

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

# 汽车电工电子基础

(汽车运用与维修专业)

主编 沈忆宁



高等教育出版社

中等职业教育国家规划教材配套教学用书

# 汽车电工电子基础

(汽车运用与维修专业)

主编 沈忆宁

高等教育出版社

## 内容简介

本书是根据教育部 2001 年颁发的《中等职业学校汽车运用与维修专业教学指导方案》中对汽车电工电子基础课程的教学要求编写的。

本书主要内容包括:绪论、直流电路、电磁现象及其应用、正弦交流电路、电机与变压器、半导体器件的基本知识、整流与直流稳压电路、晶体管放大电路、数字电路基础、基本数字部件、实验指导和附录。

本书可作为中等职业学校汽车运用与维修专业教材,也可作为相关行业岗位培训教材或自学用书。

## 图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子基础/沈忆宁主编. —北京:高等教育出版社,(2006 重印)

ISBN 7-04-014947-8

I. 汽… II. 沈… III. ①汽车-电工-专业学校-教材②汽车-电子技术-专业学校-教材  
IV. U463.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 046347 号

策划编辑 梁建超 责任编辑 李京平 封面设计 于涛 责任绘图 朱静  
版式设计 张岚 责任校对 康晓燕 责任印制 陈伟光

---

出版发行 高等教育出版社  
社 址 北京市西城区德外大街 4 号  
邮政编码 100011  
总 机 010-58581000  
经 销 蓝色畅想图书发行有限公司  
印 刷 北京宏信印刷厂

购书热线 010-58581118  
免费咨询 800-810-0598  
网 址 <http://www.hep.edu.cn>  
<http://www.hep.com.cn>  
网上订购 <http://www.landaco.com>  
<http://www.landaco.com.cn>  
畅想教育 <http://www.widedu.com>

开 本 787×1092 1/16  
印 张 11.25  
字 数 270 000

版 次 2004 年 7 月第 1 版  
印 次 2006 年 12 月第 8 次印刷  
定 价 14.50 元

---

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 14947-00

# 前 言

本书是根据教育部 2001 年颁布的中等职业学校汽车运用与维修专业课程设置中对汽车电工电子基础的教学要求编写的。

本书根据新大纲要求以培养生产一线的高素质劳动者和初级专门人才为目标,针对汽车运用与维修专业学生应掌握的电工技术和电子技术方面的应知应会内容,对电工和电子技术知识进行筛选,选取最基本的概念、技能及其在汽车上应用的内容。目的是使学生对有关汽车电气设备建立感性认识,为后续专业课打下一定的基础,初步具有识读电路、测试元件、连接线路的能力。

本教材以汽车运用与维修专业后续理论课程与实践环节所需电工、电子知识为依托,根据教学目标分三大模块(基础模块、选学模块和实践教学模块)组织教学内容。从学生认识规律出发,以“必须、够用、兼顾发展”为原则,紧扣汽车电气设备,精选内容,强化知识的应用,注重实践环节。选学内容以“\*”号标出,便于教师和学生根据需要选择。

为了帮助师生更好地掌握本教材所介绍的内容,我们特编写了与本教材配套的《汽车电工电子基础学习指导与练习》一书,该书介绍了教材每章的主要内容、重点、难点、学习指导和解题示例,并精选了一定数量的练习题,包括作业题和综合题两部分。

本书建议教学时数为 113 学时,建议学时分配如下:

内 容	课时	学 时 分 配	
		讲 课	实 验
绪论	1	1	
直流电路	16	12	4
电磁现象及其应用	10	8	2
正弦交流电路	15	11	4
电机与变压器	6	6	0
半导体器件的基本知识	12	6	6
整流与直流稳压电路	14	8	6
晶体管放大电路	11	9	2
数字电路基础	18	16	2
基本数字部件	10	8	2
合计	113	85	28

