



教育部职业教育与成人教育司推荐教材
中等职业学校汽车运用与维修专业教学用书

技能型紧缺人才培养培训系列教材

实用汽车 电工电子技术

黄志荣 田光达 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育部职业教育与成人教育司推荐教材

中等职业学校汽车运用与维修专业教学用书

技能型紧缺人才培养培训系列教材

实用汽车电工电子技术

黄志荣 田光达 主编

杜德昌 纪荣霞 主审

高等教育出版社

内容简介

本书是中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一,是根据教育部、交通部、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会颁发的《汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训方案》,并参照相关行业岗位技能鉴定标准编写的。

全书内容分电工技术与电子技术两部分,主要有:直流电路、电磁学基本知识及其应用、正弦交流电、交流异步电动机及其控制电路、半导体基础知识、晶体管应用电路、数字电路基础知识等。各章还配有实验与实训指导和习题。

本书可作为中等职业学校汽车运用与维修专业教材,也可作为汽车行业从业人员岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

实用汽车电工电子技术/黄志荣,田光达主编. —北京:高等教育出版社,2005.6(2006重印)

ISBN 7-04-016516-3

I. 实... II. ①黄...②田... 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(2005)第029571号

策划编辑 李新宇 责任编辑 刘洋 封面设计 于涛 责任绘图 吴文信
版式设计 张岚 责任校对 胡晓琪 责任印制 尤静

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landradio.com
印 刷	北京铭成印刷有限公司		http://www.landradio.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×1092 1/16	版 次	2005年6月第1版
印 张	11	印 次	2006年12月第5次印刷
字 数	260 000	定 价	14.30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 16516-00

出版说明

2003年12月教育部、劳动和社会保障部、国防科工委、信息产业部、交通部、卫生部联合印发了《教育部等六部门关于实施职业院校制造业和现代服务业技能型紧缺人才培养培训工程的通知》。为了配合该项工程的实施,高等教育出版社开发编写了汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材。该系列教材已纳入教育部职业教育与成人教育司发布实施的《2004—2007年职业教育教材开发编写计划》,并经全国中等职业教育教材审定委员会审定,作为教育部推荐教材出版。

高等教育出版社出版的教育部推荐汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材(以下简称推荐系列教材),是根据教育部办公厅、交通部办公厅、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会最新颁布的《中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训指导方案》编写的。推荐系列教材力图体现:(以培养综合素质为基础,以能力为本位,把提高学生的职业能力放在突出的位置,加强实践性教学环节,使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者;职业教育以企业需求为基本依据,办成以就业为导向的教育,既增强针对性,又兼顾适应性;课程设置和教学内容适应企业技术发展,突出汽车运用与维修专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法,具有一定的先进性和前瞻性;教学组织以学生为主体,提供选择和创新的空間,构建开放的课程体系,适应学生个性化发展的需要。)推荐系列教材在理论体系、组织结构和阐述方法等方面均作了一些新尝试。主要特色有:

1. 以就业为导向,定位准确,全程设计,整体优化。
2. 借鉴国内外职业教育先进教学模式,突出项目教学,顺应现代职业教育教学制度的改革趋势,适应学分制。
3. 教材中各知识单元和技能模块都尽可能围绕与汽车紧密相关的案例来展开讲解,首先激发学生的兴趣,争取让学生每学习一个模块就掌握一项实际的技能。知识点以必需、够用为度。
4. 教材根据学习内容编写技能训练和考核项目,及时帮助学生强化所学知识和技能,缩短了理论与实践教学之间的距离,内在联系有效,衔接与呼应合理,强化了知识性和实践性的统一。
5. 有关操作训练和实训,参照国家职业资格认证标准或岗位技能考核标准,成系列按课题展开,考评标准具体明确,直观、实用,可操作性强。

推荐系列教材既注重了内在的相互衔接,又强化了相互支持,并将根据教学需求不断完善和提高。

查阅推荐系列教材的相关信息及配套教学资源,请登录高等教育出版社“中等职业教育教学资源网”(网址:<http://sv.hep.com.cn>)。

高等教育出版社

2004年12月

前 言

本书是中等职业学校汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训系列教材之一，是根据教育部、交通部、中国汽车工业协会、中国汽车维修行业协会颁发的《汽车运用与维修专业领域技能型紧缺人才培养培训方案》，并参照相关行业岗位技能鉴定标准编写的。

