




21世纪高职高专**电子信息类**实用规划教材

# 电工与数字电路基础

卜新华 主 编  
刘保庆 副主编

郭根芳 李献军



 免费赠送电子课件



重点突出，内容紧凑；由浅入深，循序渐进；由理论到实践，便于教学和自学。提供了大量的例题和习题，可使读者在学习和掌握电工与电子技术原理的同时，对电子技术的应用有一定的了解。

清华大学出版社

21 世纪高职高专电子信息类实用规划教材

# 电工与数字电路基础

卜新华 主 编

郭根芳 李献军 刘保庆 副主编

清华大学出版社  
北 京

## 内 容 简 介

本书按照高职高专教学要求的特点,将原来的“电路与电工技术”课程和“数字电子技术”课程进行了选择性的整合重构,实现理论与实践的有机融合。

本书内容分为两大部分。第一部分主要围绕电路理论与电工基础进行全面讲解,主要内容包括电路基本概念、直流电阻电路分析、正弦交流电基础与三相交流电路、电工常用工具与仪表、电工材料与电子元器件、电气设备及低压电器控制电路、安全用电常识和机房供电技术;第二部分围绕数字电子技术的基本理论、基本概念和基本分析方法进行讲解,对应用性较强的章节,从实际应用的角度出发设计了多个项目,主要内容包括数字电路基础、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路和脉冲的产生与整形。

本书既可作为高职高专电力类、通信类及计算机类等相关课程的教学用书,也可作为相关技术人员职业资格认证及职工培训用书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

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

电工与数字电路基础/卜新华主编;郭根芳,李献军,刘保庆副主编.——北京:清华大学出版社,2012  
(21世纪高职高专电子信息类实用规划教材)

ISBN 978-7-302-27948-8

I. ①电… II. ①卜… ②郭… ③李… ④刘… III. ①电工学—高等职业教育—教材 ②数字电路—高等职业教育—教材 IV. ①TM1 ②TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 011203 号

责任编辑:李春明 桑任松

装帧设计:杨玉兰

责任校对:周剑云

责任印制:王静怡

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62791865

印 刷 者:北京富博印刷有限公司

装 订 者:北京市密云县京文制本装订厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19.75 字 数:479千字

版 次:2012年3月第1版 印 次:2012年3月第1次印刷

印 数:1~4000

定 价:39.00元

# 前 言

“电工与数字电路基础”课程是高职高专通信工程、计算机类各专业必修的专业基础课程，随着电子技术在各领域的广泛应用，它也越来越多地成为非电类专业的重要课程。

本书第一部分为电路理论与电工基础(包括第1~8章)，共8章，主要介绍电路基本概念、直流电阻电路分析、正弦交流电基础与三相交流电路、电工常用工具与仪表、电工材料与电子元器件、电气设备及低压电器控制电路、安全用电常识和机房供电技术。该部分重点突出，内容紧凑，适合少学时的教学安排。

本书第二部分为数字电子技术基础(包括第9~13章)，共5章，主要介绍数字电路基础、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路和脉冲的产生与整形。这一部分提供了大量的例题和习题，并且许多问题都与实际应用相结合，能使学生在学习和掌握原理的同时，对电子技术的应用有一定的了解。为了在教学中开拓学生的解题思路，提高学生分析和解决问题的能力，多角度加深学生对所学知识的理解，本书在一些实用性强的章节后面还安排了实训项目。

本书的特点之一是每章开头都介绍该章的要点和难点，让读者能在开始学习之前有一个全局性的了解；特点之二是每章配有大量的例题和习题，这些题目都由浅入深、循序渐进，由理论到实践，对基础欠缺的读者或自学者有很好的引导作用。另外，本书还尝试介绍了电路的设计或再设计，对读者的设计思路有一定的启发作用。因为电路设计不具有唯一性，因此也希望读者在研究这类例题时能找到自己的设计方案。

由于教学时数的限制，同时考虑到各个专业对电路和电子课程的不同教学要求，本书在编写中对有些章节做了相应的压缩。本书适合作为高等院校弱电类非电子信息专业的高职高专教材，也可选择部分章节作为自学考试学生的教材。

本书由卜新华、郭根芳、李献军和刘保庆四位老师共同编写：刘保庆编写第1、2、9和10章；卜新华担任本书的主编，并编写第3~5章，李献军编写第6~8章；郭根芳编写第11~13章。全书由卜新华统稿。

在本书的编写过程中，石家庄邮电职业技术学院电子与信息教研室王贺珍、田芳、赵月恩、刘学海和李建龙等老师对编写内容和章节顺序提出了许多宝贵意见，石家庄邮电职业技术学院电信工程系和教务处各位领导也给予了大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中难免存在错误和不足之处，敬请广大读者批评指正。