本书由包头职业技术学院组织编写,沈忆宁主编,参加编写的有陈丽琴(第二、八、九章)、沈忆宁(第四、五、六章)、刘江(第一、三、七章)、张永仁(实验)。

本书特聘请北京汽车工业学校李晓高级讲师审稿。

本书在编写过程中参考了许多有关教材(详见主要参考文献),在此对这些教材的编者表示感谢。

编者

2004年5月

# 目 录

绪论 .....	1	第四节 集成运算放大器 .....	105
第一章 直流电路 .....	2	第八章 数字电路基础 .....	110
第一节 直流电路的基本概念 .....	2	第一节 数字电路基础 .....	110
第二节 简单电路 .....	9	第二节 晶体管开关电路 .....	113
第三节 复杂电路 .....	16	第三节 门电路 .....	115
第四节 电容器 .....	21	第四节 集成触发器 .....	119
第二章 电磁现象及其应用 .....	26	第九章 基本数字部件 .....	126
第一节 磁的基础知识 .....	26	第一节 计数器 .....	126
第二节 电磁铁和继电器 .....	28	第二节 寄存器 .....	129
第三节 电磁感应 .....	30	第三节 译码器 .....	130
第三章 正弦交流电路 .....	36	实验 .....	135
第一节 正弦交流电的基本知识 .....	36	实验一 万用表测量技术 .....	135
第二节 单相交流电路 .....	41	实验二 验证基尔霍夫定律 .....	137
第三节 三相交流电路 .....	52	实验三 同名端的测定 .....	138
第四节 安全用电 .....	55	实验四 三相交流电路 .....	140
第四章 电机与变压器 .....	58	实验五 半导体二极管极性判断及 特性测试 .....	142
第一节 变压器 .....	58	实验六 晶体管极性判断及特性 测试 .....	144
第二节 直流电机 .....	61	实验七 单管电压放大器 .....	146
第三节 三相交流异步电动机 .....	66	实验八 单相整流和滤波电路 .....	148
第五章 半导体器件的基本知识 .....	72	实验九 汽车照明(模拟)电路 .....	150
第一节 半导体二极管 .....	72	实验十 晶体管串联直流稳压电路 .....	151
第二节 晶体管 .....	76	实验十一 三相桥式整流电路 .....	153
第三节 晶闸管 .....	82	实验十二 基本逻辑门电路 .....	154
第六章 整流与直流稳压电路 .....	86	实验十三 译码显示电路 .....	157
第一节 整流与滤波电路 .....	86	实验十四 晶闸管特性测试 .....	159
第二节 直流稳压电路 .....	92	附录 I .....	160
* 第三节 集成稳压器 .....	94	附录 II .....	168
第七章 晶体管放大电路 .....	96	主要参考文献 .....	173
第一节 低频电压放大器 .....	96		
* 第二节 多级放大器 .....	101		
第三节 射极输出器 .....	103		

---

# 绪 论

---

汽车电工电子基础是汽车运用与维修专业的一门专业基础课,主要研究电能在生产领域特别是汽车领域的应用,为汽车运用与维修专业后续课程与实践环节打下基础。

电能以其易于转换、便于输送、控制和测量方便等优点,在生产、生活等方面得到广泛应用。工业上的各种生产机械(如机床、起重机、轧钢机等)主要是用电动机来驱动的。农业生产上广泛采用的电力排灌设备、粮食和饲料的电力加工装置,交通运输用的电气机车、电车和轮船、飞机、汽车上的电气设备,日常生活中的电灯、电话、电影、电视及各种家用电器,所有这些均离不开电能。现代电子技术的迅猛发展,使电能自动控制方面的应用更是日新月异。

现代汽车正在迅速地成为机电一体化、多种高新技术综合集成的载体,并向高速、灵活、专用、可靠、自动、安全、省油、减少污染的方向发展。电能汽车上的应用已从传统的启动、照明及信号指示发展到现代声像、通讯、空调设备和各种控制装置。通过应用电子技术,可显著提高人机系统(驾驶员驾驶汽车)的安全性,大幅度提高汽车行使的自动化和智能化水平。

汽车电工电子基础包含电路基础、电机与变压器和电子技术三部分。第一部分主要介绍交、直流电路和电磁的基本概念、基本定律和基本分析方法。电机与变压器部分主要介绍汽车上用的变压器,交、直流电机的结构、工作原理及其特性。第三部分主要介绍三种常用电子器件——二极管、晶体管、晶闸管,汽车上用到的模拟电路和脉冲数字电路。为了加强实践环节,本书还编入了实验指导的有关内容,力求通过实验让学生掌握一定的实践技能。

汽车电工电子基础是一门理论性和实用性都比较强、与汽车电气设备有密切联系的课程,因此在学习中应特别注意“出理入车”。所谓“出理入车”有两个含义。一是在学习中要特别注意物理中的电学与本课程的联系与区别。本课程中的某些内容是以物理中的电学为基础的,但又与其有本质的区别。物理中的电学研究电磁现象及其规律,而汽车电工电子基础是将电磁现象应用到汽车中。所以物理中的电学突出一个“理”字,而汽车电工电子基础则突出一个“车”字。另一个含义是本课程要解决汽车电气设备的实际基础问题,其学习方法应避免单纯的理论推导,要注重利用理论分析实际问题,注意培养分析问题、解决问题的能力。

# 第一章 直流电路

## 第一节 直流电路的基本概念

### 一、电路和电路图

#### 1. 电路

电路是电流流过的路径。复杂电路呈网状,所以电路又称网络。

电路是由电源、负载和中间环节三部分构成的。电源是给电路提供电能或信号的器件;负载是电路中吸收电能或输出信号的器件;中间环节则根据电路作用、需要而不同,通常由起引导和控制或测量作用的器件构成。图 1-1 是最简单的电路,电源是干电池,负载是白炽灯,中间由导线和开关构成。对电源来讲,负载和中间环节称做外电路,电源内部的电路称做内电路。

