



高职高专“十二五”规划教材

汽车电工电子技术

QICHE DIANGONG DIANZI JISHU

宋宇 钱海月 主编
王海浩 刘伟 马莹莹 董括 副主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS



高职高专“十二五”规划教材

汽车电工电子技术

QICHE DIANGONG DIANZI JISHU

主 编	宋 宇	钱海月			
副主编	王海浩	刘 伟	马莹莹	董 括	
参 编	杨继宏	邹玉清	张晓娟	李俊涛	陈 静
	杨欣慧	于秀娜	王留洋	张立娟	
主 审	于 钧				



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为高职高专“十二五”规划教材。本书共 11 章, 主要内容包括直流电路、单相正弦交流电路、三相交流电路、磁路和变压器、汽车直流电动机和交流发电机、半导体二极管和整流电路、半导体三极管和基本放大电路、集成运算放大器、门电路、触发器和传感器在汽车中的应用。同时还加入了大量的应用实例, 注重加强学生在汽车维修等方面实践能力的培养。为满足教学及学生自学的需要, 每一章均附有大量的习题。

本书可作为高职高专汽车专业的教材, 也可作为成人专科教育和中等职业学校教材, 还可作为汽车维修电工的参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电工电子技术/宋宇, 钱海月主编. —北京: 中国电力出版社, 2014. 7

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978 - 7 - 5123 - 6380 - 9

I. ①汽… II. ①宋…②钱… III. ①汽车—电工技术—高等职业教育—教材②汽车—电子技术—高等职业教育—教材
IV. ①U463. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 204884 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2014 年 7 月第一版 2014 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17.5 印张 422 千字

定价 35.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

本书是根据教育部高等职业教育汽车类专业教学改革精神,结合高等职业教学特色、结合高等职业教育培养目标及汽车类专业飞速发展的新形势编写而成的。在编写思路设计上力求突出专业特色,以汽车为载体,把电工电子技术充分融合到汽车应用中,通过引入大量汽车应用实例来激发学生的学习兴趣,达到深入浅出的教学效果。

汽车电工电子技术课程是汽车类专业的基础课程,通过本课程的学习,可使学生掌握应用型工程技术人才必须具备的电工与电子技术理论知识,具有较强的实践能力,为学习后续课程及从事实际工作奠定良好的基础。本书不仅可作为汽车类专业的基础课程,也可作为非电类专业学习电工电子技术的基础教材、汽车行业电工电子技术的培训教材,经适当取舍,还可以作为成人专科教育和中等职业学校教材及企业工程技术人员的培训教材。

本书共分为 11 章,主要介绍直流/交流电路、汽车直流电动机和交流发电机、模拟电路和数字电路等内容。同时还加入了大量的应用实例,注重加强学生在汽车维修等方面实践能力的培养。为满足教学及学生自学的需要,每一章的课后都附有大量的习题,以供其检验教学和学习成果。

本书由吉林电子信息职业技术学院机电技术学院的老师组织编写。在编写过程中,力求做到文笔流畅、语言精练、重点突出、图文并茂、深入浅出、适应性强。参与教材编写的人员有宋宇、钱海月、王海浩、刘伟、马莹莹、董括、杨继宏、邹玉清、张晓娟、李俊涛、陈静、杨欣慧、于秀娜、王留洋、张立娟。本书由宋宇、钱海月任主编,王海浩、刘伟、马莹莹、董括任副主编,全书由宋宇教授统稿,于钧教授主审。

尽管编者对本教材的编写工作高度重视,态度认真,但书中难免会出现错误和不妥之处,诚恳希望使用本书的广大师生和读者批评指正。

编 者

2014.7



目 录

前言

1 直流电路	1
实例引入：汽车照明电路	1
1.1 电路的基本物理量	2
1.2 电路基本元件	5
1.3 电路的基本定律	12
1.4 负载的额定值及导线的选择	15
1.5 常用仪表及测量	17
1.6 技能训练	22
本章小结	29
习题	30
2 单相正弦交流电路	32
实例引入：日光灯电路	32
2.1 正弦交流电的基本概念	33
2.2 正弦量的相量表示法	36
2.3 单一参数的正弦交流电路	39
2.4 RLC 串联的交流电路	42
2.5 阻抗的串联和并联	45
2.6 电路中的谐振	46
2.7 技能训练	48
本章小结	51
习题	52
3 三相交流电路	55
实例引入：某大楼照明系统电路	55
3.1 三相对称电动势的产生	55
3.2 三相电源的连接	56
3.3 三相负载连接	58
3.4 三相功率的计算	63
3.5 安全用电	65
3.6 三相交流电路在汽车上的应用	69
3.7 技能训练	88
本章小结	89
习题	90

