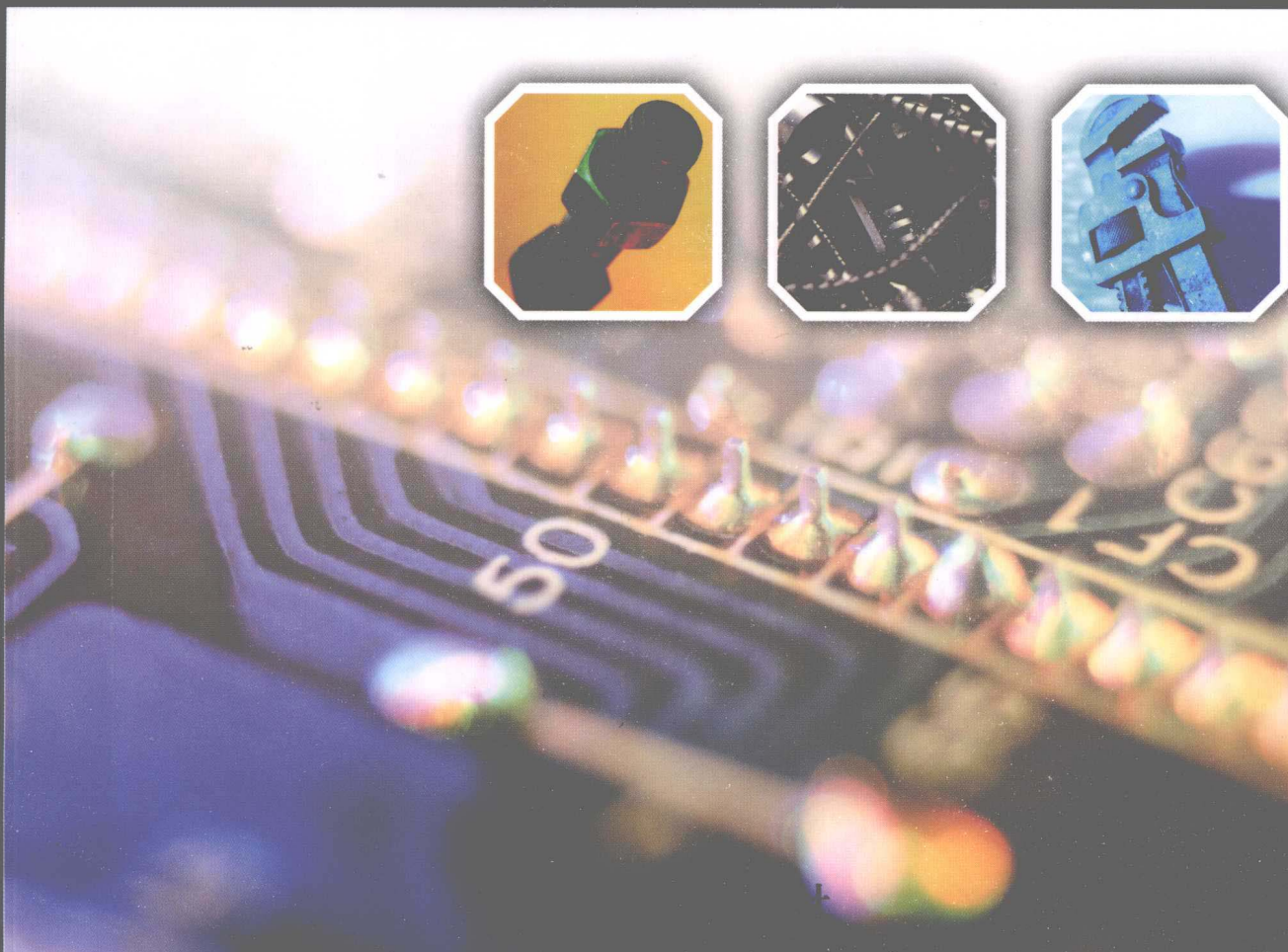
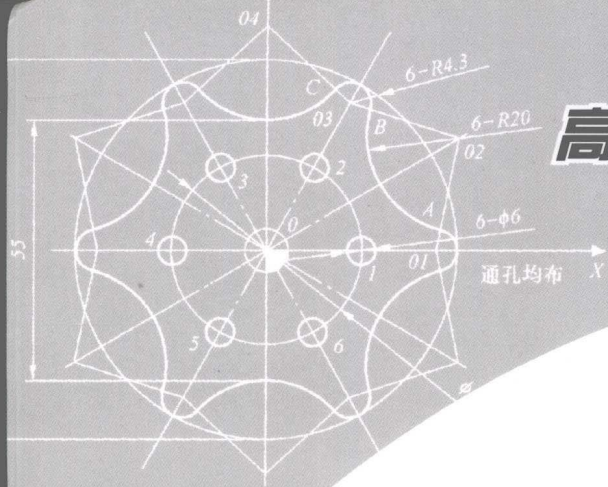
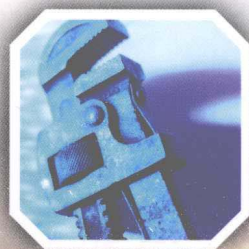
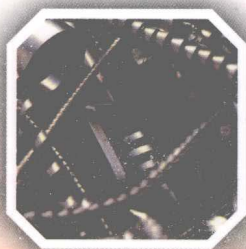


