



高职高专“十一五”规划教材

机械电子类

电工与电子技术基础

李耐根 主编

冶金工业出版社
www.cnmp.com.cn

高职高专“十一五”规划教材·机电类

电工与电子技术基础

主 编 李耐根

副主编 陈艳华 廖育梅

北 京
冶金工业出版社
2008

内 容 简 介

本书是依据教育部最新制定的《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》编写而成的。本书是高职高专机电类及相关专业学生必修的一门课程。以强化基础,突出能力培养为原则,并保证有一定的深度。本书分为电路基础、模拟电子技术、数字电子技术和电工电子综合实训四个部分。全书共分为12章,分别为:电路理论基础,正弦交流电路,三相电路,磁路与变压器,半导体器件,基本放大电路,集成运算放大器,直流稳压电源,逻辑门电路和组合门电路,时序逻辑电路,常用大规模集成电路,电工电子技术实训与设计。各章后配有习题。

本教材为高职高专院校机电一体化专业及相关专业高职教材,也可供从事电子技术工作的人员和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础/李耐根主编. —北京:冶金工业出版社,
2008.6
ISBN 978-7-5024-4657-4

I.电… II.李… III.①电工技术—高等学校:技术学校—教材
②电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV.TM TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 092780 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 刘 源

ISBN 978-7-5024-4657-4

北京天元元印务有限公司印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2008 年 6 月第 1 版,2008 年 6 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 15.75 印张; 353 千字; 244 页; 1-3000 册

29.00 元

冶金工业出版社发行部 电话: (010)64044283 传真: (010)64027893

冶金书店 地址: 北京东四西大街 46 号(100711) 电话: (010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

本书是依据教育部最新制定的《高职高专教育电工电子技术课程教学基本要求》编写而成的，为高职高专院校机电一体化专业及相关专业高职教材，也可供从事电子技术工作的人员和工程技术人员参考。

本书有多年的教学实践基础，编者多年从事高职、高专职业教育的教师，本书在结构、内容安排等方面，吸收了编者近几年在教学改革、教材建设方面取得的经验体会，力求全面体现高职高专教育的特点，满足当前教学的需要。

本书主要包括电路基础、模拟电子技术、数字电子技术、电工电子技术实训 4 个部分，全书共分为 12 章。本书以高职高专教育为主线，以实际应用为目的，侧重于培养学生解决实际问题的能力，以够用为度，强调概念，强调内容的应用性和实用性，降低理论分析的难度和深度，突出能力培养，建立以能力培养为主线的课程教学模式和教材体系。电工电子技术实践教学是理论教学不可缺少的一个环节，本书增加了电工电子技术综合实训这部分内容，弥补了一直以来电工电子教材在这方面的欠缺，满足素质教育的需要。全书层次分明，条理清晰，结构合理，重点突出，概念阐述清楚准确，内容深入浅出，通俗易懂。教材内容以工程实践中常用和推广应用的技术所需的理论基础为主，通过例题来说明理论的实际应用。各章在紧扣基本内容的同时，增加了应用举例，介绍了一些实用电路，以便学生加深对知识的理解，更好地掌握所学知识。

本教材是高职高专院校机电类及相关专业学生必修的一门专业技术基础课。通过对本教材的学习，掌握必备的电工电子技术的基本理论、基本分析方法和技能，为后续专业课的学习和参加工作打下良好的理论基础。

本书由李耐根任主编，陈艳华、廖育梅任副主编，莫小灵、孙建荣、乔艳萍、王秀芹和陈斗参加编写。全书由李耐根负责统稿。

由于编者水平所限，书中如有不足之处敬请使用本书的师生与读者批评指正，以便修订时改进。如读者在使用本书的过程中有其他意见或建议，恳请向编者(bjzhangxf@126.com)踊跃提出宝贵意见。

编 者

目 录

第 1 章 电路理论基础	1	2.4.2 电阻、电感、电容 并联电路	34
1.1 电路模型及基本物理量	1	2.4.3 谐振电路	35
1.1.1 电路的基本功能和组成	1	2.5 功率与功率因数	37
1.1.2 电路的模型	2	2.5.1 正弦交流电的功率	37
1.1.3 电路的基本物理量	2	2.5.2 功率因数的提高	39
1.2 电路元件	5	习题	40
1.2.1 电阻元件	6	第 3 章 三相电路	42
1.2.2 电感元件	6	3.1 三相电源	42
1.2.3 电容元件	7	3.2 负载联结的三相电路	44
1.2.4 电源元件	8	3.2.1 负载星形联结的三相电路	44
1.3 基尔霍夫定律	11	3.2.2 负载三角形联结的 三相电路	46
1.3.1 基尔霍夫电流定律(KCL)	11	3.3 三相负载的功率	48
1.3.2 基尔霍夫电压定律(KVL)	12	习题	50
1.4 支路电流法	13	第 4 章 磁路与变压器	51
1.5 节点电压法	13	4.1 磁路的基本定律及简单计算	51
1.6 叠加定理	15	4.1.1 磁路	51
1.7 戴维南定理	16	4.1.2 磁性材料的磁性能	52
1.8 一阶电路的瞬态过程	17	4.1.3 磁路的基本定律	53
1.8.1 换路定则	17	4.2 铁心线圈	54
1.8.2 RC 电路的充放电过程	18	4.2.1 直流铁心线圈	54
1.8.3 一阶电路的三要素法	20	4.2.2 交流铁心线圈	54
习题	21	4.3 变压器的分类、作用和构造	56
第 2 章 正弦交流电路	24	4.3.1 变压器的分类与作用	56
2.1 正弦交流电的基本概念	24	4.3.2 变压器的基本结构	56
2.1.1 交流电的概述	24	4.4 变压器的工作原理	56
2.1.2 正弦交流电的三要素	24	4.4.1 变压器的空载运行	56
2.2 正弦电量的相量表示方法	27	4.4.2 变压器负载运行	57
2.2.1 正弦量的相量表示法	27	4.4.3 阻抗变换	58
2.2.2 同频率正弦量的求和运算	29	4.5 变压器的运行特性	59
2.3 单一参数的正弦交流电路	30	4.5.1 变压器的外特性	59
2.3.1 纯电阻电路	30	4.5.2 变压器的损耗与效率	60
2.3.2 纯电感电路	31	4.5.3 变压器的额定值	60
2.3.3 纯电容电路	32	习题	61
2.4 电阻、电感、电容电路	33		
2.4.1 电阻、电感、电容 串联电路	33		

