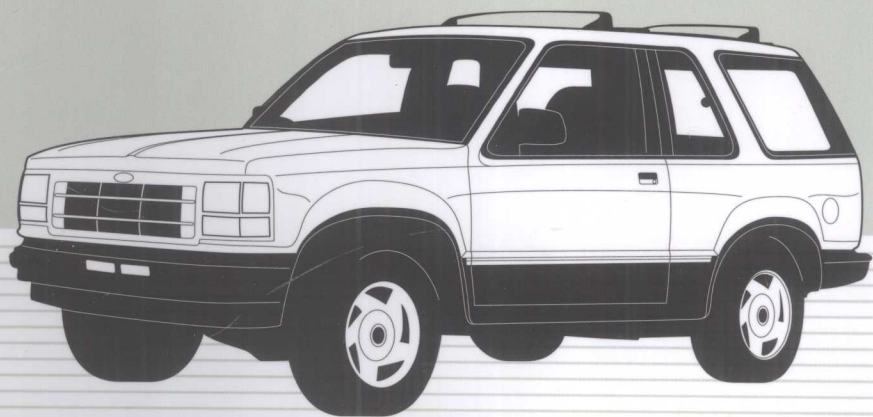


普通高等院校汽车工程类规划教材

汽车电工电子技术

王芳荣 王 鼎 主 编
王幼林 王丽华 副主编
陈宗穆 主 审



清华大学出版社

普通高等院校汽车工程类规划教材



汽车电工电子技术

王芳荣 王 鼎 主 编
王幼林 王丽华 副主编
陈宗穆 主 审

清华大学出版社

北京

内 容 简 介

本书在满足教育部高等院校电工学课程指导组颁布的非电类“电工学”课程的基本要求的同时,从汽车类相关专业的知识需求出发,对传统内容进行了删减和修改,适当增加了一些电动汽车的新知识。同时在内容结构上也更利于学习者自学。本书内容包括电路分析基础、正弦交流电路、铁心线圈与变压器、汽车中的电机、常用半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、数字电子电路和功率电子电路。

本书内容通俗易懂,实用性强,并将电工电子技术与汽车技术紧密结合。本书既可以作为高等院校汽车类相关专业的本科、专科、高职等读者使用,也可以作为远程教育、自学考试等汽车类专业的读者使用,还可供其他非电类专业读者和工程技术人员参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术/王芳荣,王鼎主编. —北京:清华大学出版社,2009.11

(普通高等院校汽车工程类规划教材)

ISBN 978-7-302-21287-4

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 181821 号

责任编辑:张占奎

责任校对:刘玉霞

责任印制:李红英

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:20.75 字 数:500千字

版 次:2009年11月第1版 印 次:2009年11月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:38.00元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话:(010)62770177 转 3103 产品编号:034655-01

前 言

本书是吉林大学电工电子教学中心的同事们及省内兄弟院校的同行,在近年来的电工学课程教学改革实践的基础上,为搞好精品课建设且更加符合汽车类专业的技术需求而编写的。

本书在满足教育部高等院校电工学课程组颁布的非电类“电工学”课程的基本要求的同时,在内容结构和知识安排上都采用一些新颖的写法,从而使本书具有如下特色。

1. 本书在教材体系上虽然仍与通用的“电工电子技术”一致,但为了更符合汽车类专业的技术需求,采用了如下三种创新手段:①在具体内容的表述或举例上与汽车技术紧密结合。②在多章的最后都新增加了一节“电工电子知识在汽车中的应用”。③独辟一章,其题目为“汽车中的电机”,这不仅使本书具有密切结合汽车工业技术传授电工电子技术的特点,也可使学习者更好地完成从理论学习到工程应用的转换。同时填补了某些汽车类专业课程设置中从通用的“电工电子技术”跨越到汽车电控课的知识断层。

2. 本书尤其针对远程教育及自学考试等教育形式的特点,在内容结构上做了精心安排。在教材的每章前,都写有“学习要求”,使学习者能够充分了解学习中要掌握的主要知识要点,使学习目标明确,从而做到心中有数。而在每章之后都有重点与难点答疑、练习题和自我测验题三个板块。可使学习者对所学知识有一个深入的理解与提高,也更突出了学习者的主体性和主动性,进一步对学习效果有一个正确的评估,从而做到心中有数。