高职高专机电类规划教材

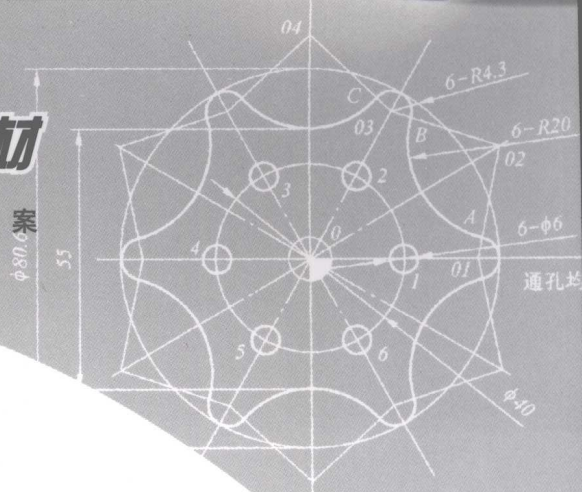
电工基础

■ 杨俊 许长兵 主编 刘一兵 边瑾 王永红 副主编



高职高专机电类规划教材

本系列丛书全部配有电子教案



- ▶ 机械制图
- ▶ 机械制图习题集
- ▶ 机械设计基础
- ▶ 机械设计基础 (含力学)
- ▶ 工程力学
- ▶ 机械制造技术基础
- ▶ 机械制造技术基础课程设计指导
- ▶ AutoCAD机械制图实例教程
- ▶ 工程材料及其成型
- ▶ 公差配合与几何精度检测
- ▶ 液压与气动技术
- ▶ 冲压工艺与模具设计
- ▶ 塑料模具设计
- ▶ 数控机床故障诊断与维修
- ▶ 数控加工编程与操作
- ▶ Pro/ENGINEER Wildfire 2.0 中文版教程
- ▶ Mastercam数控加工实用教程
- ▶ 单片机应用技术
- ▶ 电工电子技术
- ▶ 电气控制与PLC应用
- ▶ 电气控制与PLC技术
- ▶ 电机与电气控制
- ▶ PLC应用技术
- ▶ UG NX 4 实例教程
- ▶ 机械制造技术
- ▶ **电工基础**

张景耀
张景耀
陈桂芳
陈 静
章志芳
杜可可
杜可可
李银玉
李 英
王宇平
马春峰
李大成
李俊松
周 兰
霍苏萍
孙小捞
解金榜
李秀忠
申辉阳
张伟林
向晓汉
施振金
瞿彩萍
宋志国
姜 晶
杨 俊

 人民邮电出版社
教学服务与资源网
www.ptpedu.com.cn

教材服务热线: 010-67170985

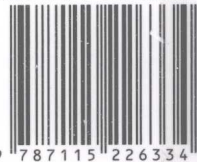
人民邮电出版社教学服务与资源网: www.ptpedu.com.cn

封面设计: 董志桢

人民邮电出版社网址: www.ptpress.com.cn



ISBN 978-7-115-22633-4



9 787115 226334 >

ISBN 978-7-115-22633-4

定价: 24.00 元

高职高专机电类规划教材

电工基础

杨 俊 许长兵 主编

刘一兵 边 瑾 王永红 副主编

人 民 邮 电 出 版 社

北 京

图书在版编目(CIP)数据

电工基础 / 杨俊, 许长兵主编. -- 北京: 人民邮电出版社, 2010.8
高职高专机电类规划教材
ISBN 978-7-115-22633-4

I. ①电… II. ①杨… ②许… III. ①电工学—高等学校: 技术学校—教材 IV. ①TM1

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第080586号

内 容 提 要

本书是根据教育部当前高职高专教育教学改革的基本精神编写而成的, 主要内容包括: 电路的基本概念、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路、磁路与变压器、异步电动机、直流电动机和控制电动机、继电接触器控制系统、安全用电技术等。