在教材编写过程中始终贯彻降低理论深度，扩大知识面和加强应用性的原则，摒弃了以往电工与电子技术通用教材旧的教学模式，突出了电工与电子知识在汽车领域应用的职教特色，注意培养学生应用知识和解决问题的能力。

强化实验和实训，目的是既可提高学生的实验技能和学习兴趣，又可为后续汽车电气等专业课夯实基础。

本书各章配有实验与实训指导和习题，总教学时数为120学时，打“*”号的内容，供教学单位选用，建议学时方案见下表。

序 号	内 容	学 时 数			
		合计	讲授	实验与实训	机动
1	直流电路	28	20	8	
2	电磁学基本知识及其应用	12	10	2	
3	正弦交流电	10	8	2	
4	交流异步电动机及其控制电路	14	12	2	
5	半导体基础知识	16	10	6	
6	晶体管应用电路	24	18	6	
7	数字电路基础知识	10	8	2	
机 动		6			6
总 计		120	86	28	6

本书由吉林航空工程学校黄志荣、田光达任主编，潘玉红、朱福成、王伟军、杨健参编。具体分工为黄志荣编写第1章，王伟军编写第2章，田光达编写第3、5章，杨健编写第4章，潘玉红编写第6、7章，朱福成编写各章的实验与实训，全书由黄志荣、田光达统稿。

教育部聘请山东省教学研究室杜德昌、济南市交通职工中专纪荣霞审阅了本书，高等教育出版社聘请吉林航空工程学校柳阳明审稿，对本书提出了许多宝贵的修改意见，编者在此表示衷心的感谢。

由于编者的学识和水平有限，书中难免存在缺点和疏漏，恳请使用本书的广大读者批评指正。

编者

2004年11月

目 录

第1章 直流电路	1	3.3 单相正弦交流电路	55
1.1 电路的基本结构	1	3.4 三相正弦交流电路	57
1.2 电路的基本物理量	2	本章小结	59
1.3 欧姆定律	5	习题	61
1.4 导体电阻及电阻元件	7	实验六 正弦交流电路认识	61
1.5 电路的状态	9	第4章 交流异步电动机及其控制	
1.6 简单电路	11	电路	63
1.7 基尔霍夫定律	16	4.1 三相异步电动机的基本结构	63
1.8 电路中电位的计算	18	4.2 三相异步电动机的工作原理	65
1.9 电桥电路	21	4.3 三相异步电动机的铭牌	68
1.10 电容器	23	4.4 单相异步电动机	70
本章小结	26	4.5 常用低压电器	72
习题	28	4.6 三相异步电动机的电气控制电路	78
实验一 电阻串联、并联及混联电路		本章小结	81
的测量	30	习题	82
实验二 线性电阻、非线性电阻的		实验七 三相异步电动机直接起动	
电压与电流关系	33	控制实训	82
实验三 电阻性电路故障检查	35	第5章 半导体基础知识	84
实验四 直流电桥	37	5.1 半导体基础知识	84
第2章 电磁学基本知识及其应用	38	5.2 半导体二极管	85
2.1 磁的基本物理量	38	5.3 半导体三极管	88
2.2 电流的磁效应和磁路	39	5.4 晶闸管	92
2.3 磁场对电流的作用	41	5.5 其他半导体器件简介	95
2.4 电磁感应	43	本章小结	97
2.5 电磁铁和继电器	46	习题	97
本章小结	48	实验八 常用仪器、仪表的使用	99
习题	49	实验九 二极管和三极管的识别与	
实验五 电磁继电器	50	检测	100
第3章 正弦交流电	51	实验十 三极管的开关作用实验	101
3.1 正弦交流电的基本知识	51	第6章 晶体管应用电路	103
3.2 正弦交流电的表示方法	53	6.1 二极管整流电路	103

6.2 滤波及稳压电路.....	106	7.1 数制与码制.....	140
6.3 三极管基本放大电路.....	109	7.2 晶体管开关电路.....	141
6.4 放大电路的分析方法.....	111	7.3 基本逻辑门电路.....	143
6.5 分压式稳定工作点偏置电路.....	113	*7.4 编码器.....	146
6.6 多级放大器和负反馈放大器.....	114	*7.5 译码器和显示器件.....	148
*6.7 低频功率放大器.....	116	*7.6 触发器.....	150
*6.8 直接耦合放大器.....	118	*7.7 计数器.....	153
6.9 集成运算放大器.....	120	*7.8 寄存器.....	155
*6.10 正弦波振荡器.....	123	7.9 集成电路及其应用.....	156
本章小结	125	本章小结	160
习题	126	习题	160
实验十一 整流电路	129	实验十六 TTL与门 或门、非门、 与非门	161
实验十二 单管放大电路	130	实验十七 计数器	163
实验十三 互补对称式功率放大器 ...	132	实验十八 译码器	165
实验十四 运算放大器的信号运算 关系测试	134	实验十九 译码与显示	167
实验十五 LC 正弦波振荡电路	137	参考书目	169
第7章 数字电路基础知识	139		



