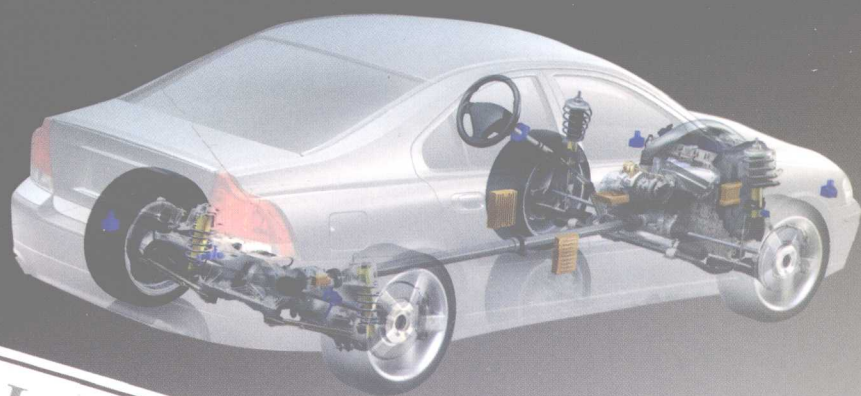




21世纪高职高专系列规划教材

主编 杨世春

# 汽车电工 电子基础



QICHE DIANGONG DIANZI JICHU



西南师范大学出版社

# 汽车电工电子基础

主 编 杨世春

副主编 张 博 架新升

西南师范大学出版社

## 内容提要

本书着眼于岗位需求,以培养综合能力、实际应用为原则,力求降低理论深度,便于教学。本书主要内容包括:直流电路、交流电路、磁路及电磁部件、电动机、交流发电机、常用半导体器件、集成运算放大器、数字电路基础等八个方面。

本书可作为高职高专院校汽车类专业电工电子基础课程的教材,也可供相关工程技术人员参考。

---

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子基础/杨世春主编. —重庆:西南师范大学出版社, 2008.7

21世纪高职高专教育规划教材

ISBN 978-7-5621-4279-9

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第116683号

21世纪高职高专系列规划教材

汽车电工电子基础

---

主 编: 杨世春

副 主 编: 张博 贺新升

策 划: 周安平 卢旭

责任编辑: 张浩宇

特约编辑: 杜颖华

封面设计: 度道图文

出版发行: 西南师范大学出版社

地址: 重庆市北碚区天生路1号

邮编: 400715 市场营销部电话: 023-68868624

网址: <http://www.xscbs.com>

经 销: 全国新华书店

印 刷: 北京市彩虹印刷有限责任公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 15.25

字 数: 283千

版 次: 2008年6月 第1版

印 次: 2008年6月 第1次印刷

书 号: ISBN 978-7-5621-4279-9

---

定 价: 24.00元

## 编写说明

作为高等教育的重要组成部分,高等职业教育是以培养具有一定理论知识和较强实践能力,面向生产、面向服务和管理第一线职业岗位的实用型、技能型专门人才为目的的职业技术教育,是职业技术教育的高等阶段。目前,高等职业教育教学改革已经从专业建设、课程建设延伸到了教材建设层面。根据国家教育部关于要求发展高等职业技术教育,培养职业技术人才的大纲要求,我们组织编写了这套《21世纪高职高专系列规划教材》。本系列教材坚持以就业为导向,以能力为本位,以服务学生职业生涯发展为指导思想,以与专业建设、课程建设、人才培养模式同步配套作为编写原则。

从专业建设角度,相对于普通高等教育的“学科性专业”,高等职业教育属于“技术性专业”。技术性专业的知识往往由与高新技术工作相关联的那些学科中的有关知识所构成,这种知识必须具有职业技术岗位的有效性、综合性和发展性。本套教材不但追求学科上的完整性、系统性和逻辑性,而且突出知识的实用性、综合性,把职业岗位所需要的知识和实践能力的培养融会于教材之中。

从课程建设角度,现有的高等职业教育教材从教育内容上需要改变“重理论轻实践”、“重原理轻案例”,教学方法上则需要改变“重传授轻参与”、“重课堂轻现场”,考核评价上则需改变“重知识的记忆轻能力的掌握”、“重终结性的考试轻形成性考核”的倾向。针对这些情况,本套教材力求在整体教材内容体系以及具体教学方法指导、练习与思考等栏目中融入足够的实训内容,加强实践性教学环节,注重案例教学,注重能力的培养,使职业能力的培养贯穿于教学的全过程。同时,使公共基础类教材突出职业化,强调通用能力、关键能力的培养,以推动学生综合素质的提高。