3. 随着石油资源的不断减少以及人们环保意识的提高,如何使汽车更节能或者开发电动汽车以及其他新能源汽车已不可避免地越来越受到人们的重视。而体现在这其中的汽车电工电子新技术内容的教材却几乎没有。作者从今后汽车电工电子技术的发展方向上,把功率电子电路、电动汽车的驱动电机及驱动控制等新型汽车所需的电工电子知识编入其中。这在汽车类“电工电子技术”教材建设上可谓先行一步。

全书由王芳荣、王鼎担任主编,王幼林、王丽华担任副主编,陈宗穆担任主审。其中担任编写工作的有:王幼林(1,2章)、王芳荣(3,4,5,6,7章)、梁亮(8.1节,8.2节)、雷治林(8.3节)、王鼎(内容简介,前言)、赵梅(8.4节)、王丽华(8.5节,8.6节,8.7节,8.8节,第8章重点与难点答疑和练习题)、王丹(9.1节,9.2节,9.3节)、吴丽波(9.4节,9.5节,第9章重点与难点答疑和练习题)、廖方圆(附录)。

本书经湖南大学陈宗穆教授在百忙中抽出时间审阅,并提出了修改意见,在此表示衷心的感谢。

由于编者的学识水平有限,再加之时间上的原因,书中难免有不妥和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编 者

2009年8月

目 录

第 1 章 电路分析基础	1
1.1 电路的基本物理量及参考方向	1
1.1.1 电流及其参考方向	1
1.1.2 电压及其参考方向	2
1.1.3 电动势及其参考方向	3
1.1.4 电位	3
1.1.5 电功率	3
1.2 电路的工作状态	4
1.2.1 有载工作状态(通路)	4
1.2.2 开路	5
1.2.3 短路	5
1.3 理想电路元件	6
1.3.1 理想无源元件	6
1.3.2 理想有源元件	10
1.4 基尔霍夫定律	12
1.4.1 基尔霍夫第一定律(KCL)	12
1.4.2 基尔霍夫第二定律(KVL)	13
1.5 电路的基本定律	14
1.5.1 叠加原理	14
1.5.2 戴维南定理	15
1.6 电路的暂态分析	17
1.6.1 暂态分析的基本概念与换路定律	17
1.6.2 RC 电路的暂态过程	19
1.7 电路分析在汽车中的应用	22
1.7.1 串联电路的应用	22
1.7.2 电桥电路的应用	23
1.7.3 电容充、放电的应用	24
重点与难点答疑	25
练习题	26
自我测验题	30

第 2 章 正弦交流电路	35
2.1 正弦交流电的基本概念	35
2.1.1 周期与频率	36
2.1.2 最大值与有效值	36
2.1.3 相位与相位差	37
2.2 正弦交流电的相量表示法	38
2.2.1 相量图表示法	38
2.2.2 相量(复数)表示法	39
2.2.3 基尔霍夫定律的相量形式	41
2.3 单一理想元件的交流电路	41
2.3.1 电阻电路	41
2.3.2 电感电路	43
2.3.3 电容电路	45
2.4 RLC 串联的交流电路	47
2.4.1 电压与电流之间的关系	47
2.4.2 功率关系	49
2.4.3 功率因数	50
2.5 阻抗的串联与并联	52
2.5.1 阻抗的串联	52
2.5.2 阻抗的并联	53
2.6 正弦交流电路的分析方法	53
2.6.1 相量解析法	54
2.6.2 相量图法	55
2.7 正弦交流电路中的谐振	56
2.7.1 串联谐振	56
2.7.2 并联谐振	59
2.8 三相交流电路	60
2.8.1 三相交流电源	60
2.8.2 负载星形联接的三相电路	62
2.8.3 负载三角形联接的三相电路	65
2.8.4 三相电路的功率	66
重点与难点答疑	67
练习题	69
自我测验题	72
第 3 章 铁心线圈与变压器	75
3.1 磁路	75
3.1.1 磁路的基本概念	75