学习目标

1. 理解电路的电位、电压、电动势等几个基本物理量。
2. 掌握电路的欧姆定律及电阻元件的电压、电流关系。
3. 掌握电源的断路、短路、有载三种状态及电源的外特性。
4. 掌握电阻负载串联、并联、混联电路的特点和计算方法。
5. 理解基尔霍夫定律，掌握电路中某点电位的意义及计算。
6. 掌握电桥的平衡条件。
7. 了解电容器充放电过程的特点。理解电容 C 的含义。

1.1 电路的基本结构

1.1.1 电路的组成

电流流经的路径称为电路。电路一般是由电源、负载（用电器）、导线和控制装置等四部分组成，如图 1.1 所示。

电源是给电路中的负载提供电能的设备。在汽车电路中的两个电源是蓄电池和发电机，它们的作用分别是分别将化学能和机械能转换成电能，再通过导线供给电路中负载使用。

负载是电路中的各种用电设备，它将电能转换成机械、热、光、声等其他形式的能。例如，汽车启动系统中的起动机工作时把电能转换成机械能，完成对发动机的启动。点火装置是将电能转换成热能，点燃气缸内的可燃混合气。

导线用于连接电源和负载，担负着传输电能和信号的作用。常用导线是用铜或铝材料制成的，所以电阻一般都很小（可忽略不计），在汽车上，为了便于安装、连接和保护导线不被损坏，一般都把多条导线包扎起来形成导线束。

控制装置的作用是接通和断开电路，或保护电路不被破坏。如：汽车电路中的各种电器开关、继电器和熔断器。

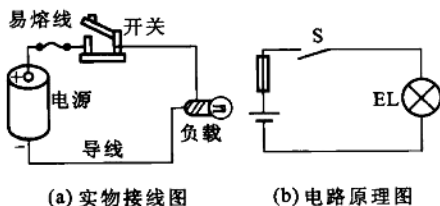


图 1.1 电路图

1.1.2 电路图

电路图有实物接线图和电路原理图之分,如图 1.1 所示。实物接线图虽然直观、易懂,但绘制麻烦。电路原理图是把电路中的实物用国家统一颁布的简单图形符号表示和绘制出来的电路连接图。在汽车电器电路维修中经常使用的是电路原理图。

1.1.3 汽车电路的单线制

电源和用电设备之间是用两根导线构成回路的,这种连接方式称为双线制。在汽车上,为了节省导线和便于安装、维修,电源和用电设备之间通常只用一根导线连接,另一根导线则由发动机、车架等金属机体代替而构成回路。这种连接方式称为单线制,如图 1.2 所示。采用单线制时,电源(汽车上是蓄电池和发电机)的一端必须可靠地接到车架上,俗称搭铁,用符号“⊥”表示。按电源搭铁的极性可分为正极搭铁和负极搭铁。由于负极搭铁对无线电干扰较小,所以世界上绝大多数国家包括我国的汽车都采用负极搭铁。

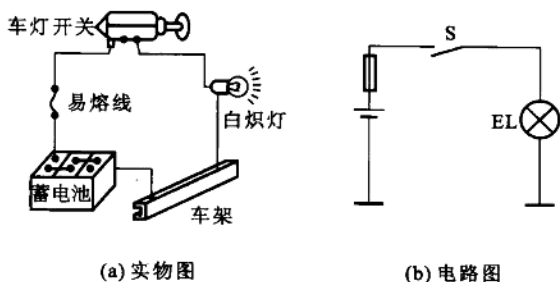


图 1.2 汽车电路的单线制

1.2 电路的基本物理量

1.2.1 电流

电流是电荷的定向移动形成的。在金属导体中,电流实质上是带负电荷的自由电子在电源电场力的作用下运动所形成的。而在导电液(如蓄电池内的电解液)中,电流是带正、负电荷的离子在电源力的作用下向相反方向运动而形成的。