4 磁路和变压器	93
实例引入: 机床 36V 照明供电方案	93
4.1 磁路	93
4.2 变压器的工作原理	96
4.3 变压器的应用	99
4.4 变压器在汽车中的应用	105
4.5 技能训练	108
本章小结	109
习题	110
5 汽车直流电动机和交流发电机	112
5.1 汽车直流电动机	112
5.2 汽车交流发电机	120
5.3 技能训练	128
本章小结	133
习题	134
6 半导体二极管和整流电路	136
6.1 半导体基础知识	136
6.2 半导体二极管	139
6.3 整流电路	141
6.4 滤波电路	145
6.5 稳压管及其稳压电路	148
6.6 半导体二极管在汽车上的应用	149
6.7 技能训练	151
本章小结	153
习题	153
7 半导体三极管和基本放大电路	156
7.1 半导体三极管	156
7.2 基本放大电路的组成	160
7.3 放大电路的静态分析	161
7.4 放大电路的动态分析	162
7.5 静态工作点的稳定	164
7.6 放大电路的微变等效电路法	167
7.7 共集电极放大电路	170
7.8 放大电路中的负反馈	171
7.9 半导体三极管在汽车上的应用	173
7.10 技能训练	178
本章小结	180
习题	180

8 集成运算放大器	184
8.1 差动放大电路	184
8.2 集成运算放大器	186
8.3 运算放大器的基本运算电路	189
8.4 集成运算放大器在汽车上的应用	194
8.5 技能训练	197
本章小结	199
习题	199
9 数字电路	202
9.1 数字电路基础	202
9.2 基本逻辑门电路	207
9.3 常用集成组合逻辑电路	210
9.4 数字电路在汽车电子电路中的应用	215
9.5 技能训练	217
本章小结	219
习题	220
10 触发器	223
10.1 RS 触发器	223
10.2 边沿触发器	227
10.3 触发器的应用	230
10.4 触发器在汽车电子电路中的应用	235
10.5 技能训练	236
本章小结	239
习题	242
11 传感器在汽车上的应用	245
11.1 传感器概述	245
11.2 传感器结构和原理	247
11.3 传感器的应用及检测实例	265
本章小结	268
习题	268
参考文献	270

1 直流电路

人们的日常生活和各种生产实践中都广泛使用着种类繁多的电路。按照电路中通过电流的性质不同分为直流电路和交流电路。本章介绍的是直流电路，首先通过实例来了解电路构成及电路的基本概念，并通过万用表测量掌握电路元器件的特性；在此基础上，分析电路的工作状态、元件特性方程、基本定律、功率平衡等基本理论知识。电路的基本概念与基本定律是分析与计算电路的基础。

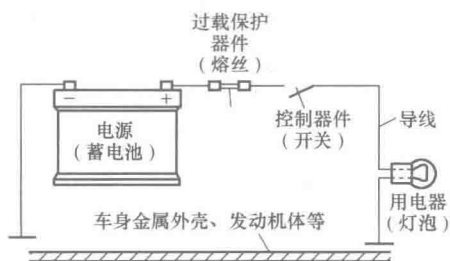


实例引入：汽车照明电路

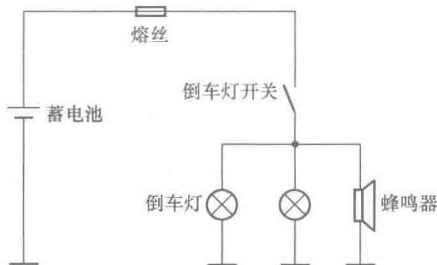
电路是电流的通路，是由一些电气设备（如发电机、电动机、电灯等）或电子器件（如晶体管、集成电路等）按一定方式连接而成的。电路的种类繁多，用途各异，但其基本作用可以概括为两大类，下面通过实例进行说明。

► 实例一：汽车照明电路

汽车照明电路如图 1-1 (a) 所示。当开关合上后，电路中就有直流电流流过。由于电池将化学能变为电能输出，小灯泡则发光发热而消耗电能，这就实现了由电能向热能、光能的转化。当开关断开后，电路便切断，电流不能流通，灯泡便不亮了。



(a)



(b)