从人才培养模式角度,高等职业教育人才的培养模式的主要形式是产学结合、工学交替。因此,本教材为了满足有学就有练、学完就能练、边学边练的实际要求,纳入新技术引用、生产案例介绍等来满足师生教学需要。同时,为了适应学生将来因为岗位或职业的变动而需要不断学习的情况,教材的编写注重采用新知识、新工艺、新方法、新标准,同时注重对学生创造能力和自我学习能力的培养,力争实现学生毕业与就业上岗的零距离。

为了更好地落实指导思想和编写原则,本套教材的编写者既有一定的教学经验、懂得教学规律,又有较强的实践技能。同时,我们还聘请生产一线的技术专家来审稿,保证教材的实用性、先进性、技术性。总之,该套教材是所有参与编写者辛勤劳作和不懈努力的成果,希望本套教材能为职业教育的提高和发展作出贡献。

这就是我们编写这套教材的初衷。

# 前 言

为满足全国汽车维修电工专业和各类汽车高等专科学校教学需要，我们编写了《汽车电工电子基础》一书。

本教材的特色是紧密结合现代汽车，同时较系统完整地讲述了汽车电工电子技术的基本知识，体现了理论结合实际的教学模式。本书突出基本概念，注重在汽车上的实际应用，由浅入深，通俗易懂。

本书由杨世春主编并负责全书统稿；张博、贺新升任副主编。全书主要内容包括直流电路、交流电路、磁路及电磁部件、电动机、交流发电机、常用半导体器件、集成运算放大器、数字电路基础等八个方面。

在本书编写的过程中，我们参考了大量资料和文献，在此，对原作者一并表示深切的谢意。在编写过程中，得到了许多专家、教授的支持和帮助，并提出了许多宝贵意见，在此特致以诚挚的谢意。由于时间仓促，加之编者水平有限，书中缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

2008年2月

# 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 直流电路 .....            | 1   |
| 第一节 电路与电路的物理量 .....       | 1   |
| 第二节 电阻及欧姆定律 .....         | 4   |
| 第三节 电器设备的额定值及电路的状态 .....  | 10  |
| 第四节 电压源与电流源及其等效变换 .....   | 11  |
| 第五节 叠加原理 .....            | 14  |
| 第六节 戴维南定理 .....           | 15  |
| 第七节 电容器及其充放电 .....        | 16  |
| [习题] .....                | 20  |
| 第二章 交流电路 .....            | 22  |
| 第一节 正弦交流量及其表示 .....       | 22  |
| 第二节 交流电路的分析与计算 .....      | 28  |
| 第三节 交流电路的频率特性 .....       | 41  |
| 第四节 三相交流电路 .....          | 51  |
| [习题] .....                | 62  |
| 第三章 磁路与电磁部件 .....         | 67  |
| 第一节 磁场及磁路 .....           | 67  |
| 第二节 交流铁芯线圈和电磁铁 .....      | 72  |
| 第三节 变压器 .....             | 81  |
| 第四节 点火线圈 .....            | 90  |
| 第五节 继电器 .....             | 93  |
| [习题] .....                | 100 |
| 第四章 电动机 .....             | 101 |
| 第一节 三相异步电动机的构造与工作原理 ..... | 101 |
| 第二节 异步电动机的转矩特性 .....      | 109 |
| 第三节 异步电动机的运转与控制 .....     | 113 |
| [习题] .....                | 120 |
| 第五章 交流发电机 .....           | 122 |
| 第一节 交流发电机的结构原理 .....      | 122 |
| 第二节 交流发电机的工作特性 .....      | 125 |
| 第三节 无刷交流发电机 .....         | 127 |
| 第四节 电压调节器 .....           | 129 |
| [习题] .....                | 137 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第六章 常用半导体器件 .....           | 139 |
| 第一节 半导体的基本常识 .....          | 139 |
| 第二节 PN 结与晶体二极管 .....        | 141 |
| 第三节 半导体三极管 .....            | 148 |
| [习题] .....                  | 158 |
| 第七章 集成运算放大器 .....           | 161 |
| 第一节 集成运算放大器 .....           | 161 |
| 第二节 集成运放在信号运算方面的应用 .....    | 165 |
| 第三节 集成运算放大器在信号测量方面的应用 ..... | 172 |
| 第四节 集成运算放大器在信号处理方面的应用 ..... | 173 |
| 第五节 集成运放实际使用中的一些问题 .....    | 179 |
| [习题] .....                  | 182 |
| 第八章 数字电路基础 .....            | 187 |
| 第一节 数字电路基础知识 .....          | 187 |
| 第二节 基本逻辑门电路 .....           | 191 |
| 第三节 TTL 集成电路 .....          | 195 |
| 第四节 CMOS 集成电路 .....         | 200 |
| 第五节 组合逻辑电路 .....            | 202 |
| 第六节 时序逻辑电路 .....            | 215 |
| [习题] .....                  | 232 |
| 参考文献 .....                  | 236 |