习惯上规定正电荷移动的方向为电流的方向。因此带负电荷的自由电子和负离子移动的方向与电流的方向相反,如图 1.3 所示。电流不但有大小,而且还有方向。大小和方向都不随时间变化的电流称为稳定电流或直流。例如:由电池、蓄电池作电源所产生的电流就是直流电流。

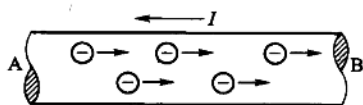


图 1.3 电流的方向

电流的大小等于单位时间内通过导体横截面的电荷量。

记作

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

式中 I ——电流,单位为安[培],用 A 表示。

Q ——电荷量,单位为库[仑],用 C 表示。

t ——时间，单位为秒，用 s 表示。

在汽车电器系统中往往遇到几安、几十安甚至更大的电流，如汽油发动机起动时，蓄电池需向发动机提供 $200 \sim 600 \text{ A}$ 的电流，柴油发动机需要 $500 \sim 1\,000 \text{ A}$ 的起动电流。而在电子控制系统中常遇到较小的电流，是以毫安(mA)或微安(μA)单位计算的。它们之间的关系为

$$1 \text{ A} = 10^3 \text{ mA} = 10^6 \mu\text{A}$$

测量电流大小的仪表称为电流表，测量前应将挡位放在直流电流(DCA)挡位，然后根据被测量电流的大小，选择适当的量程。在无法估计电流大小时，应遵循先用较大量程试测的原则。测量时要注意表笔接入电路的极性，“+”端表笔接电流的流入端，“-”端表笔接电流的流出端。

1.2.2 电位和电压

我们知道，管道里水流的形成只有水是不行的，还必须要有水位或水压的作用。同样，导体里的电流的形成只靠导体中的自由电子是不行的，还必须要有电场力的作用。这实际上是电场力移动电荷克服导体(或负载)的阻力而作功。衡量电场力作功本领的物理量是电位和电压。

1. 电位

电路中某点的电位在数值上等于电场力将单位正电荷从该点移动到参考点(零电位点)所作的功，见图 1.4。若以 B 点作为参考点，则 A 点的电位就是指电场力将单位正电荷从 A 点经白炽灯移动到 B 点所作的功。电位常用 V 表示，于是电路中某点 A 的电位为

$$V_A = \frac{W}{Q} \quad (1.2)$$

式中， W 是电场力将正电荷所带电荷量 Q 从 A 点移到参考点所作的功，它的单位是焦耳，简称焦(J)；电荷量 Q 的单位是库(C)；电位 V 的单位则是 J/C ，或称为伏特，简称伏(V)。

说电路中某点电位是多少，要先指定一个计算电位的起点，这个起点就是零电位点(即参考点)。参考点选择位置不同，电路中各点的电位大小也不同。参考点一经选定，电路中各点的电位值就是确定值。其中电位比参考点高的点，电位为正值；电位比参考点低的点，电位为负值。

在汽车电路中常以发动机的金属机体或车架为参考点(电位为零)，电位的概念相当重要，在电子电路中经常要分析电路某点的电位高低。

2. 电压

电路中某两点间的电压，就是该两点间的电位差。它实际上是电场力将单位正电荷从某点移动到另一点所作的功。显然，电路中某两点间的电压大小与参考点的选择无关。电压用字母 U 表示。例如 A 、 B 两点间的电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1.3)$$

电压的单位也用伏(V)表示，计量较大的电压时用千伏(kV)；计量较小的电压时用毫伏(mV)。

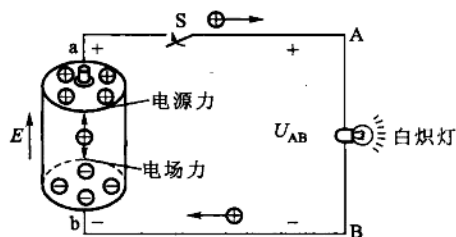


图 1.4 电路中的电压与电动势

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

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点，即沿着电压的方向电位是逐渐降低的。

1.2.3 电动势

为了在电路中维持连续不断的电流，必须把从电源正极经负载流到电源负极的正电荷，再经电源的内部重新搬回到电源的正极，以保持电源两端对外电路的电压。能完成上述任务的是电源内部的电源力，它和电场力方向相反，如图 1.4 所示。