编 者

# 目 录

第 1 章 电路基本概念 .....	1	2.3.3 叠加定理 .....	32
1.1 电路与电路模型 .....	2	2.3.4 戴维南定理 .....	33
1.1.1 电路 .....	2	2.4 基本定理的应用 .....	34
1.1.2 电路模型 .....	2	2.4.1 支路电流法 .....	34
1.1.3 机房中的电路 .....	3	2.4.2 叠加定理的应用 .....	35
1.2 电路中的物理量 .....	4	2.4.3 戴维南定理的应用 .....	36
1.2.1 电流 .....	4	本章小结 .....	37
1.2.2 电压 .....	5	思考与练习 .....	37
1.2.3 功率 .....	7	第 3 章 正弦交流电基础与三相交流	
1.2.4 电能 .....	8	电路 .....	39
1.2.5 机房电路物理量 .....	8	3.1 正弦交流电的基本概念 .....	40
1.3 理想电路负载元件 .....	9	3.1.1 交流电概述 .....	40
1.3.1 电阻元件 .....	9	3.1.2 正弦交流电的基本特征和	
1.3.2 电容元件 .....	10	三要素 .....	40
1.3.3 电感元件 .....	11	3.1.3 正弦交流电的表示方法 .....	43
1.3.4 负载元件的实际应用 .....	12	3.2 正弦交流电路中的功率 .....	45
1.4 电源电路 .....	14	3.3 三相交流电路 .....	48
1.4.1 电压源和电流源 .....	14	3.3.1 三相电源的基本概念 .....	48
1.4.2 受控源 .....	16	3.3.2 三相电源的连接方式 .....	49
1.4.3 实际应用中的电源 .....	17	3.3.3 三相负载的连接方式 .....	51
本章小结 .....	18	3.3.4 对称三相电路的功率 .....	54
思考与练习 .....	18	3.4 日光灯电路 .....	56
第 2 章 直流电阻电路分析 .....	21	本章小结 .....	57
2.1 电阻的连接 .....	22	思考与练习 .....	58
2.1.1 电阻的串联 .....	22	第 4 章 电工常用工具与仪表 .....	61
2.1.2 电阻的并联 .....	23	4.1 电工常用工具 .....	62
2.1.3 电阻的混联 .....	24	4.2 电工测量 .....	65
2.2 电源的连接 .....	25	4.2.1 常用电工仪表的分类 .....	65
2.2.1 电源的串联与并联 .....	26	4.2.2 电流表 .....	67
2.2.2 两种实际电源的等效变换 .....	27	4.2.3 电压表 .....	68
2.3 电路的基本定律与基本定理 .....	29	4.2.4 钳形电流表 .....	69
2.3.1 基尔霍夫电流定律 .....	29	4.2.5 万用表 .....	70
2.3.2 基尔霍夫电压定律 .....	30	4.2.6 兆欧表 .....	73

4.2.7 功率计 .....	76	6.3.2 控制元器件版面位置图及 绘制规则 .....	125
本章小结 .....	77	6.3.3 控制元器件接线图及绘制 规则 .....	125
思考与练习 .....	77	6.3.4 电路图常用符号 .....	126
<b>第5章 电工材料与电子元器件 .....</b>	<b>79</b>	6.3.5 电路图识别 .....	128
5.1 常用电工材料 .....	80	6.4 白炽灯及其安装 .....	128
5.1.1 常用电工绝缘材料 .....	80	6.5 单相电度表及其安装 .....	129
5.1.2 常用电工导电材料 .....	80	本章小结 .....	130
5.2 导线的选择 .....	81	思考与练习 .....	131
5.2.1 线芯材料的选择 .....	81	<b>第7章 安全用电常识 .....</b>	<b>133</b>
5.2.2 导线截面的选择 .....	81	7.1 电流对人体的危害 .....	134
5.3 常用导线的连接 .....	83	7.1.1 电流对人体的危害 .....	134
5.3.1 导线端头绝缘层的剥离 .....	83	7.1.2 安全电压 .....	136
5.3.2 导线线头的连接 .....	85	7.1.3 安全距离 .....	137
5.3.3 导线的封端 .....	92	7.2 电工安全操作常识及安全用电注意 事项 .....	138
5.4 电子元器件介绍 .....	93	7.2.1 电工安全操作常识 .....	138
5.4.1 半导体器件 .....	93	7.2.2 生活中安全用电注意事项 .....	139
5.4.2 半导体二极管 .....	97	7.3 触电的形式及规律 .....	140
5.4.3 稳压二极管 .....	99	7.3.1 单相触电 .....	140
5.4.4 其他二极管 .....	100	7.3.2 两相触电 .....	140
5.4.5 半导体三极管 .....	101	7.3.3 跨步电压触电 .....	141
5.5 整流电路 .....	105	7.3.4 触电规律 .....	141
本章小结 .....	108	7.4 接地与接零 .....	142
思考与练习 .....	109	7.4.1 接地的意义 .....	142
<b>第6章 电气设备及低压电器控制     电路 .....</b>	<b>111</b>	7.4.2 工作接地 .....	142
6.1 电力系统概述 .....	112	7.4.3 保护接地 .....	142
6.1.1 电力系统 .....	112	7.4.4 保护接零 .....	143
6.1.2 电力系统电压等级 .....	112	7.4.5 重复接地 .....	143
6.2 常用电器及控制设备 .....	113	7.4.6 接地或接零的方法 .....	144
6.2.1 熔断器 .....	113	7.5 触电预防和急救 .....	144
6.2.2 开关 .....	115	7.5.1 触电的预防 .....	144
6.2.3 低压断路器 .....	117	7.5.2 触电急救方法 .....	145
6.2.4 交流接触器 .....	119	7.5.3 人工呼吸法 .....	145
6.2.5 继电器 .....	120	7.5.4 胸外心脏按压法 .....	146
6.2.6 变压器 .....	122	7.6 防雷电措施 .....	146
6.3 电气图及绘制规则 .....	124	7.7 电气消防常识 .....	147
6.3.1 电路原理图及绘制规则 .....	125		