图 1-1 电路示意

(a) 汽车照明电路；(b) 倒车信号系统的工作电路

► 实例二：倒车信号系统的工作电路

倒车信号系统的工作电路如图 1-1 (b) 所示。倒车信号器件包括倒车灯和倒车蜂鸣器。倒车灯安装在汽车后的组合灯内，倒车灯开关安装在变速器盖上，而倒车蜂鸣器则单独安装。倒车灯和倒车蜂鸣器均由倒车灯开关统一控制。

当变速器挂入倒挡时，倒车灯开关将倒车灯和倒车蜂鸣器电路接通，使倒车灯点亮，蜂鸣器鸣叫。蜂鸣器鸣叫过程中实现了电-声信号的放大、传输和转换作用。

由以上两例可见，电路是电流的通路，它的基本作用有以下两大类：①能量的传输和转换；②信号的传递和处理。

在任何一种电路中,能量的传输和转换及信号的传递和处理都同时存在。但在电力技术(也称强电)中,能量的传输、转换和效率是重点;而在电子技术(也称弱电)中,信息的传递和处理是重点。

从以上两例还可看出,电路主要由四个要素组成。

(1) 电源。电源是供应电能的设备,如电池、发电机等。它们能把化学能、热能、水能、原子能、光能、机械能等转换为电能。

(2) 负载。负载是消耗电能的设备,如电灯、电动机、电炉等。它们分别能把电能转换为光能、机械能、热能等。

(3) 控制元(器)件。它是控制电路中的电流和电压的元(器)件,如开关、电阻、电容、电感、二极管、三极管等。电力电路中常用的控制元件是开关。电子线路中最重要的控制器件是三极管。

(4) 回路。导线将电源、负载和控制元(器)件三者连成回路。

实际电路比较复杂并由很多电路部件按不同方式连接而成,如图 1-1(a) 所示。为了便于对电路进行分析,常将实际电路部件突出其主要的电磁性质,抽象为理想电路元件。理想的无源器件有电阻、电容、电感等,理想的有源器件有电压源和电流源,对应的图形符号如图 1-2 所示。

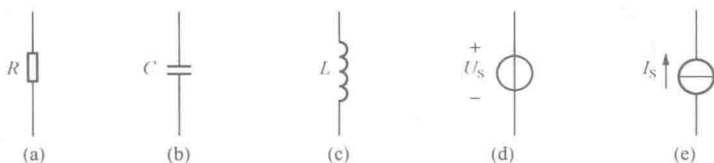


图 1-2 理想元件

(a) 电阻; (b) 电容; (c) 电感; (d) 理想电压源; (e) 理想电流源

上面提到的汽车照明电路可等效为如图 1-3 所示的电路,即电路由蓄电池(电源)灯泡(负载)和开关及导线组成。其中,电源用电源电动势 E 及其内阻 r_0 串联来表示,灯泡用电阻 R_L 表示。

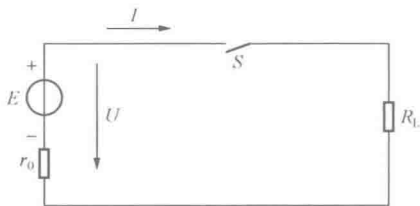


图 1-3 汽车照明电路的组成

1.1 电路的基本物理量

电路的基本物理量有电流、电压、电位、电动势、功率和电能。

1.1.1 电流

电荷的定向移动形成电流。电流在数值上等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷

量。设在极短时间 dt 内通过某一导体横截面 A 的微小电荷量为 dq ，则该瞬时的电流为

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

电流的大小和方向不随时间的变化而变化，则这种电流称为恒定电流，简称直流。常用大写的字母 I 表示。

在国际单位制中，电流的单位是安培（简称安），用符号 A 表示。如果每秒钟有 1 库仑（C）的电荷量通过导体某一横截面，此时的电流为 1A。

电流的方向是客观存在的，习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向为电流的实际方向。但在分析较为复杂的直流电路时，往往难以事先判断某支路中电流的实际方向，对于交流电路而言，其方向更是随时间变化。因此，在电路分析中，常常任意选定一个参考方向，当电流的实际方向与参考方向一致时，则电流为正值；反之，电流为负值。本书中电路图上所标的电流方向都是选定的参考方向。

