

21世纪全国高职高专汽车系列技能型规划教材



汽车电工电子技术

主 编 郑广军 高 寒
副主编 王 平 林晓伟 高大鹏



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专汽车系列技能型规划教材

汽车电工电子技术

主 编	郑广军	高 寒	
副主编	王 平	林晓伟	高大鹏
参 编	周学伟	赵 亮	
主 审	张吉国		



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

内 容 简 介

本书以培养学生职业能力为目标。全书内容共分 10 章,包括电路基础、电磁学原理及应用、电动机、电子学基础知识、数字电子技术基础以及集成电路在汽车上的应用等内容,其内容由理论课堂、课后习题、车间实验三部分组成。每章开始部分介绍本章的学习目标、学习要求,通过能够抓住学生兴趣点的汽车专业相关典故或理论,来引出本章的内容;结束部分有本章小结,对本章重点内容作出概括。

本书内容紧密围绕汽车相关专业,理论与实践相结合,强化案例式教学,注重相关课程的关联性,帮助学生拓展知识面、加强汽车专业关联知识的融合,让学生学而有用、学而能用。

本书可作为高职高专汽车类专业以及相关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自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车电工电子技术/郑广军,高寒主编. —北京:北京大学出版社,2011.1

(21 世纪全国高职高专汽车系列技能型规划教材)

ISBN 978-7-301-17694-8

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 163798 号

书 名: 汽车电工电子技术

著作责任者: 郑广军 高 寒 主编

策 划 编 辑: 赖 青

责 任 编 辑: 刘国明

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-17694-8/U·0038

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: pup_6@163.com

印 刷 者: 三河市欣欣印刷有限公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.25 印张 420 千字

2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 33.00 元

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: fd@pup.pku.edu.cn

前 言

本书是根据《21 世纪全国高职高专汽车系列技能型规划教材》的编写思想和目标，结合高职高专汽车运用与维修、汽车电子技术、工程机械、机电一体化等专业的教学实际需要而编写的。

本书以培养学生职业能力为目标。通过本课程的学习，学生可以掌握基本的汽车电工电子技术理论。在完成学习任务的过程中，培养学生分析专业问题和解决实际问题的能力，增强学生的创新意识和团队精神，为其学习后续课程打好基础，并提高学生工学结合、顶岗实习的能力。

本书内容可根据各学校的实验、实训设备情况和课时安排进行选讲。全书内容共分 10 章，包括电路基础、电磁学原理及应用、电动机、电子学基础知识、数字电子技术基础以及集成电路在汽车上的应用等内容，这些内容由理论课堂、课后习题、车间实验这三部分组成。每章开始部分介绍该章的学习目标、学习要求，通过能够抓住学生兴趣点的汽车专业相关典故或理论，来引出各章的内容；结束部分有该章小结，对该章重点内容作出概括。本书内容紧密围绕汽车相关专业，理论与实践相结合，强化案例式教学，注重相关课程的关联性，帮助学生拓展知识面、加强汽车专业关联知识的融合，让学生学而有用、学而能用。

本书由内蒙古交通职业技术学院郑广军、吉林交通职业技术学院高寒任主编，内蒙古交通职业技术学院王平、林晓伟、高大鹏任副主编，内蒙古交通职业技术学院张吉国教授主审，参加编写的还有内蒙古交通职业技术学院周学伟、吉林交通职业技术学院赵亮。其中第 1、6 章由郑广军编写，第 2、3 章由高寒编写，第 9 章由王平编写，第 4 章由林晓伟编写，第 5、8 章由高大鹏编写，第 7 章由周学伟编写，第 10 章由赵亮编写。