本书可作为高职高专机电一体化、电气、机械、汽车、数控、模具等专业的教材, 也可供相关技术人员参考。

高职高专机电类规划教材

电 工 基 础

-
- ◆ 主 编 杨 俊 许长兵
副 主 编 刘一兵 边 瑾 王永红
责任编辑 潘新文
 - ◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街14号
邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn
网址 <http://www.ptpress.com.cn>
北京楠萍印刷有限公司印刷
 - ◆ 开本: 787×1092 1/16
印张: 12.5
字数: 298千字
- 2010年8月第1版
2010年8月北京第1次印刷

ISBN 978-7-115-22633-4

定价: 24.00 元

读者服务热线: (010)67170985 印装质量热线: (010)67129223
反盗版热线: (010)67171154

前 言

本书根据当前高职高专教学改革的基本精神，结合作者多年来的职业教育教学实践经验编写而成。全书在编写过程中贯彻“管用、够用、适用”的思想，注意根据高职高专的培养目标和学生的基础知识情况，尽量做到理论讲述深入浅出，并紧密结合工程实际需要，突出实用性，降低理论难度，以便学生学有所用。

本书主要内容包括电路的基本概念、电路的分析方法、正弦交流电路、三相交流电路；磁路、变压器、电动机、控制系统和安全用电知识等。本书内容简明易懂，语言通俗，适合作为高职高专和高级技师学院的机电一体化、电气、机械、数控、模具等专业的教材。为便于教师教学需要，本书给出了各章的参考学时分配表（见下表），各学校可以根据自身实际情况自行予以调整。

学时分配表

章 号	内 容	学 时	
		理 论	实 验 实 训
第 1 章	电路的基本知识	6	2
第 2 章	电路的分析方法	12	
第 3 章	正弦交流电路	6	2
第 4 章	三相电路	8	2
第 5 章	磁路与变压器	6	2
第 6 章	异步电动机	6	3
第 7 章	直流电动机和控制电机	8	2
第 8 章	继电器接触器控制系统	6	4
第 9 章	安全用电技术	4	4
总学时		62	21

本书由杨俊、许长兵任主编，刘一兵、边瑾、王永红任副主编，其中第 1、2 章由许长兵编写，第 3 章由边瑾编写，第 4 章和第 5 章由刘一兵编写，第 6 章和第 9 章由杨俊编写，第 7 章和第 8 章由王永红编写，全书由杨俊统稿并审定，由于编写时间紧促，加之编者编写水平有限，书中难免存在不妥和错误之处，敬请广大读者批评指正。

编 者
2010 年 3 月

目 录

第 1 章 电路的基本知识	1
1.1 电路和电路模型	1
1.1.1 电路的组成及功能	1
1.1.2 电路模型	2
1.2 电路分析的基本变量	3
1.2.1 电流	3
1.2.2 电压、电位和电动势	4
1.2.3 参考方向	5
1.2.4 电功和电功率	7
1.3 基尔霍夫定律	9
1.3.1 基尔霍夫电流定律 (KCL)	9
1.3.2 基尔霍夫电压定律 (KVL)	10
1.4 电路元件	12
1.4.1 耗能元件——电阻元件	12
1.4.2 供能元件——独立电源	15
1.4.3 储能元件——动态元件	19
1.4.4 能量控制元件——受控源	28
本章小结	29
本章习题	30
第 2 章 电路的分析方法	33
2.1 电阻的串联和并联	33
2.1.1 电阻的串联	33
2.1.2 电阻的并联	34
2.1.3 电阻的混联及 Y— Δ 等效变换	36
2.1.4 电阻电路功率及负载获得最大功率的条件	38
2.2 电路中各点电位的计算	39
2.3 应用基尔霍夫定律计算线性网络	41
2.4 网孔分析法	42
2.5 节点分析法	45
2.6 弥尔曼定理	48
2.7 叠加定理和置换定理	50
2.7.1 叠加定理	50
2.7.2 置换定理	52

2.8 戴维南定理和诺顿定理	53
2.8.1 戴维南定理	53
2.8.2 诺顿定理	55
2.9 应用戴维南定理分析受控源电路	56
本章小结	59
本章习题	59
第3章 正弦交流电路	63
3.1 正弦信号的基本概念	63
3.1.1 正弦信号的三要素	63
3.1.2 正弦信号的相位差	64
3.1.3 正弦信号的有效值	65
3.2 正弦信号的相量表示	66
3.2.1 复数及其运算	66
3.2.2 正弦信号的相量表示	67
3.3 基本元件伏安特性和基尔霍夫定律的相量形式	70
3.3.1 基本元件伏安特性的相量形式	70
3.3.2 基尔霍夫电流定律和电压定律的相量形式	73
3.4 相量模型	75
3.4.1 阻抗与导纳	75
3.4.2 正弦稳态电路相量模型	77
3.4.3 阻抗和导纳的串、并联	78
3.5 相量法分析	80
3.6 正弦交流电路中的谐振	83
3.6.1 RLC 串联谐振的条件与谐振频率	83
3.6.2 电感与电容并联谐振	85
3.7 正弦交流电路的功率及功率因数的提高	87
3.7.1 正弦交流电路的功率	87
3.7.2 功率因数提高的意义	88
3.7.3 功率因数提高的方法	89
本章小结	90
本章习题	91
第4章 三相电路	94
4.1 三相交流电源	94
4.1.1 三相交流电源的产生	94
4.1.2 三相绕组的连接	96
4.2 三相负载	98
4.2.1 三相负载的星形连接	98