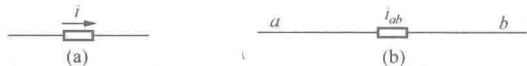


图 1-4 电流参考方向

电流参考方向的表示方法有两种：箭头表示法和字母顺序表示法，如图 1-4 所示。

1.1.2 电压与电位

1. 电压

单位正电荷在电场力的作用下从一点移动到另一点，电场所做的功为这两点之间的电压差，也称为电压。如果电场力把正电荷 dq 从一点移到另一点所做的功为 dW ，则电场中两点间的电压为

$$U_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad (1-2)$$

电场力把 1 库仑（C）的电荷量从 a 点移到 b 点，如果所做的功为 1 焦耳（J），那么 a 、 b 两点之间的电压就是 1 伏特（简称伏），用字母 V 表示。

瞬时电压用小写字母 u 表示，恒定电压用大写字母 U 表示。

通常定义由高电位指向低电位，即电位降低的方向为电压的实际方向。在分析和计算电路时，可任意设置电压的参考方向，可以用“+”、“-”号表示电压极性，“+”极对应假定的高电位端，“-”极对应低电位端；也可以用双脚标表示电压的方向，如 U_{ab} ， a 表示假定的高电位端， b 表示低电位端，如图 1-5 所示。

在图中一般标注的是电压参考方向。当电压的实际方向与参考方向相同，则为正值；反之则为负。在分析电路时，某一段电路上电流的参考方向与电压的参考方向一致，即电流从电压正极端流入，负极端流出时，称为关联方向，如图 1-6（a）所示；当参考方向相反时，称为非关联方向，如图 1-6（b）所示。

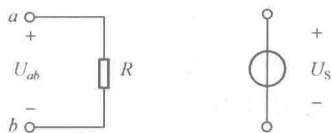


图 1-5 电压参考方向

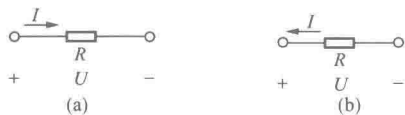


图 1-6 电压、电流参考方向的关系

(a) 关联方向；(b) 非关联方向

2. 电位

通常将电路中的某点选为电位参考点, 并设该点电位为零, 则系统中任一点与参考点之间的电位差称为该点的电位, 用字母 V 表示, 其单位与电压相同, 也为伏特 (V)。所以 A 点的电位为

$$V_A = U_{AO} \quad (1-3)$$

电路中各点的电位随参考点的选择不同而不同, 但是任意两点之间的电位差是不变的, 虽然在电路中, 电位参考点可以任意选定, 但在电力工程中, 常取大地作为参考点, 并令其电位为零。因此, 凡是外壳接地的电气设备, 其机壳都是零电位。参考点用符号 $\perp$ 表示。

1.1.3 电动势

在电路中, 正电荷是从高电位流向低电位的, 因此要维持电路中的电流, 就必须有能把正电荷从低电位移至高电位的非电场, 电源的内部就存在非电场力。非电场力 (即局外力) 把单位正电荷在电源内部由低电位 b 点移到高电位 a 点所做的功, 称为电动势, 用字母 $e(E)$ 表示; 电动势的实际方向在电源内部从低电位指向高电位。在图 1-7 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的方向, 是电压的实际方向。在图 1-8 中, 直流电源在没有与外电路连接的情况下, 电动势与两端电压大小相等、方向相反。