3.1.2	铁磁材料的磁性能	76
3.1.3	磁路的欧姆定律	77
3.2	交流铁心线圈	79
3.2.1	电压、电流和磁通的关系	79
3.2.2	铁心线圈的能量损耗	80
3.2.3	交流铁心线圈的应用——交流电磁铁	81
3.3	变压器	82
3.3.1	变压器的基本结构	83
3.3.2	变压器的工作原理	83
3.3.3	变压器的外特性与额定值	86
3.3.4	变压器绕组的同极性端及其测定	87
3.4	直流铁心线圈在汽车上的应用	87
3.4.1	直流铁心线圈的电磁特点	88
3.4.2	直流铁心线圈的应用	88
3.5	变压器在汽车上的应用	91
3.5.1	点火线圈的结构与原理	91
3.5.2	传统点火系统的组成和工作原理	92
	重点与难点答疑	93
	练习题	95
	自我测验题	96
第 4 章	汽车中的电机	98
4.1	三相交流异步感应电动机	98
4.1.1	三相异步电动机的基本结构	98
4.1.2	三相异步电动机的工作原理	100
4.1.3	三相异步电动机的机械特性与运行状态	103
4.1.4	三相异步电动机的使用	105
4.1.5	三相异步电动机的铭牌和技术数据	109
4.2	三相同步交流发电机	111
4.2.1	交流发电机的构造	112
4.2.2	交流发电机的工作原理	115
4.3	直流电动机	117
4.3.1	基本结构	117
4.3.2	工作原理	118
4.3.3	机械特性	119
4.3.4	直流电动机的使用	121
4.4	控制电机	122
4.4.1	直流伺服电动机	122
4.4.2	步进电机	123

4.5 电动汽车中的电机驱动系统	125
4.5.1 交流电机驱动系统的优点	125
4.5.2 交流电机驱动系统框图	126
重点与难点答疑	126
练习题	128
自我测验题	129
第5章 常用半导体器件	132
5.1 PN结及其单向导电性	132
5.1.1 本征半导体	132
5.1.2 杂质半导体	133
5.1.3 PN结的形成	134
5.1.4 PN结的单向导电性	135
5.2 半导体二极管	136
5.2.1 半导体二极管的结构	136
5.2.2 半导体二极管的伏安特性	136
5.2.3 半导体二极管的主要参数	137
5.2.4 半导体二极管的应用	137
5.3 特殊二极管	141
5.3.1 稳压二极管	141
5.3.2 发光二极管	142
5.3.3 光敏二极管	143
5.4 晶体管(双极型三极管)	143
5.4.1 晶体管的结构和分类	143
5.4.2 晶体管的电流分配及放大作用	144
5.4.3 晶体管的特性曲线和主要参数	145
5.5 场效应晶体管(单极型三极管)	149
5.5.1 N沟道增强型MOS管	149
5.5.2 N沟道耗尽型MOS管	151
5.5.3 MOS管的主要参数及使用注意事项	152
5.6 半导体器件在汽车中的应用	153
5.6.1 晶体管的两种作用	153
5.6.2 二极管的续流保护作用	155
重点与难点答疑	155
练习题	157
自我测验题	161
第6章 基本放大电路	165
6.1 基本交流放大电路的组成	165

6.1.1	放大电路的基本概念	165
6.1.2	基本交流放大电路的组成	165
6.2	放大电路的图解法	166
6.2.1	放大电路的静态分析	166
6.2.2	用图解法对放大电路进行动态分析	168
6.2.3	非线性失真	170
6.3	静态工作点的稳定	171
6.3.1	温度对静态工作点的影响	172
6.3.2	分压式偏置电路	172
6.4	微变等效电路法	173
6.4.1	晶体管的微变等效电路	173
6.4.2	放大电路的微变等效电路	175
6.4.3	放大器的性能分析	175
6.5	共集电极放大电路	179
6.5.1	共集电极放大电路的组成	179
6.5.2	共集电极放大电路的分析	179
6.5.3	共集电极放大电路的特点及应用	181
6.6	阻容耦合多级放大电路与功率放大电路	182
6.6.1	两级阻容耦合放大电路	182
6.6.2	功率放大电路	182
	重点与难点答疑	185
	练习题	186
	自我测验题	189
第7章	集成运算放大器	193
7.1	直接耦合放大电路与差动放大电路	193
7.1.1	直接耦合放大电路	193
7.1.2	差动放大电路	194
7.2	集成运算放大器简介	196
7.2.1	集成运算放大器的电路构成简单介绍	196
7.2.2	集成运算放大器的主要技术指标	197
7.2.3	运算放大器的电压传输特性	198
7.2.4	运算放大器的理想化模型	199
7.3	集成运放在信号运算电路中的应用	200
7.4	放大电路中的负反馈	206
7.4.1	反馈的基本概念	206
7.4.2	反馈的类型	207
7.4.3	负反馈对放大器性能的影响	209
7.5	集成运放在信号处理与产生方面的应用	211

