



高等职业教育“十二五”规划教材

电工电子技术

◎ 秦雯 主编

- ✓ 吸收最新教学改革成果,分为电路基础、电子技术基础、电动机与控制技术基础3大部分
- ✓ 加入元器件的使用与测试常识、电路调试方法,介绍了部分实际工程应用电路
- ✓ 以分立元器件为基础,以集成电路为重点,加强数字电路内容



赠电子课件
思考与习题答案等



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是根据教育部最新制定的“高职高专电工电子技术课程教学基本要求”编写而成。本书分三篇，主要内容包括：电路的基本概念与基本定律、电阻电路的分析方法、单相正弦交流电路、三相正弦交流电路、半导体器件、放大电路基础、集成运算放大器、直流稳压电源、逻辑代数基础、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生和变换、半导体存储器 and 可编程逻辑器件、数-模转换和模-数转换、磁路与变压器、三相异步电动机及其控制，共计 16 章。各章配有小结、思考与习题，便于自学。

本书可作为机电类、汽车、土木工程和计算机等专业的教材使用，也可供其他工科专业和成人教育的学生和教师选用。

为方便教学，本书配有免费电子课件、思考与习题答案等，凡选用本书作为授课教材的学校，均可通过来电(010-88379564)或电子邮件(cmpqu@163.com)索取。有任何技术问题也可通过以上方式联系。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术/秦雯主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 2

高等职业教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-111-41034-8

I. ①电… II. ①秦… III. ①电工技术—高等职业教育—教材②电子技术—高等职业教育—教材 IV. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 318906 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:曲世海 责任编辑:曲世海 曹雪伟 版式设计:张薇

责任校对:张薇 封面设计:赵颖喆 责任印制:邓博

北京铭成印刷有限公司印刷

2013 年 3 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·13 印张·317 千字

0001—3000 册

标准书号:ISBN 978-7-111-41034-8

定价:25.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

本教材参照教育部制定的“高职高专电工电子技术课程教学基本要求”，在“必须、够用”的原则下，总结多年的教学实践经验编写而成。本教材可供高职高专学校的机电类专业使用，也可供工科汽车、土木工程、计算机等相关专业使用。

创新性及实用性是编写本教材的指导思想。本教材在编写中力求体现以下特点：

1. 吸收教学改革的最新成果，在教材编排体系上分为电路基础、电子技术基础、电动机与控制技术基础3大部分，各部分相互独立又相互联系，教师可以根据专业和课程、课时设置要求加以选择。

2. 电工电子技术教学内容广泛，信息量大。本教材力求讲清基本概念、分析准确、减少数理论证、做到深入浅出、通俗易懂。

3. 考虑到高职高专类学生实践能力要求较高这一点，在有些章节中加入了元器件使用、测试的常识，电路调试的方法，并且介绍了一些实际工程应用电路，以便于学生掌握电路的分析方法，达到培养学生实践能力的目的。

4. 为了适应目前电子技术的飞速发展，在教材编写中以分立元器件为基础，以集成电路为重点，加强了数字电路内容。增加了集成电路芯片的介绍，包括芯片型号、引脚排列图和常见的应用电路等，对集成电路芯片的内部电路及分析进行了删减，并加入了最新的可编程逻辑器件FPGA和CPLD介绍。

本教材由秦雯任主编并统稿，蔡卓恩、徐伟任副主编。编写分工如下：第1章、第2章由秦雯、徐鹏编写，第3章、第4章、第5章、第7章由李慧玲编写，第6章由林娟编写，第8章至第11章由徐伟编写，第12章至第16章由蔡卓恩编写。

