、常用半导体器件及应用、数字电子技术基础。每章附有小结和习题。本书遵循知识面宽、分析案例新、应用性强、兼顾普适性的原则进行编写,内容编排上由浅到深,循序渐进。本书具有如下特点。

1. 针对性:以汽车技术应用为主线,以典型汽车电工与电子设备为载体,有机地融合了电工技术与电子技术的内容,培养学生运用电工电子基本知识分析汽车电路及简单故障的能力。

2. 基础性:精选内容,引入难度适中、数量适度、有一定代表性的汽车应用案例。在讲清基本概念、基本电路的工作原理和基本分析方法的同时,引入的汽车案例有较详尽的过程分析阐述,旨在培养学生的汽车基本电路分析能力和专业迁移能力,为后续汽车复杂电路的学习打下坚实的基础。

3. 普适性:考虑个体可持续发展的需要,本书保留了电工电子技术的基本知识框架。本书涉及的知识面较宽,以满足读者今后在生活、工作等方面的要求,也方便读者自学,体现了教材的普适性。

为达到较好的学习效果,建议在组织课程教学时采用多种教学手段和教学方法。根据教学内容,开展现场教学、案例教学、实验和多媒体教学,为汽车维修专业综合能力的培养和训练奠定基础。

本书由冯渊主编,并负责全书的组织和统稿;吕玫任副主编。参加编写人员具体分工为:冯渊编写第一、二章、附录,吕玫编写第三、四、五章,陆荣编写第六章,张卉编写第七章。本书由曹建林教授主审。

本书的编写参考了许多资料与文献,在此无法一一列举,谨对所列主要参考文献的作者表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,疏漏之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第一章 直流电路与分析 1

第一节 电路及其基本物理量 1

第二节 电阻元件与欧姆定律 6

第三节 电源及其在汽车中的应用 13

第四节 基尔霍夫定律 17

第五节 电路的三种状态 20

第六节 电阻的等效变换 22

第七节 支路电流法和叠加定理 25

第八节 电路的简化和电路的电位分析 27

本章小结 31

复习思考题及习题 32

第二章 正弦交流电路 36

第一节 电容器和电感线圈 36

第二节 正弦交流电及其相量表示 41

第三节 电阻、电感、电容在交流电路中的特性 45

第四节 RLC 串联电路 51

第五节 感性负载与电容的并联电路 54

第六节 三相交流电路 55

本章小结 63

复习思考题及习题 65

第三章 磁路和线圈电路 67

第一节 磁路及其基本定律 67

第二节 线圈电路分析 71

第三节 电磁铁 75

第四节 变压器 78

第五节 汽车点火线圈 82

本章小结 84

复习思考题及习题 86

第四章 电动机与发电机 87

第一节 三相异步电动机概述 87

第二节 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性 95

第三节 三相异步电动机的运行 98

第四节 汽车用交流发电机 102

第五节 直流电动机 104

第六节 汽车用直流电动机 111

本章小结 114

复习思考题及习题 116

第五章 电气控制电路及其在汽车中的应用 118

第一节 常用低压电器 118

第二节 三相电动机的基本控制电路 124

第三节 汽车低压电路分析 129

第四节 汽车的传统点火系工作过程 134

本章小结 138

复习思考题及习题 139

第六章 常用半导体器件及应用 141

第一节 半导体简介 141

第二节 晶体管基本应用电路 153

第三节 集成运放及其应用 167

第四节 直流稳压电源 173

本章小结 182

复习思考题及习题 183

第七章 数字电子技术基础 189

第一节 数字电路基本知识 189

第二节 基本逻辑门电路 193

第三节 集成触发器 198

第四节 基本数字部件 201

第五节 脉冲信号产生电路 205

本章小结 211

复习思考题及习题 212

附录 215

附录 A 常用电气设备相关知识 215

附录 B 常用半导体器件参数 225

附录 C 集成电路型号命名 228

附录 D 汽车电路原理图常用图形符号 229

附录 E 常见汽车仪表盘显示符号 233

附录 F 常见汽车图标 234

参考文献 235

第一章 直流电路与分析

本章要点

- 1) 电路的基本概念，电流、电压、电位和电功率等基本物理量。
- 2) 电阻的基本知识，汽车中特殊电阻的应用。
- 3) 电源模型，汽车中蓄电池的基本知识。
- 4) 电路的欧姆定律，基尔霍夫电流、电压定律。
- 5) 汽车电阻电路电位分析。
- 6) 支路电流法、叠加原理以及电源等效变换。

第一节 电路及其基本物理量

一、电路

1. 电路的组成与作用

电路就是电流所通过的路径，它是由电气设备和元器件按一定方式连接起来的整体。在日常生活和工业控制中存在各式各样的电路，例如手电筒电路；电视机中将微弱信号进行放大的放大电路；风扇电路；汽车中的温度、压力、位置角度等传感器检测电路等。电路的作用有两个方面：①实现能量的转换、传输和分配（如电力系统），即电力电路；②实现电信号的处理与传递（如广播电视系统等），即信号电路。

电路一般由电源、负载以及传输控制部件等组成。电路中供给电能的设备或器件称为电源，用电设备或元器件称为负载。如图 1-1a 所示，手电筒电路就是一个简单的实用电路。这个电路由电源（干电池）、负载（小灯泡）、开关和连接导体（手电筒金属壳）等组成。