所谓电动势就是在电源内部，电源力克服电场力的阻力，将单位正电荷从电源的负极，经电源内部移动到电源的正极所作的功，常用 E 表示。如果电源力移动电荷所作的功为 W_E ，那么

$$E = \frac{W_E}{Q} \quad (1.4)$$

电动势的单位与电压和电位的单位相同，都是伏(V)。因为电源力的方向与电场力相反，所以电动势的方向规定为沿电源内部从低电位点(负极)指向高电位点(正极)，即电动势的方向是电位升高的方向。显然，电源的电动势方向与电压方向相反。

1.2.4 电功和电功率

1. 电功

根据电路中电压的定义式(1.3)及电流的定义式(1.1)可知，电场力移动电荷所作的功为

$$W = U_{AB} Q = UIt \quad (1.5)$$

这就是电功表达式，即电流在某段电路上所作的功，等于这段电路两端的电压、电路中的电流和通电时间的乘积。

其中电功的单位是焦(J)，但在电工实际应用中常以千瓦时(kW·h)(俗称度)作为电功的单位。1 千瓦时(即 1 度电)表示功率为 1 千瓦的用电器工作 1 小时所消耗的电能。

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3.6 \times 10^6 \text{ J}$$

[例 1.1] 一台 25 英寸彩电的额定功率是 120 W，每度电的电费为 1 元，若每天开机 5 小时，一个月(30 天)需多少费？

[解] 电费 = 千瓦数 × 每天用电小时 × 天数 × 电费单价
 $= 0.12 \times 5 \times 30 \times 1 \text{ 元}$
 $= 18 \text{ 元}$

2. 电功率

电场力在单位时间内所作的功，称为电功率。用字母 P 表示。即

$$P = \frac{W}{t}, \text{ 而 } W = UIt, \text{ 所以 } P = UI \quad (1.6)$$

上式表明，电功率等于电压与电流的乘积。公式中电压 U 的单位用伏(V)，电流 I 的单位用安(A)，电功率 P 的单位是瓦(W)。电功率的单位还有千瓦(kW)， $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$ 。

通常电器设备上都标有电压、电流、电功率等数据，这些数值均是指额定工作状态下的

数值。若超出这些数值使用,设备将缩短寿命,甚至很快损坏。

例如,白炽灯上标有 220 V、60 W 表示此灯是用在 220 V 的电源电压下,消耗的电功率为 60 W。若接在 380 V 电源上会立即烧坏,若接在 110 V 电源电压上,则消耗的电功率远低于 60 W,所以白炽灯很暗。

3. 电流的热效应

电流通过导体时,由于导体具有一定的电阻而发热,使电能转变成热能。这种现象称为电流的热效应。

实验证明,电流通过导体所产生的热量和电流的平方、导体电阻及通过电流的时间成正比,即

$$Q = I^2 R t \quad (1.7)$$

式中 Q ——热量,单位为焦[耳],用 J 表示。

I ——电流,单位为 A。

R ——电阻,单位为 Ω 。

t ——时间,单位为 s。

电流的热效应用途相当广泛。汽车上照明灯是利用电流产生的热使灯丝达到白炽状态而发光的;熔断器是利用电流的热效应熔断熔丝切断电源的;汽车上电热式机油压力表、水温表的指针偏转是依靠通过加热线圈的电流产生的热量,使双金属片受热变形,从而驱动并控制指针偏转,指示出不同的机油压力值和发动机冷却水温度值的。然而电流的热效应也有不利的一面,如汽车电路中的导线都有一定的电阻,在通电时会发热,若截面选择过小,电阻大,易造成发热严重,会加速导线外皮绝缘材料的老化,严重时会引起漏电或短路事故;若截面选择过大,则浪费材料,不经济。在选择导线截面时,常用到电流密度“ J ”这一物理量,它表示导线单位面积通过的电流大小,即

$$J = \frac{I}{A} \quad (1.8)$$

其中 I ——电流,单位为 A。

A ——导线截面,单位为 mm^2 。

J ——电流密度,单位为 A/mm^2 。

[例 1.2] 桑塔纳轿车远光灯的电流为 5 A,一般选导线的电流密度为 $4 \text{ A}/\text{mm}^2$,则应采用多大截面的导线?