第5章 半导体器件62	6.5.3 集成功率放大电路.....113
5.1 半导体及PN结.....62	习题.....114
5.1.1 物质的分类及特点.....62	第7章 集成运算放大电路119
5.1.2 本征半导体和杂质半导体.....62	7.1 集成运算放大器简介.....119
5.1.3 PN结.....64	7.1.1 集成运算放大器的 基本组成.....119
5.2 半导体二极管.....66	7.1.2 集成运算放大器的 主要参数.....121
5.2.1 二极管的结构.....66	7.1.3 集成运算放大器的基本 分析方法.....123
5.2.2 二极管的伏安特性.....66	7.1.4 集成运算放大器的运用.....124
5.2.3 二极管主要参数.....67	习题.....134
5.2.4 二极管电路的应用举例.....67	第8章 直流稳压电源136
5.3 半导体三极管.....70	8.1 单相半波整流电路.....136
5.3.1 基本结构.....70	8.1.1 工作原理.....136
5.3.2 电流分配与放大原理.....71	8.1.2 直流电压与直流电流 的计算.....137
5.3.3 三极管的特性曲线.....72	8.1.3 二极管的选择.....137
5.3.4 三极管的主要参数.....73	8.2 单相桥式整流电路.....138
5.4 场效应管.....74	8.2.1 工作原理.....138
5.4.1 N沟道增强型绝缘栅型 场效应管.....74	8.2.2 输出电压与输出电流 的计算.....138
5.4.2 N沟道耗尽型场效应管.....76	8.2.3 二极管的选择.....139
习题.....77	8.3 滤波电路.....139
第6章 基本放大电路79	8.3.1 电容滤波电路.....139
6.1 基本交流电压放大电路.....79	8.3.2 其他形式的滤波电路.....142
6.1.1 基本交流电压放大电路 的组成.....79	8.4 稳压电路.....143
6.1.2 静态分析.....81	8.4.1 硅稳压管稳压电路.....143
6.1.3 动态分析.....83	8.4.2 串联型稳压电路.....144
6.2 分压偏置式放大电路.....89	8.4.3 集成稳压电路.....145
6.3 阻容耦合放大电路.....91	习题.....147
6.3.1 多级放大电路的电压 放大倍数.....92	第9章 逻辑门电路和组合门电路149
6.3.2 多级放大电路的输入 电阻和输出电阻.....93	9.1 数制及编码.....149
6.3.3 频率特性.....93	9.1.1 数制.....149
6.4 放大电路中的反馈.....95	9.1.2 编码.....153
6.4.1 反馈的基本概念.....95	9.2 逻辑代数及应用.....154
6.4.2 反馈的类型和判别方法.....96	9.2.1 逻辑代数及基本运算.....154
6.4.3 负反馈对放大电路性能 的影响.....101	9.2.2 逻辑代数的运算法则.....158
6.4.4 射极输出器.....105	9.3 基本逻辑门电路.....165
6.5 功率放大电路.....107	9.3.1 分立元件门电路.....165
6.5.1 功率放大电路的特点.....107	
6.5.2 互补对称功率放大电路.....108	

9.3.2 集成门电路简介	168	11.2 模数转换和数模转换	216
9.3.3 其它类型门电路	171	11.2.1 数/模转换器(DAC)	216
9.4 组合逻辑电路	174	11.2.2 模/数转换器(ADC)	219
9.4.1 组合逻辑电路的分析	175	11.3 存储器	221
9.4.2 组合逻辑电路的设计	176	11.3.1 只读存储器	222
9.4.3 中规模组合逻辑 电路的应用	178	11.3.2 随机存储器	226
习题	189	习题	226
第 10 章 时序逻辑电路	191	第 12 章 电工电子技术实训与设计	228
10.1 双稳态触发器	191	12.1 电子元器件	228
10.1.1 基本 RS 触发器	191	12.1.1 电阻器	228
10.1.2 同步 RS 触发器	193	12.1.2 电容器	230
10.1.3 JK 触发器	195	12.1.3 电感器	232
10.1.4 D 触发器	197	12.1.4 半导体分立元件	232
10.1.5 T 触发器	198	12.2 直流串联稳压电源的制作与调试 ..	234
10.2 寄存器	199	12.2.1 实训目的	234
10.2.1 基本概念	199	12.2.2 电路组成及工作原理	234
10.2.2 数码寄存器	199	12.2.3 实训设备及器件	236
10.2.3 移位寄存器	200	12.2.4 安装与调试	237
10.3 计数器	200	12.3 电子秒表的制作与调试	238
10.3.1 二进制计数器	200	12.3.1 实训目的	238
10.3.2 十进制计数器	202	12.3.2 电路组成及工作原理	238
10.3.3 集成计数器	205	12.3.3 实训设备及器件	240
10.4 时序逻辑电路的分析	206	12.3.4 安装与调试	240
10.4.1 时序电路的基本 分析方法	207	12.4 电子抢答器的制作与调试	241
10.4.2 时序电路的分析举例	207	12.4.1 实训目的	241
习题	210	12.4.2 电路组成及工作原理	242
第 11 章 常用中大规模数字 集成电路	211	12.4.3 实训设备及器件	242
11.1 555 定时器的工作原理	211	12.4.4 安装与调试	242
11.1.1 555 定时器的工作原理	211	12.5 电风扇温控电路的设计与制作	243
11.1.2 555 定时器的应用	212	12.5.1 实训目的	243
		12.5.2 电路组成及工作原理	243
		12.5.3 实训设备及器件	244
		12.5.2 安装与调试	244
		习题	244