7.7.1 电气火灾的防护措施.....	147	9.5.3 具有无关项的逻辑函数及其 化简.....	192
7.7.2 电气火灾的扑救.....	148	9.6 逻辑门电路.....	192
7.8 电工常用安全警示标志.....	149	9.6.1 分立元件门电路.....	193
7.8.1 安全色.....	149	9.6.2 TTL、CMOS 集成门 电路.....	194
7.8.2 安全标示牌.....	150	本章小结.....	196
本章小结.....	152	思考与练习.....	197
思考与练习.....	153	<b>第 10 章 组合逻辑电路.....</b>	<b>201</b>
<b>第 8 章 机房供电技术.....</b>	<b>155</b>	10.1 组合逻辑电路概述.....	202
8.1 机房供电系统概述.....	156	10.1.1 组合逻辑电路的分析 方法.....	202
8.2 UPS 电源技术.....	157	10.1.2 组合逻辑电路的设计 方法.....	203
8.2.1 UPS 基本原理与功能.....	157	10.2 常用中规模集成电路.....	204
8.2.2 UPS 的结构和分类.....	160	10.2.1 编码器.....	204
8.3 UPS 蓄电池.....	165	10.2.2 译码器.....	209
8.4 机房安全用电.....	167	10.2.3 加法器.....	215
本章小结.....	168	10.2.4 数据选择器.....	216
思考与练习.....	169	本章小结.....	218
<b>第 9 章 数字电路基础.....</b>	<b>171</b>	思考与练习.....	219
9.1 数字电路概述.....	172	<b>第 11 章 触发器.....</b>	<b>221</b>
9.1.1 数字信号及其特点.....	172	11.1 触发器电路基础.....	222
9.1.2 数制和码制.....	173	11.1.1 概述.....	222
9.2 逻辑代数中的基本逻辑运算.....	176	11.1.2 SR 锁存器.....	223
9.2.1 与运算.....	176	11.1.3 电平触发的触发器.....	225
9.2.2 或运算.....	177	11.1.4 脉冲触发的触发器.....	227
9.2.3 非运算.....	177	11.1.5 边沿触发器.....	230
9.2.4 其他逻辑运算.....	178	11.1.6 触发器的逻辑功能及其 描述方法.....	232
9.3 逻辑代数的常用公式及基本 定理.....	179	11.2 常见集成触发器介绍与应用.....	237
9.3.1 基本公式.....	179	11.2.1 SR 触发器.....	237
9.3.2 其他常用公式.....	179	11.2.2 JK 触发器.....	239
9.3.3 逻辑代数的基本定理.....	180	11.2.3 D 触发器.....	241
9.4 逻辑函数及其表示方法.....	181	11.2.4 集成触发器的应用.....	243
9.4.1 逻辑函数.....	182	11.3 实做项目及教学情境.....	245
9.4.2 逻辑函数的表示方法.....	182	本章小结.....	246
9.5 逻辑函数的化简.....	184		
9.5.1 逻辑函数的公式法化简.....	185		
9.5.2 逻辑函数的卡诺图法 化简.....	186		