# 第一章 直流电路

大小和方向均不随时间变化的电流称为直流，由直流电源和用电器具组成的电路称为直流电路。本章重点讨论直流电路的基础知识。

## 第一节 电路与电路的物理量

### 一、电路及其组成

电路是由电源、负载（用电设备）、中间环节（导线和开关等）连接而成的电流通路，如图 1-1 所示。其中，电源内部称为内电路，负载、连接导线和开关等称为外电路。图 1-2 所示为一简单的汽车电路，其电源为蓄电池，负载为灯泡。

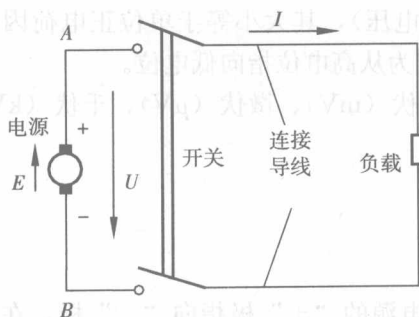


图 1-1 电路的组成

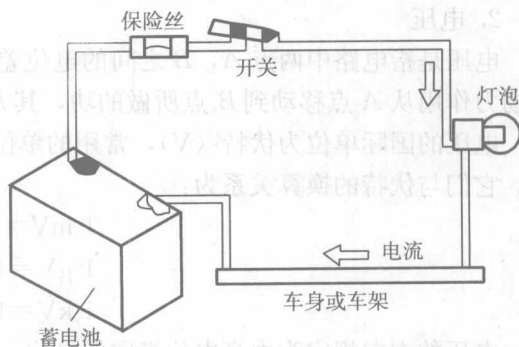


图 1-2 汽车电路

电源是供应电能的装置，它把其他形式的能量转换为电能，如电池、发电机等。汽车电源主要包括蓄电池和发电机。蓄电池是把化学能转换为电能的装置，发电机是把机械能转换为电能的装置。

负载是将电能转换成其他形式能量的设备，如电灯、电动机和扬声器等。

中间环节是介于电源与负载之间的传输、控制设备及保护装置，如输电导线、开关、熔断器等。

如果电路中的电压电流是恒定的，则称该电路为直流电路；若电压电流随时间而变化，则称该电路为交流电路。本章主要介绍直流电路，所分析的都是实际电路的电路模型。

## 二、电路的基本物理量

### 1. 电动势

衡量电源的电源力大小及其方向的物理量叫做电源的电动势。电动势通常用符号  $E$  表示。

电动势的大小等于电源力把单位正电荷从电源的负极，经过电源内部移到电源正极所做的功。如设  $W$  为电源中非静电力（电源力）把正电荷量  $q$  从电源负极经过电源内部移到电源正极所做的功，则电动势大小为：

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

电动势的方向规定为从电源的负极经过电源内部指向电源的正极，即与电源两端电压的方向相反。

电动势在数值上等于电路的开路电压，但方向相反。

$$E = -U_K \quad (1-2)$$

电动势与端电压的关系：

(1) 电动势是描述电源力做功的物理量，而电压是描述电场力做功的物理量。

(2) 电动势仅存在于电源内部，而电压不仅存在于电源的两端，而且存在于电源的外部。

(3) 电动势与端电压的方向不同。

### 2. 电压

电压是指电路中两点  $A, B$  之间的电位差（简称电压），其大小等于单位正电荷因受电场力作用从  $A$  点移动到  $B$  点所做的功，其方向规定为从高电位指向低电位。