7.5.1	有源滤波器	211
7.5.2	电压比较器	212
7.5.3	正弦信号发生器	216
7.6	运算放大器在汽车中的应用	219
7.6.1	车灯断线监测电路	219
7.6.2	巡航控制的基本原理	220
	重点与难点答疑	221
	练习题	222
	自我测验题	227
第 8 章	数字电子电路	230
8.1	数字电路概述	230
8.1.1	数字电路和模拟电路	230
8.1.2	数制与编码	231
8.2	逻辑门电路	233
8.2.1	基本逻辑关系及其门电路	233
8.2.2	集成门电路	237
8.2.3	CMOS 门电路	239
8.3	逻辑代数的基本公式和定律	241
8.3.1	逻辑代数的基本定律	241
8.3.2	逻辑代数的三个重要规则	242
8.4	组合逻辑电路的分析与设计	243
8.4.1	组合逻辑电路的分析	243
8.4.2	组合逻辑电路的设计	245
8.5	常用组合逻辑电路器件	247
8.5.1	编码器和译码器	247
8.5.2	数据分配器和选择器	253
8.5.3	运算器	255
8.6	双稳态触发器	258
8.6.1	基本 RS 触发器	258
8.6.2	钟控双稳态触发器	259
8.7	常用的时序逻辑电路器件	263
8.7.1	寄存器	263
8.7.2	计数器	265
8.8	555 定时器	270
8.8.1	555 定时器的基本结构及工作原理	270
8.8.2	单稳态触发器	271
8.8.3	多谐振荡器	273
8.8.4	施密特触发器	274

8.9 模拟量和数字量的转换	276
8.9.1 数模转换器	276
8.9.2 模数转换器	278
重点与难点答疑	279
练习题	280
自我测验题	285
第9章 功率电子电路	289
9.1 晶闸管	289
9.1.1 基本构造	289
9.1.2 工作原理	290
9.1.3 伏安特性	291
9.1.4 主要参数	292
9.1.5 晶闸管触发电路	292
9.1.6 晶闸管的使用注意事项	294
9.2 单相可控整流电路	295
9.2.1 单相半波可控整流电路	295
9.2.2 单相全控桥式整流电路	298
9.3 晶闸管逆变电路	299
9.3.1 有源逆变	299
9.3.2 无源逆变	302
9.4 直流斩波器的工作原理	305
9.5 交流调压电路	307
重点与难点答疑	309
练习题	311
自我测验题	312
附录	315
参考文献	319

第 1 章 电路分析基础

① **学习要求：**通过本章的学习，要求学习者应达到如下目标：

(1) 掌握电路中的基本物理量的概念、单位换算及其参考方向；理解电路的三种工作状态、特点及电器设备的额定值；掌握理想无源、有源元件的物理性质与伏安特性；理解电位的概念及计算。

(2) 掌握电阻串并联的特点及分析计算；掌握欧姆定律、基尔霍夫定律、叠加定理、戴维南定理，并会用它们进行分析计算。

(3) 理解电路的稳态和暂态及时间常数的意义；了解暂态过程的分析方法。

1.1 电路的基本物理量及参考方向

电路是为能够实现某种需要，由若干电工元器件按一定方式相互联接起来的组合。

电路一般由电源(信号源)、负载和中间环节三部分组成。

电源(信号源)是将其他形式的能量或信号转换为电能或电信号的装置，例如汽车上有两个电源：一是蓄电池，它将化学能转换为电能；二是发电机，它将发动机旋转的机械能转换为电能，传感器将非电量信号转换为电信号等。

负载是取用电能，将电能转换为其他形式能量的装置。例如电动机将电能转换为机械能，扬声器将音频信号转换为声音等。

联接电源与负载之间的中间环节是传送、控制电能或电信号的部分，它包括联接导线、控制电器和保护元件(开关、熔断器)等。

电路的作用可分为两类：一类是实现能量的传输、分配和转换，例如在汽车前照灯(俗称大灯)电路中，电路将蓄电池或者发电机的电能送给负载前照灯，而前照灯将电能转换为光能；另一类是信号的传递与处理，例如在汽车发动机燃油喷射控制系统的电路中，传感器电路将反映发动机各种工况的非电量信号转换为电信号送给控制器(ECU)，而控制器电路按照预先存储的控制程序对输入的电信号加以运算、判断、处理，最后输出控制信号送给喷油器，从而精确地控制喷油量。