思考与练习.....	247	第 13 章 脉冲的产生与整形.....	281
<b>第 12 章 时序逻辑电路.....</b>	<b>251</b>	13.1 门电路构成的脉冲产生与整形	
12.1 概述.....	252	电路.....	282
12.2 时序逻辑电路的分析方法.....	253	13.1.1 施密特触发器.....	282
12.3 时序逻辑电路的应用.....	256	13.1.2 单稳态触发器.....	286
12.3.1 寄存器.....	256	13.1.3 多谐振荡器.....	292
12.3.2 计数器.....	261	13.2 555 定时器及其组成的脉冲产生与	
12.3.3 顺序脉冲发生器.....	271	整形电路.....	295
12.4 时序逻辑电路设计.....	272	13.2.1 555 定时器的电路结构与	
12.5 实做项目及教学情境.....	275	功能.....	295
本章小结.....	276	13.2.2 555 定时器的应用.....	297
思考与练习.....	276	本章小结.....	303
		思考与练习.....	303
		<b>参考文献.....</b>	<b>306</b>





# 第 1 章


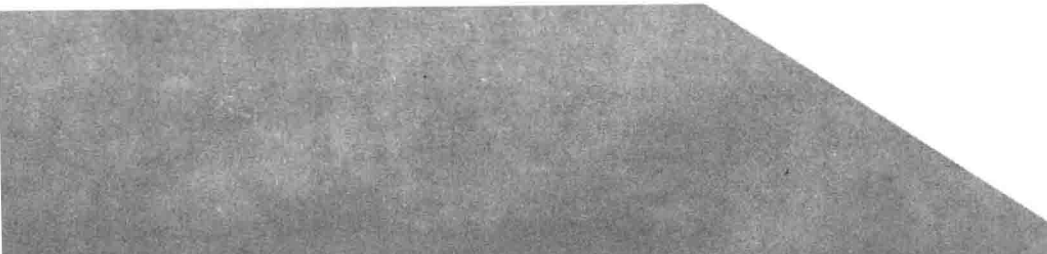
## 电路基本概念

---

### 本章要点

- 电路、电路模型
- 电路中的物理量，即电流、电压、功率、电能
- 常见的负载元件，即电阻、电感、电容
- 理想的电源、电压源、电流源
- 机房电路、机房的物理量和实际的电源

### 本章难点

- 电路中的物理量
  - 常见的负载元件
  - 常见的理想电源
- 
- 

通过本章的学习,要理解电路模型和电路模型中电流、电压、功率和电能等参量及参考方向,理解理想电路元件电压源、电流源、电阻、电容、电感的电压与电流关系。理解机房建设中需要研究的电路及物理量。

本章从电路和电路模型入手,结合机房电工的建设需要,由浅入深地提出交、直流电路研究的物理量和物理模型,它是电路理论的入门内容,为电路的分析提供必要的基础知识。

## 1.1 电路与电路模型

### 1.1.1 电路

在人们的日常生活中,电到处可见,电视、电话、电冰箱、空调都是用电的设备。这些电器都是通过它们的电路来实现其功能的。

简单地说,电路(Electric Circuit)就是电流流通的路径,是由各种电器元件按照一定方式连接而成的。实际的电路分成3个部分:电源、负载和中间环节。其中,电源为整个电路提供能量;负载将电能转化成其他形式的能量;中间环节包括导线、开关和控制器件,负责电源和负载之间的连接和控制。图1-1所示为由电池、电灯泡、导线和开关组成的一个简单的电路。

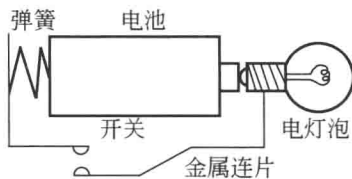


图 1-1 简单的手电筒的实际电路

电路按照其功能可以分为两大类:一类用于实现能量的转换和传输,如电力系统中的电路;另一类用于实现信号的传递和处理,如计算机网络中的互联网电路。

为了有效地分析和研究电路,需要建立一个电路模型。

### 1.1.2 电路模型

实际的电路由各种作用不同的电路元件组成,每种元件都将电源转化成多种形式的能量,有的是主要的能量形式,有的是次要的能量形式。例如,实际线绕电阻除了具有电阻的性质,可将电能转化为热能,还会由于绕线表现出电感的性质,即将一部分电能存储为磁场能。实际电感线圈除存储磁场能表现出电感特性外,绕制的导线还会发热表现出电阻的特性。实际的电容器除了存储电场能表现出电容特性外,还会存在漏电流表现出电阻的特性。实际的电池除了提供较恒定的电压外,还具有一定内阻。