第 1 章 电路理论基础

现代人类生产与生活的各个领域，充满着各种各样的电气设备。这些电气设备尽管用途不同，性能各异，但几乎都是由各种基本电路组成的。所以，学习电路的基础知识，掌握分析电路的规律与方法，是学习电工学的重要内容，也是进一步学习电机、电器和电子技术的基础。

本章主要介绍有关电路的基本概念与基本定律以及对电路的一些分析方法。通过对本章内容的学习，应能正确应用电路的基本定律；深刻理解电流、电压参考方向(正方向)的意义；并能对直流电路进行分析，正确计算电路的物理量。

1.1 电路模型及基本物理量

电路是各种电气元件或设备按一定方式连接而成的系统，用于实现某种功能。简单地讲，电路是电流通过的路径。由于复杂的电路像一张网，故通常将电路称为网络。

1.1.1 电路的基本功能和组成

任何一个电路，不论其具体用途和功能如何，也不论其复杂程度如何，都可以看成是由电源、负载和中间环节这 3 部分组成。通常把中间环节和负载称为外电路，而电源内的电流通路称为内电路。

1.1.1.1 电源

电源是把非电能转换成电能的装置。生产与生活实践中有各种不同类型的电源，如电池、蓄电池和发电机等。它们在电路中的作用是把其他形式的能(如化学能或机械能)转换为电能，并提供给电路中的负载。另外，把某种形式的电能转换成另一种形式电能的装置，例如，应用很广的直流稳压电源，就是把交流电转换成直流电，并在一定条件下保持输出电压稳定的装置，这类装置通常也称为电源。

1.1.1.2 负载

负载是取用电能的装置，其作用是把电能转换为其他形式的能(如机械能、热能和光能等)。通常在生产与生活中经常用到的电灯、电动机、电炉及扬声器等用电设备都是电路中的负载。

1.1.1.3 中间环节

中间环节在电路中起着传递电能、分配电能和控制整个电路的作用。最简单的中间环节即开关和连接导线；一个实用电路的中间环节通常还有一些保护和检测装置；复杂的中间环节可以由许多电路元件组成的网络系统。

通过以上对电路组成的研究及生产与生活中的实践经验，电路的功能可以归纳为以下两个方面。

1. 实现电能的传输和变换

这是电力工程要解决的主要问题,它包括发电、输电、配电、电力拖动、电热、电气照明,以及交流电与直流电之间的整流和逆变等。由于电力工程中传输和变换电能的规模很大,因此,要尽可能地减少电能 in 传输和变换过程中的损耗,以提高电能的利用效率。

2. 实现信号的传递和处理

在科学技术领域和现代化生产中,许多信号的传递和处理也是靠电路实现的。例如,生产过程的自动调节以及科学实验的自动测试装置中,需要对各种输入数据进行处理及对各种信号进行存贮和发送;在电信事业中对语言、文字、图像、音乐的广播与接收等。这些重要的任务都是由相应的电路来完成的。电路在实现信号的传递和处理中,虽然也有能量的消耗,但和电力工程相比,能量消耗的规模和数量都很小,更加注重准确地传递和处理信号,保证信号不失真。

1.1.2 电路的模型

把干电池和灯泡经过开关用导线连接起来,就构成了一个电路,如图 1-1 所示就是常见的手电筒电路。电路中的干电池是提供电能的,称为电源;灯泡是取用电能的,称为负载;而把电源和负载连接起来的开关及导线,是中间环节。

在电路的分析与计算中,总是使用特定的符号和图形把实际电路画成电路图。例如,图 1-1 的手电筒电路可以画成如图 1-2 所示的电路图。在电路图中,电源部分用电动势 E 和内阻 R_0 表示,而作为负载的灯泡则用一个电阻 R 表示。电动势 E 的方向在电源内部是从低电位(电源负极)指向高电位(电源正极),输出电压 U 的方向是从高电位指向低电位,而电流 I 的方向在外电路是从高电位通过负载流向低电位,在内电路是从低电位流向高电位。