[解] 由式(1.8)可得 $A = \frac{I}{J} = \frac{5}{4} \text{ mm}^2 = 1.25 \text{ mm}^2$

根据计算结果,还应留有余量,所以采用截面积为 1.50 mm^2 的导线为宜。

1.3 欧姆定律

一个电阻在电压或电动势的作用下,就会有电流通过。欧姆定律是确定电路中电流、电压(或电动势)和电阻之间关系的定律。它是电工学中最基本的定律之一。

1.3.1 部分电路欧姆定律

不含电源的一段电路称为部分电路,如图 1.5 所示。实验证明,在部分电路中,流过电阻的电流与电阻两端加的电压成正比,与电阻成反比。这个结论称为欧姆定律,即

$$I = \frac{U}{R} \quad (1.9)$$

或

$$U = IR \quad (1.10)$$

其中, U 为电压(V), R 为电阻(Ω), I 为电流(A)。

由式(1.10)可见,当通过电阻 R 中的电流一定时,电阻值愈大,加于电阻两端的电压愈高;电阻值愈小,加于电阻两端的电压愈低。也可以说,通过电阻的电流一定时,电阻愈大,在电阻 R 上产生的电压降愈大;电阻愈小,在电阻 R 上产生的电压降愈小。

【例 1.3】一白炽灯上标注着 220 V、100 W,该灯的额定工作电流为多大?其发光时的热态电阻是多少?若将它接在 110 V 的电源上,消耗的电功率是多少?

【解】根据电功率公式

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{100}{220} \text{ A} = 0.45 \text{ A}$$

$$R = \frac{U_N}{I_N} = \frac{220}{0.45} \Omega = 489 \Omega$$

根据欧姆定律公式 $U = IR$ 或 $I = \frac{U}{R}$,电功率的计算公式还有另外两种形式

$$P = UI = I^2 R$$

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

题中白炽灯所接的电源电压变为 110 V,所以

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{110^2}{489} \text{ W} \approx 25 \text{ W}$$

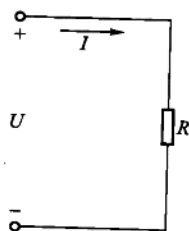


图 1.5 部分电路

1.3.2 全电路欧姆定律

含有电源的闭合电路称为全电路。如图 1.6 所示,全电路是由电源内部电路(简称内电路)和外电路两部分组成。

对于外电路运用欧姆定律 $U = IR$ 。

实验证明:在全电路中,通过电路的电流与电源电动势 E 成正比,与电路的总电阻 $(R + R_0)$ 成反比,即

$$I = \frac{E}{R + R_0} \quad (1.11)$$

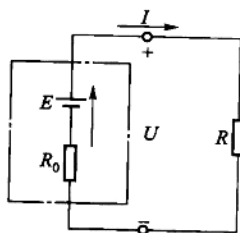


图 1.6 简单全电路

上式表达的规律,称为全电路欧姆定律。式中电动势单位用伏(V),内、外电阻 R_0 和 R 单位用欧(Ω),电流单位用安(A)。

1.3.3 电源内阻对输出电压的影响

我们知道, 电源端电压的大小直接关系着各用电设备的工作是否正常。随着电源输出电流的增加, 内阻会影响端电压的大小, 其原因可用全电路欧姆定律来分析, 将式(1.11)写成

$$E = IR + IR_0 \quad (1.12)$$

即 $E = U + U_0 \quad (1.13)$

其中, U 称为外电压, U_0 称为内电压, 可见电源电动势等于内、外电压之和。

由式(1.12)和式(1.13)可得

$$U = E - IR_0 \quad (1.14)$$

式中, $U = IR$ 是外电路的端电压, 简称路端电压。若忽略连接导线的电阻, R 就是负载的电阻, 则 U 就是负载的端电压。

反映电源两端电压 U 与电路中电流 I 之间的关系曲线, 称为电源的外特性曲线, 简称电源的外特性。一般情况下, 电源的 E 和 R_0 都是常量, 按式(1.14)绘出的电源外特性曲线, 是一条直线, 如图 1.7 所示。内阻愈大的电源供电时, 内阻 R_0 上的压降愈大, 其对外特性愈陡, 即端电压下降越严重; 内阻愈小, 外特性愈接近于水平直线, 即端电压下降较小。

汽车用的蓄电池内阻一般都很小, 当蓄电池由于长期不用或长期充电不足, 发生极板硫化时, 内阻显著增大。用内阻显著增大的蓄电池去起动发动机, 因在蓄电池内阻上压降过大, 造成起动机电