电压的国际单位为伏特（V），常用的单位还有毫伏（mV）、微伏（ $\mu V$ ）、千伏（kV）等。它们与伏特的换算关系为：

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

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

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

电压的方向规定为由高电位指向低电位，亦即由电源的“+”极指向“-”极，在电压的方向上电位是逐点降低的。

如图 1-3 所示，电压的参考方向可用箭头表示，也可用双下标（如  $U_{AB}$ ）表示，还可使用极性“+”、“-”表示。

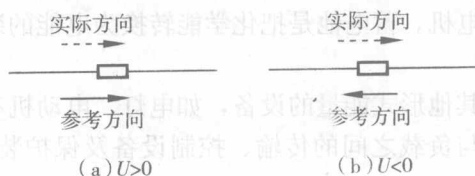


图 1-3 电压的参考方向与实际方向

测量电压时，应按图 1-4 所示（并联）连接电压表（伏特表），测量之前要选择合适的量程，使测量值不超过所选量程的最大值。

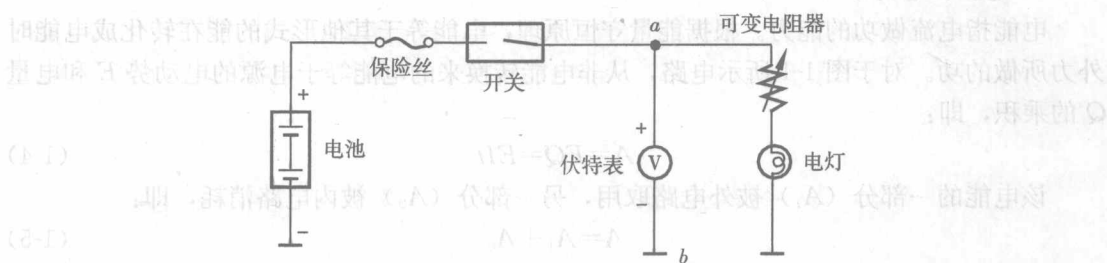


图 1-4 测量电压

### 3. 电流

电荷有规律地定向移动称为电流。形成电流必须具备两个条件：一方面有可以自由移动的电荷；另一方面是导体两端要维持一个电场。

电流的强弱用电流强度表示。电流强度  $I$  是用单位时间内通过导体横截面的电量度量的，即：

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-3)$$

电流的国际单位是安培，常用的电流单位还有毫安 (mA)、微安 ( $\mu\text{A}$ )、千安 (kA) 等。它们与安培的换算关系为：

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$$

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$$

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

电流的形成实际上是电子的移动，即负电荷移动的方向为电流方向，但是由于当初人们对电子理论认识不够，因而习惯上规定正电荷的运动方向为电流的方向。在外电路中电流的方向是正极指向负极；在内电路中，电流的方向是由负极指向正极。

电流的参考方向，也称正方向，是假定的方向。电流的参考方向与实际方向一致时，电流为正值 ( $I > 0$ )；电流的参考方向与实际方向相反时，电流为负值 ( $I < 0$ )。电流的参考方向如图 1-5 所示。

在一条无分支的电路上，电流强度处处相等。由此，在测量电流强度时，应把电流表（安培表）串入电路，如图 1-6 所示。目前大多数国产车的电路中都串有电流表，用来指示蓄电池的充、放电电流，也有很多车辆在线路中并接电压表，用来监测蓄电池的充电电压。

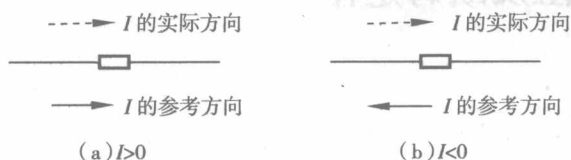


图 1-5 电流的参考方向与实际方向

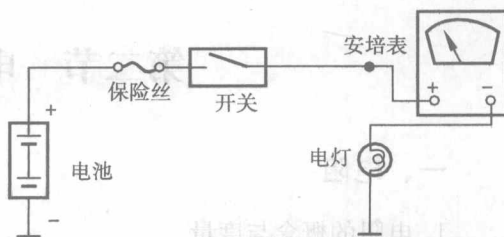


图 1-6 测量电流

#### 4. 电能和电功率

电能指电流做功的能力。根据能量守恒原理,电能等于其他形式的能在转化成电能时外力所做的功。对于图 1-1 所示电路,从非电能转换来的电能等于电源的电动势  $E$  和电量  $Q$  的乘积,即:

$$A = EQ = EIt \quad (1-4)$$

该电能的一部分 ( $A_1$ ) 被外电路取用,另一部分 ( $A_0$ ) 被内电路消耗,即:

$$A = A_1 + A_0 \quad (1-5)$$

其中:

$$A_1 = UQ = UI t$$

$$A_0 = A - A_1 = (E - U) It = U_0 It$$

式中:  $U$ ——外电路的端电压;