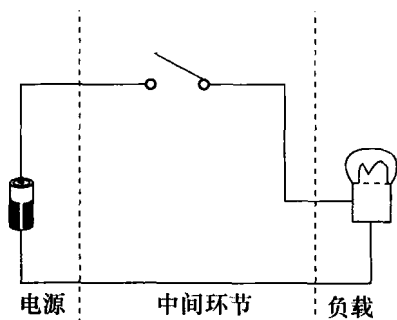


图 1-1 手电筒电路

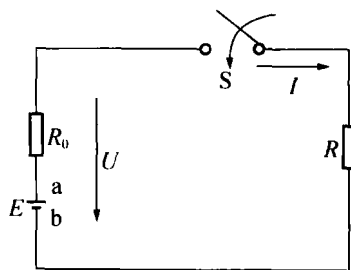


图 1-2 手电筒电路图

1.1.3 电路的基本物理量

从电路分析与计算的角度,引入电流与电压参考方向(正方向)的概念,对进一步掌握电路的分析与计算是十分重要的。

1.1.3.1 电压、电流及其参考方向

电流强度是单位时间内通过导体单位横截面的电荷量。电流强度又常称为电流。则电流

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

电流强度的单位是A(安培)。实际应用中,大电流用kA(千安培)表示,小电流用mA(毫安培)或 μA (微安培)表示。

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的实际方向。因此,在分析简单的直流电路时,可以确定电流的实际方向是由电源的正极性端流出的。但在分析复杂的直流电路时,对于某条支路电流的实际方向往往难于判断;在交流电路中由于电流的方向是随时间变化的,所以它的实际方向也就不能确定。为此,在分析电流时可以先假定一个方向,并称之为参考方向。电流的参考方向通常用带有箭头的线段表示,箭头所指方向表示电流的流动方向。当电流的实际方向与参考方向一致时,电流的数值就为正值(即 $I > 0$),如图1-3(a)所示。图中带箭头的实线段为电流的参考方向,虚线段为电流的实际方向(下同)。反之,当电流的实际方向与参考方向相反时,则电流的数值为负值(即 $I < 0$),如图1-3(b)所示。由此可知,在参考方向选定之后,电流就有了正值和负值之分了,电流值的正负符号就反映了电流的实际方向。

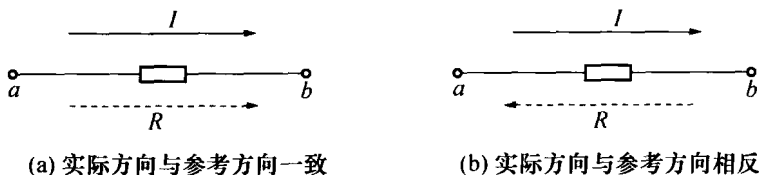


图 1-3 电流的实际方向与参考方向的关系

设电路中 a 、 b 两点的电位分别为 U_a 、 U_b ,则 a 、 b 两点间的电位差定义为 a 、 b 两点间的电压,记为 U_{ab} 。电压的单位是伏特(V),高电压可用千伏(kV)表示,低电压可用毫伏(mV)或微伏(μV)表示。

电压的方向规定为从高电位指向低电位,在电路图中可用箭头来表示。在比较复杂的电路中,往往不能事先知道电路中任意两点间的电压,为了分析和计算的方便,也采用任意选定电压参考方向的办法。先按选定的电压参考方向进行分析、计算,再由计算结果中电压值的正负来判断电压的实际方向与任意选定的电压参考方向是否一致,即电压值为正,则实际方向与参考方向相同,电压值为负,则实际方向与参考方向相反。

参考方向是可以任意假定的,通常有3种表示方法:①电流的参考方向习惯上采用带箭头的线段表示,如图1-3中的实线所示;②电压和电动势的参考方向通常采用“+”、“-”极性符号表示,如图1-4所示;③采用双下标字母表示,并规定由前一个字母指向后一个字母。例如,电压 U_{ab} 表示电压的参考方向由 a 点指向 b 点,即 a 为高电位端, b 为低电位端;若电压参考方向选 b 点指向 a 点,则应写成 U_{ba} ,两者仅差一个负号,即 $U_{ba} = -U_{ab}$ 。

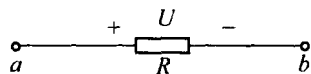


图 1-4 电压的表示方法

1.1.3.2 电位

电荷在电场中的不同位置所具有的能量(位能)是不同的。同样,电荷在电路中的不同位置上,也具有不同的能量,把单位正电荷在电路中某一点所具有的电位能称为该点的电位。电位的数学表达式是

$$V_a = \frac{W_a}{Q} \quad (1-2)$$

式中 W_a ——电路中 a 点的电位能, J;

V_a ——电路中 a 点的电位, V;

Q ——电量, C。

电路中各点电位的高低是相对的, 如果没有一个共同的参照点做标准, 就无法确定电路中各点的电位, 也无从比较各点电位的高低。通常在分析电路时先选定一个参考点, 认为参考点的电位为零, 电路中其他各点的电位均与参考点(零电位点)相比较而定; 在生产实践中, 把地球作为零电位点, 凡是机壳接地的设备, 接地符号是“⊥”, 机壳电位即为零电位。有些设备或装置, 机壳并不接地, 而是把许多元件的公共点作为零电位点, 用符号“⊥”表示。电路中, 凡是比参考点电位高的各点电位是正电位, 比参考点电位低的各点电位是负电位。