在研究、分析电路时，首先要熟悉电路中的一些基本物理量。

1.1.1 电流及其参考方向

电荷在电场力作用下，作有规则的定向运动，形成电流。将单位时间内通过导体横截面

的电荷量定义为电流强度,用以衡量电流的大小。电流强度简称为电流,即

$$i = \frac{dq}{dt} \quad \text{或} \quad I = \frac{Q}{t} \quad (1.1)$$

电流的单位是安[培](A)。当电流较小时也可用毫安(mA)或微安(μA)为单位,它们之间的换算关系为

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

分析电路时,除了要计算电流的大小外,同时还要确定它的方向。习惯上把正电荷运动的方向(或负电荷运动的相反方向)作为电流的方向,这种方向称为电流的实际方向,简称电流的方向。

电流的实际方向,在简单情况下是可以直接确定的。但在实际问题中,往往难以凭直观判断电流的实际方向。因此,为了解决这一困难,引入参考方向这个概念。

什么是电流的参考方向呢?我们知道,任何一段电路中的电流只有两种可能的流向,若任意选某一方向作为电流的方向,在电路图中用箭头表示,并以这个方向列电路方程或表达式、分析计算,那么这种人为规定的电流方向就称为电流的参考方向。

在规定参考方向后,电流可以用一个代数量表示,即它不仅含有数值,而且包含了正、负号。按参考方向分析电路得出的电流为正值($i > 0$),表明电流的参考方向与实际方向相同。反之,若得出的电流为负值($i < 0$),则表明电流的参考方向与实际方向相反。因此,只有参考方向选定之后,电流之值才有正负之分。如图 1.1 所示,实线箭头代表参考方向,虚线箭头代表实际方向。

电流的参考方向标注方法有两种,一是在电路中,画一个实线箭头,并标出电流名称。二是用双下标表示,如 I_{ab} 表示从 a 流向 b 的电流。

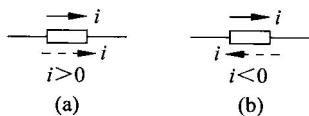


图 1.1 电流参考方向与实际方向

1.1.2 电压及其参考方向

电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功,定义为 a、b 两点间的电压 u_{ab} ,即

$$u_{ab} = \frac{dW}{dq} \quad \text{或} \quad U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1.2)$$

电压的单位可用:伏[特](V),千伏(kV),毫伏(mV)等来表示。

在分析与计算电路时,同电流一样,电压也要任意选定其参考方向。按照所选定的参考方向分析电路,得出的电压为正值($u > 0$),表明电压的实际方向与参考方向一致;反之,若得出的电压为负值($u < 0$),则表明电压的实际方向与参考方向相反。

电路中表示电压的参考方向的方法有三种,a、b 两点间电压的参考方向一是用箭头表示,二是用“+”、“-”符号表示,三是书写时用带双下标的字母 u_{ab} 表示,如图 1.2 所示。对一个元件或一段电路上的电压参考方向和电流参考方向可以独立地任意选定。若电压和电流的参考方向相同,则把电压和电流的这种参考方向称为关联参考方向,如图 1.3 所示。

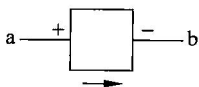


图 1.2 电压的参考方向

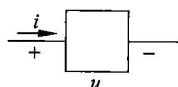


图 1.3 电压和电流关联参考方向

1.1.3 电动势及其参考方向

电动势在数值上等于非电场力把单位正电荷由负极经电源内部移到正极所做的功。显然,电动势的单位也是伏[特](V)。

通常规定电动势的实际方向是由电源的负极指向电源的正极。同电流和电压一样,在电路中所标出的电动势的方向也是它的参考方向。

注意,电源的端电压与电动势之间的关系如图 1.4 所示。

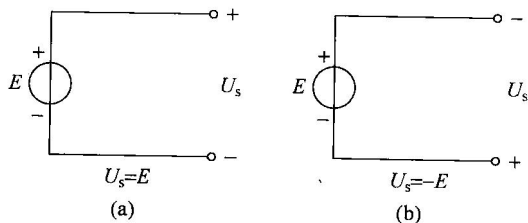


图 1.4 电源端电压与电动势

1.1.4 电位

电路中某点电位等于该点与参考点(规定计算电位的起点参考点电位为零)之间的电压。因此,电位计算的实质就是计算电压。只要选择一个合适的路径来计算电压,就可以计算出电位。