$U_0$ ——电源的内压降。

由此可得电路的能量平衡方程:

$$EIt = UI t + U_0 It$$

即:

$$E = U + U_0 \quad (1-6)$$

上面即为电压平衡方程,其意义为:电源电动势等于电源电压与电源内部电压降之和。

单位时间内电流所做的功称为电功率,用  $P$  表示。在闭合电路中,电源产生的电功率为:

$$P_{\text{源}} = EIt/t = EI \quad (1-7)$$

负载所用电功率为:

$$P_{\text{载}} = UI t/t = UI \quad (1-8)$$

内电路损耗的电功率为:

$$P_{\text{损}} = U_0 It/t = U_0 I \quad (1-9)$$

此三者关系为:

$$P_{\text{源}} = P_{\text{载}} + P_{\text{损}} \quad (1-10)$$

上式称为电路的功率平衡方程。电能法定计量单位的名称是焦耳,简称焦,用符号 J 表示;功率法定计量单位的名称是瓦特,简称瓦,用符号 W 表示。为了方便,有时功率也用千瓦 (kW) 作为计量单位。

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

在实际工作中,电能常用“度”作为计量单位。

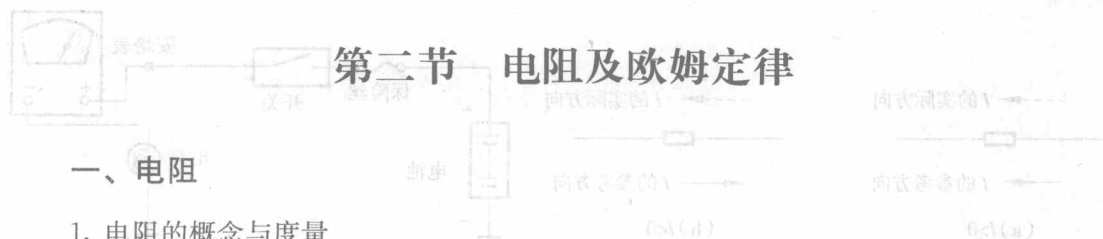
$$1 \text{ 度} = 1 \text{ 千瓦} \cdot \text{时} (\text{kW} \cdot \text{h})$$

## 第二节 电阻及欧姆定律

### 一、电阻

#### 1. 电阻的概念与度量

导体对流过它本身的电流会产生一定的阻碍作用,这种阻碍称为电阻,常用  $R$  表示。



导体电阻大小与导体的长度 ( $L$ ) 成正比, 与其横截面积 ( $S$ ) 成反比, 并与导体材料的性质有关。即:

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

式中,  $\rho$  称电阻率, 其单位为  $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ 。导体的材料不同, 其电阻率也不同, 不同的物质也有不同的电阻率, 电阻率越大, 表示导电性能越差。电阻率小于  $10^{-6}$  的材料称为导体, 如金属; 电阻率大于  $10^7$  的材料称为绝缘体, 如橡胶、塑料等。

常用材料的电阻率如表 1-1 所示。从表中可以看出, 铜和铝的电阻率比较低, 故在电器设备和输电线中得到广泛应用。

表 1-1 常用金属材料的电阻率 ( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )

| 材料名称 | $\rho$ 值 ( $20^\circ\text{C}$ ) | 材料名称 | $\rho$ 值 ( $20^\circ\text{C}$ ) |
|------|---------------------------------|------|---------------------------------|
| 银    | 0.0165                          | 钨    | 0.0548                          |
| 铜    | 0.0175                          | 铁    | 0.0978                          |
| 铝    | 0.0283                          | 铅    | 0.2220                          |

电阻法定计量单位的名称是欧姆, 简称欧, 用符号  $\Omega$  表示, 有时也用千欧 ( $\text{k}\Omega$ )、兆欧 ( $\text{M}\Omega$ ) 作为计量单位。它们之间的换算关系为:

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega$$

$$1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$$

导体的电阻不仅与材料的性质、尺寸有关, 还与温度有关。大多数金属的阻值随温度升高而增大; 电炭制品、电解液、绝缘体以及大多数半导体的阻值随温度升高而减少。

在电路中, 电阻常用图 1-7 所示符号表示。

例 1-1 从配电间至实验室架设一条输电线, 全长 200 m, 用线截面积为  $35 \text{ mm}^2$  的铜导线。求输电线电阻为多少。(铜的电阻率为  $1.7 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )

解: 输电线电阻为:

$$R = \rho \frac{l}{S} = 1.7 \times 10^{-8} \times \frac{200}{35 \times (10^{-3})^2} \approx 0.1 (\Omega)$$

## 2. 电阻的串联

把几个电阻一个接一个地连接起来, 其间没有分岔支路, 称为电阻的串联, 如图 1-8 所示。由串联电阻组成的电路有以下特点:

(1) 电流处处相等, 即流过  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  的电流为同一电流。

(2) 总电压等于各段电压之和, 即:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 \quad (1-12)$$