如图 1-5 所示, 以 c 点为参考点, 则 a 、 b 、 c 三点的电位分别是

$$V_a = 9 \text{ V}$$

$$V_b = 6 \text{ V}$$

$$V_c = 0 \text{ V}$$

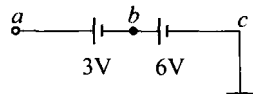


图 1-5 相对电位

1.1.3.3 电动势

电动势是衡量电源力做功能力的物理量。把单位正电荷从电源的低电位端经电源内部移到高电位端, 电源力克服电场力所做的功, 称为电源电动势 E 。

电动势的单位是 V (伏特), 与电压相同, 但电动势与电压在物理意义上却有本质的区别。前者表示电源力做功的能力, 后者是电场力做功的能力; 电动势的方向是由低电位点指向高电位点, 电压的方向是从高电位点指向低电位点。

1.1.3.4 电功率

为了便于识别与计算, 对同一元件或同一段电路, 往往把它们的电流和电压参考方向选为一致, 这种情况称为关联参考方向, 如图 1-6(a)所示。如果两者的参考方向相反, 则称为非关联参考方向, 如图 1-6(b)所示。在分析计算电路时, 采用的多是关联参考方向。

单位时间内电场力做功的多少定义为元件的功率。数学描述为

$$P = \frac{dW}{dt} \quad (1-3)$$

dW 是电路元件在时间 t 内吸收的能量, 在关联参考方向下 $dW = udq$, 代入上式则有

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

可见, 电路元件上的功率等于元件电压与电流的乘积。

若采用非关联参考方向, 则有

$$P = -ui \quad (1-5)$$



图 1-6 电压与电流的方向

在式(1-4)和式(1-5)中, 计算结果 $P > 0$ 说明元件在消耗功率, $P < 0$ 说明元件发出(产生)功率, 这个结论适用于包括电源在内的所有电路元件。功率的单位是瓦特(W)或千瓦(kW)。

根据式(1-4)整理后可写出电路元件消耗能量的表达式

$$W = \int_{-\infty}^{\infty} p(\xi) d\xi \quad (1-6)$$

某一元件任一时刻 t , $W \geq 0$ 时称为无源元件(电路); $W \leq 0$ 时称为有源元件(电路)。电阻是消耗能量的, $W > 0$, 是无源元件; 而电池则是发出能量的, $W < 0$, 为有源元件。

【例 1.1】 已知某直流电路由 5 个元件构成, 各电流的参考方向如图 1-7 所示, $I_1 = 1 \text{ A}$, $I_2 = -3 \text{ A}$, $I_3 = 2 \text{ A}$, d 为参考点, 电位 $U_a = 6 \text{ V}$, $U_b = 8 \text{ V}$, $U_c = 12 \text{ V}$ 。求

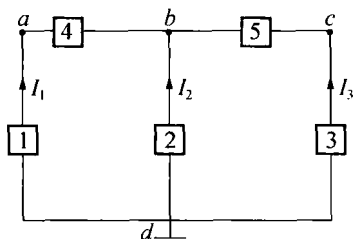


图 1-7 例 1.1 的电路

(1) 说明电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的实际方向和电压 U_{ab} 、 U_{bc} 的实际方向。

(2) 求各元件消耗的功率, 并说明哪几个是有源元件, 哪几个是无源元件?

解: (1) 在指定了电流的参考方向之后, 根据电流的正负值即可判定其实际方向。 I_1 、 I_3 均为正值, 表明元件 1、3 电流的实际方向与所标参考方向一致, 即从下到上。 I_2 为负值, 则表明元件 2 电流的实际方向与所标参考方向相反, 即从上到下。

根据电压与电位的关系, 可知

$$U_{ab} = U_a - U_b = 6 - 8 = -2 \text{ V}, \quad U_{bc} = U_b - U_c = 8 - 12 = -4 \text{ V}$$

由于 $U_{ab} < 0$, 电压的实际方向由 b 指向 a , $U_{bc} < 0$, 电压的实际方向由 c 指向 b 。

$$(2) \quad P_1 = -(U_{ad} \times I_1) = -U_a \times I_1 = -6 \times 1 = -6 \text{ W} < 0 \quad (\text{发出功率, 有源元件})$$

$$P_2 = -(U_{bd} \times I_2) = -U_b \times I_2 = (-8) \times (-3) = 24 \text{ W} > 0 \quad (\text{消耗功率, 无源元件})$$

$$P_3 = -(U_{cd} \times I_3) = -U_c \times I_3 = -12 \times 2 = -24 \text{ W} < 0 \quad (\text{发出功率, 有源元件})$$

$$P_4 = U_{ab} \times I_1 = -2 \times 1 = -2 \text{ W} < 0 \quad (\text{发出功率, 有源元件})$$

$$P_5 = U_{cb} \times I_3 = (-U_{bc}) \times I_3 = (-(-4)) \times 2 = 8 \text{ W} > 0 \quad (\text{消耗功率, 无源元件})$$

在计算功率时, 由于前三个元件为非关联方向, 所以在公式前面加了“-”号。

1.2 电路元件

理想电路元件简称电路元件。通常采用的电路基本元件有电阻元件、电感元件、电容元件、独立电源和受控电源等。前 3 种元件均不发出电能, 称为无源元件, 后两种元件是为电路发出电能的, 称为有源元件。除此之外, 元件还有线性和非线性之分, 线性元件的参数为常数, 与所施加的电压和电流无关。