本书在编写过程中，参阅了许多相关书籍，我们将其列入书后的参考文献中；并得到许多领导和老师的帮助，在此表示衷心的感谢！

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 直流电路 1

1.1 电路的基本概念 2

1.1.1 电路与电路基本物理量 2

1.1.2 电路基本元件及其伏安特性 4

1.1.3 电路的工作状态 7

1.2 直流电路的基本分析方法 9

1.2.1 电路的等效电阻 9

1.2.2 基尔霍夫定律 11

1.2.3 支路电流法 13

1.2.4 叠加定理 13

1.2.5 戴维南定理和诺顿定理 14

1.2.6 最大功率传输定理 16

1.2.7 节点电压法 16

1.2.8 含受控源电路简介 17

1.3 基本汽车电路图的识读 17

1.3.1 汽车电系电路基本知识 18

1.3.2 汽车电路图的形式 21

1.3.3 识读汽车电路图 注意事项 24

本章小结 27

实验一 直流电路的认识实验 28

实验二 叠加定理和戴维南 定理的验证 29

习题一 31

第 2 章 正弦交流电路 33

2.1 正弦量与正弦电路 34

2.1.1 正弦量的时域表示法 34

2.1.2 正弦量的相量表示法 37

2.2 正弦交流电路分析 39

2.2.1 电阻、电感、电容及其交流 伏安特性 39

2.2.2 阻抗的概念与正弦交流

电路分析 44

2.2.3 正弦交流电路的功率 47

2.2.4 电路的谐振特性分析 49

2.3 三相正弦交流电 52

2.3.1 三相交流电源 52

2.3.2 三相负载的联结 54

2.3.3 三相电路的功率 58

2.4 输配电与安全用电简介 59

2.4.1 输配电简介 59

2.4.2 安全用电常识 60

本章小结 62

实验三 日光灯电路的连接及功率

因数的提高 63

实验四 三相交流电路电压、

电流的研究 66

习题二 68

第 3 章 电路的过渡过程及换路定律 70

3.1 过渡过程的产生与换路定律 71

3.1.1 电路中产生过渡 过程的原因 71

3.1.2 换路定律 72

3.2 一阶 RC 、 RL 电路的过渡

过程分析 73

3.2.1 RC 电路的过渡

过程分析 73

3.2.2 RL 电路的过渡

过程分析 76

本章小结 77

习题三 77

第 4 章 磁路及变压器 80

4.1 磁路的基本概念 81



4.1.1 电磁学的基本物理量	81	6.1.4 汽车交流发电机的 整流原理	133
4.1.2 磁性材料的磁性能	83	6.2 晶体管及其应用	135
4.1.3 磁路基本定律	84	6.2.1 晶体管的电流 放大特性	135
4.2 变压器	85	6.2.2 共发射极放大电路	140
4.2.1 变压器的结构 原理与功能	85	6.3 集成运算放大器应用电路	146
4.2.2 变压器的外特性与效率 ...	88	6.3.1 运算放大器简介	147
4.2.3 特殊变压器	88	6.3.2 运算放大器应用电路	148
4.3 点火线圈的工作原理	90	6.4 放大电路中的负反馈	152
本章小结	92	6.4.1 负反馈的定义与原理	152
实验五 变压器参数测定及绕组 极性判别	92	6.4.2 负反馈的基本类 型及判别	154
习题四	95	6.4.3 负反馈对放大电路工作性能 的影响	154
第5章 三相异步电动机及其 控制线路	96	6.5 电子稳压电源	156
5.1 三相异步电动机	97	6.5.1 简单的串联型 稳压电路	156
5.1.1 三相异步电动机的结构与 工作原理	97	6.5.2 带有放大环节的串联型 稳压电路	156
5.1.2 三相异步电动机的转矩 特性与机械特性	101	6.5.3 集成稳压电路	157
5.2 三相异步电动机的使用	103	本章小结	158
5.2.1 常用低压电器介绍	103	实验七 单相整流滤波和稳压电路 ...	158
5.2.2 三相异步电动机技术 数据及选择	106	实验八 单管交流电压放大电路	161
5.2.3 异步电动机的起动与 调速分析	109	实验九 运算放大器的作用	164
5.2.4 三相异步电动机的控制 ...	111	习题六	166
本章小结	115	第7章 门电路与组合逻辑电路	169
实验六 三相异步电动机的正、 反转控制	115	7.1 逻辑代数与门电路	170
习题五	117	7.1.1 数字信号与数字电路	170
第6章 半导体管及其应用电路	118	7.1.2 数值与码	171
6.1 PN结	119	7.1.3 基本逻辑门电路	174
6.1.1 二极管及其应用	119	7.1.4 TTL集成电路	179
6.1.2 特殊二极管	124	7.1.5 CMOS集成电路	182
6.1.3 整流、滤波及稳压二极管 稳压电路	126	7.1.6 逻辑代数	184
		7.2 加法器	186
		7.2.1 半加器	186
		7.2.2 全加器	186
		7.3 编码器	187