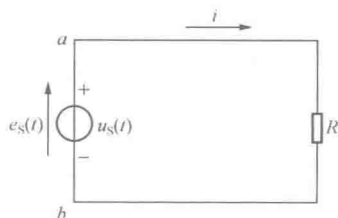


图 1-7 交流电压与电动势的关系



图 1-8 直流电压与电动势的关系

设在电源内部非电场力, 把正电荷 dq 从低电位端移至高电位端所做功为 dW , 则电源的电动势为

$$e(E) = \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

电动势的单位与电压相同, 也用伏特 (V) 表示。

1.1.4 功率和电能

1. 功率

电场力在单位时间内所做的功, 称为功率。设电场力在 dt 时间内所做功为 dW , 则功率表示为

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1-5)$$

在图 1-9 中, 电阻两端的电压是 $U(u)$, 流过的电流是 $I(i)$, 若它们是关联参考方向, 则电阻吸收的功率为

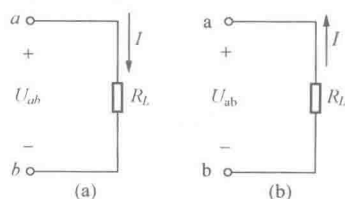


图 1-9 电阻两端功率的计算

(a) 关联方向取正; (b) 非关联方向取负

$$\text{直流功率} \quad P = UI$$

$$\text{瞬时功率} \quad P' = ui$$

当负载两端电压、电流的参考方向相反时, 则

$$\text{直流功率 } P = -UI$$

$$\text{瞬时功率 } P' = -ui$$

元件两端电压和流过它的电流的参考方向为关联时, 有

$$P = UI > 0 \quad \text{元件吸收功率}$$

$$P = UI < 0 \quad \text{元件发出功率}$$

如果元件两端电压和流过的电流的参考方向为非关联时, 有

$$P = -UI > 0 \quad \text{元件吸收功率}$$

$$P = -UI < 0 \quad \text{元件发出功率}$$

总之, 对任意电路元件, 当流经元件的电流实际方向与元件两端电压实际方向一致时, 则元件吸收功率; 当电流与电压的实际方向相反, 则元件发出功率。

在国际单位制中, 功率的单位为瓦特, 简称瓦, 用字母 W 表示。

【例 1-1】 计算图 1-10 所示各电源的功率, 分别说明它是吸收功率还是发出功率。

解 在图 1-10 (a) 中, U 与 I 为关联参考方向, 且 $U=15\text{V}$, $I=2\text{A}$, 故

$$P = UI = 15 \times 2 = 30(\text{W}) > 0$$

为吸收功率, 此时电源处于充电状态。

在图 1-10 (b) 中, U 与 I 为关联参考方向, 故

$$P = UI = 15 \times (-2) = -30(\text{W}) < 0$$

为发出功率, 电源处于对外供电状态。

在图 1-10 (c) 中, U 与 I 的参考方向不一致, 故

$$P = -UI = -(15 \times 2) = -30(\text{W}) < 0$$

为电源发出功率。

2. 电能

功率是指单位时间电流所做的功, 而电能量是指一段时间内电流所做的功。如果某用电设备的功率为 P , 使用时间为 t , 对关联方向则消耗的电能

$$W = Pt = UI t \quad (1-6)$$

式 (1-6) 中, 若 P 的单位为 W, t 的单位为 s, 则电能 W 的单位为 J。若 U 与 I 为非关联方向, 则

$$W = -UI t \quad (1-7)$$

电能的常用单位是千瓦时 (kWh), 有

$$1 \text{ 度} = 1\text{kWh} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

1.2 电路基本元件

1.2.1 电阻元件

1. 电阻的有关概念

电阻元件简称为电阻, 用字母 R 表示。电阻是汽车电气和电子设备中应用较多的基本

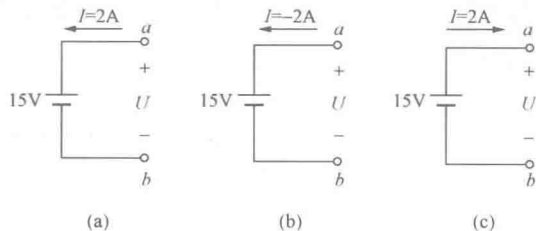


图 1-10 [例 1-1] 图

元件之一,其作用是控制和调节电路中的电流和电压,或用作消耗电能的负载。电阻元件是一个耗能元件,从电源吸收的电能量全部转化为热能,是不可逆的能量转换过程。

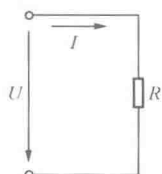


图 1-11 电阻
元件

通过电阻元件的电流 I 和两端电压 U 之间的关系可用欧姆定律表示,当 U 、 I 的参考方向一致时,如图 1-11 所示,有

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

其中, R 表示电阻元件的电阻值,它是一个与电压、电流无关的常数,国际单位是欧姆,用字母 Ω 表示,常用单位有千欧 ($k\Omega$)、兆欧 ($M\Omega$),它们之间的关系是

$$1M\Omega = 10^3 k\Omega = 10^6 \Omega$$

实际应用中,电阻的连接方式有串联、并联或串、并联的组合。分析这类电路时,要根据电路的具体结构,运用电阻的串、并联关系简化电路。

2. 电阻的串、并联

在图 1-12 中,假定有 n 个电阻 R_1 、 R_2 、 $\dots$ 、 R_n , 顺序相接,称为 n 个电阻串联, u 代表总电压, i 代表电流。此电路的特点是通过每个电阻的电流相同。根据基尔霍夫电压定律,有

$$\begin{aligned} u &= u_1 + u_2 + \dots + u_n \\ &= R_1 i + R_2 i + \dots + R_n i \\ &= (R_1 + R_2 + \dots + R_n) i \\ &= R i \end{aligned}$$