1.2.1 电阻元件

电阻是用于反映电流热效应的电路元件。在实际交流电路中，像白炽灯、电阻炉和电烙铁等，均可看成是电阻元件。

当电阻元件上的电压 u_R 与电流 i 取关联方向时，通过电阻元件的电流与端电压成正比，而与电阻 R 成反比，这就是我们所熟悉的欧姆定律。

在直流情况下，欧姆定律表示为

$$I = \frac{U_R}{R} \text{ 或 } U_R = IR \quad (1-7)$$

在交流电源作用时，电路如图 1-8(a)所示，则欧姆定律可表示为

$$i = \frac{u_R}{R} \text{ 或 } u_R = iR \quad (1-8)$$

满足欧姆定律的电阻为线性电阻，故 R 是一个常数，基本单位是 Ω (欧姆)，常用单位还有 $k\Omega$ (千欧)或 $M\Omega$ (兆欧)等。它的电压和电流关系在直角坐标系上是一条通过原点的直线，如图 1-8(b)所示，简称为伏安特性曲线。电阻是一种耗能元件，当电阻通过电流时会发生电能转换为热能的过程，而热能向周围扩散后，不可能再直接回到电源而转换为电能。因此，电阻所吸收并消耗的电功率为

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

其消耗的电能可由以下公式计算

$$W = \int uidt \quad (1-10)$$

在直流情况下，电阻消耗的电能

$$W = UIt = Pt \quad (1-11)$$

电能的常用单位是 kWh (千瓦小时)。通常把 1 kWh 称为 1 度电。

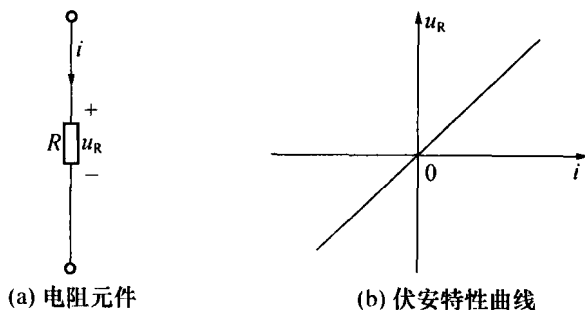


图 1-8 电阻元件及其特性曲线

1.2.2 电感元件

电感是用于反映电流周围存在磁场，能够储存和释放磁场能量的电路元件，典型的电

感元件是电阻为零的线圈。若线圈中无铁磁物质(即空心),称为线性线圈,如图1-9所示。

其中

$$u = -e_L = L \frac{di}{dt} \quad (1-12)$$

式(1-12)表明,电感元件上任一瞬间的电压大小,并不取决于这一瞬间电流的大小值,而是与这一瞬间电流对时间的变化率成正比。如果电感元件中通过的是直流电流,因电流的大小值不变化,即 $di/dt=0$,那么电感上的电压就为零,所以电感元件对直流可视为短路。

电感是一种储能元件。当通过电感的电流增加时,电感元件就将电能转换为磁能并储存在磁场中;当通过电感的电流减小时,电感元件就将储存的磁能转换为电能释放给电源。因此,在电感中的电流发生变化时,它能够进行电能与磁能的互换,如果忽略线圈导线中电阻的影响,那么电感本身是不消耗电能量的。因此,电感储存的能量 W_L 可由以下公式计算

$$W_L = \int u i dt = \int L i di = \frac{1}{2} L i^2 \quad (1-13)$$

可见,电感储能的大小与电感量及电流的平方成正比。

1.2.3 电容元件

电容是用于反映带电导体周围存在电场,能够储存和释放电场能量的电路元件,简称为电容器。电容器种类很多,但从结构上都可看成是由中间夹有绝缘材料的两块金属极板构成的。它的符号及规定的电压和电流参考方向如图1-10所示。

当电容接上交流电压 u 时,极板上的电荷也随之变化,电路中便出现了电荷的移动,形成电流 i 。若 u , i 为关联参考方向,则有

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-14)$$

式(1-14)表明,电容器的电流与电压对时间的变化率成正比。当电压恒定,即 $du/dt=0$ 时,电容上的电流为零。故电容器对直流可视为断路,称之为“隔直”作用,即不允许直流电流通过;对于交流,电容器会有电流通过,称之为“通交”作用。

电容器也是一种储能元件。当两端的电压增加时,电容元件就将电能储存在电场中;当电压减小时,电容器就将储存的能量释放给电源。因此,电容器通过加在两端电压的变化来进行能量转换。如果忽略它的电阻和引线电感的影响,则电容器本身是不消耗电能量的。因此,电容器储存的能量可由以下公式计算

$$W_C = \int u i dt = \int C u du = \frac{1}{2} C u^2 \quad (1-15)$$

可见,电容储能的大小与电容量及电压的平方成正比。

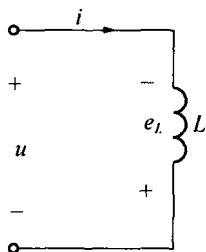


图 1-9 电感元件

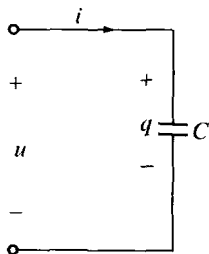


图 1-10 电容元件

1.2.4 电源元件

用于向电路发出电流(或电压)的装置,称为电源。电源的种类很多,能够向电路独立发出电压或电流的电源,称为独立电源,如化学电池、太阳能电池或发电机等。独立电源按其外部特性,分为电压源和电流源两种类型。

1.2.4.1 电压源

电压源是用于向外电路提供稳定电压的一种电源装置,电压源模型用电动势 E 和内阻 R_0 串联组合表示,如图 1-11(a)所示的虚线框部分,电动势的参考方向习惯上用“+”、“-”极性表示。