在定义了电位的概念之后,电路中任意两点间的电压,则是这两点间的电位差,即

$$U_{ab} = U_a - U_b$$

1.1.5 电功率

元件在单位时间内转换的电能称为电功率,简称功率。功率的计算公式为

$$p = ui \quad \text{或} \quad P = UI \quad (1.3)$$

功率的单位为瓦[特](W)。元件上电能与电功率的转换有发出和吸收两种可能。进行电路分析时,电压和电流采用的是参考方向,两者之间可能是关联参考方向,也可能是非关联参考方向。这种情况下,怎样确定元件是发出功率还是吸收功率,可作如下规定。

1) 在电压和电流的关联参考方向下

$$p = ui \quad \text{或} \quad P = UI$$

2) 在电压和电流的非关联参考方向下

$$p = -ui \quad \text{或} \quad P = -UI$$

在此规定下,将按参考方向计算出来的电压、电流代入到计算功率的公式中,如果计算结果 $p > 0$,表示电压与电流的实际方向相同,元件吸收功率,是负载;反之,若计算结果为 $p < 0$,表示电压与电流实际方向相反,元件发出功率,是电源。

【例 1.1】 图 1.5 是一个含有电压源和负载的闭合电路。电压源电压 $U_s = 24\text{V}$ ，内阻 $R_s = 0.5\Omega$ ，负载电阻 $R = 7.5\Omega$ 。求：

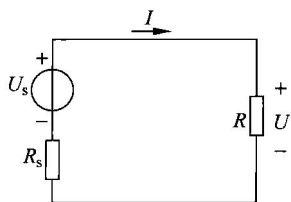


图 1.5 电路

(1) 电路中的电流；

(2) 负载端电压；

(3) 各元件的功率。

解：(1) 电路中的电流

$$I = \frac{U_s}{R_s + R} = \frac{24}{0.5 + 7.5} \text{A} = 3\text{A}$$

(2) 负载端电压

$$U = IR = 3\text{A} \times 7.5\Omega = 22.5\text{V}$$

(3) 各元件的功率

$$P_s = -U_s I = -24\text{V} \times 3\text{A} = -72\text{W} \text{ (电源产生的功率)}$$

$$P = UI = 22.5\text{V} \times 3\text{A} = 67.5\text{W} \text{ (负载消耗的功率)}$$

$$\Delta P = I^2 R_s = 3^2 \times 0.5\text{W} = 4.5\text{W} \text{ (电源内阻消耗的功率)}$$

1.2 电路的工作状态

有载工作、开路和短路是电路的三种工作状态。

1.2.1 有载工作状态(通路)

将图 1.6 所示电路中的开关 S 合上，电源与负载接成闭合电路，电路即处于有载工作状态。

1. 特征

有载工作状态下，电路中的电流

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R} \quad (1.4)$$

负载电阻两端电压

$$U = IR$$

电源的端电压

$$U = U_s - IR_0$$

将上式两边乘以电流 I ，则电路中的功率

$$UI = U_s I - I^2 R_0$$

式中， $U_s I = P_s$ 表示电源产生的功率； $I^2 R_0 = \Delta P$ 表示电源内部消耗的功率； $UI = P$ 表示电源输出功率，即负载消耗的功率。

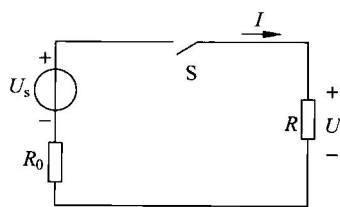


图 1.6 简单直流电路

2. 电气设备的额定值

联接在电路中的电气设备,它们的工作电压、电流、功率都有一个规定的数值,这个规定的安全合理值就是电气设备的额定值,包括额定电压 U_N 、额定电流 I_N 和额定功率 P_N 。

电气设备或元件的额定值可以从铭牌和手册中查到,使用时务必遵守其规定。电气设备在额定值 (U_N 、 I_N 、 P_N) 下工作,称为满载,处于最佳工作状态。若在额定电压下,电气设备通过的电流高于额定值,称为过载,过载时间长会使设备很快损坏;若电流低于额定值,称为轻载,不能充分利用设备的能力,经济效益差。若电压低于额定电压,设备不能合理运行,如电灯的亮度不够等。