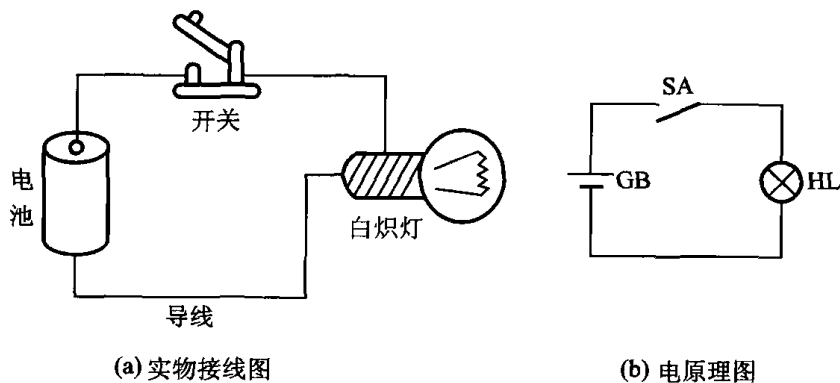


图 1-1 最简单的电路图

电路的作用可分为两种,一种是实现电能的传输和转换,各类电力系统都属于这一类;另一种是实现信号的传递处理,如电子技术中的放大器、整流电路等。

#### 2. 电路图

实际电气设备的安装和维修都是依据电原理图进行的,很少使用实物接线图。电原理图也简称为电路图,是指将实际电路中的各器件用规定的图形符号表示之后所画出的图。图 1-1b 是图 1-1a 的电路原理图。国家颁布了统一的图形符号来规范电路图,表 1-1 为电路图中常用的图形符号。

#### 3. 汽车电路的单线图



在图 1-1 所示电路中,电源和用电器之间是用两根导线连接构成回路的。这种连接方式称双线制。在汽车上,为了节省导线和便于安装、维修,电源和用电器之间通常只用一根导线连接,另一根导线则由车体的金属部分代替而构成回路。这种连接方式称为单线制,如图 1-2a 所示。采用单线制时,汽车电源(是蓄电池)的一端接到车体上,称为搭铁,用符号  $\perp$  表示。按电源搭铁的极性可分为正接地和负接地。图 1-2b 所示为负极搭铁的单线制电路图。由于负极搭铁时对无线电干扰较小,对车架或车身化学腐蚀较轻,所以世界各国的汽车多采用负极搭铁,我国亦是如此。

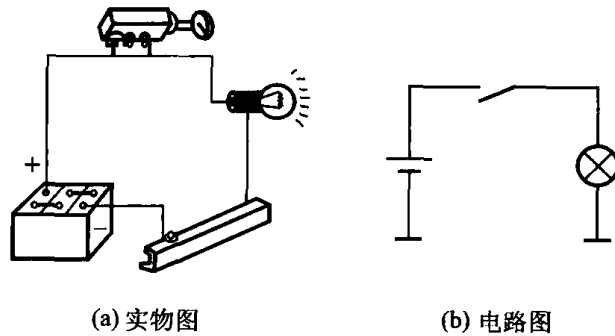


图 1-2 汽车电路的单线图

表 1-1 常用电工图形符号

图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称	图形符号	文字符号	名称
	S或SA	开关		R	电阻			接机壳
	GB	电池		RP	电位器			接地
	G	发电机		C	电容			端子
	L	线圈		PA	电流表			连接导线 不连接导线
	L	铁心线圈		PV	电压表		FU	熔断器
	L	抽头线圈		V	二极管		HL	指示灯

## 二、电路的基本物理量

### 1. 电流

电流是电荷定向移动形成的。在金属导体中,实质上能定向移动的电荷是带负电的自由电子;在导电液体中(如蓄电池的电解液中),能定向移动的电荷分别是带正电的正离子和带负电的负离子。习惯上把正电荷定向移动的方向规定为电流方向。因此,自由电子和负离子移动的方向与电流方向相反。

根据电流的变化可将电流分为直流电流和交流电流。大小随时间变化、方向不变的电流称直流电流,其中大小、方向都不变的称恒定电流,简称直流(DC: Direct Current),如不特别说明,本书所说的直流电均指恒定电流,用字母  $I$  表示。大小和方向都随时间变化的电流称为交流电流,用字母  $i$  表示。其中周期性变化的称周期交流电流,简称交流(AC: Alternating Current)。我国发电厂发出的交流电都是随时间按正弦规律变化的正弦交流电。如不特别说明,本书所指的交流电都指正弦交流电。图 1-3 中画出了几种电流的曲线。

不同用电器的电流大小是不一样的。电流大小也简称为电流,是指单位时间内通过导体横截面的电量。如果时间  $t$  内匀速流过导体横截面的电量为  $Q$ ,则电流是恒定的,大小为

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

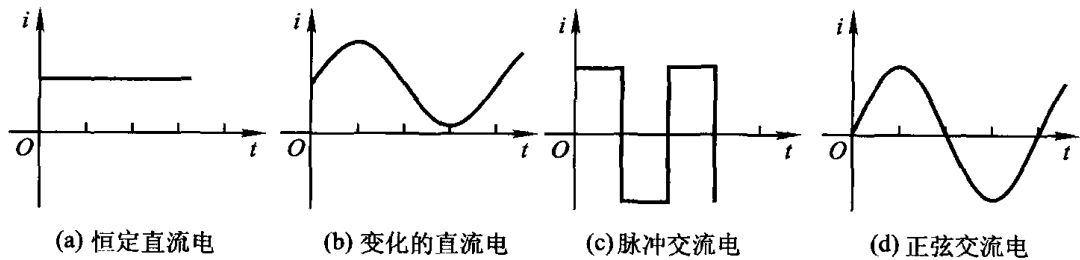


图 1-3 几种电流的曲线

若电流是不断变化的,可以求出某一时间段电流的平均值。如果在  $\Delta t$  时间内,通过导体横截面的电量为  $\Delta q$ ,则在该段时间内电流大小的平均值为