为了便于对实际电路进行分析和计算,需要将电路元件理想化,即在一定条件下,忽略掉电路元件的次要性质,用能代表其主要特性的理想模型来描述。如线绕电阻在直流电路中,电感特性很小,可以用一个电阻来描述,而在高频交流电路中,电感特性较大,其电感特性就不能忽略。

电路中常见的理想元件有理想电阻元件、理想电容元件、理想电感元件和理想电源元件等,图 1-2 中列出了理想元件的模型符号。另外,电阻、电感和电容均为零的理想导线也可以看做是一种广义理想元件,用于元件的引出和连接。

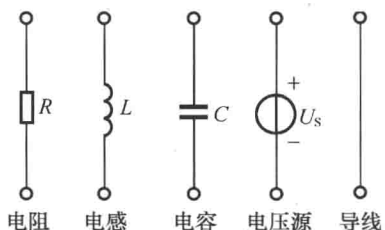


图 1-2 理想元件的模型符号

根据电路的工作条件和需要分析的电路参数,将实际电路中各个元器件用适当的模型符号表示,然后由理想导线按照电路结构连接起来构成的电路图称为实际电路的电路模型图,简称电路图。

电路分析主要研究的是从电路抽象出的电路模型,由于电路模型中的理想元件是实际元器件的主要因素,并忽略其次要因素,因此,通过电路模型分析出的结果是实际电路的近似。图 1-3 所示为简单的手电筒的电路模型。

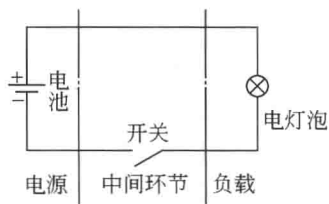


图 1-3 简单的手电筒的电路模型

通常电路中元器件的电流和电压方向是不能确定的。因此,在分析电路时要任意假定一个电压或电流的方向,这个假定的方向称为参考方向。

### 1.1.3 机房中的电路

在机房建设过程中,主要包括强电电路和弱电电路。

强电电路主要给机房提供电能。通常机房具有市电、油机发电和 UPS(不间断电源)等主备供电形式提供冗余供电,如图 1-4 所示。油机发电机工作在离线方式下,而 UPS 工作在在线模式下。市电采取冗余供电,可动态选择工作正常的市电,如果市电供电全部中断或者供电不正常时,UPS 立即提供不间断的电力支持,配电屏立即启动油机发电机,提供持

续供电，直到市电电力恢复。

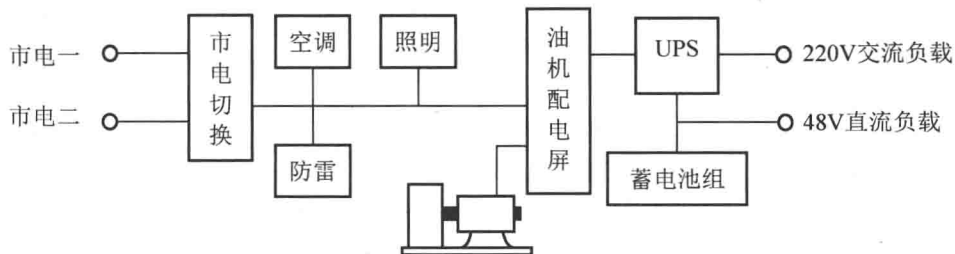


图 1-4 机房强电冗余供电电路示意图

机房电路通常采用三相正弦交流电供电，在配电屏内设有市电检测电路、油机启动电路及线路切换电路。在 UPS 中设有整流充电电路为蓄电池充电，有逆变电路将蓄电池的直流电变换成交流电。

弱电主要负责机房设备网络信息传输和机房环境的监测。网络信息处理设备包括交换设备、路由设备和传输设备等，由输入电路、输出电路、存储电路、交换电路、数据运算电路和电源电路组成。机房环境监测系统主要完成机房的温度、湿度、烟雾、市电供电指标、UPS 工作状态、防盗、水浸、门禁和音视频的监控，其组成如图 1-5 所示。每部分都需相应的传感器感知环境变量，经过放大电路、信息分析处理电路和信息传输电路传输给机房监控中心。