本教材承蒙陈瑞教授的认真审阅，审者提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心的感谢。

由于编者的教学经验和学术水平有限，书中难免有错误和不妥之处，恳请师生、读者批评和指正。

编 者

目 录

第1篇 电路基础

第1章 电路的基本概念与基本

定律 1

1.1 电路与电路模型 1

1.1.1 电路的组成 1

1.1.2 电路的功能和分类 1

1.1.3 电路模型 2

1.2 电路的主要物理量 2

1.2.1 电流 2

1.2.2 电压和电动势 3

1.2.3 电功率和电能 5

1.2.4 电流、电压及功率的测量 6

1.3 基本电路元件 7

1.3.1 电阻及其使用常识 7

1.3.2 电感 8

1.3.3 电容及其使用常识 9

1.4 电路的三种状态 10

1.4.1 空载状态 10

1.4.2 短路状态 10

1.4.3 负载状态 11

1.4.4 额定值 11

1.5 独立电源与受控电源 12

1.5.1 电压源 12

1.5.2 电流源 13

1.5.3 电压源与电流源的等效变换 13

1.5.4 受控电源 15

1.6 基尔霍夫定律 16

1.6.1 基尔霍夫电流定律 16

1.6.2 基尔霍夫电压定律 17

1.7 电路中电位的概念及计算 18

思考与习题 20

第2章 电阻电路的分析方法 23

2.1 简单电阻电路的分析 23

2.1.1 欧姆定律 23

2.1.2 电阻的串联 24

2.1.3 电阻的并联 25

2.1.4 电阻的混联 26

2.2 支路电流法 27

2.3 叠加原理 29

2.4 戴维南定律 31

2.4.1 戴维南定律及其应用 31

2.4.2 诺顿定律 34

思考与习题 35

第3章 单相正弦交流电路 39

3.1 正弦交流电的基本概念 39

3.1.1 正弦交流电概述 39

3.1.2 正弦交流电的周期与频率 39

3.1.3 正弦交流电的瞬时值、振幅和有效值 40

3.1.4 正弦量的相位和相位差 40

3.2 正弦量的相量表示 41

3.2.1 复数的表达形式 41

3.2.2 正弦量的相量表示法 42

3.3 单一元件的正弦交流电路 43

3.3.1 正弦交流电路中的电阻电路 43

3.3.2 正弦交流电路中的电感电路 43

3.3.3 正弦交流电路中的电容电路 44

3.4 电阻、电感与电容串联交流电路 45

3.4.1 复阻抗的概念 45

3.4.2 RLC 串联电路及其分析 45

3.5 正弦交流电路的功率及功率因数 47

3.5.1 有功功率和功率因数 47

3.5.2 无功功率 48

3.5.3 视在功率 48

3.6 电路中的谐振 49

3.6.1 串联谐振 49

3.6.2 并联谐振 51

思考与习题 52

第4章 三相正弦交流电路 54

4.1 三相电源的基本概念 54

4.2 三相电源的连接方式 55

4.2.1 三相电源的星形联结	55	4.5.1 电流对人体的危害	60
4.2.2 三相电源的三角形联结	56	4.5.2 人体触电方式	61
4.3 三相负载的连接方式	57	4.5.3 防止触电	61
4.3.1 三相负载的星形联结	57	4.5.4 安全用电措施	62
4.3.2 三相负载的三角形联结	59	4.5.5 触电急救与电气消防	63
4.4 三相电路的功率	60	思考与习题	64
4.5 安全用电知识	60		

第2篇 电子技术基础

第5章 半导体器件	65	6.6.1 放大电路的工作状态	89
5.1 半导体的基础知识	65	6.6.2 OCL 互补对称功率放大电路	90
5.1.1 本征半导体	65	6.6.3 OTL 互补对称功率放大电路	92
5.1.2 杂质半导体	66	6.7 放大电路中的负反馈	92
5.1.3 PN 结的形成及单向导电性	66	6.7.1 反馈的基本概念	92
5.2 二极管	68	6.7.2 反馈的分类和类型判断	93
5.2.1 二极管的结构	68	6.7.3 负反馈对放大电路性能的影响	94
5.2.2 二极管的伏安特性	68	6.8 放大电路的检测	95
5.2.3 二极管的主要参数	69	思考与习题	97
5.2.4 二极管的应用	69	第7章 集成运算放大器	99
5.2.5 特殊二极管	69	7.1 集成运算放大器的基础知识	99
5.3 晶体管	71	7.1.1 集成运算放大器概述	99
5.3.1 晶体管的基本结构	71	7.1.2 集成运算放大器的主要性能指标	100
5.3.2 晶体管的电流放大原理	71	7.1.3 集成运算放大器的保护	101
5.3.3 晶体管的特性曲线	72	7.2 理想集成运算放大器	102
5.3.4 晶体管的主要参数	73	7.2.1 理想集成运算放大器的技术指标	102
5.4 半导体器件的型号和检测	74	7.2.2 集成运算放大器的工作区	103
5.4.1 半导体器件的型号	74	7.3 集成运算放大器的线性应用	104
5.4.2 半导体器件的检测	75	7.3.1 比例运算电路	104
思考与习题	77	7.3.2 加法运算电路	105
第6章 放大电路基础	79	7.3.3 减法运算电路	105
6.1 基本放大电路的组成	79	7.3.4 积分和微分电路	106
6.2 基本放大电路的分析	79	7.4 集成运算放大器的非线性应用	107
6.2.1 静态工作点的估算	79	7.4.1 单限电压比较器	108
6.2.2 放大电路的动态工作情况	80	7.4.2 滞回电压比较器	108
6.2.3 微变等效法分析放大电路	81	思考与习题	110
6.3 分压式偏置电路	83	第8章 直流稳压电源	112
6.3.1 放大电路的失真及静态工作点的稳定	83	8.1 直流稳压电源的组成	112
6.3.2 分压式偏置电路的分析	85	8.2 二极管整流电路	112
6.4 共集电极放大电路——射极输出器	86	8.2.1 单相半波整流电路	112
6.5 多级放大电路	88		
6.6 功率放大电路	89		