$$\bar{i} = \frac{\Delta q}{\Delta t} \quad (1-2)$$

当时间段  $\Delta t$  趋于零时,按式(1-2)所求得的价值便是某一时刻电流  $i$  的大小。

国际单位制(SI)中,电流的单位是 A(安培)。通常使用的单位还有 MA(兆安)、kA(千安)、mA(毫安)、 $\mu A$ (微安)等。

电路较复杂时,电流的实际方向很难判定。为此,在分析与计算电路时,常常可事先任意选定某一方向作为电流的参考方向,也称为正方向。当实际方向与选择的参考方向一致时,参考方向下的电流值为正数,如图 1-4a 所示;当实际方向与参考方向相反时,参考方向下的电流值为负数,如图 1-4b 所示。分析电路时,图中所标的均为参考方向,用实线箭头“ $\longrightarrow$ ”表示,或用双下标表示,如  $i_{ab}$  表示 a 到 b 的电流, $i_{ba}$  表示 b 到 a 的电流, $i_{ab} = -i_{ba}$ 。电流的实际方向可用虚线箭头“ $\dashrightarrow$ ”表示,如图 1-4 所示。电流参考方向的选择原则上可任意选,但若已知实际方向,则参考方向的选择应尽量与实际方向一致。

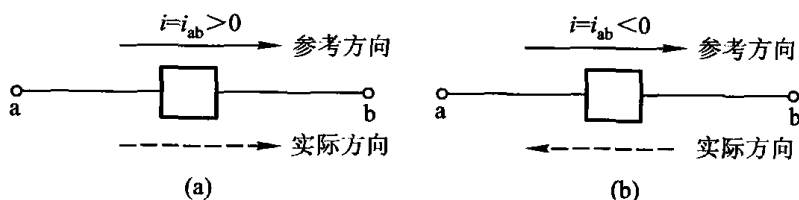


图 1-4 电流参考方向与实际方向的关系

**例 1-1** 图 1-5 所示方框为某一通路上的一种用电器件,试分析:(1) 若已知该器件上的电流是从 a 到 b,大小为 1 A,则图中电流  $I$  等于多少?(2) 若已知该器件上的电流是从 b 到 a,大小为 1 A,则图中电流  $I$  又等于多少?

解:(1) 电流从 a 到 b, $I$  的参考方向也从 a 到 b,与实际方向一致,所以

$$I = 1 \text{ A}$$

(2)  $I$  的参考方向选择与实际方向相反,所以

$$I = -1 \text{ A}$$

**例 1-2** 在图 1-6 电路中, $I_1$ 、 $I_2$  分别等于多少?

解:可以判断出电路中电流的实际方向是从电源正极出发,经电阻  $R$  后回到电源负极,为逆时针方向。 $I_1$  与实际方向相反, $I_2$  与实际方向相同,所以

$$I_1 = -\frac{5 \text{ V}}{5 \Omega} = -1 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{5 \text{ V}}{5 \Omega} = 1 \text{ A}$$

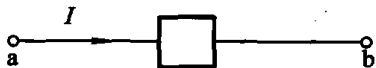


图 1-5 例 1-1 图

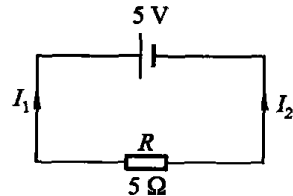


图 1-6 例 1-2 图

汽车上,常需测量蓄电池充电或放电电流的大小。电流的大小可以用电流表直接测量。对直流电流测量时要注意以下几点:

(1) 电流表必须与被测电路串联,如图 1-7 所示。连接时应使电流从表的“+”接线柱流入,从“-”接线柱流出,否则会损坏电流表。

(2) 使用电流表之前,应根据被测电流的大小选择适当的量程,在无法估计被测电流的范围时,应选用较大的量程开始测量。

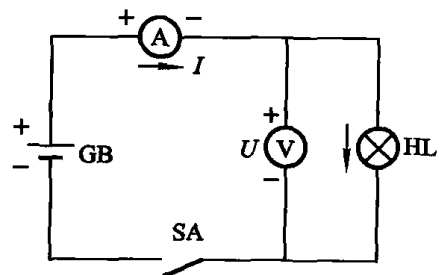


图 1-7 电流和电压的测量

## 2. 电压

电路中 A、B 两点间的电压是指单位正电荷在电场力作用下由 A 点移到 B 点时,电场力所做的功。电压用字母  $u$  或  $U$  表示,则

$$u_{AB} = \frac{W_{AB}}{Q} \quad (1-3)$$

式中  $W_{AB}$ ——正电荷  $Q$  移动过程中能量的减少量。

电压的方向是正电荷在电场中的受力方向。例如对电源而言,电压的方向是从电源正极到电源负极。

电压的分类与电流一样,通常所说的直流电压均指恒定电压,用字母  $U$  表示,交流电压是指正弦交流电压,用  $u$  表示。

电压的国际单位制单位是 V(伏特)。通常使用的单位还有 MV(兆伏)、kV(千伏)、mV(毫伏)、 $\mu$ V(微伏)等。

为分析电路方便,通常在分析电压之前先选定电压的参考方向,原则上可任意选,但若已知实际电压方向,则参考方向应尽量与实际方向一致;若已知电流的参考方向,则电压的参考方向的选择最好与电流的参考方向一致,称关联参考方向。电压、电流参考方向不一致时称非关联参考方向。

