

21 世纪 高 职 高 专 规 划 教 材

电 子 信 息 基 础 系 列



电路与电机控制

朱咏梅 董桂菊 高俊岭 编著

清华大学出版社



21 世纪 高 职 高 专 规 划 教 材

电 子 信 息 基 础 系 列

电路与电机控制

朱咏梅 董桂菊 高俊岭 编著



清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书主要介绍了电路的基本理论、电动机的基本原理及电动机调速的基本方法。全书共 9 章, 主要内容包括: 电路的基本定律与分析方法、正弦交流电路、变压器、异步电动机、直流电动机、低压电器及继电器控制电路、可编程控制器及其应用、直流调速系统和交流调速系统。

本书可作为高职高专院校及成人高校电子类相关专业的教材, 也可供有关工程技术人员作为参考。

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 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

电路与电机控制/朱咏梅, 董桂菊, 高俊岭编著. —北京: 清华大学出版社, 2007. 5

21 世纪高职高专规划教材. 电子信息基础系列

ISBN 978-7-302-14521-9

I. 电… II. ①朱… ②董… ③高… III. 电机—控制电路—高等学校: 技术学校—教材
IV. TM301.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 005082 号

责任编辑: 刘 青

责任校对: 袁 芳

责任印制: 王秀菊

出版发行: 清华大学出版社 地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn> 邮 编: 100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机: 010-62770175 邮购热线: 010-62786544

投稿咨询: 010-62772015 客户服务: 010-62776969

印 刷 者: 北京牛山世兴印刷厂

装 订 者: 三河市金元印装有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 185×230 印 张: 20.5 字 数: 418 千字

版 次: 2007 年 5 月第 1 版 印 次: 2007 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1~4000

定 价: 26.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题, 请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: (010)62770177 转 3103 产品编号: 014412-01

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分,担负着为国家培养并输送生产、建设、管理、服务第一线高素质技术应用型人才的重任。

进入 21 世纪后,高职高专教育的改革和发展呈现出前所未有的发展势头,学生规模已占我国高等教育的半壁江山,成为我国高等教育的一支重要的生力军;办学理念上,“以就业为导向”成为高等职业教育改革与发展的主旋律。近两年来,教育部召开了三次产学研交流会,并启动四个专业的“国家技能型紧缺人才培养项目”,同时成立了 35 所示范性软件职业技术学院,进行两年制教学改革试点。这些举措都表明国家正在推动高职高专教育进行深层次的重大改革,向培养生产、服务第一线真正需要的应用型人才的方向发展。

为了顺应当前我国高职高专教育的发展形势,配合高职高专院校的教学改革和教材建设,进一步提高我国高职高专教育教材质量,在教育部的指导下,清华大学出版社组织出版了“21 世纪高职高专规划教材”。

为推动规划教材的建设,清华大学出版社组织并成立了“高职高专教育教材编审委员会”,旨在对清华版的全国性高职高专教材及教材选题进行评审,并向清华大学出版社推荐各院校办学特色鲜明、内容质量优秀的教材选题。教材选题由个人或各院校推荐,经编审委员会认真评审,最后由清华大学出版社出版。编审委员会的成员皆来源于教改成效大、办学特色鲜明、师资实力强的高职高专院校、普通高校以及著名企业,教材的编写者和审定者都是从事高职高专教育第一线的骨干教师和专家。

编审委员会根据教育部最新文件和政策,规划教材体系,比如部分专业的两年制教材;“以就业为导向”,以“专业技能体系”为主,突出人才培养的实践性、应用性的原则,重新组织系列课程的教材结构,整合课程体系;按照教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”,教材的基础理论以“必要、够用”为度,突出基础理论的应用和实践技能的培养。

本套规划教材的编写原则如下:

- (1) 根据岗位群设置教材系列,并成立系列教材编审委员会;
- (2) 由编审委员会规划教材、评审教材;
- (3) 重点课程进行立体化建设,突出案例式教学体系,加强实训教材的出版,完善教学服务体系;
- (4) 教材编写者由具有丰富教学经验和多年实践经验的教师共同组成,建立“双师

型”编者体系。

本套规划教材涵盖了公共基础课、计算机、电子信息、机械、经济管理以及服务等大类的主要课程,包括专业基础课和专业主干课。目前已经规划的教材系列名称如下:

• 公共基础课

公共基础课系列

• 计算机类

计算机基础教育系列
计算机专业基础系列
计算机应用系列
网络专业系列
软件专业系列
电子商务专业系列

• 电子信息类

电子信息基础系列
微电子技术系列
通信技术系列
电气、自动化、应用电子技术系列

• 机械类

机械基础系列
机械设计与制造专业系列
数控技术系列
模具设计与制造系列

• 经济管理类

经济管理基础系列
市场营销系列
财务会计系列
企业管理系列
物流管理系列
财政金融系列
国际商务系列

• 服务类

艺术设计系列

本套规划教材的系列名称根据学科基础和岗位群方向设置,为各高职高专院校提供“自助餐”形式的教材。各院校在选择课程需要的教材时,专业课程可以根据岗位群选择系列;专业基础课程可以根据学科方向选择各类的基础课系列。例如,数控技术方向的专业课程可以在“数控技术系列”选择;数控技术专业需要的基础课程,属于计算机类课程的可以在“计算机基础教育系列”和“计算机应用系列”选择,属于机械类课程的可以在“机械基础系列”选择,属于电子信息类课程的可以在“电子信息基础系列”选择。依此类推。

为方便教师授课和学生学习,清华大学出版社正在建设本套教材的教学服务体系。本套教材先期选择重点课程和专业主干课程,进行立体化教材建设:加强多媒体教学课件或电子教案、素材库、学习盘、学习指导书等形式的制作和出版,开发网络课程。学校在选用教材时,可通过邮件或电话与我们联系获取相关服务,并通过与各院校的密切交流,使其日臻完善。

高职高专教育正处于新一轮改革时期,从专业设置、课程体系建设到教材编写,依然是新课题。希望各高职高专院校在教学实践中积极提出意见和建议,并向我们推荐优秀选题。反馈意见请发送到 E-mail: gzg@tup.tsinghua.edu.cn。清华大学出版社将对已出版的教材不断地修订、完善,提高教材质量,完善教材服务体系,为我国的高职高专教育出版优秀的高质量的教材。

高职高专教育教材编审委员会

前言

电路与电机控制

本书依据高职高专教育培养目标,响应教育部大力推进高等专科教育人才培养模式的改革的号召,充分考虑到电气技术的实际应用和发展情况,结合编者多年教学 and 实践经验编写而成。

本书主要由电路的基本理论、电动机的基本原理及电动机调速的基本方法三部分组成,包括电路的基本定律与分析方法、正弦交流电路、变压器、异步电动机、直流电动机、低压电器及继电器控制电路、可编程控制器及其应用、直流调速系统及交流调速系统等内容。从必需与够用的角度介绍了电路分析的基本内容,从应用角度介绍了电动机的工作原理及基本控制方法,借助经典的继电器-接触器控制系统的概念,介绍了应用广泛的可编程控制器(PLC)控制技术,最后从自动控制系统角度介绍了直流电动机及交流电动机的基本调速原理。

本课程注重素质教育,注重应用型人才能力的培养,把立足点放到工程技术应用上。内容删繁就简,削枝强干,强调主线,突出重点。同时,注重知识的连贯性及与工程实际的有机结合。力求做到既为学习后续课程服务,又直接服务于工程技术应用能力的培养。

本书由朱咏梅担任主编,并编写第1、6、8、9章,董桂菊编写第2、4、5章,高俊岭编写第3、7章。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错误和不妥之处在所难免,敬请读者批评指正。作者 E-mail:zhuyongmeish@126.com。

编 者

2007 年 1 月

目 录

电路与电机控制

第 1 章 电路的基本定律与分析方法	1
1.1 电路的基本组成及基本物理量	1
1.1.1 电路的基本组成	1
1.1.2 电路的基本物理量	2
1.2 电路的基本定律	6
1.2.1 欧姆定律	6
1.2.2 电阻串并联连接的等效变换	7
1.2.3 电气设备的额定值及电路的几种状态	10
1.2.4 电源的两种等效电路及其变换	13
1.2.5 基尔霍夫定律	16
1.3 电路的几种分析方法	20
1.3.1 支路电流法	20
1.3.2 电路中电位的计算	21
1.3.3 叠加原理	22
1.3.4 戴维宁定理	24
本章小结	26
习题	27
第 2 章 正弦交流电路	31
2.1 正弦交流电路的基本概念	31
2.1.1 正弦交流电的表示方法	31
2.1.2 周期和频率	32
2.1.3 幅值和有效值	32
2.1.4 相位与相位差	33
2.2 正弦量的相量表示法	35
2.2.1 相量表示法	35