7.3.1 二进制编码器	187	9.2.3 T型电阻网络 D/A 转换器	236
7.3.2 二-十进制编码器	188	9.2.4 集成 D/A 转换器	238
7.3.3 优先编码器	189	9.3 模数转换器	240
7.4 译码器	189	9.3.1 A/D 转换的一般过程 ...	240
7.4.1 二进制译码器	189	9.3.2 逐次渐近型(逼近型) A/D 转换器	242
7.4.2 二-十进制译码器	190	9.3.3 并联比较型 A/D 转换器	243
7.4.3 显示译码器	190	9.3.4 A/D 转换器的主要参数 ...	244
本章小结	192	9.3.5 集成 A/D 转换器	244
实验十 组合逻辑门电路的 功能测试	193	本章小结	246
习题七	196	习题九	246
第 8 章 触发器与时序逻辑电路	197	第 10 章 集成电路在汽车计算机 中的应用	249
8.1 集成双稳态触发器的基本特征及 常用触发器	198	10.1 微控制器	252
8.1.1 集成双稳态触发器	198	10.1.1 微控制器的发展历程 ...	252
8.1.2 常用触发器	199	10.1.2 常见微控制器简介	252
8.1.3 触发器应用举例	202	10.1.3 微处理器体系结构	254
8.2 时序逻辑电路	206	10.2 智能功率半导体器件	255
8.2.1 时序逻辑电路的特征	206	10.2.1 功率半导体器件的分类 ...	255
8.2.2 寄存器与锁存器	207	10.2.2 大功率二极管	256
8.2.3 计数器电路的 分析与应用	210	10.2.3 晶闸管(SCR)	257
8.2.4 中规模集成计数器的 应用	214	10.2.4 大功率晶体管(GTR)	261
8.2.5 半导体存储器简介	218	10.2.5 功率场效应晶体管 (P-MOSFET)	263
本章小结	221	10.2.6 绝缘栅双极型晶体管 (IGBT)	266
实验十一 计数器及其应用	221	10.2.7 其他新型功率开关器件 ...	267
实验十二 移位寄存器及其应用	225	10.3 电源集成电路	270
习题八	230	10.4 汽车照明专用 LED 驱动器	273
第 9 章 数模和模数转换器	232	本章小结	278
9.1 概述	233	习题十	278
9.2 数模转换器	234	参考文献	279
9.2.1 数模转换原理	234		
9.2.2 权电阻 D/A 转换器	234		

第 1 章

直流电路



学习目标

- (1) 了解电路的基本物理量的意义、单位和符号，电流与电压正方向的确定方法。
- (2) 了解电路的基本定律的意义及其应用，电路的工作状态以及负载额定值的意义。
- (3) 了解电源的等效变换的条件，掌握电路的等效变换方法。
- (4) 掌握电路的分析的基本原理及电路参数的检测方法。



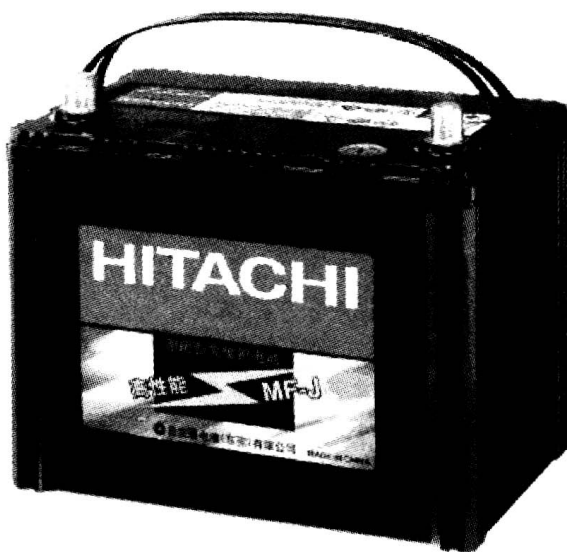
学习要求

能力目标	知识要点	权重	自测分数
了解电路的基本物理量的意义、单位和符号，电流与电压正方向的确定方法	电路图与基本物理量 电路的基本元件及其伏安特性 电路的工作状态	20%	
了解电路的基本定律的意义及其应用，电路的工作状态以及负载额定值的意义	欧姆定律 基尔霍夫定律 戴维南定理 诺顿定理	30%	
了解电源的等效变换的条件，掌握电路的等效变换方法	直流电路 电路的等效电阻	30%	
掌握电路的分析的基本原理及电路参数的检测方法	支路电流法 节点电压法	20%	



引例

汽车电路的直接电流供给是由车载蓄电池产生的直流电，汽车电路又不同于家用电路。一般家庭用电是用交流电，实行双线制的并联电路，用电器起码有两根外接电源线。从汽车电路上看，从负载(用电器)引出的负极线(返回线路)都要直接连接到蓄电池负极接线柱上，如果都采用这样的接线方法，那么与蓄电池负极接线柱相连的导线会多达上百根。为了避免这种情况，设计者采用了车体的金属构架作为电路的负极，例如大梁等。因此，汽车电路与一般家庭用电有明显不同：汽车电路全部是直流电，实行单线制的并联电路，用电器只要有一根外接电源线即可。学好直流电路对研究汽车电路就显得尤为重要。



引例图 汽车蓄电池实物外形

1.1 电路的基本概念

1.1.1 电路与电路基本物理量

1. 电路图

1) 电路

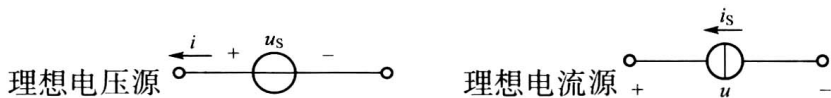
电路就是电流所流过的路径，它是为了实现某种功能，由某些元器件按一定方式组合后的总称。就其功能而言，可以分为两大类：一是实现能量的转换、传送与分配(如电力系统电路)；二是实现信号的传送和处理(如广播电视系统)。