在电路分析中,所标的电压方向均为参考方向,表示方法有:

(1) 用双下标表示: $u_{ab}$ , a 到 b 的电压。

(2) 用“+”、“-”极性表示,电压从正极性端到负极性端。如图 1-8 所示,两种电压参考方向的表示都是一样的。

电压是标量。这里所说的电压方向,实际是用正负号来区别电压的两种方向。当对导体上电压的正方向作出规定以后,正电压表示实际方向与规定方向相同,负电压表示实际方向与规定方向相反。

**例 1-3** 若已知图示电阻的电压从 a 到 b,大小是 1 V,则  $U_1 = ?$ ,  $U_2 = ?$ ,  $U_{ba} = ?$

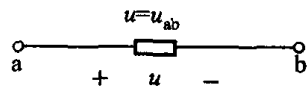


图 1-8 电压的参考方向

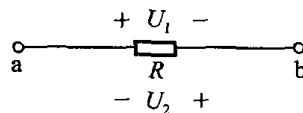


图 1-9 例 1-3 图

**解:** 实际电压从 a 到 b,  $U_1$  与实际电压方向一致,  $U_2$  与实际电压方向相反,  $U_{ba}$  与实际电压方向相反,所以

$$U_1 = 1 \text{ V}; \quad U_2 = -1 \text{ V}; \quad U_{ba} = -1 \text{ V}$$

汽车上蓄电池电压的大小可用直流电压表直接测量,测量时要注意以下两点:

(1) 电压表必须与被测电路并联,如图 1-7 所示。连接时应使被测电压的实际方向与电压表的“+”、“-”接线柱一致,否则会损坏电压表。

(2) 使用电压表之前,应根据被测电压的大小选择适当的量程,在无法估计被测电压的范围时,开始时应选用较大的量程测量。

### 3. 电位

电位是一个相对的概念,分析电位时必须先选定一个参考点。参考点用字母“o”表示,在电路中用  $\perp$  符号表示,原则上可任意选取,但习惯上选接地点或接机壳点或电路中连线最多的点作为参考点。

电路中某一点的电位就是该点到参考点的电压,用字母 V 表示。可见,电位的单位与电压一样,也是 V。图 1-10 中 a 点的电位为

$$V_a = U_{ao} \quad \text{或} \quad V_a = u_{ao} \quad (1-4)$$

参考点本身的电位显然为零,所以参考点又叫零电位点。

如果已知 a、b 两点的电位分别为  $V_a$ 、 $V_b$ ,则 a、b 两点间的电压为

$$U_{ab} = U_{ao} + U_{ob} = U_{ao} - U_{bo} = V_a - V_b \quad (1-5)$$

即:两点间的电压等于这两点的电位的差,所以电压又叫电位差。

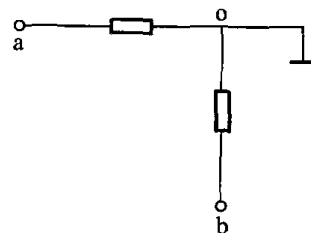


图 1-10 电位与电压的关系

电位具有相对性,即电路中某点的电位随参考点位置的改变而改变;而电位差(也就是电压)具有绝对性,即电路中任意两点之间的电位差值与电路中参考点的位置无关。

由式(1-5)可知, $U_{ab} = -U_{ba}$ 。如果  $U_{ab} > 0$ ,则  $V_a > V_b$ ,说明 a 点电位高于 b 点电位;反之,当  $U_{ab} < 0$  时,则  $V_a < V_b$ ,说明 a 点电位低于 b 点电位。

**例 1-4** 已知  $V_a = 10 \text{ V}$ ,  $V_b = -10 \text{ V}$ ,  $V_c = 5 \text{ V}$ ,求  $U_{ab}$  和  $U_{bc}$  各为多少?

**解:** 根据电位与电压的关系可知

$$U_{ab} = V_a - V_b = [10 - (-10)] \text{ V} = 20 \text{ V}$$

$$U_{bc} = V_b - V_c = (-10 - 5) \text{ V} = -15 \text{ V}$$

#### 4. 电动势

电流通路中,电场力总是使正电荷从高电位处经外电路移向低电位处,而在电源内部有一种电源力,正电荷在它的作用下,从低电位处经电源内部移向高电位处,从而保持电荷运动的连续性。汽车上使用的铅蓄电池内部的电源力是由化学作用产生的,发电机中的电源力是由电磁作用产生的。