8.2.2 单相桥式整流电路	113	11.3 寄存器	144
8.2.3 单相整流电路的主要参数	113	11.3.1 数据寄存器	144
8.3 滤波电路	115	11.3.2 移位寄存器	144
8.3.1 电容滤波电路	115	11.4 时序逻辑电路的应用	145
8.3.2 电感滤波电路	116	思考与习题	146
8.3.3 复式滤波电路	116	第12章 脉冲波形的产生和变换	147
8.4 稳压电路	117	12.1 555 定时器	147
8.4.1 稳压管稳压电路	117	12.2 单稳态触发器	148
8.4.2 晶体管串联型稳压电路	118	12.2.1 用555 定时器构成单稳态 触发器	148
8.4.3 三端集成稳压器	118	12.2.2 单稳态触发器的应用	149
思考与习题	121	12.3 施密特触发器	150
第9章 逻辑代数基础	122	12.3.1 用555 定时器构成施密特 触发器	150
9.1 数字电路的特点	122	12.3.2 施密特触发器应用	150
9.2 数制与码制	122	12.4 多谐振荡器	151
9.2.1 数制	122	12.4.1 用555 定时器构成多谐 振荡器	151
9.2.2 码制	123	12.4.2 多谐振荡器的应用举例	152
9.3 逻辑函数	125	思考与习题	152
9.3.1 三种基本逻辑函数	125	第13章 半导体存储器和可编程 逻辑器件	154
9.3.2 复合逻辑函数	126	13.1 半导体存储器	154
9.4 逻辑函数的化简	128	13.1.1 只读存储器(ROM)	154
9.4.1 逻辑代数的基本定律	128	13.1.2 随机存取存储器(RAM)	156
9.4.2 逻辑函数的代数化简法	128	13.2 可编程逻辑器件	156
9.5 集成逻辑门	129	13.2.1 FPGA	157
9.5.1 TTL与非门	129	13.2.2 CPLD	157
9.5.2 集电极开路门及三态门	130	思考与习题	159
思考与习题	132	第14章 数-模转换和模-数转换	160
第10章 组合逻辑电路	133	14.1 概述	160
10.1 组合逻辑电路的分析	133	14.2 D-A 转换器	160
10.2 常用组合逻辑器件	134	14.2.1 倒置T形电阻网络D-A 转换器	160
10.2.1 编码器	134	14.2.2 D-A 转换器的主要技术指标	162
10.2.2 译码器	135	14.2.3 集成D-A 转换器及其应用	162
10.2.3 数据选择器和数据分配器	137	14.3 A-D 转换器	163
思考与习题	138	14.3.1 逐次比较型A-D 转换器	164
第11章 时序逻辑电路	139	14.3.2 A-D 转换器的技术指标	164
11.1 触发器	139	14.3.3 集成A-D 转换器	164
11.1.1 基本RS 触发器	139	思考与习题	166
11.1.2 钟控RS 触发器	140		
11.1.3 JK 触发器	141		
11.1.4 D 触发器	141		
11.2 计数器	142		
11.2.1 二进制计数器	142		
11.2.2 十进制计数器	143		

第3篇 电动机与控制技术基础

第15章 磁路与变压器	167	及转差率	179
15.1 磁路的基本概念	167	16.1.3 三相异步电动机的机械特性	181
15.1.1 磁路的基本物理量	167	16.2 三相异步电动机的铭牌数据	182
15.1.2 铁磁材料的磁特性	168	16.3 三相异步电动机的起动、制动及	
15.1.3 磁路的基本定律	169	调速	184
15.1.4 交流铁心线圈电路	170	16.3.1 三相异步电动机的起动	184
15.2 变压器	170	16.3.2 三相异步电动机的制动	185
15.2.1 变压器的结构及工作原理	170	16.3.3 三相异步电动机的调速	187
15.2.2 变压器的作用	171	16.4 常用低压电器	187
15.2.3 变压器绕组的极性	173	16.5 电动机的控制电路	191
15.2.4 变压器的使用	174	16.5.1 基本控制电路	191
15.2.5 特殊变压器	175	16.5.2 自动往返控制电路	193
思考与习题	176	16.5.3 星形-三角形换接起动的	
第16章 三相异步电动机及其控制 ..	178	控制电路	194
16.1 三相异步电动机概述	178	思考与习题	196
16.1.1 三相异步电动机的结构	178	参考文献	198
16.1.2 三相异步电动机的转动原理			

第1篇 电路基础

第1章 电路的基本概念与基本定律

内容提要：本章从电路模型入手，介绍电路的组成、主要物理量和状态，介绍电源的两种模型及其相互间的等效变换；阐述电路的基本定律——基尔霍夫定律。这些内容都是分析与计算电路的基础。通过本章的学习，可以为以后分析复杂电路打下基础。

1.1 电路与电路模型

1.1.1 电路的组成

电路是电流的通路。它是为了满足某种需要，将一些电气设备或元器件按照一定的方式连接而成的。

电路的结构和组成方式是多种多样的。但总的来说，一般由三个部分组成：电源、负载和中间环节。图 1-1 所示为最简单的一个实际电路的组成。该电路由干电池、开关、灯泡和连接导线组成。

1) 电源是供应电能的设备，是将非电能转换成电能的装置。图 1-1 中干电池的作用就是将化学能转化为电能，给灯泡提供电能。又如，发电厂的发电机可以把光能、水能、热能等转换为电能，是常用的电源。电源是电路中能量的来源，是提供电流的源泉。

2) 负载是取用电能的设备，它将电能转换为非电能。图 1-1 中的灯泡能够将电能转化成为光能和热能。负载是电路中的受电器。

3) 连接电源和负载的部分是中间环节，包括导线、开关等一些装置和设备。其作用是传递和控制电能，以构成完整的电流通路。

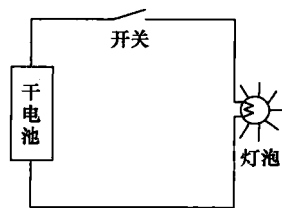


图 1-1 实际电路的组成

1.1.2 电路的功能和分类

在工程技术领域中的电路种类繁多，形式和结构各不相同。但就其功能而言，电路可分为电力电路和信号电路两大类。

1. 电力电路

实现能量转换、传输和分配的电路称为电力电路。电力系统就是典型的例子。发电机将

其他形式的能量转换为电能，经输电线传输、分配到各个用户，用户把电能转换为光能、热能、机械能等形式加以利用。这类电路中电压高、电流大、功率高，俗称“强电”系统，该系统的要求是尽可能地减少能量损耗以提高效率。