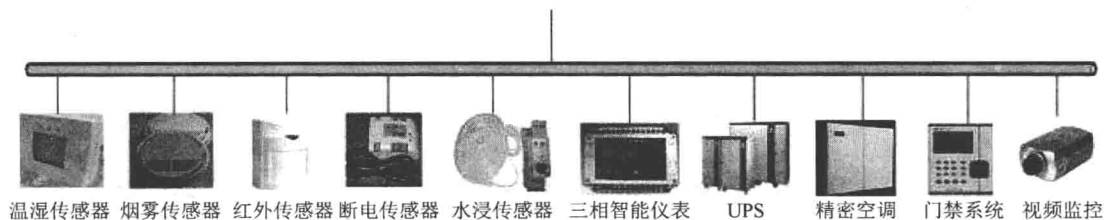


图 1-5 机房弱电感应控制电路示意图

## 1.2 电路中的物理量

为了定量地描述电路的性能及作用，常引入一些物理量作为电路变量来描述，电路分析的任务就是求解这些变量。最常用到的描述电路的变量是电流、电压、功率和电能。

### 1.2.1 电流

电路中带电粒子在电源作用下的有规则移动形成电流。金属导体中的带电粒子是自由电子，半导体中的带电粒子是自由电子和空穴，电解液中的带电粒子是正、负离子，因此电流既可以是负电荷，也可以是正电荷或者两者兼有的定向运动的结果。习惯上，规定正电荷移动的方向为电流的实际方向。

单位时间内通过导体横截面的电量定义为电流强度, 简称电流, 用以衡量电流的大小, 用符号  $i$  表示, 即

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

在国际单位制(SI 制)中, 电流的单位是安[培](国际符号为 A), 常用单位还有毫安(mA)和微安( $\mu\text{A}$ ), 它们之间的换算关系为

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

如果电流的大小和方向不随时间变化, 则这种电流叫做稳恒电流, 简称直流(DC, Direct Current), 一般用符号  $I$  表示。

如果电流的大小和方向都随时间变化, 则称为交变电流, 简称交流(AC, Alternating Current), 一般用符号  $i$  表示。

在分析电路时, 不能确定实际的电流方向, 但为了列写与电流有关的表达式, 必须预先任意假定电流的方向, 称为电流的参考方向。电流的参考方向可以用导线上的箭头来标注, 如图 1-6 所示。另外, 电流的参考方向还可用双下标表示,  $I_{ab}$  表示电流的参考方向由 a 到 b; 如果参考方向选定为由 b 到 a, 则写为  $I_{ba}$ , 并且  $I_{ab} = -I_{ba}$ 。

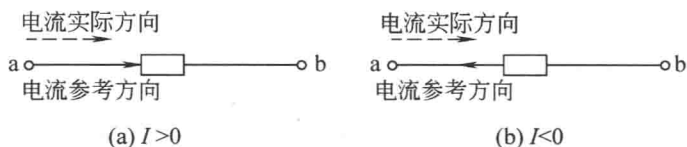


图 1-6 电流的参考方向与实际方向的关系

根据所假定的电流参考方向列写电路方程求解这个电流, 如果为正值, 则表示此电流的实际方向和参考方向相同; 如果为负值, 则表示电流的实际方向和参考方向相反。交流电流的实际方向是随时间变化的, 因此当电流的参考方向确定后, 如果在某一时刻电流为正值, 即表示在该时刻电流的实际方向和参考方向相同; 如果为负值, 则相反。

在没有给定参考方向的情况下, 讨论电流的正、负是没有意义的。

## 1.2.2 电压

电压是描述电场力对电荷做功的物理量。电路中某两点 a、b 间的电压在数值上等于电场力将单位正电荷由 a 点移动到 b 点时所做的功。用  $U_{ab}$  或  $u_{ab}$  表示 ab 间电压, 则

$$u = \frac{dW_{ab}}{dq} \quad (1-2)$$

电压的国际单位是伏[特], 简称伏(V)。工程上常用的电压单位还有千伏(kV)、毫伏(mV)和微伏( $\mu\text{V}$ ), 它们之间的换算关系为

$$1\text{kV} = 10^3\text{V} \quad 1\text{V} = 10^3\text{mV} = 10^6\mu\text{V}$$

电压也有正、负之分。如果正电荷由 a 点移动到 b 点电场力做正功, 这时 a 点为“+”极, b 点为“-”极,  $U_{ab} > 0$ ; 反之, 如果正电荷由 a 点移动到 b 点电场力做负功, 这时 a

点为“-”极，b点为“+”极， $U_{ab} < 0$ 。电压的实际方向是由“+”指向“-”。

在分析电路时同样需要为电压任意指定参考方向。一般是在元件的两端用“+”和“-”符号来表示，电压的参考方向由“+”指向“-”，如图1-7所示。电压的参考方向还可以用双下标表示， $u_{ab}$ 为从a指向b的电压， $u_{ba}$ 为从b指向a的电压，如图1-8所示，并有 $u_{ab} = -u_{ba}$ 。