##### (1) 汽车用铅蓄电池

汽车上所使用的铅蓄电池是利用电解的原理,通过可逆化学反应进行能量的转换,使蓄电池反复充电、放电,是一种储存能量的装置。由于铅蓄电池的电解液是硫酸溶液,所以铅蓄电池又叫做铅酸蓄电池。

铅蓄电池的两个电极由铅合金板制成,上面附着一层难溶的硫酸铅,浸在稀硫酸中。当两极板分别接在直流电源的正负极上时,一个极板得到电子成为负极,另一个极板失去电子成为正极。此过程中,电能转换为化学能,储存在铅蓄电池中,该过程称为充电。使用蓄电池时,两极板与负载相连,将储存的化学能转化为电能,负载中形成电流,该过程称为放电。

##### (2) 电动势的大小

电动势是指电源力将单位正电荷从电源负极经电源内部移到电源正极所做的功,用字母  $E$  或  $e$  表示,方向规定为从电源负极到正极。若所做的功为  $W$ ,则有

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-6)$$

可见电动势的求法与电压的求法相同,所以电动势的大小与电源两端电压的大小相等,单位一样,也是  $\text{V}$ 。铅蓄电池的电动势大小与电池两极板间的电压大小相等,与电源力的大小有关,而蓄电池的电源力是由化学能提供的,所以其电动势的大小与蓄电池中起化学作用的电解液的密度及温度有关,一般有  $6 \text{ V}$  和  $12 \text{ V}$  两种。

##### (3) 电动势的方向

电源电压方向是从正极到负极,电动势的方向是从负极到正极,所以当电源断路时电源的电动势与电压大小相等,方向相反。采用参考方向时,电源电动势与电压有如图 1-11 的关系。

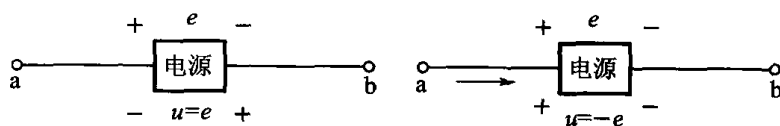


图 1-11 电源电动势与电压的关系

## 5. 电功率

电功率是电路分析中常用的一个物理量。电路传送或转换电能的速率叫做电功率,简称为功率(power),用 $P$ 或 $p$ 表示。习惯上,把发出或吸收电能说成发出或吸收功率。

分析电路的功率时,当电路的电流、电压选择关联参考方向时,用公式

$$P = UI \quad \text{或} \quad p = ui \quad (1-7)$$

来计算。当电路的电流、电压选择非关联参考方向时,用公式

$$P = -UI \quad \text{或} \quad p = -ui \quad (1-8)$$

来计算。对于计算结果,当 $P > 0$ (或 $p > 0$ )时,该电路吸收(接受、消耗)功率;当 $P < 0$ (或 $p < 0$ )时,该电路发出(释放、产生)功率。

为了使电气设备在工作中的温度不超过最高允许温度,对通过它的最大允许电流有一个限制,通常把这个限定的电流值称为电气设备的额定电流,用 $I_N$ 表示。为了限制电气设备的电流以及限制绝缘材料所承受的电压,对允许加在各电气设备上的电压也有一个限制值,通常把这个限定的电压值叫做电气设备的额定电压,用 $U_N$ 表示。电气设备的额定电流和额定电压的乘积就等于它的额定功率,用 $P_N$ 表示。

功率的国际单位制单位为 $W$ (瓦特), $1 W = 1 V \cdot A$ 。汽车上,常用的功率单位还有马力。功率与时间的乘积为该段时间内电路转换的能量。能量的国际单位制单位为 $J$ (焦耳)。如果功率的单位为 $kW$ ( $1 kW = 10^3 W$ ),时间的单位为小时( $1 h = 3600 s$ ),所转换电能的单位为 $kW \cdot h$ (千瓦·小时),俗称度。

一个电路中,每一瞬间,吸收电能的各元件功率的总和等于发出电能的各元件功率的总和。或者说,所有元件吸收的功率总和为零,符合能量守恒定律,称“电路的功率平衡”。

- 例 1-5** (1) 在图 1-12a 中,若 $I_{ab} = 1 A$ ,试求该元件的功率;  
(2) 在图 1-12b 中,若 $I_{ab} = 1 A$ ,试求该元件的功率;  
(3) 在图 1-12c 中,若元件发出功率 $6 W$ ,试求电流。

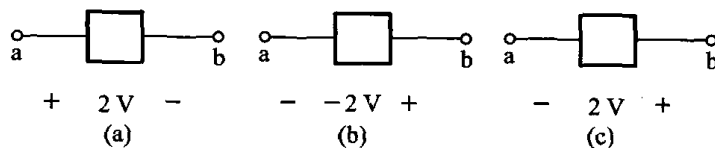


图 1-12 例 1-5 图

**解:** (1) 电压、电流的方向为关联参考方向,所以 $P = UI = 2 \times 1 W = 2 W > 0$ ,元件吸收功率 $2 W$ 。

(2) 电压、电流的方向为非关联参考方向,所以 $P = -UI = -(-2) \times 1 W = 2 W > 0$ ,元件吸收功率 $2 W$ 。

(3) 选择电流方向为 $I_{ab}$ ,则与电压为非关联参考方向,所以 $P = -UI_{ab} = -2 \times I_{ab}$ ,因元件发出功率 $6 W$ ,所以 $P = -6 W = -2 \times I_{ab}$ ,求得 $I_{ab} = 3 A$ ,因此元件电流方向为从 $a$ 到 $b$ ,大小为 $3 A$ 。