2.2.2	相量的复数表示	36
2.2.3	复数的四则运算	36
2.3	交流电路的三个基本元件	37
2.3.1	纯电阻电路	38
2.3.2	纯电感电路	40
2.3.3	纯电容电路	43
2.4	电阻、电感与电容串联的交流电路	45
2.5	电感性负载与电容器并联的电路	49
2.6	提高功率因数的重要意义	52
2.7	谐振电路	54
2.7.1	串联谐振电路	54
2.7.2	并联谐振电路	57
2.8	三相交流电路	59
2.8.1	三相对称电压	59
2.8.2	三相电源的联结	61
2.8.3	三相负载的联结	63
	本章小结	71
	习题	71
第3章	变压器	76
3.1	磁路概述	76
3.1.1	磁路的基本物理量	76
3.1.2	磁性材料的磁性能	78
3.1.3	磁路及其基本定律	80
3.2	交流铁心线圈	82
3.2.1	交流铁心线圈的电磁关系	83
3.2.2	交流铁心线圈的电压电流关系	84
3.2.3	交流铁心线圈的功率损耗	84
3.3	变压器的用途、分类和基本结构	85
3.3.1	变压器的用途、分类	85
3.3.2	变压器的基本结构	86
3.4	变压器的工作原理	88
3.4.1	单相变压器的空载运行	88
3.4.2	变压器的感应电动势和变比	89

3.4.3 变压器的空载电流	91
3.4.4 变压器空载时的相量图和等值电路	91
3.4.5 变压器的负载运行	93
3.5 变压器的参数测定	98
3.5.1 变压器的空载试验	98
3.5.2 变压器的短路试验	100
3.6 变压器的外特性和额定值	101
3.6.1 变压器的外特性	101
3.6.2 变压器的损耗与效率	102
3.6.3 变压器的额定值	102
3.7 特殊变压器	103
3.7.1 自耦变压器	104
3.7.2 仪用互感器	105
3.8 电磁铁	107
3.8.1 直流电磁铁	108
3.8.2 交流电磁铁	108
本章小结	110
习题	111
第4章 异步电动机	114
4.1 三相异步电动机的基本结构	114
4.2 三相异步电动机的工作原理	117
4.3 三相异步电动机的电磁转矩	121
4.3.1 异步电动机与变压器比较分析	121
4.3.2 异步电动机的电路分析	121
4.3.3 异步电动机的电磁转矩	127
4.4 三相异步电动机的机械特性	128
4.4.1 机械特性的参数表达式	128
4.4.2 机械特性的实用公式	131
4.5 异步电动机的起动	132
4.5.1 鼠笼式电动机的起动	132
4.5.2 绕线型三相异步电动机的起动	136
4.6 异步电动机的调速	138
4.6.1 改变绕组的极对数调速	138

4.6.2	改变电源频率调速·····	139
4.6.3	改变异步电动机的转差率调速·····	143
4.7	异步电动机的制动·····	145
4.7.1	反接制动·····	145
4.7.2	发电机制动·····	146
4.7.3	能耗制动·····	146
4.8	三相异步电动机的铭牌数据·····	147
4.8.1	型号·····	147
4.8.2	额定值·····	148
4.9	单相异步电动机·····	148
4.9.1	工作原理·····	149
4.9.2	几种类型的单相异步电动机简介·····	151
本章小结	·····	152
习题	·····	152
第5章	直流电动机 ·····	154
5.1	直流电机的构造及工作原理·····	154
5.1.1	直流电机的基本工作原理·····	154
5.1.2	直流电机的基本结构·····	156
5.1.3	直流电动机的励磁方式·····	158
5.2	直流电动机的机械特性·····	159
5.2.1	直流电机电枢电动势与电磁转矩·····	159
5.2.2	他励直流电动机的机械特性·····	161
5.2.3	并励直流电动机的机械特性·····	161
5.2.4	串励直流电动机的机械特性·····	162
5.2.5	复励直流电动机的机械特性·····	163
5.3	并励直流电动机的使用·····	163
5.3.1	并励直流电动机的起动·····	164
5.3.2	并励直流电动机的调速·····	165
5.4	直流电动机的额定值·····	167
本章小结	·····	167
习题	·····	168