图 1-7 电阻的符号

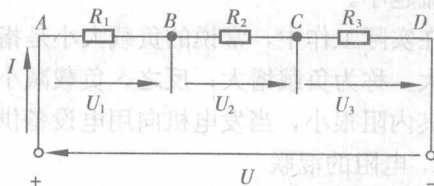


图 1-8 电阻的串联

(3) 等效电阻等于各个电阻之和, 即:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 \quad (1-13)$$

(4) 各电阻上的电压与总电压之间的关系可表示为:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R} U \\ U_3 &= \frac{R_3}{R} U \end{aligned} \right\} \quad (1-14)$$

以上公式称为分压公式。在直流电路中, 通过电阻的串联可实现分压的目的, 电阻越大, 分配到的电压也越高。

### 3. 电阻的并联

把几个电阻的一端连在电路的同一点上, 把另一端连在另一点上, 称为电阻的并联,

如图 1-9 所示。并联电路有以下特点:

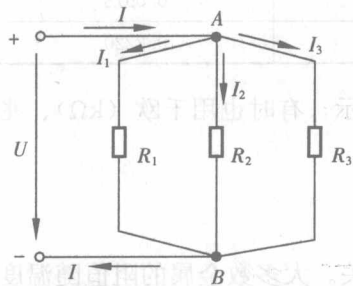


图 1-9 电阻的并联

(1) 各支路的电压相等, 即:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U \quad (1-15)$$

(2) 总电流等于各分支电流之和, 即:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 \quad (1-16)$$

(3) 总电阻的倒数等于各电阻倒数之和, 即:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

或

$$R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_2 R_3 + R_1 R_3} \quad (1-17)$$

当  $R_1 = R_2 = R_3$  时, 则  $R = \frac{1}{3} R_1$ ; 如果有  $n$  个  $R_1$  并联, 则  $R = \frac{1}{n} R_1$ 。并联电阻越多, 总电阻越小, 且其值小于任一支路的电阻值。

(4) 各支路电流与总电流的关系为:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \frac{R}{R_1} I \\ I_2 &= \frac{R}{R_2} I \\ I_3 &= \frac{R}{R_3} I \end{aligned} \right\} \quad (1-18)$$

以上公式称为分流公式。在直流电路中, 可以通过电阻的并联分流, 电阻越大, 分得的电流越小。

在实际工作中, 常说的负载大小是指负载电功率而言的。电阻减小, 电压不变, 电流会增大, 称为负载增大; 反之, 负载减小。在汽车上, 蓄电池对于发电机而言是一个大负载, 其内阻很小, 当发电机向用电设备供电时, 也以较大电流给蓄电池充电。