## 三、电路的三种状态

### 1. 通路

通路是指电源与负载构成了闭合回路,电流从电源出发,经过负载后回到电源的状态。通路状态根据负载大小可分为以下三种情况:

- (1) 轻载:负载低于额定功率下的工作状态。
- (2) 满载:负载在额定功率下的工作状态。
- (3) 过载:负载在高于额定功率下的工作状态,又叫超载。

显然,轻载没有充分利用负载设备,过载容易烧坏电器设备,前者尚可使用,后者一般不允许长时间出现。

## 2. 断路(开路)

断路又称开路,是指电源与负载没有接成闭合通路,电路中没有电流的状态。

断路可以分为控制性断路和故障性断路。控制性断路是人们根据需要利用开关将处于通路状态的电路断开;故障性断路是一种突发性、意想不到的断路状态。例如,在汽车电路中,电源与负载之间的连接导线松脱,负载与金属部分接触不良,都会引起断路故障。所以,在接线时要牢固可靠,尽量避免断路故障发生。

## 3. 短路

短路是指电流从电源出发,不经负载而经导体直接回到电源的状态,如图 1-13 所示。

图中实线箭头表示 A、B 间发生了短路。由于这时电路中的电阻近似为零,因此电路中的短路电流比灯丝正常发光时电流大几十或几百倍。这样大的短路电流通过电路将产生大量的热,使导线温度迅速升高,不仅损坏导线、电源和其他电器设备,严重时还会引起火灾。所以,一般电路上都加短路保护装置,如图 1-13 所示的熔断器 FU。

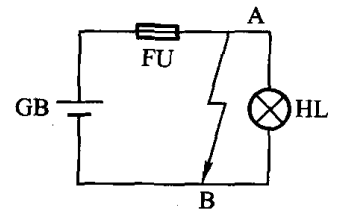


图 1-13 短路故障

汽车采用单线制,当连接电器设备的导线绝缘损坏时,裸铜导体就直接与车体的金属部分相碰,容易造成短路故障,又称接地短路故障(俗称搭铁短路故障)。所以,汽车电路中一方面加装短路保护装置,另一方面对连接导线的绝缘提出较高要求。

# 第二节 简单电路

## 一、电阻

物体对电流的阻碍作用叫做电阻作用。电阻作用使得电流流过物体时把电能转换成其他形式的能量。电阻是表示物体电阻作用大小的一个物理量,用字母  $R$  或  $r$  表示。

电阻的单位是  $\Omega$ (欧姆)。常用的电阻单位还有  $k\Omega$ (千欧)、 $M\Omega$ (兆欧)等。

电阻的倒数叫电导,用字母  $G$  表示,即  $G = \frac{1}{R}$ 。电导的单位为  $S$ (西门子)。

电阻反映了导体的导电能力,是导体的客观属性,它的大小与导体的材料、长度以及导体横截面面积有关,还与导体所处的环境温度有关。实验证明,在一定温度下,导体的电阻与导体的长度成正比,与导体的横截面面积成反比,即

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1-9)$$

式中  $L$ ——导体的长度,  $m$ ;

$S$ ——导体的横截面面积,  $\text{m}^2$ ;

$\rho$ ——反映导体材料性质的物理量, 叫电阻率,  $\Omega \cdot \text{m}$ ;

$R$ ——导体的电阻,  $\Omega$ 。

电阻与温度的关系可以用电阻温度系数来表示。所谓电阻温度系数, 是指温度升高  $1^\circ\text{C}$  时电阻所产生的变化量与原电阻的比值。如果温度由  $t_1$  变到  $t_2$ , 导体电阻由  $R_1$  变到  $R_2$ , 则电阻温度系数  $\alpha$  为

$$\alpha = \frac{R_2 - R_1}{R_1(t_2 - t_1)} \quad (1-10)$$

式中  $\alpha$ ——电阻温度系数,  $^\circ\text{C}^{-1}$ 。

几种材料的电阻率及温度系数见表 1-2。

表 1-2 几种材料的电阻率及温度系数

材料名称	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	$\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$	材料名称	$\rho/(\Omega \cdot \text{m})$	$\alpha/^\circ\text{C}^{-1}$
银	$1.6 \times 10^{-8}$	0.003 6	铁	$10 \times 10^{-8}$	0.006
铜	$1.7 \times 10^{-8}$	0.004	碳	$35 \times 10^{-8}$	0.000 5
铝	$2.9 \times 10^{-8}$	0.004	锰铜	$44 \times 10^{-8}$	0.000 005
钨	$5.3 \times 10^{-8}$	0.002 8	康铜	$50 \times 10^{-8}$	0.000 005