其中等效电阻

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_{k=1}^n R_k$$

各串联电阻的电压与电阻值成正比,即

$$u_k = R_k i = \frac{R_k}{R} u$$

在图 1-13 中,假定有 n 个电阻 R_1 、 R_2 、 $\dots$ 、 R_n , 并排连接,承受相同的电压,称为 n 个电阻并联, i 代表总电流, u 代表电压。此电路的特点是加在每个电阻两端的电压相同,则

$$\begin{aligned} i &= i_1 + i_2 + \dots + i_n \\ &= \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right) u = \frac{1}{R} u \end{aligned}$$

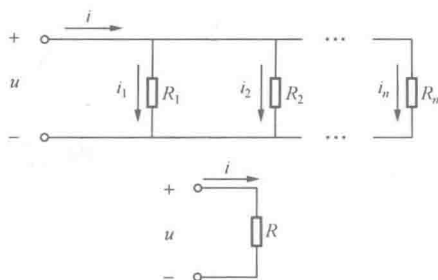
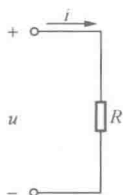
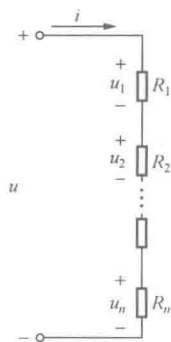


图 1-12 电阻串联电路

图 1-13 电阻并联电路

其中等效电阻

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \cdots + \frac{1}{R_n} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k}$$

并联电阻中, 各电阻流过的电流与电阻值成反比, 即

$$i_k = \frac{u}{R_k}$$

两个电阻的并联 (见图 1-14) 有以下关系:

$$\text{等效电阻} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

支路电流

$$i_1 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} i, \quad i_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} i$$

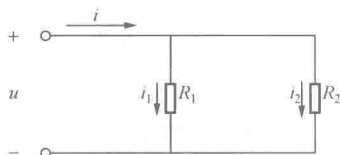


图 1-14 两电阻并联电路

3. 电阻的分类

电阻器的种类形状很多, 如图 1-15 和图 1-16 所示。按用途可分为限流电阻器、降压电阻器、分压电阻器、取样电阻器、保护电阻器、热敏电阻器、压敏电阻器、光敏电阻器等; 按阻值能否调节可分为固定电阻器、可变电阻器 (电位器); 按制作材料可分为碳膜电阻器、金属膜电阻器、线绕电阻器、有机实心电阻器等; 按结构形状不同可分为圆柱型电阻器、圆盘型电阻器和贴片型电阻器等; 按精确度可分为普通电阻器 ($\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 等) 和精密电阻器 ($\pm 0.1\%$ 、 $\pm 0.2\%$ 、 $\pm 0.5\%$ 、 $\pm 1\%$ 、 $\pm 2\%$ 等); 按功率可分为 $1/16W$ 、 $1/8W$ 、 $1/4W$ 、 $1/2W$ 、 $1W$ 、 $2W$ 等额定功率的电阻。