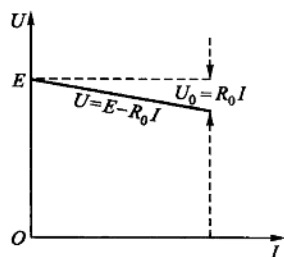


图 1.7 电源的外特性

1.4 导体电阻及电阻元件

1.4.1 导体电阻

事物都是一分为二的, 导体能够导电, 但同时对电流又有阻碍作用。这种阻力是自由电子在定向移动时与导体的原子发生碰撞而产生的。通过实验可知, 在一定的温度下导体电阻的大小与导体的材料长度和截面积有关, 用公式表示为

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (1.15)$$

式中 R ——导体的电阻, 单位为 Ω 。

L ——导体的长度, 单位为 m 。

S ——导体的截面积, 单位为 mm^2 。

ρ ——导体的电阻率, 单位为 $\Omega \cdot mm^2/m$ 。

对于同一种导体, 当温度变化时, 其电阻率也不同, 通常用温度系数 α 表示导体电阻受温度影响的程度。 α 越大的导体电阻受温度的影响越大, 反之受温度影响越小。表 1.1 为几种

常用导体材料的电阻率和温度系数。

表 1.1 常用导体材料的电阻率和温度系数

材料名称	电阻率 $\rho(20^{\circ}\text{C})$ $/(\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m})$	电阻温度系数 α $(0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C})/(1/^{\circ}\text{C})$	用途
银	0.016 5	0.003 6	导线镀银
铜	0.017 5	0.004	导线、主要的导电材料
铝	0.028 3	0.004	导线
铂	0.106	0.003 93	热电偶或电阻温度计
钨	0.055	0.005	白炽灯的灯丝，电器的触头
康铜	0.44	0.000 005	标准电阻
锰铜	0.42	0.000 006	标准电阻
镍铬铁合金	1.12	0.000 13	电炉丝
铝铬铁合金	1.3 ~ 1.4	0.000 05	电炉丝
碳	10	-0.000 5	电刷

从表 1.1 中可以看出，除了贵金属银以外，铜、铝的电阻率比较小，是较好的导电材料，因此电路中导线均由铜或铝来制造。

相反，绕制电阻器的电阻丝就要采用锰铜丝或康铜丝等合金丝。因为它们除了具有很好的温度稳定性外，另一个特点就是具有比铜要大几十倍的电阻率，这样可以减小电阻元件的体积。

1.4.2 电阻元件

利用不同导体具有不同的电阻率的特性，制成用来限制或调节电路电流的元件，称为电阻器(简称电阻)，常用的电阻器一般可以分为固定电阻器和可变电阻器两大类，外形及电路符号如图 1.8 所示。

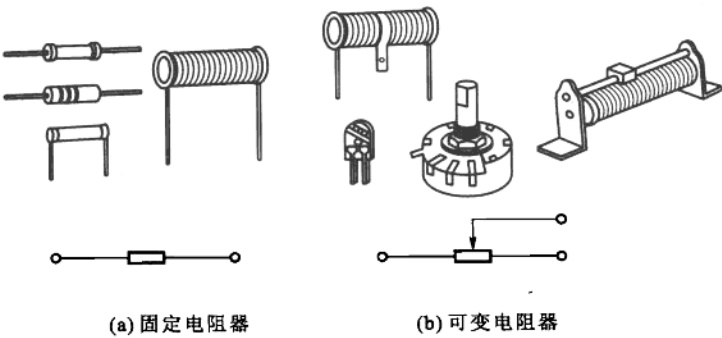


图 1.8 电阻器实物及符号

各种电阻器在汽车电路中应用较广，其中可变电阻器还可接成电位器形式，通过外力改变

滑动触头的位置，达到改变输出电压的目的。因此，当今汽车上不少传感器是利用电位器的原理制成的。

实际应用中大多数电阻元件的阻值基本都是恒定的，即不随电压、电流的变化而变化，所以可以应用欧姆定律求解。这样的电阻称为线性电阻。我们把线性电阻两端的电压与通过电阻的电流关系用图形表示，则线性电阻的伏安特性是一条通过坐标原点的直线，如图 1.9(a) 所示。