2. 信号电路

以传递和处理信号为目的的电路称为信号电路。常见的例子有收音机、电视机等。收音机接收到微弱的电磁波后，经放大、混频、解调等处理电路，最终将信号传递给扬声器，还原为原始声音信号。与电力电路相比，信号电路中功率和电流小，电压低，因此俗称“弱电”系统。该类系统要求信号传递的质量高，如不失真、灵敏、准确等。

1.1.3 电路模型

实际电路是由一些起不同作用的实际元件组成。这些实际元件品种多样，且工作过程中表现出的电磁性能往往比较复杂，这就给电路分析带来了许多困难。为了使问题得以简化，以便讨论电路的普遍规律，通常是将实际元件理想化(又称模型化)。即在一定条件下，只考虑其主要的电磁性质，忽略它的次要因素，把它看做理想电路元件。在图 1-1 中，灯泡不但发热而且消耗电能，具有电阻性；在其周围还会产生一定的磁场，具有电感性。但是灯泡的电感十分微小，可以忽略不计，因而可以用电阻元件代替灯泡。又如，用内电阻 R_s 和电动势 E 的串联来代替电池等。图 1-2 所示为在电工学中经常用到的几种理想元件的电路符号。

用一些理想电路元件组成的电路，就是实际电路的电路模型(理想电路)。图 1-1 所示实际电路的电路模型如图 1-3 所示。无论简单的，还是复杂的实际电路，都可以通过电路模型准确地描述。因此，对电路模型的研究可以达到分析实际电路的目的。

本教材电路分析中所涉及的电路都是电路模型。

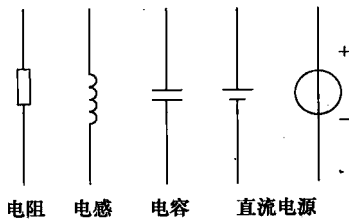


图 1-2 几种理想元件的电路符号

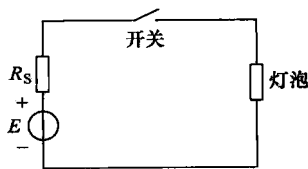


图 1-3 电路模型

1.2 电路的主要物理量

电流、电压、功率等物理量是电路分析中经常用到的物理量。本节将对这些物理量以及与它们有关的概念进行说明。

1.2.1 电流

1. 电流的概念

电流是由电荷有规律的定向运动形成的。电流是矢量，习惯上规定电流的方向是正电荷运动的方向或负电荷运动的反方向。

电流的数值(大小)等于单位时间内通过某一导体横截面的电荷量,用符号*i*表示。其定义式为

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

式中, dq 为 dt 时间内通过导体横截面的电荷量。

式(1-1)表示, 电流是随时间而变的。数值和方向随着时间进行周期性变化的电流, 称为交流电流, 用英文小写字母 i 表示。如果电流不随时间变化而变化, 即 $dq/dt = \text{常数}$, 则称这种电流为直流电流, 简称直流。直流电流用英文大写字母 I 表示。直流电流的定义式为

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

式中, q 为 t 时间内通过导体横截面的电荷量。

在国际单位制(SI)中, 电流的单位是安[培], 符号为 A。电流的常用单位还有毫安(mA)和微安(μA)。它们之间的换算关系是

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

2. 电流的参考方向

电流的实际方向是客观存在的。但在电路分析中, 特别是分析复杂电路时, 电流的实际方向往往难以判断。特别是对于交流电流, 其方向随时间而变, 是无法标出它的实际方向的。为此, 引入了“参考方向”这一概念。

参考方向是人为地任意选定的一个方向。即在分析电路时, 可任意选定一个方向作为电流的参考方向, 在电路中用箭头表示。当然, 参考方向并不一定与电流的实际方向一致。如果分析电路时计算出的电流为正值, 则实际方向与参考方向一致; 反之, 若计算出电流为负值, 则电流的实际方向与参考方向相反, 如图 1-4 所示。这样, 电流就是一个代数量了, 可以根据电流的正、负值来确定电流的实际方向。

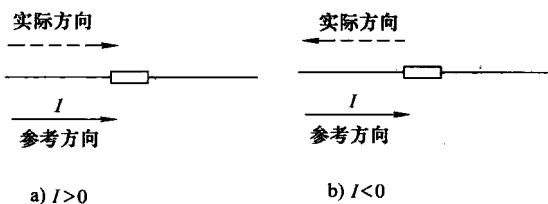


图 1-4 电流的参考方向与实际方向

1.2.2 电压和电动势

1. 电压的概念

如图 1-5 所示, A、B 是电源的两个电极, A 带正电称为正极, B 带负电称为负极, A、B 间产生由 A 指向 B 的电场。若将 A、B 用导体连接起来, 则在电场力的作用下, 正电荷会沿导体从 A 移到 B(实际是导体中的自由电子在电场作用下由 B 移到 A, 两者等效), 形成电流, 这就是电场力对电荷做了功。为了衡量电场力对电荷做功的能力, 引入了“电压”这一物理量。A、B 两点间的电压定义为: 电场力把单位正电荷从 A 点移动到 B 点所做的功, 用符号 u_{AB} 表示。其定义式为