4.2.2 三相负载的三角形连接	100
4.3 三相电路的功率	102
4.3.1 三相功率的计算	103
4.3.2 三相功率的测量	104
本章小结	106
本章习题	106
第 5 章 磁路与变压器	108
5.1 磁场的基本物理量	108
5.2 磁性材料的磁性能	109
5.3 磁路的基本定律	112
5.4 交流铁芯线圈电路	114
5.4.1 电磁关系	115
5.4.2 功率损耗	116
5.4.3 等效电路	117
5.5 变压器	117
5.5.1 变压器的结构原理与功能	118
5.5.2 变压器的额定值、外特性与效率	121
5.5.3 特殊变压器	122
5.5.4 三相变压器	123
本章小结	124
本章习题	125
第 6 章 异步电动机	128
6.1 异步电动机的基本结构	128
6.2 三相异步电动机的工作原理	129
6.3 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	132
6.3.1 三相异步电动机的电路分析	132
6.3.2 电磁转矩	134
6.3.3 机械特性	135
6.4 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	137
6.4.1 三相异步电动机的铭牌数据	137
6.4.2 三相异步电动机的启动	140
6.4.3 三相异步电动机的调速	143
6.4.4 三相异步电动机的制动	145
6.4.5 三相异步电动机的选择	146
6.5 单相异步电动机	148
本章小结	150
本章习题	150

第 7 章 直流电动机和控制电机	152
7.1 直流电动机的结构与工作原理	152
7.1.1 直流电动机的结构	152
7.1.2 直流电动机的工作原理	153
7.2 直流电动机的分类和铭牌数据	155
7.2.1 直流电动机的分类	155
7.2.2 直流电动机的铭牌数据	156
7.3 直流电动机的机械特性	157
7.3.1 他励直流电动机的机械特性	158
7.3.2 串励直流电动机的机械特性	158
7.4 直流电动机的启动、制动和调速	159
7.4.1 启动	159
7.4.2 制动	160
7.4.3 调速	162
7.5 控制电机	164
7.5.1 伺服电动机	164
7.5.2 测速发电机	167
本章小结	169
本章习题	170
第 8 章 继电器接触器控制系统	172
8.1 常用控制电器	172
8.2 三相异步电动机的基本控制电路	177
8.2.1 点动控制和直接启动控制	178
8.2.2 多地控制和顺序控制	179
8.2.3 正反转控制	180
8.2.4 行程控制	182
8.2.5 时间控制	182
本章小结	183
本章习题	183
第 9 章 安全用电技术	185
9.1 安全用电常识	185
9.2 防止触电的安全技术	186
9.3 电气设备的防火	188
本章小结	189
本章习题	189
参考文献	190

第 1 章 电路的基本知识

本章主要介绍电路中的基本物理量、基本概念及基本定律。着重讨论电流和电压的参考方向、基尔霍夫定律及电路等效原理等。通过本章的学习，读者应了解和掌握电路中的基本概念和定律，为后续复杂电路的分析奠定基础。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路的组成及功能

电流通过的路径称为电路。实际电路通常由各种电路实体元件（如电源、电阻器、电感线圈、电容器、变压器、仪表、二极管、三极管等）组成。每一种电路实体元件具有各自不同的电磁特性和功能，按照人们的需要，把相关电路实体元件按一定方式进行组合，就构成了电路。如果电路元件数目很多且电路结构较为复杂时，通常又把这些电路称为电网络。

手电筒电路、单个照明灯电路是实际应用中的较为简单的电路，而电动机电路、雷达导航设备电路、计算机电路、电视机电路是较为复杂的电路，但不管简单还是复杂，电路的基本组成部分均为：电源、负载和中间环节。

电源：向电路提供电能的装置。它可以将其他形式的能量，如化学能、热能、机械能、原子能等转换为电能。在电路中，电源是激励，是激发和产生电流的因素。

负载：负载就是通常人们熟悉的各种用电器，是电路中接收电能的装置。在电路中，负载是响应，通过负载，把从电源接收到的电能转换为人们需要的能量形式，如电灯把电能转变成光能和热能，电动机把电能转换为机械能，充电的蓄电池把电能转换为化学能等。