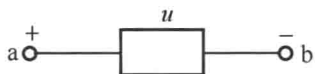


图 1-7 电压参考极性的表示

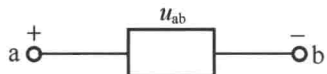


图 1-8 电压参考极性的双下标表示

在选定电压的参考极性后，当电压的参考极性与实际极性一致时，则电压为正值；当电压的参考极性与实际极性相反时，则电压为负值，如图1-9所示。

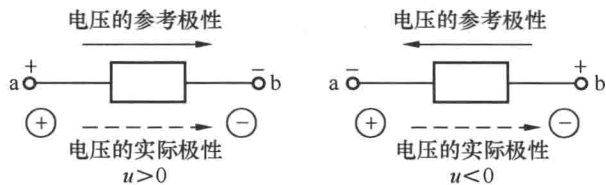


图 1-9 电压的参考极性与实际极性的关系

参考方向是电路计算中的一个重要概念，对此着重指出以下几点。

- (1) 电流、电压的实际方向是客观存在的，而参考方向是人为选定的。
- (2) 当电流、电压的参考方向与实际方向一致时，电流、电压值取正号；反之取负号。
- (3) 在分析计算时，都要先选定参考方向，否则计算得出的电流、电压的正、负值是没有意义的。

电路中某一支路或元件的电压的参考方向(由“+”指向“-”)与电流的参考方向(箭头指向)一致，称电压与电流的参考方向是关联的，此时电压与电流的参考方向称为取关联参考方向，如图1-10(a)所示；否则，称电压与电流的参考方向非关联，或称为取非关联参考方向，如图1-10(b)所示。

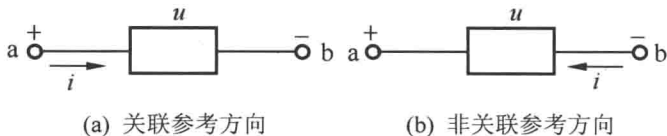


图 1-10 关联与非关联参考方向

电位也是电路分析中的一个重要概念，若在电路中任选一点作为参考点，则电路中某点的电位就是该点到参考点的电压，规定参考点的电位为零。电位常用符号  $V$  表示。

由于电位是某点到参考点的电压，因此电路中如果参考点选择不同，电路中各点电位将不同。但电路中电压是确定不变的两点间的电位，所以与参考点的选择无关。如图1-11所示，参考点不同，a、b点电位不同，但ab间的电压不变。

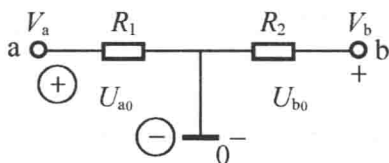


图 1-11 电位与电压

在电子电路中，常常把电源、信号输入和输出的公共端接在一起并与机壳相接，作为参考点，因此，机壳往往被称为“地”或“参考地”，电子电路中有一种简化的画法，即以地为参考点表示各点的电位，如图 1-12 所示。

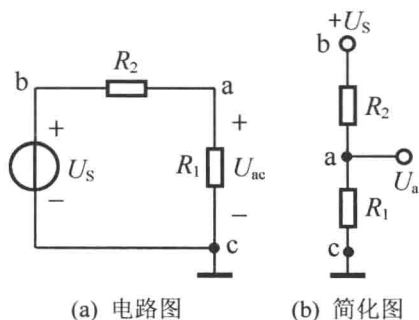


图 1-12 电子电路简化法

### 1.2.3 功率

在电路分析中，功率是标志电路电能转换快慢的一个物理量。通常把单位时间内元件吸收或发出的电能称为电功率，简称功率，用  $p$  表示，即

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

功率的国际单位是瓦[特](W)，常用单位还有千瓦(kW)、毫瓦(mW)。由式(1-3)可得

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt} = \frac{dW(t)}{dq} \times \frac{dq}{dt} = ui \quad (1-4)$$