第 6 章 低压电器及继电器控制电路	169
6.1 常用控制电器	169
6.1.1 组合开关	169
6.1.2 按钮	170
6.1.3 接触器	171
6.1.4 继电器	172
6.1.5 熔断器	173
6.1.6 自动空气断路器	174
6.2 三相异步电动机的基本控制线路	175
6.2.1 三相异步电动机的直接起动控制线路	175
6.2.2 三相异步电动机的正反转控制线路	179
6.3 行程控制	180
6.3.1 限位控制	181
6.3.2 自动往复控制	182
6.4 时间控制	182
6.4.1 时间继电器	183
6.4.2 三相异步电动机的 Y- Δ 起动和能耗制动控制线路	184
6.5 速度控制	186
6.5.1 速度继电器	186
6.5.2 三相异步电动机的反接制动控制线路	187
6.6 应用举例	188
6.6.1 直流电动机起动控制线路	188
6.6.2 高炉加料小车运行控制线路	189
6.6.3 加热炉自动上料控制线路	190
6.6.4 横梁自动升降控制线路	191
本章小结	193
习题	193
第 7 章 可编程控制器及其应用	195
7.1 可编程控制器的组成和基本工作原理	196
7.1.1 可编程控制器的基本组成	196
7.1.2 可编程控制器的工作原理	198
7.1.3 可编程控制器的主要技术指标	199

7.1.4	可编程控制器的主要功能和特点	201
7.2	可编程控制器程序编制	202
7.2.1	可编程控制器的编程语言	202
7.2.2	可编程控制器的基本指令及其使用	204
7.2.3	可编程控制器的编程原则	217
7.3	可编程控制器的程序设计方法及应用举例	219
7.3.1	继电器控制电路移植法	220
7.3.2	顺序控制设计法(功能表图法)	223
	本章小结	229
	习题	229
第8章	直流调速系统	233
8.1	调速的基本概念和指标	233
8.1.1	调速的基本技术指标	233
8.1.2	直流电动机的调速方案	235
8.2	直流他励电动机的调速	237
8.2.1	电枢回路串联电阻的调速	237
8.2.2	改变励磁磁通的调速	238
8.2.3	改变电动机电源电压调速	239
8.3	直流发电机-电动机调速系统	240
8.4	静止可控整流器调速系统	241
8.4.1	晶闸管-电动机调速系统概况	241
8.4.2	有静差的单闭环直流调速系统	243
8.4.3	小容量有静差直流调速系统实例	251
8.5	无静差调速系统	254
8.5.1	积分调节器的作用	255
8.5.2	无静差直流调速系统	255
8.6	双闭环直流调速系统	259
8.6.1	转速、电流双闭环调速系统的组成	259
8.6.2	转速、电流双闭环调速系统的静态和动态分析	261
8.7	直流脉宽调速系统	263
8.7.1	脉宽调制变换器	263
8.7.2	脉宽调速系统的控制电路	264
8.7.3	由集成 PWM 控制的直流调速系统	267

8.7.4 由单片微机控制的 PWM 直流可逆调速系统·····	273
本章小结·····	274
习题·····	275
第 9 章 交流调速系统·····	277
9.1 交流调速系统概述·····	277
9.2 变极调速·····	278
9.3 改变转差率调速·····	280
9.3.1 定子调压调速·····	280
9.3.2 转子串电阻调速·····	281
9.3.3 串级调速·····	282
9.3.4 电磁转差离合器调速·····	285
9.4 变频调速·····	286
9.4.1 变频调速概述·····	286
9.4.2 变频器·····	291
9.4.3 脉宽调制型逆变器·····	296
9.4.4 变频器调速系统的主要控制单元·····	300
9.4.5 恒压频比控制异步电动机的变压变频调速系统·····	303
9.4.6 转速闭环、转差频率控制的变频调速系统·····	306
本章小结·····	310
习题·····	311
参考文献·····	312

电路的基本定律与分析方法

1.1 电路的基本组成及基本物理量

1.1.1 电路的基本组成

人们在工作和生活中经常会遇到一些实际的电路。实际电路是由一些电气器件或设备按某种方式连接在一起的,以完成能量的传输、转换或信号的处理、传递。例如,家庭为了照明而使用的照明电路,就是将电能转换为光能、热能等。工厂大量使用各种电动机及其电气控制电路,就是把电能转换为机械能。收音机和电视机就是把各种语言及图像信号转换为电信号,然后通过电路把信号传递和处理,再还原为原始信号。电路就是电流通过的路径。在实际电路中,电能或电信号发生器称为电源,用电设备称为负载。

图 1-1 为一最简单的电路,由一个电源(干电池)、一个负载(小灯泡)以及一段连接导线和一个开关组成。此电路中,干电池即电源,小灯泡即负载,连接导线和开关即控制设备。图 1-1(a)是一个实际电路。在分析电路的过程中,需要将实际电路及其中每一个实际电路器件的主要电磁性质进行科学的抽象和概括,这就是实际电路的电路模型。图 1-1(b)所示是电路的基本原理图,图 1-1(c)所示是电路的模型。

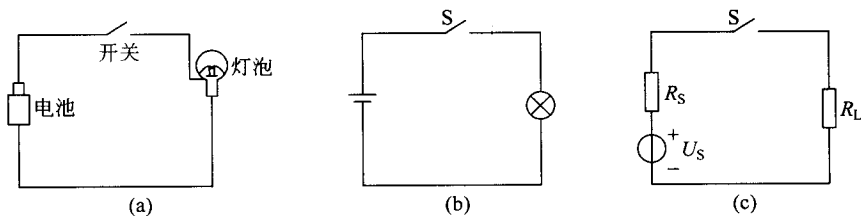


图 1-1 实际电路与电路模型

综上所述,不论是以传输和转换能量为主要目的的电路,还是以传递和处理信号为主要目的的电路,就其基本的组成而言,它们都包括电源(或信号源)、负载、连接导线三个部

分。对电源来说,负载、连接导线和开关称为外电路,电源内部的一段称为内电路。

1.1.2 电路的基本物理量

为了分析、计算电路的能量转换和信号的处理,需要明确几个电学量的物理意义。

1. 电流

电流是由电荷的定向移动而形成的。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。电流的强弱用电流强度来表示,简称电流。如果电流的大小和方向均不随时间变化,这种电流称为恒定电流,简称直流,简写为 DC。如果电流的大小和方向都随着时间变化,称为变化电流,其中一个周期内电流的平均值为零的变化电流称为交变电流,简称交流,简写为 AC。

对于直流,其电流强度用单位时间内通过导体横截面的电量来度量,即

$$I = Q/t \quad (1-1)$$

对于交流,其电流

$$i = dq/dt \quad (1-2)$$

电流强度简称电流。“电流”一词,既代表一种物理现象,又代表一个物理量。

在国际单位制中,电流的单位是安培,简称安(A)。如果一秒钟内通过导体横截面的电量是 1 库[仑](C),则此导体中的电流为 1 安[培]。

计量电流时,电流的单位用千安(kA)、毫安(mA)或微安(μ A)表示。

$$1\text{kA} = 1000\text{A} = 10^3\text{A}$$

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

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

习惯上规定正电荷运动的方向或负电荷运动的相反方向为电流的方向。电流的方向是客观存在的,但是在分析复杂的电路的时候,往往难以事先判断某支路中的实际电流方向。对交流来说,其方向随时间而变,在电路图中也无法用一个又一个箭头来表示它的实际方向。为此在分析和计算电路时,常可任意选定某一方向作为电流的参考方向,或称为正方向。

在进行电路计算时,先任意选定某一方向作为待求电流的正方向,并根据此正方向进行计算。若算得的结果为正值,说明电流的实际方向与正方向相同;若算得的结果为负值,说明电流的实际方向与正方向相反。电流的正、负值与正方向及实际方向之间的关系如图 1-2 所示。