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

式中, dW_{AB} 表示电场力将 dq 的正电荷从 A 点移动到 B 点所做

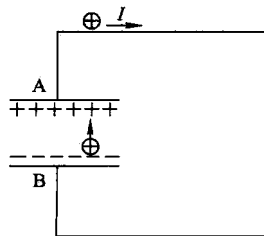


图 1-5 电荷的移动回路

的功。

大小或方向随时间而变的电压称为交流电压,用英文小写字母 u 表示;大小和方向都不随时间而变的电压称为直流电压,用英文大写字母 U 表示。

在国际单位制中,电压的单位是伏[特],符号为 V。常用的电压单位还有千伏(kV),毫伏(mV)。它们之间的换算关系是

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

2. 电动势的概念

如图 1-5 所示,在电场力的作用下,随着正电荷从 A 点移到了 B 点,会使电极 A 的正电荷逐渐减少,A、B 间电场减小,甚至消失。这样,导体中电流也会减小到零。为了维持电流的流通,必须有一种力,能够克服电场力做功,使运动到电极 B 的正电荷流向电极 A,以保证 A、B 间电场恒定,这种力称为电源力。电动势是描述电源力对正电荷做功能力的物理量。定义为:电源力把单位正电荷从电源负极移到正极所做的功,用符号 e 表示。其定义式为

$$e = \frac{dW_{BA}}{dq} \quad (1-4)$$

式中, dW_{BA} 为电源力将 dq 的正电荷从 B 点移动到 A 点所做的功。

电动势的单位与电压单位相同。

根据定义可知,电压的方向是从正极性(高电位)端指向负极性(低电位)端;电动势的方向是从负极性(低电位)端指向正极性(高电位)端,两者方向相反。

若忽略电源内部的其他能量转换,根据能量守恒定律,电源的电压在数值上等于电动势。

3. 电压、电动势的参考方向

与电流相似,在电路分析时,可以给电压、电动势规定参考方向。其参考方向有三种表示方式:

(1) 采用参考极性表示 如图 1-6a 所示,在电路元件上标出正(+)、负(-)极性。

(2) 采用箭头表示 如图 1-6b 所示,箭头方向为参考方向。

(3) 采用双下标表示 如图 1-6c 所示, U_{AB} 表示参考方向是由 A 指向 B。

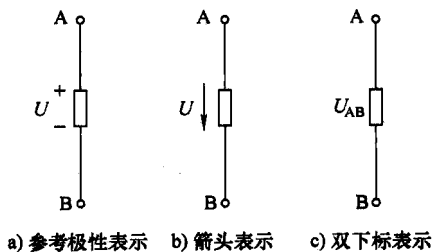


图 1-6 电压和电动势的参考方向

在规定了参考方向后,电压和电动势成为代数量。若分析电路时计算出的电压或电动势值为正,则参考方向与实际方向一致;反之,则参考方向与实际方向相反。

4. 关联参考方向

在规定了电压和电流的参考方向后,若电压和电流的参考方向选取一致,则称为关联参考方向,如图 1-7a 所示;若不一致,则称为非关联参考方向,如图 1-7b 所示。

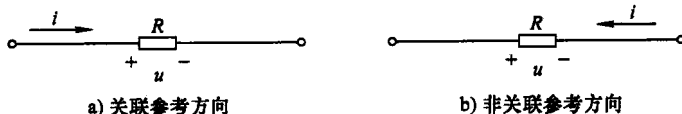


图 1-7 电压和电流的参考方向

1.2.3 电功率和电能

1. 电功率

如图 1-5 所示, 正电荷在电场力的作用下, 从高电位移至低电位使电能减少; 正电荷在电源力的作用下, 吸收电能后从低电位移回高电位。在这些电能转换中, 电能的转换速率称为电功率, 简称功率, 用符号 P 表示。其定义式为

$$P = dW/dt \quad (1-5)$$

式中, dW 为 dt 时间内转换的电能。

功率 P 也可以表示为

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{udq}{dt} = ui \quad (1-6)$$

直流时有

$$P = UI \quad (1-7)$$

在国际单位制中, 功率的单位是瓦[特], 符号为 W。功率常用的单位还有千瓦(kW), 毫瓦(mW)等。它们之间的换算关系是

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

式(1-6)和式(1-7)是在电压与电流的参考方向一致时的表达式。当电压与电流的参考方向不一致时, 表达式应加“-”号, 即

$$p = -ui \quad \text{或} \quad P = -UI \quad (1-8)$$

无论电压与电流的参考方向是否一致, 代入相应的公式后, 如果计算结果为正值, 说明元件实际消耗(吸收)功率, 在电路中为负载或起负载的作用; 若得到的功率为负值, 说明元件实际发出(产生)功率, 在电路中为电源或起电源的作用。当然, 根据能量守恒定律, 电路中元件发出的功率之和应该等于元件吸收的功率之和, 即整个电路的功率是平衡的。

2. 电能

在时间 t 内, 电路转换的电能为

$$W = \int_0^t p dt \quad (1-9)$$

直流时有

$$W = Pt \quad (1-10)$$

在国际单位制中, 电能的单位是焦[耳], 符号为 J。另外, 工程上常用“度”作为电能的单位。它等于功率为 1kW 的用电设备在 1h 内消耗的电能, 即

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

例 1-1 图 1-8 所示是某电路中的一部分, 已知 $U_1 = 5\text{V}$, $U_2 = 3\text{V}$, $I = -2\text{A}$ 。(1) 求元件 1、2 的功率, 并说明它们是消耗还是发出功率, 起电源作用还是负载作用; (2) 若元件 3 消耗功率为 14W, 求 U_3 ; (3) 求 A、B 端的总功率及在 1h 内消耗电能为多少度。