**例 1-6** 已知电动机的绕组是铜线绕成, 在室温  $26^\circ\text{C}$  时测得电阻为  $1.25 \Omega$ , 运行 3 h 后测得电阻增加到  $1.5 \Omega$ 。问此时电动机绕组的温度是多少?

解: 已知  $R_1 = 1.25 \Omega$ ,  $R_2 = 1.5 \Omega$ ,  $t_1 = 26^\circ\text{C}$ 。查表  $\alpha = 0.004$ 。根据式(1-10)得

$$t_2 = \frac{R_2 - R_1}{R_1 \alpha} + t_1 = \left( \frac{1.5 - 1.25}{1.25 \times 0.004} + 26 \right) ^\circ\text{C} = 76^\circ\text{C}$$

答: 此时电动机的绕组温度是  $76^\circ\text{C}$ 。

## 二、欧姆定律

德国物理学家欧姆于 1827 年在大量实验的基础上总结出关于电压、电流和电阻三者关系的定律, 称欧姆定律, 应用于计算电路中的电压、电流和电阻三个物理量。

### 1. 部分电路欧姆定律

不含电源的一段电路称为部分电路。实验证明: 在一段电路中, 通过电路的电流大小与这段电路两端的电压大小成正比, 与这段电路的电阻值成反比。用公式表示为

$$|I| = \frac{|U|}{R}$$

电流流过电阻时, 将电能转换为其他形式的能量, 所以电阻上的电压与电流的方向总是一致的。当电阻电压、电流选择关联参考方向时, 欧姆定律表达式为

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U = IR \quad (1-11)$$

当电阻电压、电流选择非关联参考方向时, 欧姆定律表达式为



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

当电阻上的电流、电压是交流值时,式(1-11)、(1-12)中的字母  $U$ 、 $I$  应为小写字母。

欧姆定律是用金属导体做实验总结出来的,对电解液导电也基本适用,但对气体导电就不适用了。

例 1-7 列出图 1-14 所示各电路的电压、电流关系式,并求  $R$ 。

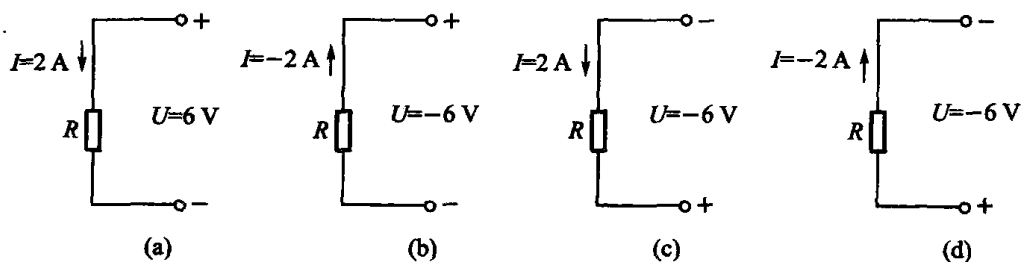


图 1-14 例 1-7 图

解: (a) 关联参考方向  $U = RI; R = \frac{U}{I} = \frac{6}{2} \Omega = 3 \Omega$

(b) 非关联参考方向  $U = -RI; R = -\frac{U}{I} = -\frac{6}{-2} \Omega = 3 \Omega$

(c) 非关联参考方向  $U = -RI; R = -\frac{U}{I} = -\frac{-6}{2} \Omega = 3 \Omega$

(d) 关联参考方向  $U = RI; R = \frac{U}{I} = \frac{-6}{-2} \Omega = 3 \Omega$

## 2. 全电路欧姆定律

一个含有电源的闭合电路称为全电路,如图 1-15 所示,图中点画线框内为电源内电路,  $r$  为电源的内电阻。实验证明:在全电路中,通过电路的电流与电源电动势的大小成正比,与电路的总电阻成反比,这就是全电路欧姆定律,用公式表示为

$$I = \frac{E}{R + r} \quad (1-13)$$

式中  $E$ ——电源的电动势, V;

$R$ ——外电路电阻,  $\Omega$ ;

$r$ ——内电路电阻,  $\Omega$ ;

$I$ ——电路中的电流, A。

由式(1-13)得

$$E = RI + rI = U + U_r \quad (1-14)$$

式中,  $U$  为外电路的电压降,也称路端电压;  $U_r$  为内电路电压降,也称内阻压降。所以,电源的电动势等于端电压与内阻压降之和。或者说,电源所具有的电能通过电路被负载吸收(转换成其他能)和内阻消耗(发热),这是能量守恒定律在全电路中的一种表述。

## 3. 电源的外特性

电源的外特性就是电源的端电压  $U$  与电流  $I$  的关系。由式(1-14)可得

$$U = E - U_r = E - rI \quad (1-15)$$

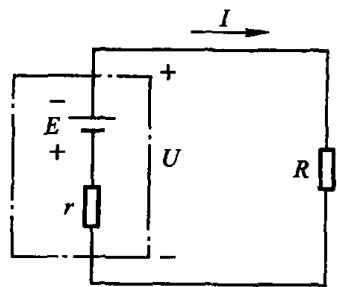


图 1-15 最简单的全电路