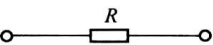
2) 电路模型

由于电能的传输和转换或信号的传递和处理，都是通过电路元器件来实现的，因此下面介绍常用的理想元件。

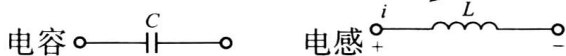
(1) 产生电能元件：





(2) 耗能元件：电阻 

(3) 储能元件：



2. 电流及参考方向

电流是一种物理现象，是带电粒子有规则的定向运动形成的，通常将正电荷移动的方向规定为电流正方向。电流的大小用电流强度(简称“电流”，是规范的量的名称，“电流强度”不再使用)来衡量，其数值等于单位时间内通过导体某一横截面的电荷量。根据定义有

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中： i 为电流，其单位为安(A)； dq 为通过导体截面的电荷量，电荷量的单位为库(C)； dt 为时间(s)。

式(1-1)表明，在一般情况下，电流是随时间变化的。如果电流不随时间而变化，即 $dq/dt = \text{常数}$ ，则这种电流就称为恒定电流(简称直流)。直流时，不随时间变化的物理量用大写字母表示，式(1-1)可写成

$$I = \frac{Q}{t} \quad (1-2)$$

电流的方向一定是客观存在的，但在电路分析中，一些较为复杂的电路，有可能出现某段电流的实际方向难以判断的情况，甚至有时电流的实际方向还在随时间不断改变，于是在电路中标出电流的实际方向较为困难。为了解决这一问题，在电路分析时，常采用电流的“参考方向”这一概念。电流的参考方向可以任意选定，在电路图中用箭头表示(当然，所选的参考方向不一定就是电流的实际方向)。当参考方向与电流的实际方向一致时，电流为正值($i > 0$)；当参考方向与电流的实际方向相反时，电流为负值($i < 0$)。这样，在选定的参考方向下，根据电流的正负，就可以确定电流的实际方向。在分析电路时，先假定电流的参考方向，并以此去分析计算，最后用求得答案的正负值来确定电流的实际方向。

3. 电压及参考方向

(1) 定义：单位正电荷在电场力作用下，由 a 点运动到 b 点电场力所做的功，称为电路中 a 到 b 间的电压，即

$$u_{ab} = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-3)$$

式中： u_{ab} 为 a 点到 b 点间的电压，电压的单位为伏(V)； dW_{ab} 为 dq 的正电荷从 a 点运动到 b 点所做的功，功的单位为焦(J)。

注：单位名称伏[特]、焦[耳]……省去方括号中的字后，即“伏”、“焦”……就是单位的中文符号，而小括号内的“V”、“J”……是其外文符号。



在直流时,式(1-3)可写成

$$U_{ab} = \frac{W_{ab}}{Q} \quad (1-4)$$

(2) 单位: 1 千伏(kV)=1000 伏(V)

1 伏(V)=1000 毫伏(mV)

1 毫伏(mV)=1000 微伏(μ V)

(3) 实际方向: 高电位指向低电位。

(4) 参考方向: 任意选定某一方向作为电压的正方向, 又称参考方向。

(5) 电压参考方向的表示方法: 在电路分析时, 也需选取电压的参考方向, 当电压的参考方向与实际方向一致时, 电压为正($u>0$); 相反时, 电压为负($u<0$)。电压的参考方向可用箭头表示, 也可用正(+)、负(-)极性表示。

4. 电位

在电路中任选参考点 0, 该电路中某点到参考点 0 的电压就称为 a 点的电位。电位的单位为伏(V), 用 V 表示。电路参考点本身的电位 $V_0=0$, 参考点又称为零电位点。根据定义, 电位实际上就是电压, 即

$$V_a = U_{a0} \quad (1-5)$$

可见, 电位也可为正或负值, 某点的电位高于参考点, 则为正值, 反之为负值。任选参考点 0, 则 a、b 两点的电位分别为 $V_a = U_{a0}$ 、 $V_b = U_{b0}$ 。按照做功的定义, 电场力把单位正电荷从 a 点移到 b 点所做的功, 等于把单位正电荷从 a 点移到 0 点, 再移到 b 点所做的功的和, 即

$$U_{ab} = U_{a0} + U_{0b} = U_{a0} - U_{b0} = V_a - V_b$$

或

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-6)$$

式(1-6)表明, 电路中 a、b 两点间的电压等于 a、b 两点的电位差, 因而电压又称电位差。

注意: 同一点的电位值是随着参考点的不同而变化的, 而任意两点之间的电压却与参考点的选取无关。

例 1-1 如图 1.1 所示: 当 $u_a=3V$, $u_b=2V$ 时, 求 u_1 、 u_2 。

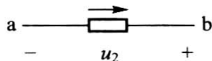
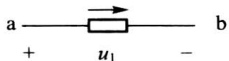