解: (1) 元件 1 的电压与电流参考方向不一致, 故

$$P_1 = -U_1 I = -5\text{V} \times (-2)\text{A} = 10\text{W}$$

$P_1 > 0$, 元件 1 消耗功率, 起负载作用。

元件 2 的电压与电流参考方向一致, 故

$$P_2 = U_2 I = 3\text{V} \times (-2)\text{A} = -6\text{W}$$

$P_2 < 0$, 元件 2 发出功率, 起电源作用。

(2) 元件 3 的电压与电流参考方向一致, 且消耗功率 ($P > 0$), 有

$$P_3 = U_3 I = 14\text{W}$$

$$U_3 = \frac{P}{I} = \frac{14\text{W}}{(-2)\text{A}} = -7\text{V}$$

(3) 总功率为

$$P = P_1 + P_2 + P_3 = (10 - 6 + 14)\text{W} = 18\text{W}$$

$$W = Pt = 18 \times 10^{-3}\text{kW} \times 1\text{h} = 0.018 \text{度}$$

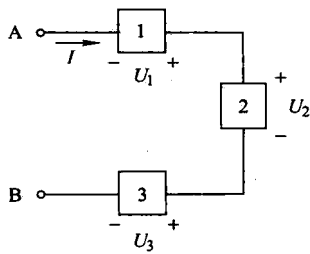


图 1-8 例 1-1 电路

1.2.4 电流、电压及功率的测量

1. 电流的测量

电流的测量通常是用电流表来实现的。测量电流时必须将电流表串联于被测电流支路中, 如图 1-9 所示。应强调的是电流表不能与任何负载并联, 更不能与电源并联, 否则会因流过电流表的电流过大而烧毁电流表。在连接时应注意电流表的正端一定要接到电路中的高电位, 否则表针将反向偏转, 不仅无法读数而且可能撞坏表针。

由于电流表本身具有电阻(内阻), 串联接入电路后相当于负载串联了一个电阻, 会改变电路的参数, 造成测量误差。为了不改变电路的工作状态、减小误差, 应选择内阻远远小于负载电阻的电流表。通常认为电流表的内阻是负载的 1/100 左右时, 电流表对测量的影响可忽略不计。

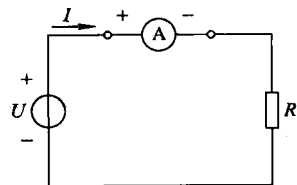


图 1-9 电流表接线图

电流表的量程一般较小, 为了测量大电流, 需采取扩大量程的措施, 其方法是采用分流器或电流互感器, 如图 1-10 所示。

(1) 分流器法 当测量直流大电流时, 可在仪表内或仪表外附加一个并联的小电阻, 然后再串联在电路中测量, 这个小电阻就称为分流器。

分流器的额定值有额定电流和额定电压。常见的额定电压有 45mV 和 75mV 两种规格。若电流表的电压量程与分流器的额定电压一致, 就可以和分流器并联, 这时电流表的量程就扩大到分流器上所标注的额定电流值。

(2) 电流互感器 当测量交流大电流时, 可以使用电流互感器来扩大量程。只要选择适当交流比的电流互感器, 就可以将电流表的量程扩大到所需范围。

2. 电压的测量

测量电路中电压的仪表称为电压表。测量电压时必须将电压表并联于被测元件的两端, 如图 1-11a 所示。为了减小误差, 应选择内阻远远大于负载电阻的电压表进行测量。

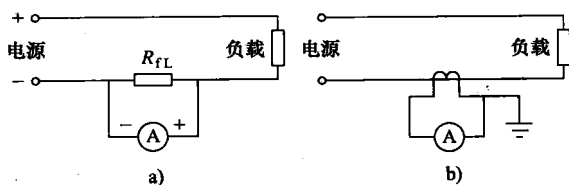


图 1-10 电流表的扩容

通常在电压表回路中串联一个高阻值的附加电阻来扩大电压表的直流量程,如图 1-11b 所示。也可以使用电压互感器来扩大电压表的交流量程,如图 1-11c 所示。

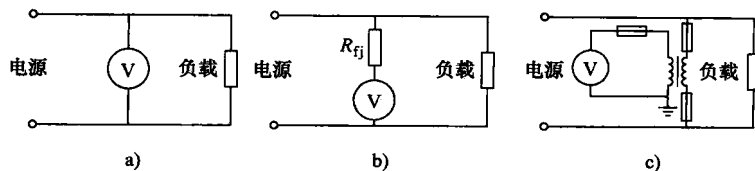


图 1-11 电压表的连接

3. 功率的测量

一般采用电动式功率表来测量交直流功率。如图 1-12 所示,它有两组线圈。固定线圈导线较粗,与负载 R 串联,流过负载电流,称为电流线圈。活动线圈导线较细,与附加电阻 R_F 串联后与负载并联,称为电压线圈,用于测量负载两端的电压。

功率表中的电流线圈和电压线圈各有一个接线端上标有“*”号。单相功率表的电压线圈“*”端可以和电流线圈“*”端接在一起,称为前接法,用于负载电阻远大于功率表电流线圈电阻的情况;电压线圈“*”端也可以和电流线圈的无符号端连在一起,称为后接法,适用于负载电阻远小于功率表电压线圈电阻的情况。

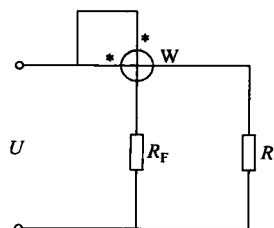


图 1-12 功率表接线图

使用功率表时应正确选择功率表的电压、电流量程,才能进行正确测量。

1.3 基本电路元件

1.3.1 电阻及其使用常识

1. 电阻

电阻元件是对电流有阻碍作用、消耗电能的实际材料或元件的理想化电路元件,如电炉、电灯等消耗电能,并将电能转换为热能、光能的实际元件可用电阻来反映。电阻用字母 R 表示,单位是欧姆(Ω)。常用的电阻单位还有千欧($k\Omega$)、兆欧($M\Omega$)。它们之间的换算关系是

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

在关联参考方向下,当电阻两端的电压和流过的电流成正比关系时,称为线性电阻,其伏安特性如图 1-13a 所示,是过原点的直线。当电阻两端的电压和流过的电流不成正比关系

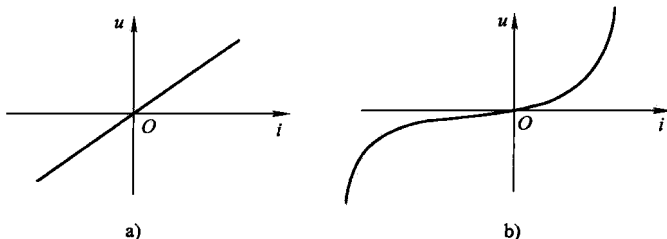


图 1-13 电阻的伏安特性

时,其伏安特性是过原点的曲线,如图 1-13b 所示,称为非线性电阻。

2. 电阻的使用常识

选用电阻时要考虑的参数有两个:电阻的大小(即电阻的标称阻值)和电阻的额定功率。

(1) 标称阻值 在大多数电阻上,都标有电阻的阻值,这就是电阻的标称阻值。标称阻值是国家规定的电阻产品的标准。电阻的标称阻值与实际阻值不完全相符,其偏差除以标称阻值所得的百分数称为电阻的误差。一般电路常采用 $\pm 5\%$ 或 $\pm 10\%$ 误差的电阻,它们在电阻上分别用金色和银色色环表示。误差为 $\pm 5\%$ 的电阻标称阻值系列有:1.0、1.1、1.2、1.3、1.5、1.6、1.8、2.0、2.2、2.4、2.7、3.0、3.3、3.6、3.9、4.3、4.7、5.1、5.6、6.2、6.8、7.5、8.2、9.1。误差为 $\pm 10\%$ 的电阻标称阻值系列有:1.0、1.2、1.5、1.8、2.2、2.7、3.3、3.9、4.7、5.6、6.8、8.2。

电阻的标称阻值常用数字法和色环法标注在电阻上。数字法就是直接将阻值标在电阻阻体上,如 $1\text{k}\Omega$,标注为 1k。色环法就是用色环表示电阻大小,通常有 4 环和 5 环两种。将误差色环定为最后一位,4 环法中前两位为数字,第三位为倍乘,5 环法中前三位为数字,第四位为倍乘。色环颜色黑、棕、红、橙、黄、绿、蓝、紫、灰、白分别对应数字 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。以 4 环法为例,如标有黄紫橙金色的电阻是 $47\Omega \times 10^3 = 47\text{k}\Omega$ 、误差为 $\pm 5\%$ 。

(2) 电阻的额定功率 电阻长时间工作允许消耗的最大功率称为额定功率。电阻的额定功率也有标称值。常用的有 $1/8\text{W}$ 、 $1/4\text{W}$ 、 $1/2\text{W}$ 、 1W 、 2W 、 3W 、 5W 、 10W 、 20W 。选用电阻的时候,要留有一定的余量,应选标称功率比实际消耗的功率大一些的电阻,以保证电路及元件的安全。

1.3.2 电感

当实际电感器的导线电阻被忽略时,电感器就成为理想的电感元件,简称电感。电感用字母 L 表示,单位是亨利(H)。常用的电感单位还有毫亨(mH)、微亨(μH)。它们之间的换算关系是

$$1\text{H} = 10^3\text{mH} = 10^6\mu\text{H}$$

电感有电流流过时将产生磁通 Φ_L ,若磁通与 N 匝线圈都交链,则磁通链 $\Psi_L = N\Phi_L$ 。 Ψ_L 是由电流产生的,当 Ψ_L 与电流的参考方向符合右手螺旋定则时,有

$$\Psi_L = Li \quad (1-11)$$

当电感两端电压和流过电流为关联参考方向时,根据楞次定律有

$$u = \frac{d\Psi_L}{dt}$$

把式(1-11)代入上式,得到

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

由式(1-12)可以看出,电感元件的电压与流过电流的变化率成正比。对于直流电,电流不随时间变化,则 $u=0$,电感相当于短路。

理想的电感元件不消耗能量,是一种储能元件。只要有电流,电感就储存磁场能。

1.3.3 电容及其使用常识

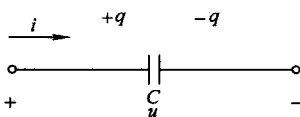
1. 电容

电容元件是实际电容器的理想化模型, 简称电容。电容是一种能储存电场能量的元件。电容用字母 C 表示, 单位是法拉(F)。常用的电容单位还有微法 (μF)、皮法(pF)。它们之间的换算关系是

$$1\text{F} = 10^6 \mu\text{F} = 10^{12} \text{pF}$$

如图 1-14 所示, 电容上的电压参考方向由正极板指向负极板, 则极板上储存的电荷为

$$q = Cu \quad (1-13)$$



在图 1-14 中, 当 u 、 i 为关联参考方向时

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

图 1-14 电容

由式(1-14)可以看出, 电流与电容元件两端电压的变化率成正比。对于直流电, 电压不随时间变化, 则 $i=0$, 电容相当于开路。

2. 电容的使用常识

选用电容时要考虑的参数有两个: 电容的容量大小(即电容的标称容量)和电容的耐压。

(1) 标称容量 电容上标有的容量是电容的标称容量。标称容量与实际容量会有误差。常用误差等级有 $\pm 5\%$ 、 $\pm 10\%$ 、 $\pm 20\%$ 。常用电容的标称容量见表 1-1。

表 1-1 常用电容的标称容量

电容类别	允许误差	容量范围	标称容量系列
纸介电容、金属化纸介电容、纸膜复合介质电容、低频(有极性)有机薄膜介质电容	$\pm 5\%$	100pF ~ 1 μF	1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8
	$\pm 10\%$	1 μF ~ 100 μF	1 2 4 6 8 10 15 20 30 50 60 80 100
	$\pm 20\%$		
高频(无极性)有机薄膜介质电容、瓷介电容、玻璃釉电容、云母电容	$\pm 5\%$		1.1 1.2 1.3 1.5 1.6 1.8 2.0 2.4 2.7 3.0 3.3 3.6 3.9 4.3 4.7 5.1 5.6 6.2 6.8 7.5 8.2 9.1
	$\pm 10\%$		1.0 1.2 1.5 1.8 2.2 2.7 3.3 3.9 4.7 5.6 6.8 8.2
	$\pm 20\%$		1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8
铝、钽、铌、钽电解电容	$\pm 10\%$		1.0 1.5 2.2 3.3 4.7 6.8
	$\pm 20\%$		

标称容量在标注时, 容量小于 10000pF 用 pF 做单位, 大于 10000pF 用 μF 做单位。大于 100pF 而小于 1 μF 的电容常常不注单位。没有小数点的, 单位是 pF; 有小数点的, 单位是 μF 。

(2) 电容的耐压 电容长时间工作能承受的最大直流电压称为电容的耐压。电容常用的耐压系列值有 1.6V、4V、6.3V、10V、16V、25V、32V、40V、50V、63V、100V、125V、160V、250V、300V、400V、450V、500V、630V、1000V。选用电容的时候, 一定要留有余量, 以防止电容被击穿。

1.4 电路的三种状态

根据负载的不同情况,电路可分为空载、短路和负载三种状态。现以图 1-15 所示最简单的直流电路为例进行讨论。图中 U_s 、 U 和 R_s 分别为电源的源电压、端电压和内阻, R 为负载, U_o 为负载的端电压。

1.4.1 空载状态

空载状态又称为开路状态。如图 1-15 所示,当开关 S_1 、 S_2 均断开时,电路就处于该状态。这时,电源和负载不能构成通路,负载上电流为零。对于电源来说,外电路(除电源以外的电路)的电阻等于无穷大。此时的电源端电压称为开路电压,用 U_{oc} 表示。

电路处于开路状态时,有如下特点:

- 1) 电路中电流为零,即 $I=0$ 。
- 2) $I=0$, 内阻 R_s 上的电压降为零,因而开路电压等于电源的源电压,有关系式 $U_{oc} = U_s$ 。
- 3) 开路时,负载与电源断开,负载两端电压为零, $U_o = 0$ 。

1.4.2 短路状态

由于某种原因,电源两端直接连在一起的情况称为短路状态。如图 1-15 所示,开关 S_1 、 S_2 均闭合即为短路状态,也就是图 1-16 所示电路。此时外电路的电阻近似为零,这时电流不再流过负载,而是经过短路线回到电源负极。

很显然,电路中电源和负载都被短路,端电压为零,即 $U = U_o = 0$ 。

短路时的电流称为短路电流 I_s ,由图 1-16 可知 $I = I_s = U_s/R_s$ 。

短路时外电路电阻为零,电源内阻一般又很小,因此短路电流很大。该电流流过电源,会造成发热使电源损坏,甚至严重发热引起火灾。因而在实际工作中,短路是一种严重事故。工作人员应该经常检查电气设备和线路的工作情况,尽力防止由于短路而引起的事故发生。此外,通常还在电路中接入熔断器等短路保护电器,以便在短路发生时能迅速切断故障电路,达到安全的目的。

例 1-2 如图 1-15 所示,进行开路实验时,测得 $U = 9V$,进行短路实验时,测得 $I_s = 10A$ 。求 U_s 及 R_s 的值。

解: 电源开路时,有

$$U_s = U = 9V$$

短路状态时 $I_s = U_s/R_s$, 故电源内阻为

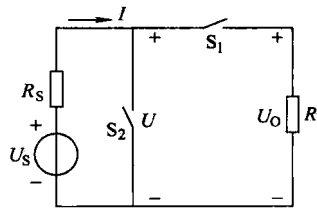


图 1-15 最简单的直流电路

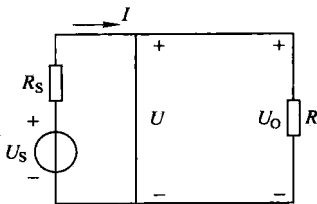


图 1-16 电路的短路状态