### 4. 电阻的混联

混联电路中既有电阻的串联, 又有电阻的并联, 如图 1-10 所示。分析和计算混联电路时, 可根据串联、并联电路的特点, 结合欧姆定律加以灵活运用。

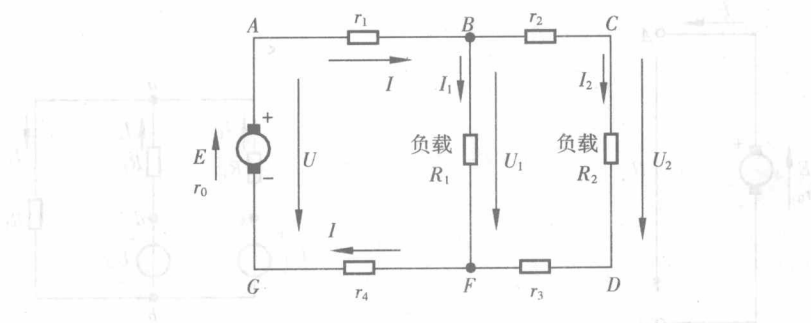


图 1-10 混联电路

## 二、电路的基本定律

### 1. 欧姆定律

导体中的电流强度与加在导体两端的电压成正比，与导体的电阻成反比。这个关系称为欧姆定律。

欧姆定律是电路分析中最基本、最重要的定律之一。欧姆定律有三种形式：

(1) 部分电路的欧姆定律。在图 1-11 所示的电路中，电阻  $R$  两端的电压为  $U$ ，流过电阻的电流为  $I$ ，欧姆定律可以表达为：

$$I = \frac{U}{R} \quad (1-19)$$

(2) 全电路欧姆定律。如图 1-12 所示，在闭合电路中，电流的大小与电动势成正比，与全部电阻成反比，其表达式为：

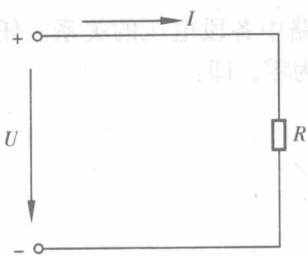


图 1-11 部分电路欧姆定律

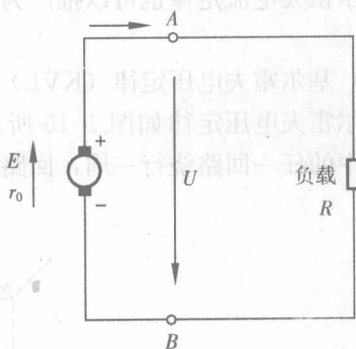


图 1-12 全电路欧姆定律

$$I = \frac{E}{r_0 + R} \quad (1-20)$$

式中， $r_0$  为电源的内阻。

(3) 一段含源电路的欧姆定律。图 1-13 所示电路中，电源内部的一段电路称为源电路， $r_0$  是电源的内阻。含源电路的欧姆定律可以表示为：

$$I = \frac{E - U}{r_0} \quad (1-21)$$

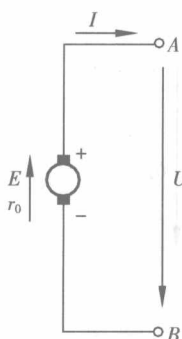


图 1-13 含源电路欧姆定律

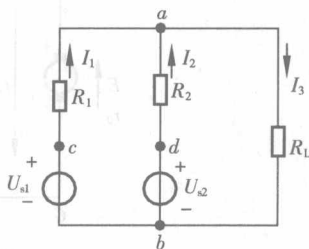


图 1-14 基尔霍夫电流定律

## 2. 基尔霍夫定律

### (1) 基尔霍夫电流定律 (KCL)

它用来确定同一节点上的各支路电流间的关系。由于电流具有连续性, 因此

$$\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \quad (1-22)$$

对于图 1-14 电路中节点的  $a$ ,  $I_1$  与  $I_2$  流入,  $I_3$  流出, 故

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad (1-23)$$

如果将流入节点的电流设定为正, 而流出节点的电流设定为负 (或者作相反的规定), 则该定律还可以表述为: 任一时刻, 电路中任一节点的电流的代数和为零, 用公式表示为:

$$\sum I = 0 \quad (1-24)$$

基尔霍夫电流定律也可以推广为: 任一瞬间流入任一闭合面的电流代数和为零。

$$I_A + I_B + I_C = 0 \quad (1-25)$$

### (2) 基尔霍夫电压定律 (KVL)

基尔霍夫电压定律如图 1-15 所示, 它用于确定回路中各段电压的关系。任一瞬间, 沿电路中的任一回路绕行一周, 回路中各电压的代数和为零。即:

$$\sum U = 0 \quad (1-26)$$

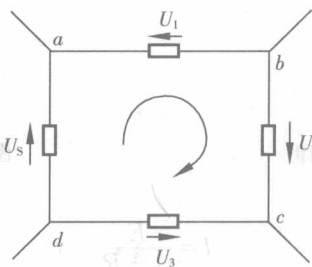


图 1-15 基尔霍夫电压定律

在回路中应用该定律时, 必须先进行两个设定: 一是任意设定回路的绕行方向 (为顺时针或逆时针); 二是设定回路中各元件上的电压 (或电流) 参考方向。

由 KVL 得:

$$-U_1 + U_2 - U_3 + U_S = 0 \quad (1-27)$$

### (3) 基尔霍夫定律的应用

基尔霍夫定律最基本的应用是支路电流法。支路电流法是一种求解电路的方法,以各支路电流作为未知量,运用 KVL, KCL 列出电路节点电流和回路电压方程,求解方程组,可解得各支路电流。

支路电流法求解步骤如下(以图 1-16 为例):

① 设定各支路电流、元件电压的参考方向及回路绕行方向。

② 对节点列 KCL 方程。如图 1-16 所示,对两个节点  $a, b$  列 KCL 方程如下:

$$\text{节点 } a: I_1 + I_2 - I_3 = 0$$

$$\text{节点 } b: -I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

这两个方程实际上是相同的,其中只有一个是独立方程,因此对  $n$  个节点,只能列  $(n-1)$  个独立的 KCL 方程。对图 1-16 只需列出其中 1 个节点的 KCL 方程即可。