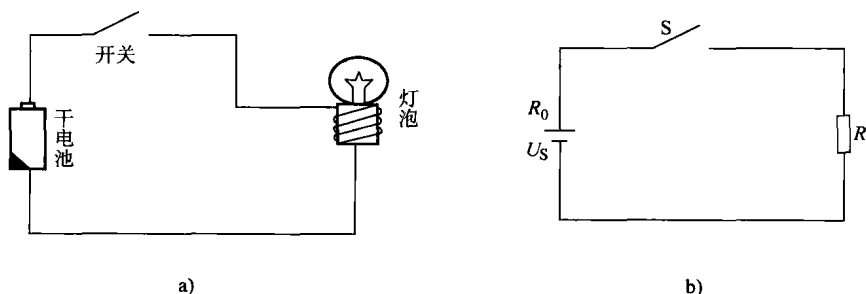


图 1-1 手电筒电路

a) 手电筒电路示意图 b) 电路模型

2. 电路理想元件和电路模型

实际电路中的元器件种类繁多，但在电磁现象方面一些元器件却有共同之处。例如，各种电阻器、照明灯、汽车喇叭等元件主要的电磁特性是消耗电能；各种电感线圈（如变压器绕组、点火线圈等）主要是储存磁场能量；各种类型的电容器主要是储存电场能量；蓄电池、干电池、发电机等部件主要是提供电能。为了便于探讨电路的一般规律，简化电路分析，在工程上通常将实际的电路元件用理想电路元件替代。即在一定的条件下，突出元件主要的电磁性质，忽略其次要因素，把实际元件近似地看做理想电路元件，用一个理想电路元件或由几个理想元件的组合来代替实际的电路元件。例如：

电阻元件——替代主要是消耗电能并转换成其他形式能量的实际元件，用字母 R 表示，简称电阻。

电感元件——替代主要是储存磁场能量的实际元件，用字母 L 表示，简称电感。

电容元件——替代主要是储存电场能量的实际元件，用字母 C 表示，简称电容。

此外，忽略了内阻的电源可用理想电压源、理想电流源替代。理想电压源、理想电流源分别用字母 U_s 、 I_s 表示。实际电源还可由多个理想元件组合表示，如理想电压源、理想电流源与电阻元件组合替代主要是供给能量的实际元件。

电阻 R 、电感 L 、电容 C 、电压源 U_s 、电流源 I_s 的图形符号如图 1-2 所示。

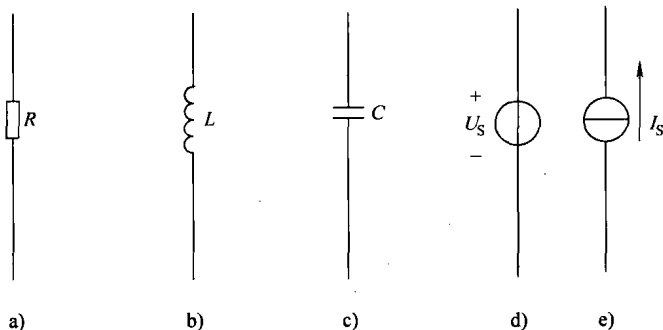


图 1-2 理想元件图形符号

a) 电阻 R b) 电感 L c) 电容 C
d) 理想电压源 U_s e) 理想电流源 I_s

电路模型就是指用理想电路

元件及其组合来代替实际电路元件构成的实际电路。图 1-1b 所示为手电筒电路模型，由图可见，通常干电池用电压源 U_s 和内部电阻 R_0 表示，灯泡用电阻 R 表示，电筒的金属壳体或连接铜条，其消耗能量忽略不计，用导线表示，手电筒开关用 S 表示。

二、电流及参考方向

1. 电流的大小与方向

电荷的定向运动形成电流，通常将正电荷运动的方向规定为电流正方向。电流的大小等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。根据定义有

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

式中， i 为电流。电流的单位为安培 (A)。

根据电流大小和方向随时间的变化情况，电流可分为两大类。一类电流的大小和方向都不随时间而变化，称之为恒定电流，简称直流，常用字母 DC 表示。图 1-3a 所示为恒定电流波形。直流电流用大写字母 I 表示。另一类是电流大小和方向都随时间变化的电流，称为变动电流，变动电流用小写字母 i 表示。其中，一个周期内电流的平均值为零的变动电流称之为交变电流，简称交流，常用字母 AC 表示。图 1-3b 所示为正弦交流电流波形。

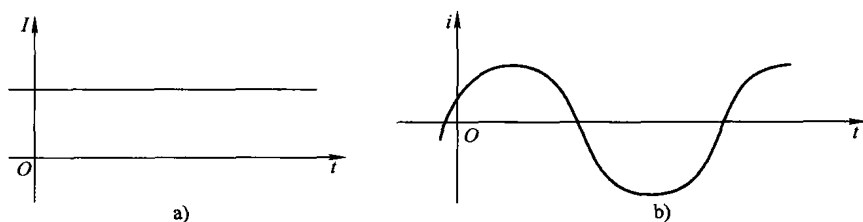


图 1-3 电流波形

a) 恒定电流波形 b) 正弦交流电流波形

2. 电流的参考方向

电流的方向是客观存在的，但在电路分析时，有些较为复杂的电路电流的实际方向难以判断，有时电流的实际方向会随时间不断改变，要在电路中标出电流的实际方向较为困难。因此在电路分析时，引入“参考方向”这一概念。