图 1.1 例 1-1 图

解: 如图 1.1 所示, 按照图中的两种参考方向计算 u_1 、 u_2 如下:

$$u_1 = u_a - u_b = 1V$$

$$u_2 = u_a - u_b = -1V$$

【案例点评】 如果求出的电流值为正, 说明参考方向与实际方向一致, 否则说明参考方向与实际方向相反。

1.1.2 电路基本元件及其伏安特性

电气设备的种类繁多, 在分析研究时, 为了简化, 常把实际的具体电路抽象为一些理想电路元件和它们的组合。常用的理想电路元件有电阻、电感、电容、恒压源和恒流源。

理想电路元件是具有某种确定的电或磁性质的模型。如用电阻这一理想电路元件来反映消耗电能特性，这样所有的电阻器、电灯、电炉等实际元件都可以用电阻近似代替它们。理想的电路元件分别用规定的图形符号和文字来表示。用无损耗的理想导线连接各理想电路元件，就构成了电路图。通常将这种抽象的电路模型称为电路。

电路中的元件，如不另加说明，都是指理想元件。分析研究电路的一项基本内容就是分析电路或元件的电压、电流及其它它们之间的关系。电压与电流的关系称为伏安关系或伏安特性，在直角平面上画出的曲线称为伏安特性曲线。下面讨论电路基本元件及其伏安特性。

1. 电阻元件及其伏安特性

电阻元件的伏安特性，如图 1.2 所示，为过原点的一条直线，它表示电压与电流成正比关系，这类电阻元件称为线性电阻元件，其两端的电压与电流服从欧姆定律关系，即

$$u=Ri \quad \text{或} \quad i=\frac{u}{R} \tag{1-7}$$

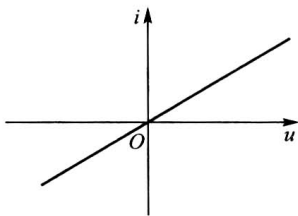


图 1.2 线性电阻元件的伏安特性曲线

在直流电路中，欧姆定律可表示为

$$I=\frac{U}{R} \quad \text{或} \quad U=RI \tag{1-8}$$

式中：电压 U 的单位是 V，电流 I 的单位是 A，电阻 R 的单位是欧(Ω)。常用的电阻单位还有千欧($k\Omega$)和兆欧($M\Omega$)，它们之间的关系为

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

根据物理学知识，导体的电阻不随其端电压的大小变化，是客观存在的。当温度一定时，导体的电阻与导体的长度 l 成正比，与导体的横截面积 S 成反比，还与导体的材料性质(电阻率 ρ)有关，即

$$R=\rho \frac{l}{S} \tag{1-9}$$

式中： R 的单位是 Ω ； ρ 的单位是 $\Omega \cdot m$ ； l 的单位是 m； S 的单位是 m^2 。若令 $G=1/R$ ，则 G 称为电阻元件的电导，电导的单位是西门子(S)。

在式(1-8)中，当电压与电流的参考方向一致时，电压为正值；反之，电压为负值。

2. 电压源

电源是电路能量的来源，也是电路的主要元件之一。电池、发电机等都是实际的电源。在电路分析时，常用等效电路来代替实际的部件。一个实际的电源的外特性，即电源端电压与输出电流之间的关系 $[U=f(I)]$ ，可以用两种不同的电路模型来表示，一种是电压源，一种是电流源。

1) 理想电压源——恒压源

一个电源没有内阻，其端电压与负载电流的变化无关，为常数(见图 1.3 中所示 U_s)，则这个电源称为理想的电压源，用 U_s 表示，其外特性曲线是一条与 I 轴平行的直线。通常用的稳压电源、发电机可视为理想电压源。

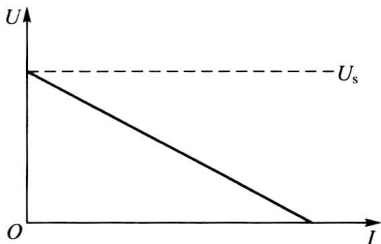


图 1.3 电压源外特性曲线



2) 电压源

实际的电源都不会是理想的，总是有一定的内阻，因此，在电路分析时，对电源可以用一个理想的电压源与内阻相串联的电路模型——电压源来表示，如图 1.3 所示。直流电压源的外特性为

$$U = U_s - R_0 I \quad (1-10)$$

图中斜线与纵坐标轴的交点，为负载开路时，电源的端电压(电压源的最高端电压)，即 $I=0$ ， $U=U_0=U_s$ ；而与横坐标轴的交点，则是电源短路时的最大电流 I_s ，即 $U=0$ ， $I_s=U_s/R_0$ 。