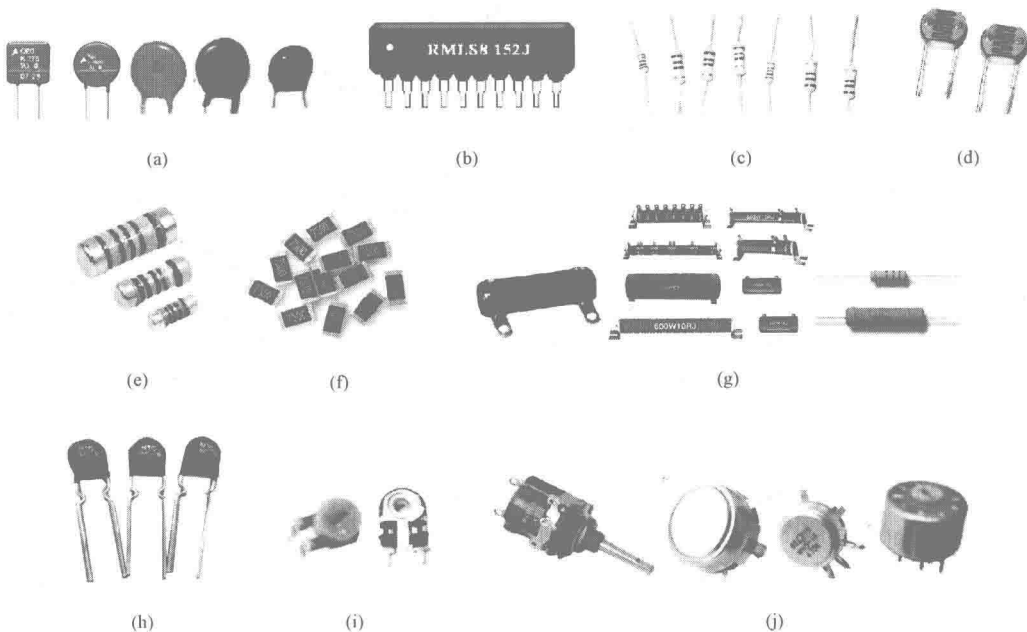


图 1-15 常用电阻和电位器外形图

(a) 压敏电阻; (b) 排电阻; (c) 引线电阻; (d) 光敏电阻; (e) 圆柱型电阻; (f) 贴片型电阻;
(g) 绕线电阻; (h) 热敏电阻; (i) 微调电位器; (j) 电位器

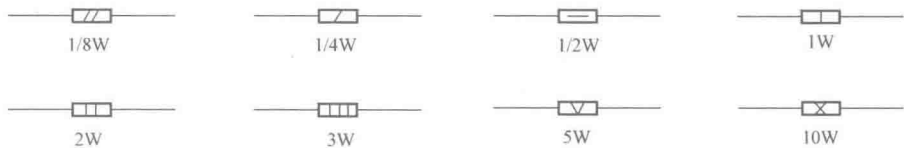


图 1-16 电阻的标称功率符号

1.2.2 电感元件

1. 电感的有关概念

电感主要用于滤波、储能、缓冲反馈、谐振等电路，经常与电容一起工作，构成 LC 滤波器、LC 振荡器等。此外，利用电感特性还可以制造扼流圈、变压器和继电器等电磁器件。

电感器是指用导线绕制成的线圈，简称为电感，用 L 表示。当电流 i 通过线性电感元件时，在元件内部将产生磁通 Φ 。若磁通 Φ 与线圈的 N 匝都交链，则磁链 $\psi = N\Phi$ ， ψ 和 Φ 都是由元件的电流所产生，且与电流成正比，即

$$L = \frac{\psi}{i} \quad (1-9)$$

电感单位为亨利，简称亨，用 H 表示，另外常用单位有毫亨 (mH) 和微亨 (μH)。它们的关系是

$$1H = 1000mH, \quad 1mH = 1000\mu H$$

在电感元件中电流随时间变化时，磁链也随之变化。元件两端感应有电压，此感应电压等于磁链的变化率，在电压和电流的关联参考方向下，如图 1-17 所示，感应电压为

$$e_L = u_L = \frac{d\psi}{dt} = L \frac{di}{dt} \quad (1-10)$$

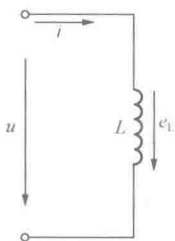


图 1-17 电感元件

电感元件是一个储能（磁场能量）元件。当通过电感线圈的电流增加时，电感线圈将电能转变成磁场能储存在线圈中；而当电流减小时，磁场能转变成电能送回到电路中。若忽略其电阻，则不消耗能量。在直流电路中，由于电流恒定，产生的磁场不发生变化，则线圈中不产生感应电动势，故电感 L 在直流电路中相当于短路（线圈电阻很小）。

常识：电感线圈是储能元件，通过的电流不能发生突变；具有通直流、阻交流的特性，只有当线圈中的磁场发生变化时才在线圈中产生感应电动势。在直流电路中相当于短路（不考虑线圈的电阻时）。

2. 电感的串、并联

在实际使用中，若单个电感线圈不能满足要求时可将几个电感线圈串联或并联使用。如果不考虑线圈间的互感，两个电感元件串联的等效电感为 $L = L_1 + L_2$ ；并联时的等效电感为

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}.$$

3. 电感的分类

按照电感的结构，可将其分为空心电感与实心电感；按照电感量，可将电感分为固定电感和可调电感；按照封装形式，可将电感分为普通电感、色环电感、贴片电感等。收音机、电视机等电子产品中有不少电感线圈，如振荡线圈、天线线圈、中频变压器、贴片式电感线