③ 列回路 KVL 方程。对于有  $b$  条支路、 $n$  个节点的电路,只需列  $b - (n-1)$  个独立的 KVL 方程。一般是选取网孔列 KVL 方程,图 1-16 中,回路 1, 2 为网孔。

$$\text{回路 1: } -I_2 R_2 + U_{S2} - U_{S1} + I_1 R_1 = 0$$

$$\text{回路 2: } I_3 R_3 - U_{S2} + I_2 R_2 = 0$$

可得到由节点  $a$  的 KCL 方程、回路 1 与 2 的 KVL 方程组成的三元方程组。

④ 解方程组求得未知电流。将已知数据代入以上方程组,则可求出各未知电流。

例 1-2 如图 1-16 所示,已知  $U_{S1} = 20 \text{ V}$ ,  $U_{S2} = 40 \text{ V}$ ,  $R_1 = R_3 = 10 \Omega$ ,  $R_2 = 5 \Omega$ , 求各支路电流  $I_1, I_2, I_3$ 。

解: (1) 选定回路方向、各支路电流方向如图 1-16 所示。

(2) 列 KCL 方程。电路有两个节点,只能列一个 KCL 方程,选节点  $a$ 。

(3) 列 KVL 方程。选网孔 1, 2 列方程。

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ -I_2 R_2 + U_{S2} - U_{S1} + I_1 R_1 = 0 \\ I_3 R_3 - U_{S2} + I_2 R_2 = 0 \end{cases}$$

(4) 代入已知数,解方程组

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ -5I_2 + 40 - 20 + 10I_1 = 0 \\ 10I_3 - 40 + 5I_2 = 0 \end{cases}$$

解得:  $I_1 = -0.5 \text{ A}$ ,  $I_2 = 3 \text{ A}$ ,  $I_3 = 2.5 \text{ A}$ 。

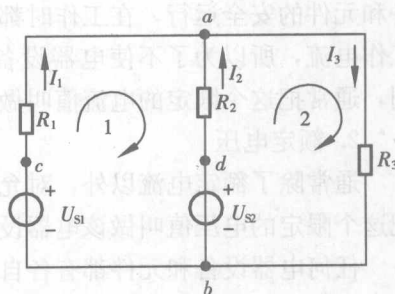


图 1-16 支路电流法

### 第三节 电器设备的额定值及电路的状态

#### 一、电器设备的额定值

##### 1. 额定电流

因为电流具有热效应,所以任何电器设备和元件在工作时都会发热。为了保证电器设备和元件的安全运行,在工作时都规定有一个最高的工作温度。很显然,工作温度取决于工作电流,所以为了不使电器设备或元件的工作温度过高,对通过它的电流值有一个限制,通常把这个限定的电流值叫做额定电流,用  $I_N$  表示。

##### 2. 额定电压

通常除了额定电流以外,对允许加在电器设备或元件上的电压也有一个限定值,我们把这个限定的电压值叫做该电器设备和元件的额定电压,用  $U_N$  表示。

任何电器设备和元件都有各自的额定电流和额定电压,对电阻性负载而言,其额定电流和额定电压的乘积就等于它的额定功率,即  $P_N = I_N U_N$ 。如标有“220 V, 100 W”的灯泡,220 V 为额定电压,100 W 为额定功率。

例 1-3 有一只标有“220 V, 40 W”的灯泡,试求:(1)它在正常工作条件下的电阻和通过灯泡的电流;(2)若每天使用 4h,一个月(30 天)消耗多少度电能。(1kW·h 即为俗称的 1 度电)

解:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{40}{220} = 0.182 \text{ (A)}$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{220}{0.182} = 1210 \text{ (}\Omega\text{)}$$

$$W = Pt = 40 \times 4 \times 30 = 4800 \text{ (W} \cdot \text{h)} = 4.8 \text{ (kW} \cdot \text{h)}$$

所以,流过灯泡的电流是 0.182 A,灯泡的电阻是 1210  $\Omega$ ,一个月耗电 4.8 度。

#### 二、电路的状态

##### 1. 额定工作状态

要使电器设备工作正常,就应当使电器设备在额定电压下工作,而且当用电器中通过的电流达到额定电流时,这种工作状态称为额定工作状态。电器设备工作在额定状态时,是最经济合理和安全可靠的,能够保证电器设备有一定的使用寿命。如标有“220 V, 100 W”的灯泡,在使用时不能接在 380 V 的电源上,应尽可能使其在额定状态下工作,否则就可能被烧坏。如图 1-17 所示,开关 S 合上以后,若负载  $R_L$  两端的电压为额定电压,流过的电流为额定电流,则电路处在额定工作状态。由于电源电压经常波动,所以电器设备在实际使用时电压、电流和功率不一定等于它们的额定值。

##### 2. 断路工作状态

如图 1-17 所示,当开关打开时,电源与负载之间未构成闭合回路,即电路处在断路