在一段电路或电路元件上可以任意选定一个方向作为电流的流动方向，这个方向就是电流的参考方向，在电路图中用箭头表示。如图 1-4 所示，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 ($i < 0$)。

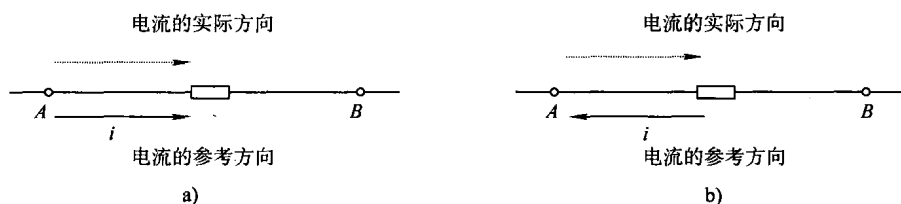


图 1-4 电流的参考方向

a) $i > 0$ b) $i < 0$

除了用箭头来表示电流的参考方向外，还可用双下标表示，如 I_{AB} 表示电流参考方向从 A 指向 B。

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。在分析电路时，先假定电流的参考方向，并以此去分析计算，最后根据数值的正负值来确定电流的实际方向。

综上所述，电流参考方向是电路分析计算过程中很重要的概念，在学习中需要注意：

- 1) 电流参考方向可随意选择，而实际电流是客观存在的。若同一个电流的参考方向不同，则其电流的数值大小相等而符号相反。例如 $I_{AB} = -I_{BA}$ 。
- 2) 电流是个代数量，电流的表达式反映了大小与方向。例如当 $I = -2A$ ，表明电流大小为 2A，其实际方向与参考方向相反。因此在分析电路电流时，应首先选择好电流的参考方向。若不选择参考方向，而谈论电流的正负是无意义的。
- 3) 在电路图上标注的是电流参考方向而不是实际方向。在某些直流电路中，若可直接判断出电流的实际方向，一般为方便起见，选择其参考方向与实际方向一致。

三、电压与电位

1. 定义

如图 1-5 所示，在导体内电荷定向运动是由于电场力的作用形成的。那么，电路中 a、b

两点间电压的大小就等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点所做的功, 用符号 u_{ab} 表示。

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-2)$$

在直流电路中电压用大写字母 U 表示, 电压的单位为伏特 (V)。

为了方便地分析电压这个物理量, 这里引入了电位的概念。在电路中任选参考点 O , 则电路中某点 a 到参考点 O 的电压就称为 a 点的电位。换言之, 电位实际上就是相对于参考点的电压。

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

电位用 V 表示。电路参考点本身的电位 $V_O = 0V$, 参考点也称为零电位点。

在电路中任选参考点 O , 则 a 、 b 两点的电位分别为 $V_a = U_{aO}$ 、 $V_b = U_{bO}$ 。按照做功的定义, 电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功, 等于把单位正电荷从 a 点移到 O 点, 再从 O 点移到 b 点所做的功的和, 即

$$U_{ab} = U_{aO} + U_{Ob} = U_{aO} - U_{bO} = V_a - V_b$$

或

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

式 (1-4) 表明, 电路中 a 、 b 两点间的电压等于 a 、 b 两点的电位差, 因而电压也称为电位差。

2. 电压的方向

两点之间电压的实际方向是由高电位点指向低电位点, 所以电压也常称为电压降。为分析电路方便, 与电流一样, 引入电压的参考方向。如图 1-6 所示, 对元件或电路两端, 可以任意选定一个方向为电压的参考方向, 当电压的实际方向与它的参考方向一致时, 电压值为正, 即 $U > 0$; 反之, 当电压的实际方向与它的参考方向相反时, 电压值为负, 即 $U < 0$ 。

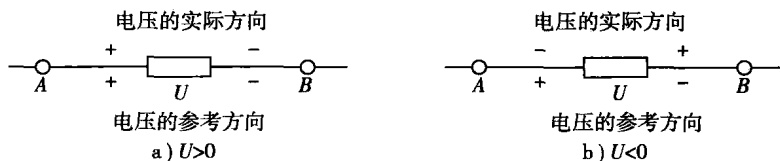


图 1-6 电压的参考方向

对电压参考方向的标注除了用箭头外, 还可用双下标和正 (+)、负 (-) 极性表示。例如 U_{ab} 表明电压参考方向从 a 指向 b 。若用正负极性表示, 电压参考方向从正极指向负极。

电路中电流与电压的参考方向选择是独立的。若电路中元件电流与电压选择的参考方向相同, 如图 1-7 所示, 则称这个参考方向为关联参考方向; 否则, 为非关联方向。

3. 运用电位概念时的注意点

1) 选择不同的参考点时, 同一点的电位数值不同。例如图 1-8 所示电路中, 若选择 O 点为电位参考点, 即 $V_O = 0V$, 则 $V_A = 10V$, $V_B = 6V$; 若选择 B 点为电位参考点, 即 $V_B = 0V$, 则 $V_A = 4V$, $V_O = -6V$ 。