电压源两端接上负载 R_L 后,负载上就有电流 I 和电压 U ,分别称为输出电流和输出电压。在图 1-11(a)中,电压源的外特性方程为

$$U = E - IR_0 \quad (1-16)$$

由此可画出电压源的外部特性曲线,如图 1-11(b)所示的实线部分,它是一条具有一定斜率的直线段。其中,当负载断路(即 $R_L = \infty$)时,电路具有断路状态的特点,直线交于纵轴,即 $U = E$, $I = 0$;当负载被短路(即 $R_L = 0$)时,电路具有短路状态的特点,直线交于横轴,即 $I_{sc} = E/R_0$, $U = 0$;当 $0 < R_L < \infty$ 变化时,输出电压随输出电流的增加而降低,被降掉部分的电压就是内压降 IR_0 。

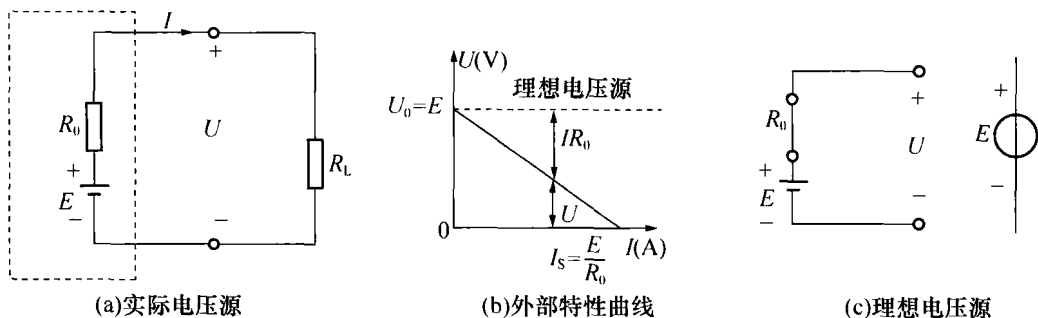


图 1-11 电压源模型及其外部特性曲线

由此可见,若 R_0 愈小, U 随 I 的变化就愈平坦。当 $R_0 = 0$ 时, U 不再随 I 的改变而发生变化,恒等于电动势 E ,这种情况的电源称为理想电压源,简称恒压源。它的外部特性如图 1-11(b)所示的虚线部分,为一条平行于横轴的直线。理想电压源的模型如图 1-11(c)所示,其内阻 R_0 用短路线替代,表示 $R_0 = 0$ 。理想电压源实际上是不存在的,只是当实际的电压源内阻 $R_0 \ll R_L$ (负载电阻)时,内压降可忽略不计,那么这种电压源就视为理想电压源。

1.2.4.2 电流源

电流源是用于向外电路提供稳定电流的一种电源装置,用电流 I_s (为恒定值)和内阻 R_s 并联组合的模型表示,如图 1-12(a)所示的虚线框部分。它的外部特性方程可用以下公式计算

$$I = I_s - \frac{U}{R_s} \text{ 或 } U = I_s R_s - I R_s \quad (1-17)$$

由此可画出电流源的外部特性曲线,如图1-12(b)所示的实线部分。当 $R_L = \infty$ 时,电路处于断路状态,曲线交于纵轴,即 $U = I_s R_s$, $I = 0$;当 $R_L = 0$ 时,电路处于短路状态,曲线交于横轴,即 $I = I_s$, $U = 0$;当 $0 < R_L < \infty$ 变化时,输出电压同样随着电流的增加而降低。

若 $R_s = \infty$ 时, I 不再随 R_L 的变化而发生改变,而是恒等于电流值 I_s ,这种情况的电源称为理想电流源,简称为恒流源。它的符号如图1-12(c)所示,其中内阻 R_s 用开路元件替代,外部特性是一条平行于纵轴的直线,如图1-12(b)所示的虚线部分。理想电流源实际也是不存在的,只是当 $R_s \gg R_L$ 而忽略电源内阻的分流作用时,该电流源才被视为理想电流源。

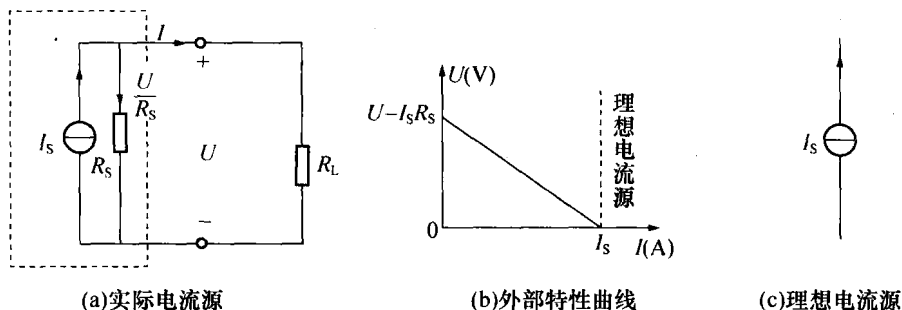


图 1-12 电流源模型及其外部特性曲线

1.2.4.3 电压源和电流源的等效变换

从上述内容可以看出,电压源与电流源的外特性曲线一样。如果对比式(1-16)和式(1-17)就可以发现,当电压源与电流源的内阻相同,即 $R_0 = R_s$,且电压源的 $E = I_s R_s$ 或电流源 $I_s = E / R_0$ 时,二者的外特性完全相同。这就意味着两种电源对同一个外部负载都发出等值的电压 U 和等值的电流 I 。因此,电压源和电流源对外部负载而言,是可以相互等效变换的,如图1-13所示。