中间环节：电源和负载连通离不开传输导线，电路的通、断离不开控制开关，实际电路为了长期安全工作还需要一些保护设备（如熔断器、热继电器、空气开关等），它们在电路中起着传输和分配能量，以及控制和保护电气设备的作用。

工程应用中的实际电路，按照功能的不同可概括为两大类。

(1) 电力系统中的电路：特点是大功率、高电压、大电流。其主要功能是对发电厂发出的电能进行传输、分配和转换。

(2) 电子技术中的电路：特点是小功率、低电压、小电流。其主要功能是实现对电信号的传递、变换、储存和处理。

1.1.2 电路模型

人们设计和制作各种电路元件,是为了利用它们的主要电磁特性实现人们的需要。例如,制作一个滑线变阻器,主要是利用它对电流呈现阻力的性质;制作一个电压源,主要是利用其能在正负极间保持一定电压的性质。但实际上滑线变阻器不仅具有对电流呈现阻力的性质,同时电流通过它时还会在其周围产生磁场;实际的电压源也总是存在内阻的,因此使用时不可能保持定值的端电压。因此,在进行实际电路进行分析和计算时,若对实际电路元件的全部电磁特性都加以考虑,势必使问题复杂化,造成分析和计算上的困难。

在电路理论中,为了便于对实际电路的分析和计算,我们通常在实际工程允许的条件下对实际电路进行模型化处理。例如电阻器、灯泡、电炉等,这些电气设备接受电能并将电能转换成光能或热能,光能和热能显然不可能再回到电路中,因此我们把这种能量转换过程不可逆的电磁特性称之为耗能。这些电气设备除了具有耗能的电磁特性,当然还有其他一些电磁特性,但在研究和分析问题时,即使忽略其他这些电磁特性,并不会影响整个电路的分析和计算。因此,我们就可以用一个只具有耗能电磁特性的“电阻元件”作为它们的电路模型。

工程实际中的电感器,通常是在一个骨架上用漆包线绕制而成。在直流电路中,电感器表现的电磁特性主要是耗能,储存的磁能和电能与耗能的因素相比可以忽略,因此直流下可用一个“电阻元件”来作为这个实际电感器的电路模型;电感器在工频电路中,主要电磁特性不仅有耗能的因素,还具有储存磁场能量的重要因素,这时我们可用一个理想化的电阻元件和一个只具有储存磁能性质的“电感元件”相串联作为它的电路模型;同一个电感器若应用在较高频率的电路时,不仅要考虑上述两种因素,同时还要考虑导体表面的电容效应,因此其电路模型又应是电阻元件和电感元件相串联后再与一个只具有储存电能性质的“电容元件”相并联的组合。

由此可知,同一实体电路元件,其电磁特性是复杂和多元的,并且在不同的外部条件下,它们呈现的电磁特性也会各不相同。

为了便于问题的分析和计算,在电路基础中,我们通常忽略其次要因素,抓住足以反映其功能的主要电磁特性,抽象出实际电路器件的“电路模型”。这种模型化处理方法是电路分析中简化分析和计算的行之有效的方法。

实际电路元件的“电路模型”分为有源和无源两大类,如图 1-1 所示。

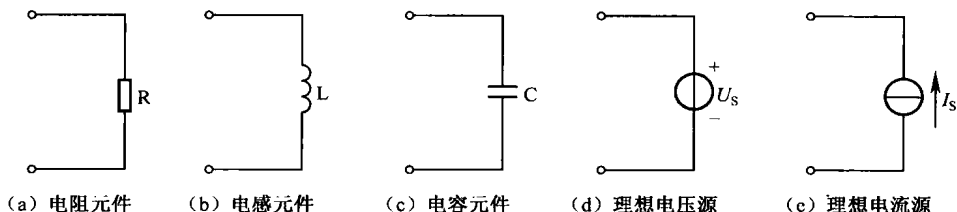


图 1-1 无源和有源的理想电路元件的电路模型

图中的无源二端元件有电阻元件、电感元件和电容元件,由于用电器上的电磁特性无非就是归纳为这 3 种抽象,因此通常把它们称为电路的三大基本元件,简称为电路元件。电路

元件是实际电路器件的理想抽象，其电磁特性单一而确切。

图中的有源二端元件，其中的“源”是指它们能向电路提供电能。如果电源的主要供电方式是向电路提供一定的电压，就是电压源，若主要供电方式是向电路提供一定的电流，就称为电流源。