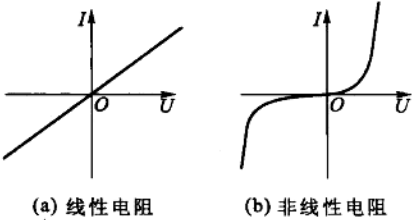


图 1.9 电阻的伏安特性

在电子电路中，半导体二极管和半导体热敏电阻的阻值不是一个常数，它们的伏安特性是一条曲线。如图 1.9(b) 所示为半导体二极管的伏安特性，当通过不同的电流，或加上不同的电压时，就会有不同的阻值（即电阻值不是常数），这种电阻称为非线性电阻。对于非线性电阻，因其阻值不是一个固定常数，所以分析计算时，一般只能根据已知量用图解法求得未知量。本章所涉及的电阻均指线性电阻。

1.5 电路的状态

在实际用电的过程中，根据不同的需要和不同的负载情况，电路有开路（断路）、短路和有载三种状态。

1.5.1 开路（断路）

电路处于开路状态，可分为控制性开路和故障性开路两种。控制性开路是根据需要，人为地将开关断开，使电路切断。而故障性开路是意想不到发生的断路。

根据全电路欧姆定律，电路处于开路时的特征可用下列式子描述

$$\left. \begin{aligned} I &= 0 \\ U &= E \\ U_L &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.16)$$

由于电路断路，电流为零，电源不输出电能。当然负载也不消耗电能，即电路不发生能量转换。

在汽车电路发生断路故障时，通常根据电路开路的特征（ $U_L=0$ 、 $U=E$ ），用试灯或万用表（直流电压挡）去寻找电路的断点。参见图 1.10，方法是：将试灯一端（或电压表负表笔）接在电源负极，另一端依次触及电路接线点 a、b、c、d。如果灯亮说明此接线点至电源正极间无断路，如果灯不亮说明此接线点与前一接线点间有断路。用这种办法逐步缩小查找范围，直至找到断点。

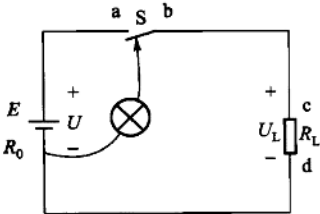


图 1.10 用试灯寻找电路故障点

1.5.2 短路

当电源两端被电阻接近于零的导体接通时,这种情况称为电源被短路,如图 1.11 所示。图中折线是指明短路点的符号。

产生短路的原因往往是由于导线绝缘损坏引起的。错误的接线或误操作也常导致电源短路。

当电源两端被短路时,若忽略导线的电阻,全电路中只存在电源的内阻 R_0 。由于内阻 R_0 很小,所以短路时电流 I_s 很大,如果不及时切断电路,很大的短路电流将烧毁电源、导线以及回路中接的电流表、开关等,甚至引起火灾。所以,电源短路是一种严重事故,应严加防止。

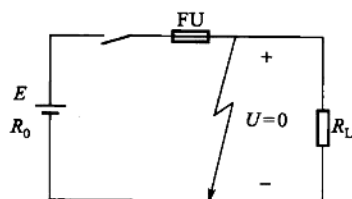


图 1.11 有短路故障的电路

为避免电源和线路免遭短路事故造成的损坏,通常在回路中接入熔断器 FU,如图 1.11 所示。熔断器中的熔丝是由低熔点的铅锡合金丝做成的,在发生短路时,很大短路电流产生的热量会使熔断丝立即熔断,从而保护了电源和线路免于烧毁。

根据全电路欧姆定律,电源发生短路事故时,电路的特征可用下列式子描述

$$\left. \begin{aligned} I_s &= \frac{E}{R_0} \\ U &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1.17)$$

需要说明的是:在汽车电路故障诊断维修工作中,为了快速寻找故障所在的部位,经常采用短路的方法,将某两接柱短路。为了和电源短路事故相区别,常把这种短路称为短接。

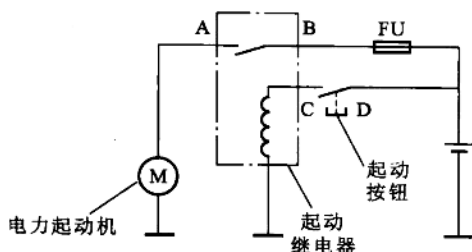


图 1.12 汽车起动系统原理简图

如图 1.12 为汽车起动系统原理简图。若按下起动按钮,起动机不转。经查电源、熔断器及搭铁线均无故障。于是就可采用短接法查找故障所在位置。具体操作步骤如下:

