



高职高专汽车类规划教材
国家技能型紧缺人才培养培训系列教材

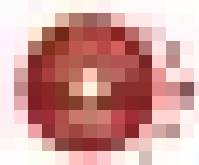


汽车电工电子技术

刘鸿健 主编



化学工业出版社



机械工业出版社
地址：北京市西城区百万庄大街24号
邮编：100037
电话：(010) 68995199
网址：http://www.cmpbook.com



汽车电工电子技术

第2版



机械工业出版社



高职高专汽车类规划教材
国家技能型紧缺人才培养培训系列教材



汽车电工电子技术

刘鸿健 主编

闵兰 副主编



化学工业出版社

·北京·

本书根据汽车类专业的需求,按照“按需补新”的原则,除传统电工电子技术外,增加现代电子技术在汽车上的应用。全书分为三篇十二章,第一篇为电工技术基础,内容包括直流电路、正弦交流电路、磁路及变压器、电动机;第二篇为电子技术基础,内容包括常用半导体器件及应用、集成运算放大器、电源变换、数字电路;第三篇为现代电子技术应用,内容包括汽车常用传感器原理、汽车单片机控制技术简介、车载无线电技术简介、汽车电力驱动技术简介。书中每章有学习要求、本章小结、阅读材料和习题,配套相关实训项目,并附有部分习题参考答案。

本书可作为高职高专汽车类专业以及类似专业的电工电子技术课程教材,也可供汽车维修和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术/刘鸿健主编. —北京:化学工业出版社,2009.7

高职高专汽车类规划教材. 国家技能型紧缺人才培养培训系列教材

ISBN 978-7-122-05549-1

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

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第069384号

责任编辑:韩庆利

文字编辑:徐卿华

责任校对:王素芹

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京永鑫印刷有限责任公司

装订:三河市万龙印装有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张20¼ 字数528千字 2009年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686)

售后服务:010-64518899

网址:<http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:31.80元

版权所有 违者必究

前 言

汽车从它的发明开始，“电”及“电的衍生物”始终是它的重要组成部分。电动汽车早在 1873 年就诞生，比汽油发动机汽车还早十几年，而汽油发动机的诞生也是靠电才能点火的。汽车在百年的发展过程中，始终是同时代高科技的综合载体。尤其是在近几十年内，由于计算机控制技术和现代无线电信息技术的发展，使汽车进入全面的计算机控制和无线电信息服务阶段。电控燃油喷射、电控点火、电控怠速控制、电控自动变速、电控制动与防滑、电控防碰撞、电控动力转向、电控主动悬架、车载无线电通信、车载视音频系统、车载 GPS 定位与电子地图导航、车辆 GPS 定位与管理信息系统、信息显示系统、车载网络系统、电动汽车、混合动力汽车等，都与“电”及“电的衍生物”有密切关系。

在目前高职高专汽车类专业的课程体系里，传统电工电子技术课作为电学方面的基础课，其教学内容已不能满足后续课程的需要。受过度强调“实用技能”的影响，已经不是“够用为度”的问题，而是“要用没有”的问题，忽略了必要的理论知识和高新科技知识。

为此，我们认为应对高职高专汽车类专业的电工电子技术教材进行必要的改进，改进的原则是“按需补新，够用为度”，为后续课程服务。

改进的教材内容包括三个方面，即将全书分为三篇，简介如下。

第一篇 电工技术基础。分为四章，第一章 直流电路，第二章 正弦交流电路，第三章 磁路及变压器，第四章 电动机。对传统电工技术内容按“够用为度”选择，增加电气元件介绍；在电动机部分除直流电动机、三相异步电动机和单相异步电动机外，按照“按需补新”原则，增加步进电动机和开关磁阻电动机，前者是在发动机怠速控制等方面要使用的控制电动机，后者是电动汽车的新型动力电动机。

第二篇 电子技术基础。分为四章，第五章 常用半导体器件及应用，第六章 集成运算放大器，第七章 电源变换，第八章 数字电路。重点改进的是第七章，该章传统的名称和内容是直流稳压电源。改进原因：一是现代电源已不仅是交流变直流，而是根据需要可以互相变换；二是因为在汽车电力驱动技术中，都要用电源变换技术来控制速度和转矩。第七章电源变换的内容包括电力电子器件简介、交流一直流变换、直流一直流变换、直流一交流变换、交流一交流变换。

第三篇 现代电子技术应用。本篇是按照“按需补新”的原则增加的，分为四章，第九章 汽车常用传感器原理，第十章 汽车单片机控制技术简介，第十一章 车载无线电技术简介，第十二章 汽车电力驱动技术简介。其目的是使学生了解现代电子技术在汽车上的应用，这些知识在多数汽车类专业的教学计划内不作为课程开设，但是后续的汽车电控技术又需要这些知识，因此，在汽车电工电子技术教材中增补这些基础知识很有必要，使学生了解现代电子技术、现代科学技术与现代汽车的密切关系，如无线电波与卫星通信、GPS 全球卫星定位、车辆定位管理系统与车载电子地图、汽车电力驱动等技术在现代汽车上的应用。

刘鸿健提出本教材的改进方案、制定编写大纲并任主编，闵兰任副主编。刘鸿健编写第

一章、第四章、第十章、第十一章、第十二章，实训三~十一、十六、十七；闵兰编写第五章、实训十二~十四；陈睿炜编写第七章、第九章；陈亚梅编写第八章，实训一、二、十八；王彪编写第六章、实训十五；吴顺丽编写第三章；万孜编写第二章。书后附有各章部分习题答案。全书由刘鸿健统稿并对有关章节进行补充与修改。

在本教材编写立项前期的调研中，得到多个汽车实训基地、汽车营销和维修企业的经理、技师和工人师傅的宝贵意见，在此向他们深表谢意。

在本教材编写中，参考引用相关文献，在此向其作者深表感谢。

在本教材的编写过程和前期的教改实践中，始终得到信阳职业技术学院机电系的大力支持。教材中新增的知识内容，主编曾以课堂补充、讲座、考察等形式在学生中讲授，受到学生的欢迎。刘玉清副教授、李翔副教授、冯伟副教授对编写大纲和初稿提出许多宝贵意见，宋世军等几位青年教师协作整理和校对稿件，在此一并表示感谢。

最后还应感谢我们深爱的学生，是他们对新知识的渴求促使我们对教材进行改进。

由于编者水平有限，特别是“按需补新”，对所补相关学科的新知识，在理解、掌握、和选取上，难免有不妥和疏漏之处，殷切希望使用本书的老师、同学和其他读者提出批评、指正和改进意见，以便今后修订提高。

本书有配套电子教案，可赠送给用本书作为授课教材的院校和老师，如有需要，可发邮件至 hqlbook@126.com 索取。

编 者
2009 年 4 月

目 录

第一篇 电工技术基础	1
第一章 直流电路	2
第一节 电路的基本概念	2
一、电路组成	2
二、电路的基本物理量	3
三、电路的三种状态	6
第二节 电阻、电容、电感	7
一、电阻元件	7
二、电容元件	11
三、电感元件	16
第三节 电路的基本定律	17
一、欧姆定律	17
二、基尔霍夫定律	18
第四节 电压源与电流源	21
一、电压源	21
二、电流源	21
三、电压源与电流源的等效变换	22
第五节 电路的常用分析方法	23
一、电路中电位的概念及计算	23
二、叠加原理	25
三、戴维南定理	26
第六节 汽车电源、用电器及控制方式	26
一、汽车电气系统的特点	26
二、汽车电源	27
三、用电器	27
四、控制方式	28
本章小结	28
阅读材料——汽车电子技术	28
习题一	29
第二章 正弦交流电路	32
第一节 正弦交流电的基本概念	32
一、正弦交流电的概念	32
二、正弦交流电的三要素	33
三、正弦交流电的表示法	34
第二节 单相正弦交流电路	37
一、电阻元件的交流电路	37
二、电感元件的交流电路	38
三、电容元件的交流电路	40
四、RLC 串联交流电路	42
五、电路中的串联谐振	43
第三节 三相正弦交流电	44
一、三相电源	45
二、三相四线制供电	45
三、三相负载的连接	47
四、三相电路的功率	51
本章小结	52
阅读材料——直流电与交流电的应用	53
习题二	53
第三章 磁路及变压器	56
第一节 磁场与铁磁性材料	56
一、磁场的基本概念	56
二、磁性材料的磁性能	57
三、磁路及磁路欧姆定律	59
四、直流电磁铁与交流电磁铁	60
第二节 变压器	62
一、变压器的用途、结构和分类	62
二、变压器的工作原理	63
三、变压器的主要参数	64
四、常用和特殊变压器简介	65
第三节 汽油发动机点火系统简介	67
一、汽油发动机点火系统的功能	67
二、点火系统的类型	67
三、点火系统的基本要求	68
四、点火变压器——点火线圈	68
本章小结	68
阅读材料——电气火灾消防知识	69
习题三	71
第四章 电动机	72
第一节 三相异步电动机	72
一、三相异步电动机的基本结构	72
二、交流异步和同步电动机的转动原理	73

三、三相异步电动机的运行状态	76	结构	88
四、三相异步电动机的铭牌和选用	77	二、步进电动机和开关磁阻电动机的 转动原理	89
五、三相异步电动机的启动、反转、调速 与制动	78	三、步进电动机和开关磁阻电动机的 驱动电源	90
第二节 单相异步电动机	81	第五节 常用低压控制电器与控制电路	90
一、单相异步电动机的转动原理	81	一、手动电器	90
二、单相异步电动机的正反转控制和 调速	82	二、自动电器	92
第三节 直流电动机	82	三、三相异步电动机的基本控制电路	96
一、直流电动机的转动原理	82	第六节 电动机在汽车上的应用	98
二、直流电动机的基本结构	84	一、汽车启动机及控制电路	98
三、直流电动机的分类、特性和用途	85	二、步进电动机在发动机怠速控制中的 应用	99
四、直流电动机的启动、调速和制动	86	本章小结	100
五、直流永磁无刷电动机	87	阅读材料——直线电动机	101
第四节 步进电动机和开关磁阻电动机	88	习题四	102
一、步进电动机和开关磁阻电动机的 结构	88	第二篇 电子技术基础	103
第二章 常用低压控制电器	81	第五章 常用半导体器件及应用	104
一、常用低压控制电器的作用	81	第一节 半导体的基本知识	104
二、常用低压控制电器的选择	82	一、本征半导体及导电特性	104
三、常用低压控制电器的使用	83	二、N型半导体和P型半导体的形成	105
四、常用低压控制电器的故障排除	84	第二节 半导体二极管	106
五、常用低压控制电器的安全使用	85	一、PN结的形成及单向导电特性	106
六、常用低压控制电器的维护	85	二、二极管的结构和符号	107
七、常用低压控制电器的测试	86	三、二极管的伏安特性	107
八、常用低压控制电器的应用	87	四、二极管的主要参数	108
九、常用低压控制电器的选型	87	五、二极管分类及简介	108
十、常用低压控制电器的使用	88	第三节 半导体三极管	111
十一、常用低压控制电器的维护	88	一、三极管的基本结构和符号	111
十二、常用低压控制电器的测试	89	二、三极管的放大原理	112
十三、常用低压控制电器的应用	89	三、三极管的特性曲线	113
十四、常用低压控制电器的选型	89	四、三极管的主要参数	114
十五、常用低压控制电器的使用	90	五、三极管分类及简介	115
十六、常用低压控制电器的维护	90	第四节 晶闸管	116
十七、常用低压控制电器的测试	90	一、晶闸管的结构和符号	117
十八、常用低压控制电器的应用	91	二、晶闸管的工作原理	117
十九、常用低压控制电器的选型	91	三、晶闸管的伏安特性	118
二十、常用低压控制电器的使用	91	四、晶闸管的主要参数	119
二十一、常用低压控制电器的维护	92	五、晶闸管分类及简介	119
二十二、常用低压控制电器的测试	92	第五节 基本放大电路	121
二十三、常用低压控制电器的应用	92	一、基本放大电路	121
二十四、常用低压控制电器的选型	93	二、射极输出器	124
二十五、常用低压控制电器的使用	93	三、多级放大电路与耦合	126
二十六、常用低压控制电器的维护	93	四、差动放大电路	128
二十七、常用低压控制电器的测试	93	五、功率放大电路	128
二十八、常用低压控制电器的应用	94	第六节 基本开关电路	130
二十九、常用低压控制电器的选型	94	一、二极管开关电路	130
三十、常用低压控制电器的使用	94	二、三极管开关电路	130
三十一、常用低压控制电器的维护	95	三、晶闸管开关电路	131
三十二、常用低压控制电器的测试	95	四、汽车点火开关电路简介	132
三十三、常用低压控制电器的应用	95	本章小结	132
三十四、常用低压控制电器的选型	96	阅读材料——微机控制点火	133
三十五、常用低压控制电器的使用	96	习题五	133
三十六、常用低压控制电器的维护	96	第六章 集成运算放大器	135
三十七、常用低压控制电器的测试	97	第一节 集成运算放大器概述	135
三十八、常用低压控制电器的应用	97	一、集成运算放大器的组成	135
三十九、常用低压控制电器的选型	97	二、集成运算放大器的主要参数	136
四十、常用低压控制电器的使用	98	三、放大电路中的负反馈	136
四十一、常用低压控制电器的维护	98	第二节 集成运算放大器的基本特性及 应用	140
四十二、常用低压控制电器的测试	98	一、集成运算放大器的基本特性	140
四十三、常用低压控制电器的应用	99	二、集成运算放大器的应用电路	141
四十四、常用低压控制电器的选型	99	本章小结	151
四十五、常用低压控制电器的使用	99	阅读材料——集成电路的发展	151
四十六、常用低压控制电器的维护	100	习题六	151
四十七、常用低压控制电器的测试	100	第七章 电源变换	153
四十八、常用低压控制电器的应用	100	第一节 概述	153
四十九、常用低压控制电器的选型	101	一、电源变换的概念和分类	153
五十、常用低压控制电器的使用	101	二、电力电子器件简介	153
五十一、常用低压控制电器的维护	101	第二节 交流—直流变换 (AC—DC)	154
五十二、常用低压控制电器的测试	102	一、整流电路	154
五十三、常用低压控制电器的应用	102		

二、滤波电路	159	第三节 组合逻辑电路	182
三、稳压电路	161	一、逻辑代数	182
第三节 直流—直流变换 (DC—DC)	163	二、组合逻辑电路的分析	182
一、直流—直流变换原理	164	三、基本逻辑运算和定律	182
二、换能继流电路	165	四、组合逻辑电路的设计方法	183
三、PWM 型调压稳压电路	165	五、编码器	184
第四节 直流—交流变换 (DC—AC)	167	六、译码器	184
一、逆变电路的工作原理	167	第四节 触发器	186
二、正弦脉宽调制型单相变频电路	168	一、基本 RS 触发器	187
三、正弦脉宽调制型三相变频电路	170	二、同步 RS 触发器	187
第五节 交流—交流变换 (AC—AC)	171	三、JK 触发器	188
一、交流调压电路	171	四、D 触发器	190
二、交流变频电路	172	第五节 计数器	191
本章小结	173	一、二进制计数器	191
阅读材料——电力电子技术	173	二、十进制计数器	192
习题七	174	三、集成计数器	193
第八章 数字电路	175	第六节 寄存器	194
第一节 概述	175	一、数码寄存器	194
一、脉冲信号	175	二、移位寄存器	195
二、数制与编码	176	第七节 数模与模数转换	195
第二节 基本逻辑门电路	177	一、D/A 转换器	195
一、与逻辑及与门电路	177	二、A/D 转换器	197
二、或逻辑及或门电路	179	本章小结	198
三、非逻辑及非门电路	179	阅读材料——音响分频器	198
四、复合门电路	180	习题八	199
五、集成逻辑门电路	181		
第三篇 现代电子技术应用	203		
第九章 汽车用传感器原理	204	一、自动控制的基本概念	218
第一节 传感器概述	204	二、计算机控制技术	220
一、传感器概念	204	第二节 计算机与单片机概述	221
二、传感器的分类	205	一、计算机的发展概况	221
三、汽车传感器的性能要求	206	二、微型计算机和单片机的概念	222
第二节 汽车常用传感器原理	206	三、MCS-51 单片机的组成	223
一、进气压力传感器原理	206	四、MCS-51 单片机的信号引脚	225
二、温度传感器原理	208	五、MCS-51 单片机的指令系统	226
三、空气流量传感器原理	209	第三节 汽车电子控制单元简介	227
四、转速传感器原理	211	一、汽车电子控制单元 ECU	227
五、压电式爆燃传感器	213	二、汽车电子控制单元的控制原理	228
六、传感器接口电路	214	第四节 汽车车载网络技术简介	229
本章小结	215	一、车载网络基础知识	230
阅读材料——智能传感器	216	二、几种典型的车载网络	232
习题九	216	本章小结	235
第十章 汽车单片机控制技术简介	217	阅读材料——智能技术	236
第一节 自动控制概述	217	习题十	236

第十一章 车载无线电技术简介	238	一、实训目的	265
第一节 无线电基础知识	238	二、实训要求	265
一、无线电波	238	实训一 常用电工工具的使用	266
二、无线电波发送与接收	240	实训二 导线的选择、连接方法与绝缘处理	269
第二节 无线电广播与通信	241	实训三 万用表的使用	273
一、无线电广播	241	实训四 电源外特性的测量	275
二、无线电通信	244	实训五 直流电位的测量	276
第三节 无线电定位与导航	248	实训六 几种常用电子仪器的使用	278
一、无线电定位与导航	248	实训七 观察正弦交流电的相位差	282
二、GPS全球定位系统	250	实训八 RLC串联谐振电路	283
三、车辆定位管理系统与车载电子地图	251	实训九 三相四线制供电及负载的连接	285
本章小结	252	实训十 变压器的简单测试	287
阅读材料——遥控遥测技术	254	实训十一 三相异步电动机的使用	288
习题十一	254	实训十二 半导体二极管和三极管的简单测试	290
第十二章 汽车电力驱动技术简介	256	实训十三 单管交流放大电路	292
第一节 汽车电力驱动技术概述	256	实训十四 单管开关电路	293
一、电力驱动车辆概述	256	实训十五 集成运算放大器的信号产生应用	294
二、纯电动汽车	257	实训十六 桥式整流和滤波电路	296
三、混合动力汽车	258	实训十七 三端集成直流稳压电源	298
四、燃料电池汽车	258	实训十八 计数器、译码器和显示器	299
第二节 车用动力电池	259	部分习题参考答案	304
一、车用动力电池的主要性能指标	259	附录	313
二、常用车用动力电池	260	附录一 常用电工学新旧图形、文字符号对照表	313
第三节 汽车电力驱动系统	261	附录二 电阻器标称值系列	318
一、汽车电力驱动系统概述	261	附录三 部分半导体分立器件参数	319
二、汽车用驱动电动机	262	附录四 部分半导体集成电路器件参数	320
三、驱动电路控制方式	262	参考文献	322
本章小结	264		
阅读材料——飞轮电池	264		
习题十二	264		
实训	265		

第一篇 电工技术基础

第一章 直流电路

学习要求

熟悉电路的组成和作用；熟练掌握电路的基本概念及基本物理量；掌握电能与电功率的计算及电路三种工作状态的特点；熟悉电阻元件、电容元件、电感元件的分类、主要参数、特性和应用；掌握基尔霍夫定律并能熟练运用；熟悉电压源和电流源及其等效变换；掌握电位的概念与计算方法；理解叠加原理并能运用其分析、计算线性电路；了解戴维南定理；熟悉汽车直流电路的特点。

本章以直流电路为主线，学习电路的组成、作用和电路模型等电路的基本概念；复习并加深理解电路的基本物理量；学习常见电路元件的特性参数，电路的基本定律和电路的基本分析方法及汽车直流电路的特点等内容。

第一节 电路的基本概念

一、电路组成

1. 电路组成

电路是电流通过的路径，通常由电源、负载和中间环节三部分组成。图 1-1(a) 所示是最简单的电路。其中，电源是提供电能的装置，它把其他形式的能转换为电能，如汽车发电机将机械能转换成电能，汽车蓄电池将化学能转换成电能等；负载是取用电能的装置，它把电能转换成其他形式的能，如汽车前照灯将电能转换成光能，汽车启动机中的直流电动机将电能转换成机械能等；中间环节是连接电源和负载所必需的部分，其作用是传输、控制和分配电能，如导线、开关及各种控制、保护装置等。

2. 电路的作用

电路的作用有两个：一是实现电能的传输和转换；二是实现信号的处理。各类电力系统主要用于电能的传输和转换，一般这类电路的电压高，电流和功率较大，俗称“强电”系统。而像闭路电视网络、计算机网络和通信网络这类电路，主要用于信号处理，一般功率小、电压低，俗称“弱电”系统。

3. 电路图

组成电路的各种器件称为电路元件或电子器件。为了便于分析和计算，常把实际电路元件理想化。如灯泡的主要性能是电阻性，其电感性可以忽略不计，可以理想化为一个纯电阻元件。在一定条件下忽略其次要特性，只考虑其主要特性的电路元件称为理想电路元件。电阻器、电炉、电烙铁等实际器件都可以用理想电阻元件来表示；电感线圈可以忽略其分布电

容和电阻,用理想电感元件来表示;电容器可以忽略其漏电阻和分布电感,用理想电容元件来表示。忽略电阻的导线,称为理想导线。显然,理想化电路元件只有单一的性能。表征电路元件性能的量,称为元件的参数。常用的理想电路元件有电阻元件、电感元件、电容元件和电源等。

每一个电路元件都有规定的图形符号和文字符号,常用电工电子元件的图形符号和文字符号见附录一。由电路元件的图形符号和文字符号组成的电路称为实际电路的电路图或电路模型。如图 1-1(b) 就是图 1-1(a) 的电路图。

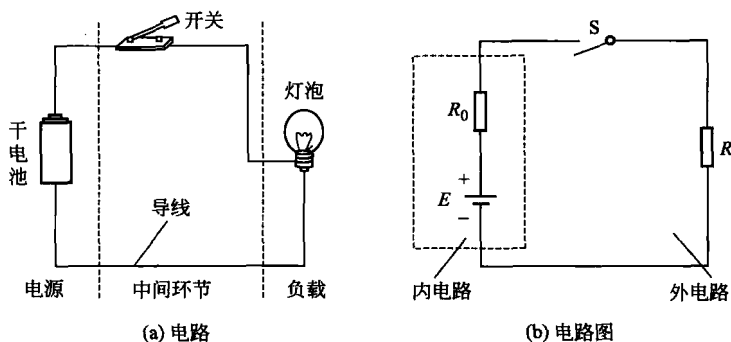


图 1-1 电路与电路图

为了分析方便,通常将一个电路分为两部分,电源内部的电路称为内电路,内电路的电阻称内电阻;电源外部的电路称为外电路,外电路的电阻称外电阻,如图 1-1(b) 所示。

二、电路的基本物理量

1. 电流

电荷的定向移动形成电流。规定电流的实际方向为正电荷定向运动的方向。单位时间内通过导体某一横截面积的电量为,称为电流强度,简称电流。

不随时间变化的电流称为恒定电流或直流电流,用大写字母 I 表示。设在时间 t 内,通过导体某一横截面积的电量为 Q , 则有

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

随时间而改变的电流用小写字母 i 表示。设在极短的 Δt 时间内,通过导体某一横截面积的电量为 Δq , 则有

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

在国际单位制中,时间的单位为秒 (s),电量的单位为库仑 (C),电流的单位为安培,简称安 (A)。电流的辅助单位有毫安 (mA) 和微安 (μA) 等。

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

实验证明:在一条无分支的电路,电流总是处处相等,称为电流的连续性原理。

一般电子元件的工作电路在微安与毫安之间,电焊用电的电流可达几十安至几百安;汽油发动机的启动电流为 200~600A,某些柴油机的启动电流达 1000A。

2. 电压

电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功称为 a、b 两点间的电压,即

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{q} \quad (1-3)$$

电压的实际方向规定为：正电荷在电场力作用下的移动方向，即电位降低的方向。故电压也常称为电压降，下标 a 、 b 表明电压的方向由 a 指向 b 。

电压的单位是伏特，简称伏（V），辅助单位有千伏（kV）、毫伏（mV）和微伏（ μV ）等。

$$1\text{kV}=10^3\text{V}=10^6\text{mV}=10^9\mu\text{V}$$

汽车用直流电的电压，一般为 12V，也有 24V 的；点燃汽缸内汽油混合气的脉冲电压要达到 15~25kV。

3. 电动势

电源电动势是表示电源内非静电力做功能力的物理量，在数值上等于把单位正电荷从负极经电源内部移至正极时，非静电力所做的功。设将正电荷 q 从电源负极移至正极时，非静电力所做的功为 W_E ，则电动势 E 的大小为

$$E=\frac{W_E}{q} \quad (1-4)$$

电动势的单位为 V。其实际方向是由电源负极指向正极，与电源电压的实际方向相反，用实线箭头或正、负极性表示，如图 1-1(b) 所示。

4. 电流、电压和电动势的参考方向

对于复杂电路，一段电路的电流、电压的实际方向很难预先判断出来。为了分析、计算方便，常常给它们假设一个方向作为分析电路的参考方向，这个假设的电流、电压方向就称为参考方向（或称正方向）。在电路中电流的参考方向常用实线箭头表示，如图 1-2 所示，或采用双下标表示，如 I_{ab} ，表示电流的参考方向由 a 指向 b 。电压的参考方向有三种表示方式：①采用正（+）、负（-）极性表示，从正极性端指向负极性端的方向就是电压的参考方向，如图 1-2 所示；②采用实线箭头表示，如图 1-2 所示；③采用双下标表示，如 U_{ab} 。若电流、电压的实际方向与参考方向一致，则为正值；反之，为负值。参考方向一经选定不要再随意更改。需要指出，电流、电压的实际方向是客观存在的，它不会因为如何假定而改变。

一般直流电源的极性已知，所以就选它的实际方向作为参考方向，这时电动势一定为正值。若不知电源的实际方向，同样可以假设一个参考方向，这并不影响它的实际方向。

电流、电压和电动势的参考方向可任意选择。但由于电流、电压的实际方向对于负载而言，二者相同，故常将负载上的电流和电压的参考方向选得一致，称为关联参考方向，如图 1-2(a) 所示。图 1-2(b) 为非关联参考方向。应当注意，电源上的关联参考方向是电源电压和电流方向相反。

实际运算中常采用关联参考方向，这样，在电路图上只需标出电流或电压参考方向中的一个即可。

5. 电能与电功率

电路接通后便开始了能量的转换。电荷通过负载时，电场力做正功，电荷的电能减少，被负载吸收或消耗；电荷通过电源时，电场力做负功，即非静电力做功，电荷的电能增加，电源释放能量。功和被转换的能量在数值上是相等的。根据能量守恒定律，在某一电路中电源产生的电能与负载吸收或消耗的电能相等。

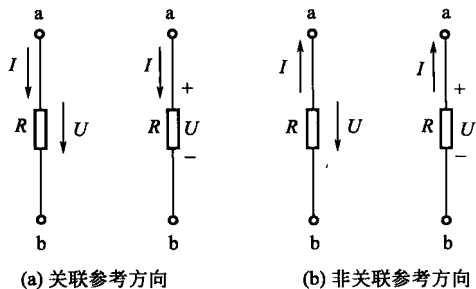


图 1-2 参考方向

在电源内部，电源产生的电能即非静电力移动电荷 q 所做的功 W_E ，由式(1-4)可知， $W_E = Eq$ ，而 $q = It$ ，因此，在时间 t 内，电源产生的电能为

$$W_E = EIt \quad (1-5)$$

在外电路上，负载吸收或消耗的电能即电场力移动电荷 q 所做的功 W ，由式(1-3)可知， $W = Uq$ ，而 $q = It$ ，因此，在时间 t 内，负载吸收或消耗的电能为

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

电能的单位是焦耳 (J)，电能较大时，用千瓦时 ($\text{kW} \cdot \text{h}$) 作单位。 $1\text{kW} \cdot \text{h}$ 就是 1 度电，即

$$1 \text{度} = 1\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{W} \times 3600\text{s} = 3.6 \times 10^6 \text{J}$$

单位时间内电源发出或负载吸收的电能，叫作电功率，简称功率。电源的功率为

$$P_E = \frac{W_E}{t} = EI \quad (1-7)$$

负载的功率为

$$P = \frac{W}{t} = UI \quad (1-8)$$

如果负载是电阻元件，根据欧姆定律，电功率还可以表示为

$$P = I^2 R = \frac{U^2}{R} \quad (1-9)$$

功率的单位是瓦特 (W)，功率较大时，用千瓦 (kW) 作单位。

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

【例 1-1】 在图 1-3 中，已知汽车蓄电池的电动势 $E = 12\text{V}$ ，电源内阻 $R_0 = 0.5\Omega$ ，导线电阻 $R_1 = R_2 = 0.2\Omega$ ，一个车载用电器的电阻 $R = 5.1\Omega$ 。试计算各部分的功率，并指出电源产生的功率与回路内消耗的总功率在数值上有什么关系。

解 根据全电路欧姆定律，回路中的电流为

$$I = \frac{E}{R + R_0 + R_1 + R_2} \quad (1)$$

所以
$$I = \frac{12}{5.1 + 0.5 + 0.2 + 0.2} = 2\text{A}$$

电源产生的功率

$$IE = 2 \times 12 = 24\text{W}$$

负载消耗或取用的功率

$$I^2 R = 2^2 \times 5.1 = 20.4\text{W}$$

电源内阻上损耗的功率

$$I^2 R_0 = 2^2 \times 0.5 = 2\text{W}$$

线路上损耗的功率

$$I^2 (R_1 + R_2) = 2^2 \times (0.2 + 0.2) = 1.6\text{W}$$

计算结果表明：回路内消耗的总功率为 $20.4 + 2 + 1.6 = 24\text{W}$ ，与电源产生的功率相等。式(1)也可以写成 $E = IR + IR_0 + I(R_1 + R_2)$ ，两边同乘以 I ，可得

$$IE = I^2 R + I^2 R_0 + I^2 (R_1 + R_2) \quad (2)$$

式(2)就是功率平衡方程式。它表明，在一个闭合电路中，电源产生的功率与负载取用的功率、电源内阻和导线电阻上损耗的功率总是平衡的。它是能量守恒定律的体现。

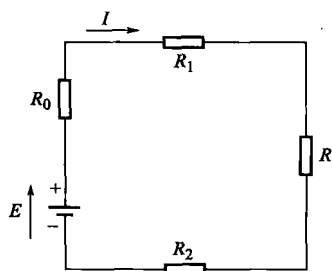


图 1-3 例 1-1 图

6. 电气设备的额定值

电气设备的额定值是指导用户正确使用电气设备的技术数据,通常标在设备的铭牌上或在说明书中给出。为了给电气设备提供正常工作条件和尽量发挥其工作能力,对电压、电流和功率都有一定的限额值,称为电气设备的额定值。额定电压、额定电流和额定功率分别用 U_N 、 I_N 和 P_N 表示。对于电阻性负载, $P_N = U_N I_N$ 。

各种电气设备只有按照额定值使用才最安全可靠、经济合理;超过额定值运行时,设备将遭到毁坏或缩短使用寿命;小于额定值时,设备的能力得不到充分的发挥,有些电气设备(如电动机),电压太低时也可能烧坏。所以使用电气设备之前必须仔细阅读其铭牌和说明书。

由于电压、电流和功率之间有一定关系,因此某些设备的额定值并不一定全部标出。灯泡、日光灯管标有 220V、40W,给出的是额定电压和额定功率,其额定电流可由 $I_N = P_N / U_N$ 求出。一只电阻标有 200Ω、1W,给出的是电阻值和额定功率,其额定电流可由 $I_N = \sqrt{P_N / R}$ 求出。

【例 1-2】 一电阻器标有 1kΩ、2W,使用时其电流和电压不能超过多大数值?

解

$$I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R}} = \sqrt{\frac{2}{1 \times 10^3}} \approx 0.045 \text{ A} = 45 \text{ mA}$$

$$U_N = \sqrt{P_N R} = \sqrt{2 \times 1 \times 10^3} \approx 44.7 \text{ V}$$

电流不能超过 45mA,电压不能超过 44.7V。

三、电路的三种状态

电路有负载、空载和短路三种状态。

1. 负载工作状态

如图 1-4(a) 所示,电源与负载接通,称为电路的负载状态,又称通路状态。此时,电源向负载提供的电流为 $I = E / (R + R_0)$,负载两端的电压为

$$U = IR = E - IR_0 \quad (1-10)$$

由于电源存在内阻,电压 U 将随负载电流的增加而降低,如图 1-4(b) 所示,称它为电源的外特性曲线。其斜率与电源内阻有关。内阻越小,直线越平;内阻越大,直线一端下降越大。

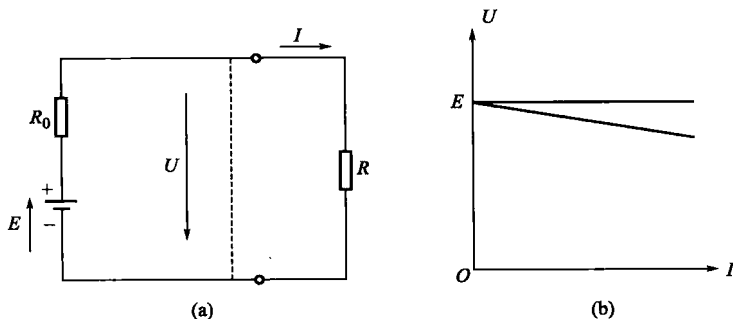


图 1-4 电路的负载状态

将式(1-10)两边同乘以 I , 可得电路的功率平衡方程式 $IU = IE - I^2 R_0$ 。其中电源输出的功率 $P_o = IU$, 电源产生的功率 $P_E = IE$, 电源内阻上消耗的功率 $P_{R_0} = I^2 R_0$ 。

2. 空载状态

如图 1-5 所示,外电路与电源断开,称为电路的空载状态,又称开路状态。此时,电路

中的电流 $I=0$ ，电源端电压等于电动势，即 $U=E$ ，电源的输出功率 $P_o=0$ 。

3. 短路状态

由于工作不慎或负载的绝缘破损等原因，致使电源两端被导体连通，称为电路的短路状态，简称短路，如图 1-6 所示。此时，电路的端电压 $U=0$ ，负载的电流 $I=0$ ，负载的功率即电源的输出功率 $P_o=0$ ，通过电源的电流达到最大，称为短路电流 I_s ，即 $I_s=E/R_0$ ，电源内阻 R_0 上消耗的功率 $P_{R_0}=I_s^2 R_0$ 。

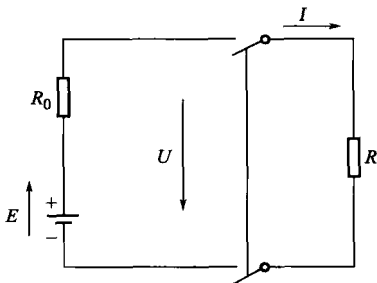


图 1-5 电路的空载状态

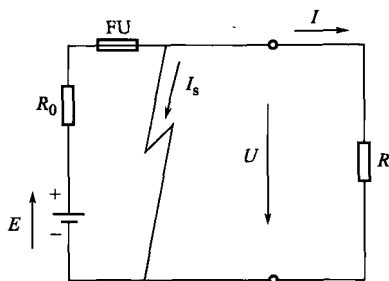


图 1-6 电路的短路状态

电源发生短路时，因为电源内阻很小， I_s 大大超过额定电流，以致电源和短路电流所经过的线路毁坏，甚至导致火灾事故的发生。为了防止短路所造成的危害，通常在电路中接入熔断器 (FU)，如图 1-6 所示。一旦发生短路，熔断器立即烧断，从而切断电路，保护电源和设备。

第二节 电阻、电容、电感

一、电阻元件

1. 电阻与电导

物质对电流的阻碍作用叫作电阻。电阻是常见的电路参数，用 R 或 r 表示。电阻的单位是欧姆，简称欧 (Ω)，辅助单位有千欧 ($k\Omega$) 或兆欧 ($M\Omega$) 等。

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

电阻的倒数称为电导，用 G 表示，即

$$G=\frac{1}{R} \quad (1-11)$$

电导的单位是西门子 (S, $1S=1\Omega^{-1}$)。

导体的电阻还与温度有关，在一定温度变化范围内，一般金属导体的电阻随温度升高而增加，它们的关系为

$$R_{t_2}=R_{t_1}[1+\alpha(t_2-t_1)] \quad (1-12)$$

式中， t_2 为导体所处的温度， $^{\circ}C$ ； t_1 为参考温度（一般设定为 $20^{\circ}C$ 或 $0^{\circ}C$ ）； R_{t_1} 是导体在温度为 t_1 时的电阻， Ω ； R_{t_2} 是导体在温度为 t_2 时的电阻， Ω ； α 为导体电阻的温度系数。

电阻的温度系数 α 反映材料的电阻受温度影响的程度，不同的导电材料，电阻的温度系数不一样。金属导体的阻值随温度的升高而增大，半导体材料的电阻随温度的升高而减小，其温度系数为负温度系数。利用不同材料的电阻对温度的敏感变化，可制成温度传感器。现