对实际元器件的模型化处理，使得不同的实体电路元件，只要具有相同的电磁性能，在一定条件下就可以用同一个电路模型来表示，显然降低了实际电路的绘图难度。而且，同一个实体电路元件，处在不同的应用条件和环境下，其电路模型可具有不同的形式。有的模型比较简单，仅由一种元件构成；有的比较复杂，可用几种理想元件的不同组合构成。显然，实际电路元件的理想化处理，给分析和计算电路也带来了极大的方便。

例如，图 1-2 所示为一个最简单的手电筒电路及它的电路模型。

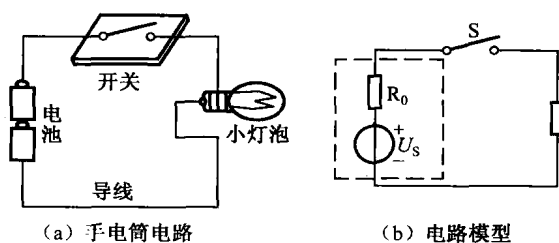


图 1-2 手电筒电路及其电路模型

由图 1-2 可知，手电筒的实际电路较为复杂，其电路模型显然清晰明了。

对电路进行分析，就是要寻求实际电路共有的一般规律，电路模型就是用来探讨存在于具有不同电磁特性的各种真实电路中共同规律的工具。简单地说，电路模型就是与实际电路相对应的、由理想电路元件构成的电路图。

电路模型具有两大特点：一是它里面的任何一个元件都是只具有单一电磁特性的理想电路元件，因此反映出的电磁现象都可以用数学方式来精确地分析和计算；二是对各种电路模型的深入研究，实质上就是探讨各种实际电路共同遵循的基本规律。

需要指出的是，上面所讲到的各种电路模型，只适用于低、中频电路的分析，因为在低、中频电路中，其中的电路元件基本上都是集总参数元件，所谓集总参数元件，就是其电磁过程都集中在元件内部进行的电路元件。而在高频和超高频电路中，元器件上的电磁过程并不是集中在元件内部进行，因此要用“分布电路模型”来抽象和进行描述。

1.2 电路分析的基本变量

电路的变量是描述电路特性的物理量，常用的电路变量有电流、电压和功率。

1.2.1 电流

在物理学中我们已经知道，电子和质子都是带电粒子，电子带负电荷，质子带正电荷。电荷的有规则移动形成电流。计量电流大小的物理量是电流强度，电流强度的定义是：单位时间内通过导体路径中某一横截面的电荷量，即

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

习惯上把正电荷运动的方向规定为电流的方向。上式中电荷单位是库仑 (C)，时间单位是秒 (s) 时，电流强度的单位为安培 (A)。常用的其他电流单位还有千安 (kA)、毫安 (mA)、微安 (μA)。它们之间的关系是

$$\begin{aligned} 1\text{kA} &= 10^3\text{A} \\ 1\text{A} &= 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} \end{aligned}$$

如果在任一瞬间通过导体横截面电量都是相等的，而且方向也不随时间变化，则这种电流叫做恒定电流，简称直流 (DC)。它的电流强度用符号 I 表示。如果电流的大小和方向都随时间变化，则称之为交变电流，简称交流 (AC)，它的电流强度用符号 i 表示。

尽管规定正电荷的运动方向为电流方向，但在求解较复杂的电路时，往往很难事先判断电流的真实方向，为了分析电路方便，引入参考方向的概念。参考方向就是在分析电路时可以先任意假定一个电流方向，如果电流的真实方向与参考方向一致时，电流为正值，否则为负值。这样，在指定参考方向的前提下，结合电流的正负值就能够确定电流的实际方向。电流的参考方向一般直接用箭头标记在电流通过的路径上。

1.2.2 电压、电位和电动势

1. 电压

根据中学物理学可知，电压就是将单位正电荷从电路中一点移至电路中另一点电场力所做的功，用数学式可表达为

$$U_{ab} = \frac{W_a - W_b}{q} \quad (1-2)$$

式中， U_{ab} 就是电压。当电功的单位用焦耳 (J)，电量的单位用库仑 (C) 时，电压的单位是伏特 (V)。电压的单位还有千伏 (kV) 和毫伏 (mV)，各种单位之间的换算关系为

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

由欧姆定律可知，如果把一个电压加在电阻两端，电阻中就会有电流通过。实际电路中的情况也是如此，当我们在负载两端加上一个电压时，负载中同样会有电流通过，而电流通过负载时必定会在负载两端产生电压降，即发生能量转换的过程。即电压是电路中产生电流的根本原因（就像水路中产生水流的原因是水位差一样的道理）。