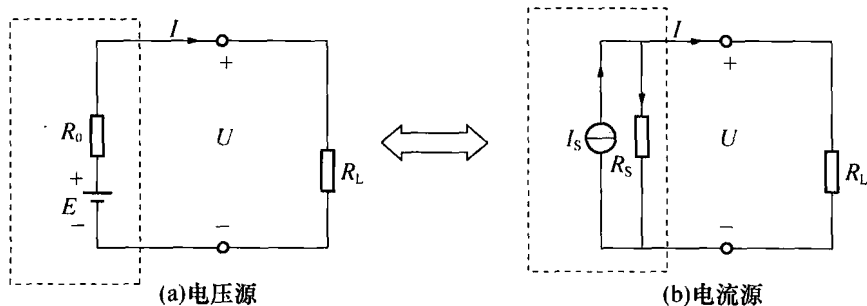


图 1-13 电压源与电流源的等效变换

若将图1-13(a)等效为图1-13(b)时,即电压源变换为电流源的计算公式为

$$I_s = \frac{U_s}{R_0}, \quad R_s = R_0 \quad (1-18)$$

若将图 1-13(b)等效为图 1-13(a)时, 即电流源变换为电压源的计算公式为

$$E = I_s R_s \quad R_0 = R_s \quad (1-19)$$

对一个复杂电路, 将电压源与电流源进行等效变换, 往往可以带来很大的方便。在对这两种电源进行等效变换时, 应注意下列 3 个问题。

(1) 两种电源仅对外电路等效, 等效前后的电源对外电路发出等值的电压和等值的电流(或等值功率), 但电源本身并不等效。因此, 在计算电源本身的参数时, 需要返回到原电路求解才能得到正确结果。

(2) 电压源和电流源的参考方向在变换前后对外电路应保持一致。例如, 图 1-13(a)的电压源极性是上“+”下“-”, 则电流向上流出, 故等效为图 1-13(b)时, 电流源 I_s 的参考方向也应向上流出。

(3) 理想电压源和理想电流源之间不可以相互等效变换。因为二者的外部理想特性完全不同, 也不具备 $R_s = R_0$ 或 $R_0 = R_s$ 条件, 所以不能等效变换。

【例 1.2】 如图 1-14(a)所示电路中, 已知 $U_{s1} = 30 \text{ V}$; $U_{s2} = 10 \text{ V}$, $I_s = 3 \text{ A}$, $R_1 = 4 \Omega$, $R_2 = 2 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $R_L = 1 \Omega$ 。试用电压源与电流源等效的方法, 计算电流 I_L 。

解: 题目需要求解的是负载电阻上的电流, 故与理想电压源 U_{s1} 并联的 R_2 可作断路处理; 与理想电流源 I_s 串联的 R_3 可作短路处理。电路简化为如图 1-14(b)所示。由于电压源 U_{s1} 和 U_{s2} 相串联, 可以用一个电压源 U_s 和内阻 R_1 来替代, 得出如图 1-14(c)所示电路; 再将电压源支路(即 U_s 和 R_1)等效变换为电流源, 得出如图 1-14(d)所示电路。再将两个电流源 I_1 和 I_s 合并为 I , 如图 1-14(e)所示电路。由此可得到

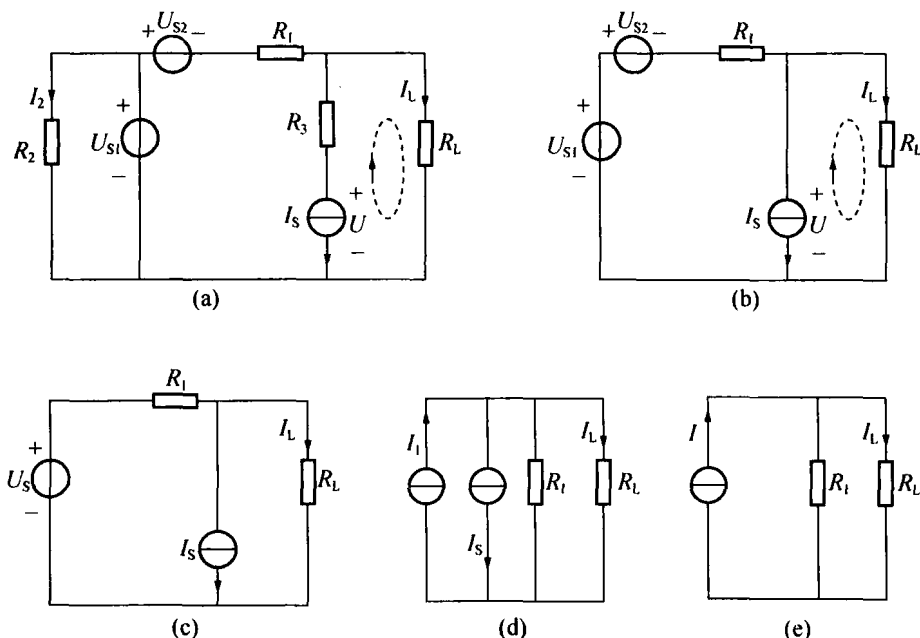


图 1-14 例 1.2 的电路

$$U_s = U_{s1} - U_{s2} = 30 - 10 = 20 \text{ V}$$