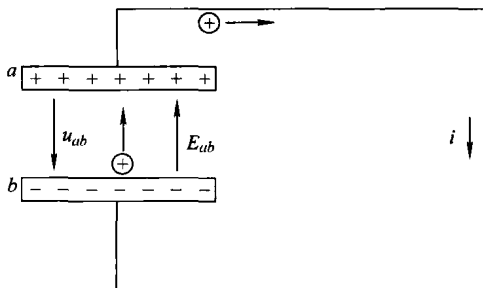


图 1-5 电压与电动势

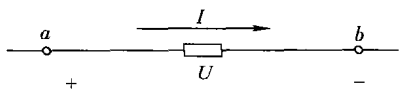


图 1-7 电流与电压的关联参考方向

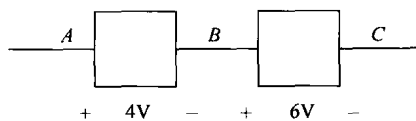


图 1-8 电压与电位分析

2) 两点间的电压大小与参考点的选择无关, 即电位的高低是相对的, 而电压值是绝对的。图 1-8 所示电路中, 不论参考点选择为 O 点或是 B 点, 都不会改变 U_{AB} 的大小。

3) 与电流、电压一样, 电位也可为正或负。某点的电位高于参考点, 则为正; 反之, 则为负。

4) 在汽车电路中, 蓄电池负极直接或间接地通过导线连接在车身金属或车架上, 即俗称“搭铁”。通常汽车中的搭铁点就是电路的参考点, 电路中任一点的电位就是相对于搭铁的电位。电力系统中, 通常以大地作为参考点; 电子电路中, 一般选择电子设备的金属机壳或某公共点作为参考点。参考点的电位为零, 用符号“ $\perp$ ”表示。

四、电动势

1. 电动势的大小与方向

在图 1-5 所示的电路中, 正电荷在电场力的作用下不断从 a 极板通过连接导线流向 b 极板, 如果没有其他外力作用, 运动到 b 极板的正电荷将逐渐增多使电位逐渐升高, a 极板正电荷的减少而使电位逐渐降低, 则 a 、 b 两点之间的电位差就会越来越小, 最后为零。于是, 连接导线中的电流也将越来越小, 最后为零。由于电场力的作用, 电极上的正电荷不能逆电场而上, 为了维持导线中的电流, 就必须使 a 、 b 两极板间保持一定的电压, 这必然要借助于外力使运动到 b 极板的正电荷经过另一路径再流向 a 极板。在此过程中外力要克服电场力做功。这种外力是非电场力, 称为电源力。

衡量电源力对电荷做功能力的物理量称为电动势。电动势在数值上等于电源力将单位正电荷由低电位 b 点移到高电位 a 点所做的功。电动势用 E 表示, 单位为伏特 (V)。电动势的方向规定为在电源内部由负极板指向正极板, 即从低电位点指向高电位点。

2. 电动势与电压的比较

电动势与电压是两个不同的概念, 它们既有区别又有联系:

1) 电动势是指在电源内部, 电源将其他形式的能转化为电能的本领, 数值上等于电源力将单位正电荷由低电位移到高电位所做的功; 而电压指在电源之外, 电场力将单位正电荷由高电位移到低电位所做的功。

2) 电动势的实际方向从低电位点指向高电位点, 即电位升; 而电压的实际方向从高电位点指向低电位点, 即电位降。

3) 一个元件的电动势和电压是大小相等、实际方向相反的一对物理量, 对外部电路而言, 二者没有区别。在后面的叙述中, 电源常常用电压来等效表示电动势对外电路的作用。

不同的电源具有不同的电压, 例如一般汽车蓄电池的电压通常为 12V, 干电池的电压为 1.5V。

五、电能和电功率

在图 1-7 所示电路中, a 、 b 两点间电压为 U , 电路中的电流为 I , 电压、电流为关联方向, 由电压定义可知, 在 t 时间内, 电场力所做的功即元件消耗 (或吸收) 的电能为

$$W = UQ = UI t \quad (1-5)$$

单位时间内消耗的电能称为电功率（简称功率），直流电路中用字母 P 表示，即

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

若电压、电流非关联方向下，则

$$P = -UI \quad (1-7)$$

在我国法定计量单位中，电能的单位是焦耳（J），功率的单位是瓦特（W）。在实际应用中，有时电能的单位用千瓦时（kW·h）表示，1kW·h 就是指 1kW 功率的设备，使用 1h 所消耗的电能。1kW·h 俗称 1 度电，如 40W 的灯泡，工作 25h，其消耗的电能就是 1kW·h。

需要指出的是，电功率是代数量，可以为正值或负值。

1) 在电压电流关联参考方向时， $P = UI$ 。当 $P > 0$ 时表示元件消耗电能，当 $P < 0$ 时表示元件释放电能。

2) 在电压电流非关联参考方向时， $P = -UI$ 。同样，当 $P > 0$ 时表示元件消耗电能；当 $P < 0$ 时表示元件释放电能。

因此在分析元件的功率时，首先看电路中标出的电流、电压参考方向是关联方向还是非关联方向，根据参考方向相应地使用不同的公式。两个公式差一个负号。再根据求得的功率是正值还是负值，分析元件是吸收（消耗）功率还是发出（提供）功率。不论使用哪一个公式，只要 $P > 0$ 就表示元件实际为吸收功率， $P < 0$ 表示元件实际为发出功率。

例 1-1 计算图 1-9 所示电路中各元件的功率，并说明元件是发出还是消耗功率。

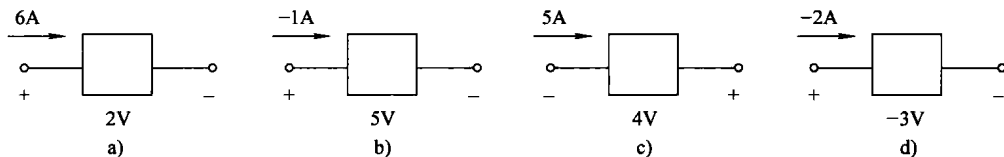


图 1-9 例 1-1 图

解：图 1-9a 中电路为关联方向，

$$P = UI = 2 \times 6\text{W} = 12\text{W} > 0, \text{ 元件吸收功率。}$$

图 1-9b 中电路为关联方向，

$$P = UI = (-1) \times 5\text{W} = -5\text{W} < 0, \text{ 元件发出功率。}$$

图 1-9c 中电路为非关联方向，

$$P = -UI = -5 \times 4\text{W} = -20\text{W} < 0, \text{ 元件发出功率。}$$

图 1-9d 中电路为关联方向，

$$P = UI = (-3) \times (-2)\text{W} = 6\text{W} > 0, \text{ 元件吸收功率。}$$

第二节 电阻元件与欧姆定律

一、电阻元件

电阻元件是构成各类电路最常用的元件之一。物体对电流的阻碍作用，称为该物体的电

阻，用 R 来表示，其单位为欧姆 (Ω)。

1. 电阻与电阻率

实验证明，当温度一定时，金属导体的电阻与导体的长度成正比，与截面积成反比，还与材料的导电性能有关，如下式

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1-8)$$

式中 R ——导体的电阻 (Ω)；

l ——导体的长度 (m)；

S ——导体的截面积 (mm^2)；

ρ ——导体的电阻率 ($\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$)。

电阻率 ρ 是反映材料导电性能大小的系数。常见材料的电阻率大小见表 1-1。由表 1-1 可见，银、铜、铝的电阻率很小，表示其对电流的阻碍小，导电能力强。因此，常用铜或铝来制造导线和电器设备的线圈。银的电阻率最小，但因价格昂贵，因而只有在特殊要求的场合使用，如电器触点等。镍铬、铁铬铝合金的电阻率很大，而且耐高温，常用来制造发热器件的电阻丝。

2. 电阻与温度的关系

在生产实践或科学实验中发现，导体的电阻与温度的变化有关。一般可分为三种情况：第一类导体的电阻随温度的升高而增加，如银、铝、铜、铁、钨等金属；第二类导体的电阻随温度升高而减小，如电解液、碳素和半导体材料；第三类导体的电阻几乎不随温度改变而变化，如康铜、锰钢、镍铬合金等。常用电阻温度系数 α 来反映材料电阻受温度影响的程度。常见材料的电阻温度系数见表 1-1。

表 1-1 常见材料的电阻率和电阻温度系数

材料名称	20℃时电阻率 $\rho / (\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m})$	0 ~ 100℃时平均电阻温度系数 $\alpha / (1/^\circ\text{C})$
银	0.0165	0.0036
铜	0.0175	0.004
铝	0.0283	0.004
低碳钢	0.13	0.006
碳	35	-0.0005
锰铜	0.43	0.000006
康铜	0.49	0.000005
镍铬合金	1.1	0.00013
铁铬铝合金	1.4	0.00008
铂	0.106	0.00389

物质的电阻率随其本身温度变化而变化的现象称为热电阻效应。根据热电阻效应制成的传感器称为热电阻式传感器。汽车中很多温度传感器都是用热电阻作检测元件。热电阻按材料特性的不同可分为热敏电阻和金属热电阻。热敏电阻常用半导体材料制成，金属热电阻的电阻随温度变化的特性可用于温度的测量。目前常用的金属热电阻有铂电阻和铜电阻等。铂是一种较理想的热电阻材料，在氧化性介质中，甚至在高温下，铂的物理和化学性能都很稳定，并且在很宽的温度范围内都可以保持良好的特性。

此外，工程上常用电阻温度系数 α 极小的康铜、锰铜制造标准电阻、电阻箱以及电工仪表中的分流电阻和附加电阻等。

通常金属导体的电阻随温度的升高而增加，它们的关系是

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

(1-9)

式中 t_1 ——参考温度 (℃) (通常为 20℃)；

t_2 ——导体实际温度 (℃)；

R_1 —— t_1 时的电阻 (Ω)；

R_2 —— t_2 时的电阻 (Ω)；

α ——电阻温度系数 (1/℃)。

例 1-2 三相异步电动机的定子绕组用铜漆包线绕成，在室温 20℃ 时测得电阻为 1.40Ω，满载运转 4h 后，测得电阻为 1.60Ω，求此时电动机的温度及温升。

解：已知 $t_1 = 20^\circ\text{C}$ ， $R_1 = 1.40\Omega$ ， $R_2 = 1.60\Omega$ 。

由表 1-1 可知铜的电阻温度系数 $\alpha = 0.004\text{ }1/^\circ\text{C}$ 。

根据式 (1-5) 得绕组电阻 R_2 为 1.60Ω 时的温度为

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{\alpha R_1} + t_1 = \left(\frac{1.60 - 1.40}{0.004 \times 1.40} + 20 \right)^\circ\text{C} = 55.7^\circ\text{C}$$

绕组的温升为 $t_2 - t_1 = (55.7 - 20)^\circ\text{C} = 35.7^\circ\text{C}$

3. 电阻器的分类和参数

在工业工程中，广泛使用各种电阻器。电阻器的种类很多，按结构的不同，可分为固定电阻器和可变电阻器；按导电材料的不同，可分为碳膜、金属膜、金属氧化膜、线绕和有机合成电阻器等；按功率分，有 1/16W、1/8W、1/4W、1/2W、1W、2W 等额定功率的电阻。常用电阻器的外形和特点，见附录 A。电阻型号的命名方法见表 1-2。

表 1-2 电阻型号的命名方法

第一部分：主称		第二部分：材料		第三部分：类别			第四部分：序号
符号	意义	符号	意义	符号	电阻器	电位器	对主称、材料相同，仅性能指标、尺寸大小有区别，但基本不影响互换使用的产品，给同一序号；若性能指标尺寸大小明显影响互换时，则在序号后面用大写字母作为区别代号
R	电阻器	T	碳膜	1	普通	普通	
W	电位器	H	合成器	2	普通	普通	
		S	有机实心	3	超高频		
		N	无机实心	4	高阻		
		J	金属膜	5	高温		
		Y	氧化膜	6			
		C	沉积膜	7	精密	精密	
		I	玻璃釉膜	8	高压	特殊函数	
		P	硼酸膜	9	特殊	特殊	
		U	硅酸膜	G	高功率		
		X	线绕	T	可调		
		M	压敏	W		微调	
		C	光敏	D		多圈	
		R	热敏	B	温度补偿用		
				C	温度测量用		
				P	旁热式		
				W	稳压式		
				Z	正温度系数		

图 1-10 所示为电阻型号标称实例。

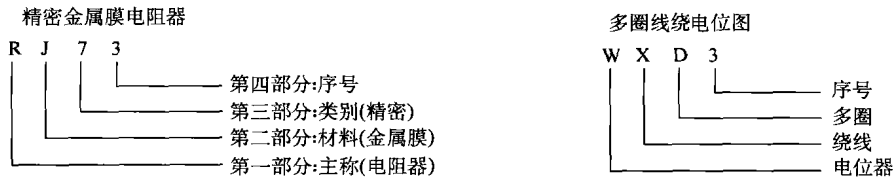


图 1-10 电阻型号标称实例

电阻的基本参数包括：标称值、额定功率、允许偏差。

标称值指按国家规定标准化的电阻值。各电阻的标称值应符合国家规定的数值之一再乘以 $10^n \Omega$ ，其中 n 为整数。标称系列中大部分值不是整数，这样可以确保同一系列中，相邻两个数中较小数的正偏差与较大数的负偏差能够衔接或稍有重叠，这样可以使电子电路所需要的电阻全部包括在系列中，见表 1-3。

表 1-3 电阻标称阻值系列

系 列	容 差	标 称 值
E24	$\pm 5\%$	1、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1
E12	$\pm 10\%$	1、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2
E6	$\pm 20\%$	1、1.5、2.2、3.3、4.7、6.8

电阻器的额定功率是指在规定的电压和温度条件下，电阻器长期工作所允许承受的最大功率。电阻器的功率有 $1/8\text{ W}$ 、 $1/4\text{ W}$ 、 $1/2\text{ W}$ 、 1 W 、 2 W 、 3 W 、 5 W 、 10 W 及 20 W 等。一般电阻器的额定功率越大，电阻器的体积也越大。有些电阻器的额定功率直接标在电阻器上，有些电阻器用符号标识电阻器额定功率的大小。

标称阻值允许的偏差，等级精度 I 级对应 $\pm 5\%$ 允许偏差，II 级为 $\pm 10\%$ ，III 级为 $\pm 20\%$ 。

4. 色环电阻值的识别

电阻值的识别一般分色标法、直标法、文字符号法和数码法等方法。国际上惯用电阻的色环标注法。色环电阻占据着电阻器元件的主流地位。顾名思义，色标法就是用不同颜色的带或点在电阻器表面标出标称阻值和允许偏差。

根据色环环数的多少，色环电阻分为四色环表示法和五色环表示法。

当电阻为 4 环时，前两位为有效数字，第 3 位为乘方数，第 4 位为偏差。4 环电阻最后一环必为金色或银色，一般是碳膜电阻。

当电阻为 5 环时，最后一环与前面四环距离较大。前 3 位为有效数字，第 4 位为乘方数，第 5 位为偏差。5 环电阻一般是金属膜电阻。

图 1-11 所示为色环电阻示意图。表 1-4 为色环颜色的含义。

例如：四环电阻颜色依次为红—红—棕—黄，表示电阻的大小为 220Ω ，误差为 $\pm 5\%$ ；四环电阻颜色依次为红—紫—橙—黄，表示电阻的大小为 $27\text{ k}\Omega$ ，误差为 $\pm 5\%$ ；五环电阻颜色依次为棕—紫—绿—黄—棕，表示电阻的大小为 17.5Ω ，误差为 $\pm 1\%$ 。