电压在电路分析中也存在方向问题。一般规定电压的正方向是由高电位“+”指向低电位“-”，因此通常把电压称为电压降。

2. 电位

电路中各点位置上所具有的势能称为电位。空间各点位置的高度都是相对于海平面或某个参考高度而言的，没有参考高度讲空间各点的高度毫无意义。同样，电路中的电位也具有相对性，只有先明确了电路的参考点，再讨论电路中各点的电位才有意义。电路理论中规定：电位参考点的电位取零值，其他各点的电位值均是相对于参考点电位而言的，高于参考点的电位是正电位，低于参考点的电位是负电位。

理论上,参考点的选取是任意的。但实际应用中,由于大地的电位比较稳定,所以经常以大地作为电路参考点。有些设备和仪器的底盘、机壳往往需要与接地极相连,这时我们也常选取与接地极相连的底盘或机壳作为电路参考点。电子技术中的大多数设备,很多元件常常汇集到一个公共点,为方便分析和研究,我们也常常把电子设备中的公共连接点作为电路的参考点。

电位的高低正负都是相对于参考点而言的。只要电路参考点确定之后,电路中各点的电位值就唯一确定了。实际上,电路中某点电位的值,数值上等于该点到参考点之间的电压。因此,在电子技术中检测电路时,常常选取某一公共点作为参考点,用电压表的负极表棒与该点相接触,而正极表棒只需点其他各点来测量它们的电位是否正常,即可查找出故障点。电位概念的引入给分析电路中的某些问题带来了不少方便。例如,一个电子电路中有5个不同的点,任意两点间均有一定的电压,直接用电压来讨论要涉及10个不同的电压,而改用电位讨论时,只需把其中的一个点作为电路参考点,只讨论其余4个点的电位就可以了。

电位的定义式与电压的定义式的形式相同,因此它们的单位也相同,也是伏特(V)。不同的是,电位特指电场力把单位正电荷从电场中的一点移到参考点所作的功。为了区别于电压,我们在电学中把电位用“V”表示,电压和电位的关系为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-3)$$

即电路中任意两点间电压,在数值上等于这两点电位之差。由式(1-3)也可以看出,电位是相对的,而电压是绝对的,电路中任意两点间的电压大小,仅取决于这两点电位的差值,与参考点无关。

3. 电动势

电动势反映了电源内部能够将非电能转换为电能的本领。电动势定义式的形式与电压、电位相同,因此它们的单位也相同,都是伏特(V)。

电路中的持续电流需要靠电源的电动势来维持,这就好比水路中需要用水泵来维持连续的水流一样。水泵之所以能维持连续的水流,是由于水泵具有将低水位的水抽向高水位的本领,从而保持水路中两处的水位差,高处的水就能连续不断地流向低处。电源之所以能够持续不断地向电路提供电流,也是由于电源内部存在电动势的缘故。电动势用符号“ E ”表示。在电路分析中,电动势的方向规定由电源负极指向电源正极,即电位升高的方向。

1.2.3 参考方向

比较简单的直流电路,电压、电流的实际方向很容易看出来,而对于复杂的直流电路,有时电路中电流(或电压)的实际方向很难预先判断出来;在交流电路中,由于电流(或电压)的实际方向在不断地变化,所以也无法在电路图中正确标出电流(或电压)某一瞬间的实际方向。

电路分析的任务是已知电路中的元件参数和“激励”(电源),去寻求电路中的“响应”(电压和电流),从而得到不同电路“激励”所对应的不同“响应”的规律。“寻求规律”是要

有依据的,这个依据就是对电路列写的方程式或方程组。在电路图上标出电压、电流的参考方向,就是为电路方程式中的各电量提供正、负依据,在这些参考方向下方可列写出相应的电路方程,进而求得“响应”(待求电压、电流)的结果。

在分析和计算电路的过程中,参考方向是人为设定的。但参考方向一经确定,整个分析过程中就不能再随意更改。为了避免麻烦,我们在假设元件是负载时,一般把元件两端电压的参考方向与通过元件中的电流的参考方向选成一致(说明负载通过电流时要进行能量转换,其结果使电流流出端电位降低),如图 1-3 (a) 所示。这种参考方向称为关联方向。当我们假设元件是电源时,参考方向一般选择非关联方向,如图 1-3 (b) 所示。



图 1-3 电压、电流参考方向

在运用参考方向时有两个问题要注意。

(1) 参考方向是为满足列写方程式的需要,是待求值的假定方向而不是其真实方向,所以不必去追究它的物理实质是否合理。

(2) 当分析、计算电路的过程中,出现“正、负”、“加、减”及“相同、相反”这几个概念时,切不可把它们混为一谈。

分析电路的最后计算结果时,当某一所求电压或电流得正值,说明它在电路图上的参考方向与实际方向相同;若某一所求电压或电流得负值,则说明它在电路图上所标定的参考方向与该量的实际方向相反。

例 1-1 电路如图 1-4 所示,图中标出了电流参考方向。已知电流 $I_1 = -1\text{A}$, $I_2 = 6\text{A}$, $I_3 = -3\text{A}$,若以 d 为参考点,则电位 $U_a = 2\text{V}$, $U_b = -1\text{V}$, $U_c = 1\text{V}$ 。求

(1) 电流 I_1 、 I_2 、 I_3 的实际方向和电压 U_{ab} 、 U_{bd} 、 U_{cd} 的实际极性。

(2) 若欲测量电流 I_1 和电压 U_{cd} 的数值,则电流表和电压表应如何接入电路?