在直流电路中，当电压与电流取关联参考方向时，功率表达式为

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

当电压与电流取非关联参考方向时，功率的表达式为

$$P = -UI \quad (1-6)$$

如果计算出元件的功率  $P > 0$ ，表示该元件实际吸收电能；如果  $P < 0$ ，表示该元件实际发出电能。

因此，计算元件功率的步骤如下。

- (1) 判断元器件的电压与电流的参考方向是否关联。
- (2) 根据参考方向关联与否选择不同的功率计算公式。
- (3) 代入公式计算功率值。

(4) 根据功率值的正、负,判断元件是吸收电能还是发出电能。

【例 1-1】 电路如图 1-13 所示,  $u=12\text{V}$ ,  $i=-2\text{A}$ , 计算元件的功率。

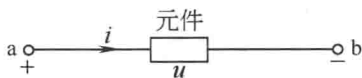


图 1-13 例 1-1 元件的功率

解: 由电路可知, 此题的电流和电压为关联参考方向, 有

$$p = ui = 12 \times (-2) \text{W} = -24 \text{W} < 0$$

说明元件是发出功率而不是吸收功率, 相当于电源。

## 1.2.4 电能

电能是表示电流做多少功的物理量, 在时间  $t_1$  到  $t_2$  期间, 元件(或电路)吸收的电能为

$$W = \int_{t_1}^{t_2} u i dt \quad (1-7)$$

电能的单位为焦[耳](J)。若  $W \geq 0$ , 该元件为有源元件; 否则为无源元件。在工程实际中, 常用千瓦时( $\text{kW} \cdot \text{h}$ )为单位, 俗称 1 度电。

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

【例 1-2】 汽车照明用 12V 蓄电池为 60W 车灯供电, 若蓄电池的额定值为 100Ah (安时), 求蓄电池的能量。

解: 蓄电池额定值为 100Ah, 表示能以 100A 的输出电流工作 1h, 因此它存储的能量为

$$W = 100 \text{Ah} \times 12 \text{V} = 1200 \text{W} \cdot \text{h} = 1.2 \text{kW} \cdot \text{h}$$

## 1.2.5 机房电路物理量

计算机机房建设中, 对供电的电力系统的电压质量和电流冗余提出了严格的要求。

按照供电电压稳定性、频率偏移、波形畸变及允许间断的时间, 分为 3 类供电质量, 如表 1-1 所示。其中 A 级供电质量要求最高。

按照《电子计算机机房设计规范》(GB 50174—93), A 级供电系统应用到一级负荷计算机机房, 如国防建设、生产、交通运输、邮电、财政、金融、航空管理等部门的机房, 这类机房的运行直接影响关乎国计民生的大事, 如果出现问题将会导致重大的人身伤亡和恶性事故的发生。B 级供电系统应用到二级负荷计算机机房, 如一些科研单位和计算机控制的生产单位等的机房, 此类机房在一定程度上影响生产、通信、运输等, 如果出现问题会给国计民生造成一定的损失。C 级供电系统应用到三级负荷计算机机房, 如一些单位使用计算机只做一般统计、计算、情报检索等工作, 这类负荷计算机机房如果出现问题一般不会引起过大的损失。在机房建设时, 应根据机房建设的重要性, 对供电质量进行相应的测量。

另外, 在机房建设时, 需要对计算机机房所需的电流进行分析和测量。可先根据机房计算机、网络和空调等设备的额定功率, 计算系统的总功率, 在工程上通常应留出 25% 的



余量,再根据  $P=UI$  计算出机房运行所需的电流,从而选择相应的开关、过流保护器和导线型号。在机房建设验收时,要对机房运行的实测电流和系统最大电流进行分析评估。

表 1-1 供电质量分级

等级 \ 项目	A	B	C
稳态电压偏移范围/%	$\pm 2$	$\pm 5$	+7 -13
稳态频率偏移范围/%	$\pm 0.2$	$\pm 0.5$	$\pm 1$
电压波形畸变率/%	3~5	5~8	8~10
允许断电持续时间/ms	0~4	4~200	200~1500

## 1.3 理想电路负载元件

电工和电子电路中常见的理想负载元件有电阻元件、电容元件和电感元件。电阻元件把电能转化为热能,是一种耗能元件。电容元件和电感元件分别把电能转化为电场能和磁场能保存起来,属于储能元件。

本节主要研究各元件的端电压与端电流的关系,这种关系称为元件的伏安关系(VAR, Voltage Ampere Relation),也称为元件的约束条件。VAR 是元件本身固有的特性,不随电路结构的变化而改变。

### 1.3.1 电阻元件

电阻元件由对电流阻碍作用较大的材质构成,电流流过电阻元件时,定向移动的带电粒子由于受到阻碍发生碰撞,将电能转化为热能。

电阻器在电路中对电流的阻碍作用的大小用电阻量来表示,简称电阻,符号用  $R$  表示,如图 1-14 所示。

电阻的国际单位为欧[姆]( $\Omega$ ),常用单位还有千欧( $k\Omega$ )、兆欧( $M\Omega$ ),它们之间的换算关系为

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

电阻的倒数称为电导,它是表示材料导电能力的一个参数,用符号  $G$  表示,有

$$G=\frac{1}{R} \quad (1-8)$$

电导的国际单位是西[门子](S),简称西。

若电阻元件的电压、电流的参考方向为关联参考方向,如图 1-14(a)所示,其伏安关系满足欧姆定律,即

$$u(t)=Ri(t) \quad (1-9)$$