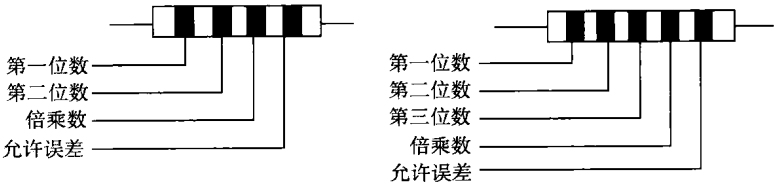


图 1-11 色环电阻示意图

表 1-4 色环颜色的含义

颜色	棕	红	橙	黄	绿	蓝	紫	灰	白	黑	金	银	本色
有效数字	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0			
乘数	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9	10^0	10^{-1}	10^{-2}	
容差 (%)	± 1	± 2			± 0.5	± 0.2	± 0.1				± 5	± 10	± 20

二、特殊电阻在汽车中的应用

1. 热敏电阻

热敏电阻是一种用陶瓷半导体制成的温度系数很大的电阻体。在工作温度范围内，按陶瓷半导体的电阻与温度的特性关系，热敏电阻可分为以下几种类型：

(1) 负温度系数热敏电阻 (NTC) 其电阻值随温度的升高而减小，如图 1-12 中曲线 1 所示。这种电阻是由镍、铜、钴、锰等金属氧化物按适当比例混合后，高温烧结而成的，现广泛用于汽车发动机冷却液温度传感器、进气温度传感器、润滑油温度传感器和空调用温度传感器中。

(2) 正温度系数热敏电阻 (PTC) 其电阻值随温度的升高而按指数函数增加，如图 1-12 中曲线 2 所示。这种电阻在汽车发动机、仪器、仪表等测温、感温部件中广泛应用。

(3) 临界温度系数热敏电阻 (CTR) 其电阻值随温度的升高而按指数函数减小，如图 1-12 中曲线 3 所示。

现以红旗轿车冷却液温度传感器为例来了解热敏电阻。

红旗轿车冷却温度传感器用一个负温度系数的热敏电阻作为检测元件。当冷却液温度升高时，传感器的电阻值随之减小；反之，当冷却液温度降低时，传感器的电阻值增大。红旗轿车的冷却液温度传感器电阻与温度的关系见表 1-5。

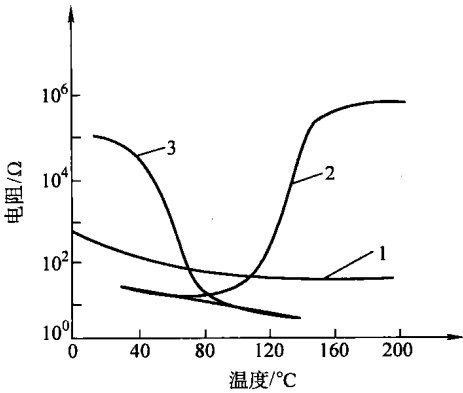


图 1-12 热敏电阻的温度系数曲线

1—负温度系数曲线

2—正温度系数曲线 3—临界温度系数曲线

表 1-5 红旗轿车的冷却液温度传感器电阻与温度的关系

温度/ $^{\circ}\text{C}$	-20	0	60	80	100	120
电阻/ Ω	15080	5800	603	327	187	114

热敏电阻式温度传感器具有体积小、灵敏度高、安装简单、价格低廉的特点。因此，在汽车电子控制系统中，这种温度传感器是应用最广泛的传感器之一。

2. 光敏电阻

光敏电阻是利用半导体光电导效应制成的一种特殊电阻，对光线十分敏感，它的电阻值能随着外界光照强弱（明暗）变化而变化。它在无光照射时，呈高阻状态；当有光照射时，其电阻值迅速减小。

汽车中的光电式光量传感器中就采用了光敏电阻——硫化镉（CdS）光导电元件，应用了光照强度能引起电阻值变化的特性。当光线照射硫化镉（CdS）时，若周围环境暗，则电阻值大；若周围环境亮，则电阻值变小。光量传感器通过硫化镉（CdS）光导电元件将周围光照的变化转换为电阻值的变化，并以电信号的形式输入给控制器。光电元件硫化镉特性如图 1-13 所示，在汽车上可用于各种灯具亮、熄的自动控制。