解: (1) 在指定了电流参考方向后,结合电流值的正负就可判断其实际方向。已知 I_2 为正值,表明该电流的实际方向与它的参考方向一致;而 I_1 和 I_3 为负值,表明它的实际方向与指定的参考方向相反。

同理,根据

$$U_{ab} = U_a - U_b = 2 - (-1) = 3(\text{V})$$

$$U_{bd} = U_b - U_d = (-1) - 0 = -1(\text{V})$$

$$U_{cd} = U_c - U_d = 1 - 0 = 1(\text{V})$$

可知 $U_{ab} > 0$, 电压实际方向由 a 指向 b, 或者 a 为高电位端, b 为低电位端; $U_{bd} < 0$, 表明电压实际方向与参考方向相反, 即 d 为高电位端, b 为低电位端; 同理, $U_{cd} > 0$, c 点为高电位, d 点为低电位。

(2) 测量直流电流时, 应将电流表串连接入被测支路, 使实际电流从电流表的“+”极流入“-”极流出。测量直流电压时, 应把电压表并连接入被测电路, 使电压表“+”极与被测电压的高电位端连接,“-”极与低电位端连接, 如图 1-5 所示。

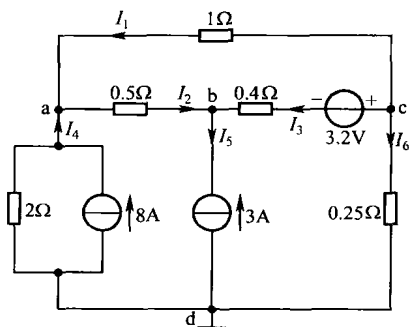


图 1-4 例 1-1 电路图

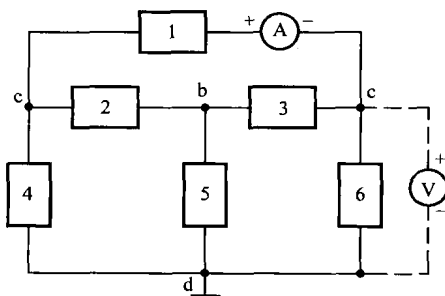


图 1-5 例 1-1 题解电路图

1.2.4 电功和电功率

某一简单电路如图 1-6 所示，正电荷从高电位端 a，经过电阻 R 移至低电位端 b，是电场力对电荷做功的结果，电场力做功消耗的电能被电阻吸收。正电荷由 b 端经电压源移至 a 端，是外力对电荷做功，通过做功将其他形式的能量转换为电能，从而使电源具有向外电路提供电能的特性。

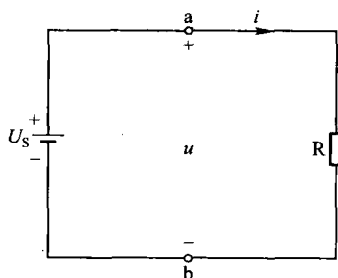


图 1-6 简单电路

1. 电功

电流能使电动机转动，电炉发热，电灯发光，说明电流具有做功的本领。电流做的功称为电功。电流做功的同时伴随着能量的转换，其做功的大小显然可以用能量进行度量，即

$$W = UIt \quad (1-4)$$

式中电压的单位用伏特 (V)，电流的单位用安培 (A)，时间的单位用秒 (s) 时，电功 (或电能) 的单位是焦耳 (J)。实际工程中，还常常用千瓦时 (kW·h) 来表示电功 (或电能) 的单位，1kW·h 又称为一度电。一度电的概念可用下述例子解释：100W 的灯泡使用 10 小时耗费的电能是 1 度；40W 的灯泡使用 25 小时耗费电能也是 1 度；1 000W 的电炉加热 1 小时，耗费电能还是 1 度，即 1 度 = 1kW × 1h。

2. 电功率

单位时间内消耗的电能即为电功率，记为 $p(t)$ 或 P ，表示式为

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} \quad (1-5)$$

根据 (1-2) 式，有

$$p(t) = \frac{dw(t)}{dt} = u(t) \frac{dq(t)}{dt}$$

再根据 (1-1) 式，则有

$$p(t) = u(t)i(t) \text{ 或 } p = ui$$