圈等。常用电感外形如图 1-18 所示。



图 1-18 常用电感外形

1.2.3 电容元件

1. 电容的有关概念

电容元件简称为电容，用字母 C 表示。当电容元件两端加有电压 u 时，它的极板上储存有电荷量 q 。当电容元件两端的电压 u 随时间变化时，极板上储存的电荷量也随之变化，与极板相连接的导线中就有电流 i ，如图 1-19 所示。

电容器极板上储存的电量 q 与其极板上的电压 u 成正比，即

$$q = uC \quad (1-11)$$

其中， C 为电容元件的电容量，它表示电容器储存电荷的能力，简称容量，其单位为法拉，用字母 F 表示。由于法拉这个单位太大，实际应用中常用微法 (μF)、皮法 (pF) 作单位。它们的关系是

$$1F = 10^6 \mu F, \quad 1\mu F = 10^6 pF$$

电容 C 的电容量与极板的尺寸、介质的介电常数等有关。

当电压 u 、电流 i 的参考方向一致时，则

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-12)$$

式 (1-12) 表明，通过电容 C 的电流 i 与其端电压 u 对时间的变化率成正比。当电容元件两端的电压是恒定电压时，通过电容元件的电流等于零，所以电容元件对直流电路来说相当于开路。

与电感元件相类似，电容元件也不消耗电源的能量，是个储能（电场能量）元件，即将电能变成电场能量储存在电容器极板之间。当电容两端的电压 u 减小时，储存的电场能量将释放出来送还给电源。

常识：电容器是一个储能元件，具有通交流、隔直流的特性，电容器两端的电压不能突变，只能逐渐变化。

2. 电容的串并联

在实际使用中，如果仅用单个电容器不能满足要求时，可以将几个电容元件串联或并联使用。

电容并联使用时的等效电容为

$$C = C_1 + C_2$$

电容串联使用时的等效电容为

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

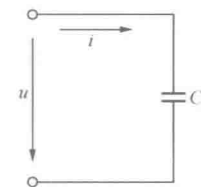


图 1-19 电容元件

电容串联时其等效电容小于每个电容值，但电容串联时其电压与电容成反比，电容小的分得的电压大。

3. 电容的分类

电容器的种类很多，按电容器的介质材料可分为瓷介、纸介、云母、涤纶、铝电解、钽电解等类型，如图 1-20 所示。小容量的电容有陶瓷电容、云母电容和聚苯乙烯电容；中容量的电容有聚酯薄膜电容、油浸电容；有极性的电容有电解电容。电容器也有固定电容和可调电容之分。



图 1-20 常用电容外形图

1.2.4 电路基本元件在汽车上的应用

1. 电阻元件在汽车上的应用

电阻在电路中可作为分流器、分压器及用作消耗能量的负载电阻。

图 1-21 所示为惠斯通电桥电路， ab 支路中接一电流计，若 V_a 与 V_b 相等，则电流计中没有电流通过，即为电桥平衡。即电路中 I_1 和 I_2 相等， I_3 和 I_4 相等，故电桥平衡的条件是

$$R_1 R_4 = R_2 R_3$$

若令 R_4 为未知电阻 R_X ， R_3 为一固定精密电阻 R_S ，则 R_X 可表示为

$$R_X = \frac{R_2}{R_1} \times R_S$$

R_2 与 R_1 被称为电桥的比率臂，称为测量臂。

惠斯通电桥电路在汽车上得到广泛应用，如汽车热线式温度传感器、电阻应变式碰撞传感器等。

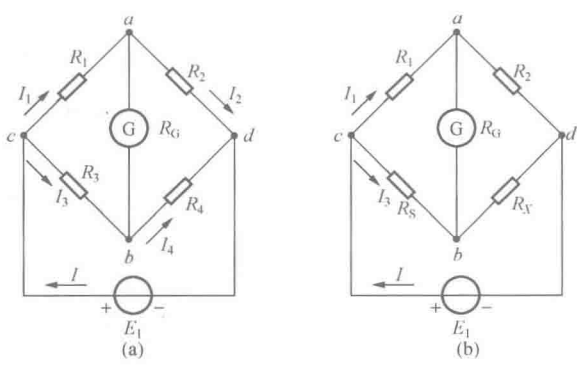


图 1-21 惠斯通电桥电路
(a) 电桥电路图；(b) 利用电桥