3. 电流源

1) 理想电流源——恒流源

当一个电源的内阻为无穷大，其输出电流与负载的变化无关为常数，则这个电源称为理想电流源，用 I_s 表示，其外特性曲线是一条与纵轴 U 平行的直线。常用的光电池与一些电子器件构成的稳流器，可以认为是理想的电流源。

2) 电流源

理想电流源实际上是不存在。对于一个实际的电源，也可以用理想的电流源与内阻并联的电路模型——电流源来替代，如图 1.4 所示，由式(1-10)得直流电流源的外特性为

$$I = \frac{U_s}{R_0} - \frac{U}{R_0} = I_s - \frac{U}{R_0} \quad (1-11)$$

的曲线，图中斜线与纵轴的交点表示负载开路时， $I=0$ ， $U=U_0=R_0 I_s=U_s$ ；斜线与横轴的交点则是电流源短路时， $U=0$ ， $I=I_s$ 。

4. 电压源与电流源的等效变换

如果电压源和电流源的外特性相同，则在相同电阻 R 上产生相等的电压 U 与电流 I ，如图 1.5 所示。

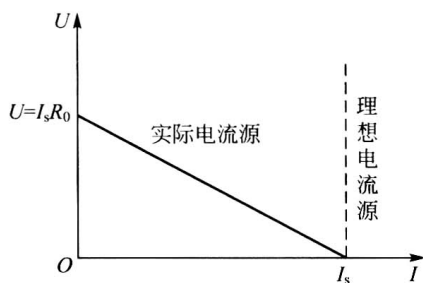


图 1.4 电流源外特性曲线

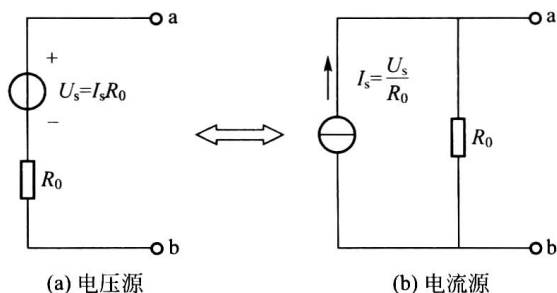


图 1.5 实际电压源与实际电流源等效变换

在图 1.5(a)的电压源模型中

$$U_s = R_0 I + U \quad (1-12)$$

在图 1.5(b)的电流源模型中

$$\begin{aligned} I_s &= I + \frac{U}{R_0} \\ R_0 I_s &= R_0 I + U \end{aligned} \quad (1-13)$$

比较以上两式，得：

$$U_s = R_0 I_s \quad \text{或} \quad I_s = \frac{U_s}{R_0} \quad (1-14)$$

式(1-14)就是实际的电压源与电流源之间等效变换公式。

在等效变换时还需注意以下内容。

(1) 电压源是电动势为 E 的理想电压源与内阻 R_0 相串联, 电流源是电流为 I_s 的理想电流源与内阻 R_0 相并联, 是同一电源的两种不同电路模型。

(2) 变换时两种电路模型的极性必须一致, 即电流源流出电流的一端与电压源的正极性端相对应。

(3) 等效变换仅对外电路适用, 其电源内部是不等效的。

(4) 理想电压源的短路电流 I_s 为无穷大, 理想电流源的开路电压 U_0 为无穷大, 因而理想电压源和理想电流源不能进行这种等效变换。

(5) 扩展内阻 R_0 的内涵, 即当有电动势为 E 的理想电压源与某电阻 R 串联的有源支路, 都可以变换成电流为 I_s 的理想电流源与电阻 R 并联的有源支路, 反之亦然。其相互变换的关系是

$$I_s = \frac{E}{R} \quad (1-15)$$

式(1-15)中电阻 R 可以是电源的内阻, 也可以是与电压源串联或与电流源并联的任意电阻。

例 1-2 电路如图 1.6 所示, 试求:

(1) 电阻两端的电压;

(2) 1A 电流源两端的电压及功率。

解:

(1) 由于 5Ω 电阻与 1A 电流源相串, 因此流过 5Ω 电阻的电流就是 1A, 而与 2V 电压源无关, 即

$$U = 5\Omega \times 1A = 5V$$

(2) 1A 电流源两端的电压包括 5Ω 电阻上的电压和 2V 电压源, 因此

$$U_1 = U + 2V = 5V + 2V = 7V$$

$$P = 1A \times 7V = 7W$$

【案例点评】 掌握电压源、电流源、电阻基本性质与物理关系是解本题的关键。

1.1.3 电路的工作状态

1. 额定工作状态

在图 1.7 所示的电路中, 如果开关闭合, 电源则向负载 R_L 提供电流, 负载 R_L 处于额定工作状态, 这时电路有如下特征。

(1) 电路中的电流为

$$I = \frac{U_s}{R_0 + R_L} \quad (1-16)$$

式中: 当 U_s 与 R_0 一定时, I 的值取决于 R_L 的大小。

(2) 电源的端电压等于负载两端的电压(忽略线路上的压降), 为

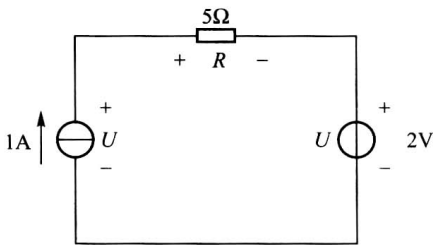


图 1.6 例 1-2 图

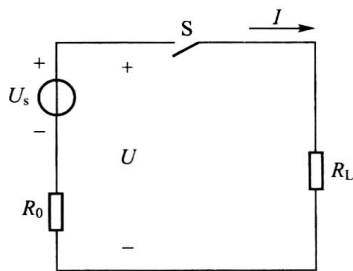


图 1.7 电路的有载与空载

$$U_1 = U_s - R_0 I = U_2 \quad (1-17)$$

(3) 电源输出的功率等于负载所消耗的功率(不计线路上的损失), 为

$$P_1 = U_1 I = (U_s - R_0 I) I = U_2 I = P_2 \quad (1-18)$$

2. 空载状态

图 1.7 所示的电路, 为开关断开或连接导线折断时的开路状态, 又称空载状态。电路在空载时, 外电路的电阻可视为无穷大。因此电路具有下列特征。

(1) 电路中的电流为零, 即

$$I = 0 \quad (1-19)$$

(2) 电源的端电压为开路电压 U_0 , 并且有

$$U_1 = U_0 = U_s - R_0 I = U_s \quad (1-20)$$

(3) 电源对外电路不输出电流, 因此有

$$P_1 = U_1 I = 0, \quad P_2 = U_2 I = 0 \quad (1-21)$$

3. 短路状态

如图 1.7 所示的电路中, 电源的两输出端线, 因绝缘损坏或操作不当, 导致两端线相接触, 电源被直接短路, 这种状态称为短路状态。

当电源被短路时, 外电路的电阻可视为零, 这时电路具有如下特征:

(1) 电源中的电流最大, 但对外电路的输出电流为零, 即

$$I_s = \frac{U_s}{R_0}, \quad I = 0 \quad (1-22)$$

式中: I_s 称为短路电流。因为一般电源的内阻 R_0 很小, 所以 I_s 很大。

(2) 电源和负载的端电压均为零, 即

$$U_1 = U_s - R_0 I = 0, \quad U_2 = 0 \quad (1-23)$$

上式表明, 电源的恒定电压, 全部降在内阻上, 两者的大小相等, 方向相反, 因此无输出电压。

(3) 电源输出的功率全部消耗在内阻上, 因此, 电源的输出功率和负载所消耗的功率均为零, 即

$$\begin{aligned} P_1 &= U_1 I = 0 \\ P_2 &= U_2 I = 0 \\ P_{U_s} &= \frac{U_s^2}{R_0} = R_0 I_s^2 \end{aligned} \quad (1-24)$$

例 1-3 在图 1.8 所示直流电路中, 已知 $U_s = 3V$, $I_s = 3A$, $R = 1\Omega$ 。求:

(1) 电压源的电流和电流源的电压;

(2) 讨论电路的功率平衡关系。

解:

(1) 由于电压源与电流源串联, $I = I_s = 3A$ 。根据电流的方向可知

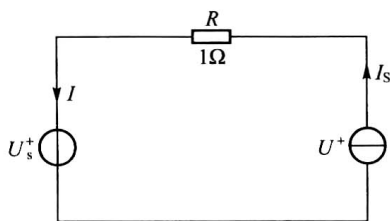


图 1.8 例 1-3 图

$$U=U_s+RI_s=(3+1\times3)\text{V}=6\text{V}$$

(2) 功率平衡关系：电压源处于负载状态，取用的电功率为

$$P_L=U_sI=(3\times3)\text{W}=9\text{W}$$

电流源处于电源状态，输出的电功率为

$$P_0=UI_s=(6\times3)\text{W}=18\text{W}$$

电阻 R 消耗的电功率为

$$P_R=RI_s^2=(1\times3^2)\text{W}=9\text{W}$$

【案例点评】 掌握电路三种工作状态，实际电压源与实际电流源可以互相等效变换方法，功率求解方法。

1.2 直流电路的基本分析方法

电路分析是指在已知电路结构和元件参数的条件下，确定各部分电压与电流之间的关系。电路分析的主要任务在于解得电路物理量，其中最基本的电路物理量就是电流、电压和功率。实际电路的结构和功能多种多样，如果对某些复杂电路直接进行分析计算，步骤将很烦琐，计算量很大。因此，对于复杂电路的分析，必须根据电路的结构和特点去寻找分析和计算的简便方法。本节主要介绍电路的等效变换、支路电流法、节点电压法、叠加定理、戴维南定理、非线性电阻电路图解法等分析电路的基本方法，这些方法既可用于分析直流电路，也适用于分析线性交流电路。

1.2.1 电路的等效电阻

1. 二端网络

二端网络是指具有两个输出端的电路，如果电路中含有电源就称为有源二端网络，不含电源则称为无源二端网络。二端网络的特性可用其端口上的电压 U 和电流 I 之间的关系来反映，图 1.9 中的端口电流 I 与端口电压 U 的参考方向对二端网络来说是关联参考方向。

如果一个二端网络的端口电压与电流关系和另一个二端网络的端口电压与电流关系相同，则这两个二端网络对同一负载(或外电路)而言是等效的，即互为等效网络。

2. 电阻的串联

图 1.10 所示为几个电阻依次连接，当中无分支电路的串联电路。

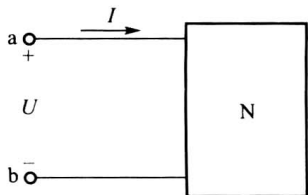


图 1.9 二端网络

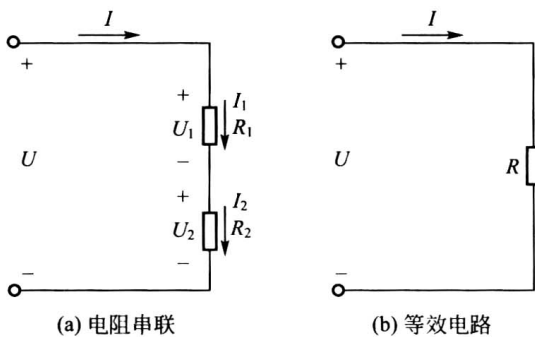


图 1.10 电阻串联电路及其等效电路



串联电路的特点：

(1) 流过各电阻中的电流相等，即

$$I=I_1=I_2 \quad (1-25)$$

(2) 电路的总电压等于各电阻两端的电压之和，即

$$U=U_1+U_2 \quad (1-26)$$

由此可得，电路取用的总功率等于各电阻取用的功率之和，即

$$P=IU=IU_1+IU_2 \quad (1-27)$$

(3) 电路的总电阻等于各电阻之和，即

$$R=R_1+R_2 \quad (1-28)$$

(4) 电路中每个电阻的端电压与电阻值成正比，即

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \frac{R_1}{R} U \\ U_2 &= \frac{R_2}{R} U \end{aligned} \right\} \quad (1-29)$$

(5) 串联电阻电路消耗的总功率 P 等于各串联电阻消耗的功率之和，即

$$P=\sum P_i=P_1+P_2+\cdots+P_n \quad (1-30)$$

串联电路的实际应用主要有：

- (1) 常用电阻的串联来增大阻值，以达到限流的目的；
- (2) 常用几个电阻的串联构成分压器，以达到同一电源能供给不同电压的需要；
- (3) 在电工测量中，应用串联电阻来扩大电压表的量程。

3. 电阻的并联

图 1.11 所示为几个电阻的首尾分别连接在电路中相同的两点之间的并联电路。并联电路有如下特点：

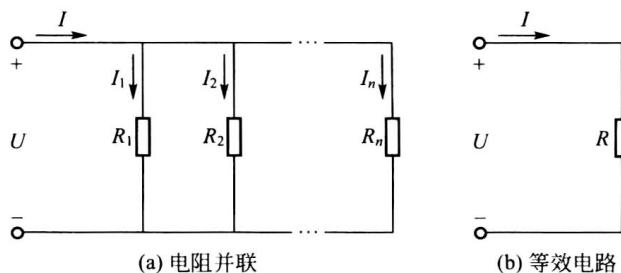


图 1.11 电阻并联电路及其等效电路

(1) 各并联电阻的端电压相等，且等于电路两端的电压，即

$$U=U_1=U_2 \quad (1-31)$$

(2) 并联电路中的总电流等于各电阻中流过的电流之和，即

$$I=I_1+I_2 \quad (1-32)$$

(3) 并联电路的总电阻的倒数等于各并联电阻的倒数之和，即

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

即