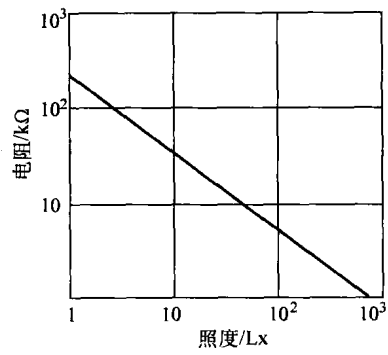


图 1-13 光电元件硫化镉特性

光电式光量传感器在汽车灯光控制器上的应用如图 1-14 所示。灯光控制器安装在仪表板的上方，到傍晚时，它控制尾灯点亮；当天色更晚时，控制前照灯点亮。

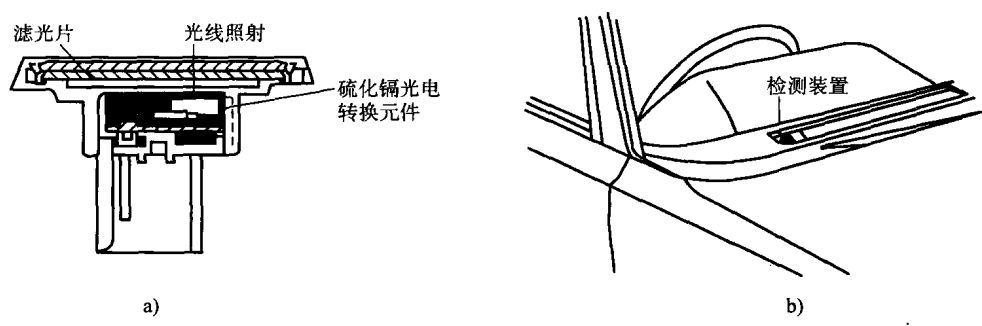


图 1-14 光电式光量传感器在汽车灯光控制器上的应用
a) 光电式光量传感器 b) 安装位置

三、欧姆定律

电阻元件流经电流就要消耗电能，沿电流流动方向会出现电压降。如图 1-15a 所示，在电压和电流的关联方向下，电阻的电压和电流关系如下：

$$U = IR \quad (1-10)$$

这一规律称之为欧姆定律。式中 R 为元件的电阻。

若电压和电流为非关联方向，如图 1-15b 所示，则欧姆定律可写为

$$U = -IR \quad (1-11)$$

式 (1-10) 和式 (1-11) 反映了电阻元件对其电压与电流的约束关系。在任何时刻，它两端的电压与其电流的关系都服从欧姆定律，电阻元件为线性电阻元件，其电阻值一定。如果把电阻元件的电压取为纵坐标，电流取为横坐标，画出电压和电流的关系曲线，则这条曲

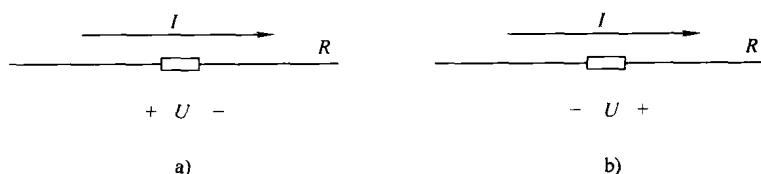


图 1-15 欧姆定律应用
a) 关联方向 b) 非关联方向

线称为该电阻元件的伏安特性曲线。如图 1-16 所示，线性电阻元件的伏安特性是通过坐标原点的一条直线，其斜率对应电阻数值。

电阻的倒数称为电导，用 G 来表示。

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

式 (1-12) 中，电导 G 的单位为西门子，西门子用符号 S 表示。

非线性电阻元件的伏安特性不再是一条通过原点的直线。所以，元件上电压和通过元件的电流不服从欧姆定律，它们不成正比，相应的其电阻值是个变量。例如，汽车温度传感器中的热敏电阻就是一个非线性电阻元件，其阻值会随温度的改变而变化；半导体二极管的电阻值也是变量。本书中未加说明的电阻都是指线性电阻。

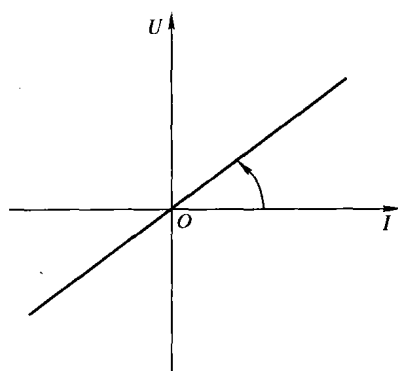


图 1-16 线性电阻元件的伏安特性

严格来说，所有电阻器、电灯、电炉等实际电路元件的电阻都或多或少是非线性的。但是，对于金属膜电阻、碳膜电阻、线绕电阻等实际元件，在一定范围内，它们的阻值基本不变，若当做线性电阻来处理，可以得出满足实际需要的结果。

综上所述，在应用欧姆定律时需要注意以下几点：

1) 根据电压电流参考方向是否关联，欧姆定律公式相差一个负号。即：关联方向下， $U = IR$ ；非关联方向下， $U = -IR$ 。因此，欧姆定律公式要与电流电压的参考方向配合使用。

2) 线性电阻元件的阻值恒定，适用于欧姆定律；而非线性电阻元件的阻值是个变量，不能使用欧姆定律进行定量分析。

四、电阻的电功率

在电压和电流的关联方向下，任何时刻线性电阻元件吸取的功率为

$$P = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-13)$$

同样，在电压和电流非关联方向下，任何时刻线性电阻元件吸取的功率为

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

由于电阻 R 是正实常数，故功率恒为非负值。这说明，任何时刻电阻元件都不会发出电能，而是从电路中吸取电能，所以电阻元件是耗能元件。

例 1-3 如图 1-15a 所示电路中，已知 $I = -2A$ ， $R = 5\Omega$ 。求：电压 U 、功率 P 。

解：电压、电流为关联方向，故 $U = IR = (-2) \times 5V = -10V$