1.2.2 开路

在图 1.7 所示电路中,当开关 S 打开或电路中某处断开时,电路处于开路状态。开路时的外电路电阻相当于无穷大。开路时

电路中的电流	$I=0$
负载电压	$U=0$
电源端电压	$U_0=U_s$
电源输出功率	$P=0$

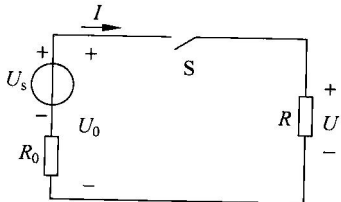


图 1.7 电路的开路状态

1.2.3 短路

电路工作时,由于某种原因(例如绝缘损坏、人为操作错误等)使电源线直接联接或接触,这种情况称为短路。如图 1.8 所示,短路时外电路的电阻几乎是零,电源的输出电流不再经过负载电阻 R 而由短路线返回电源,电路中电流 $I_s = \frac{U_s}{R_0}$ 可能达到非常大的数值。短路时电源产生的功率全部消耗在电源本身的内阻上,而且可能达到很大的数值,但没有电压与功率的输出。短路时

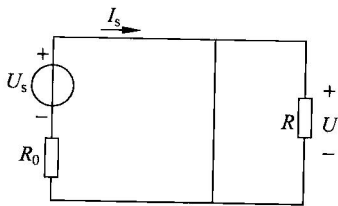


图 1.8 电路的短路状态

电路中的电流	$I = \frac{U_s}{R_0} = I_s$
电源内阻消耗的功率	$P_s = U_s I_s = I_s^2 R_0 = \Delta P$
电源端电压	$U=0$
电源输出功率	$P=0$

短路是严重事故,为了防止因短路而烧毁电源或引起其他严重后果,通常在电路中串接熔断器或自动断路器,以便在发生短路时能够迅速断开故障电路。

【例 1.2】 有一直流电源,额定功率 $P_N = 4.4\text{kW}$,额定电压 $U_N = 220\text{V}$,内阻 $R_s = 0.25\Omega$,负载电阻为 R (见图 1.6),求:

(1) 电源的额定电流 I_N 及电源电压 U_s ;

(2) 额定工作状态下的负载电阻 R ;

(3) 负载发生短路时的电流 I_s 。

解: (1) 电源的额定电流

$$I_N = \frac{P_N}{U_N} = \frac{4.4 \times 10^3}{220} \text{A} = 20 \text{A}$$

电源电压

$$U_s = U + I_N R_s = 220 \text{V} + 20 \times 0.25 \text{V} = 225 \text{V}$$

(2) 额定工作状态下的负载电阻

$$R = \frac{U_N}{I_N} = \frac{220}{20} \Omega = 11 \Omega$$

(3) 短路电流

$$I_s = \frac{U_s}{R_s} = \frac{225}{0.25} \text{A} = 900 \text{A}$$

1.3 理想电路元件

1.3.1 理想无源元件

1. 电阻元件

1) 电阻

电阻是描述导体对电流阻碍作用大小的物理量,用 R 表示。其单位常用为欧[姆](Ω)、千欧($\text{k}\Omega$)及兆欧($\text{M}\Omega$)等表示。

在一定温度下,金属导体的电阻 R 与它的长度 L 成正比,与导线截面积 S 成反比,还与导体材料的性质有关(电阻率 ρ),即 $R = \rho \frac{L}{S}$ 。

线性电阻元件在电路中的图形符号如图 1.9 所示。

在电压和电流的关联参考方向下,按欧姆定律线性电阻元件的电压、电流关系为

$$i = \frac{u}{R} \quad (1.5)$$

式中, R 称为元件的电阻,是一正实常数。当电压用 V ,电流用 A 表示时,电阻的单位为 Ω 。

若电阻元件的电压和电流是非关联参考方向(见图 1.10),则欧姆定律应写为

$$i = -\frac{u}{R} \quad (1.6)$$

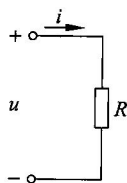


图 1.9 线性电阻电路

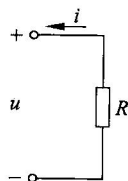


图 1.10 u 与 i 非关联参考方向