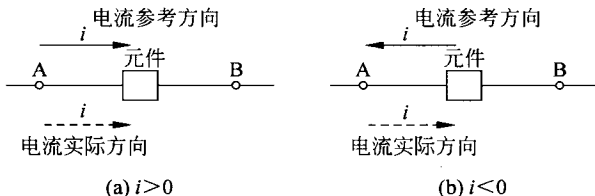


图 1-2 电流的参考方向

图 1-2 表示的是电路的一部分,其中的方框表示的是一个两端元件。流过这个元件的电流 i ,其实际方向或是由 A 到 B,或是由 B 到 A。用实线箭头表示电流的参考方向,它不一定就是电流的实际方向。指定电流参考方向的用意在于将电流看成代数量。若电流的实际方向与任意选定的参考方向一致,则电流值为正值,即 $i > 0$; 若电流的实际方向与任意选定的参考方向相反,则电流值为负值,即 $i < 0$ 。

本书电路图上所标出的电流方向均为正方向,需要表明实际方向时用虚线箭头表示或加说明。

2. 电位与电压

与物体在某一位置上具有一定的位能相类似,正电荷在电路的某一点上具有一定的电位能。要确定电位能的大小,必须在电路上选择一参考点作为基准点,正像要确定物体位能的大小必须选择一个基准点一样。电力系统中,常常选大地作为参考点;在电子线路中,常选机壳或电路的公共线作为参考点。在电路图中用统一符号 $\perp$ 表示,如图 1-3 所示。



图 1-3 接地符号

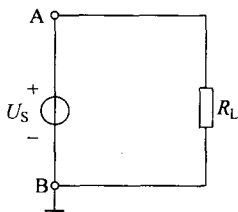


图 1-4 B 点为参考点的电路

在图 1-4 所示的电路中,把 B 点作为参考点,正电荷在 A 点所具有的电位能就等于电场力把正电荷从 A 点经负载 R_L 移到 B 点(基准点)所做的功。正电荷受电场力作用,顺着电场的方向移动,正电荷的电位能逐渐减小,正电荷失去能量,把电能转换为其他形式的能量。正电荷在 A 点所具有的电位能 W_A 与正电荷所带电量 Q 的比值,称为电路中 A 点的电位,用 V_A 表示,即

$$V_A = \frac{W_A}{Q} \quad (1-3)$$

电位的单位是焦[耳]/库[仑](J/C),称为伏[特],简称伏(V)。电路中某点电位的高低是相对于参考点而言的,参考点不同,则各点电位的大小也不同。但参考点一经选定,则电路中各点的电位就是一定值。参考点的电位设为零,所以参考点又称为零电位点。在电路中电位比参考点高的一些点,它们的电位为正值,用“+”表示;电位比参考点低的一些点,它们的电位为负值,用“-”表示。电路中任意两点间的电位差,称为这两点间的电压,用字母 U 表示。例如从 A、B 两点之间的电压为

$$U_{AB} = V_A - V_B \quad (1-4)$$

因此,两点之间的电压,就是说该两点之间的电位之差。引入电位概念之后,可以说,电压的实际方向是由高电位点指向低电位点。所以常将电压称为电压降。

在国际单位制中,电压的单位是伏特,有时还用到用千伏(kV)、毫伏(mV)、微伏(μV)作单位。

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

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

电压的实际方向规定为从高电位点指向低电位点,即由“+”极性指向“-”极性。因此电压的方向上是逐点降低的。

在一些复杂电路中,某两点间的电压实际方向有时难以事先确定,这时可在这两点间画一箭头作为电压的正方向。箭头的起点代表假定的高电位点,箭头的终点代表假定的低电位点,并根据此正方向进行计算。若算得的结果为正值,说明电压的实际方向与正方向相同;若算得的结果为负值,说明电压的实际方向与正方向相反。电压的正、负值与正方向及实际方向之间的关系如图 1-5 所示。

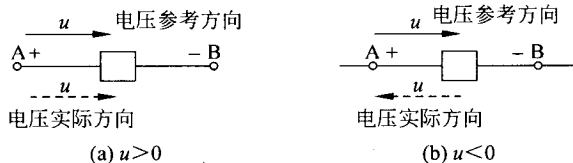


图 1-5 电压的参考方向

此外,电压的正方向也可用双下标表示。例如, $U_{AB} = 10\text{V}$,表示 A 点电位高于 B 点 10V;若 $U_{AB} = -10\text{V}$,则表示 B 点电位高于 A 点 10V。

一般地说,电流的参考方向的选定与电压的参考方向的选定是无关的。但是为了方便起见,对一段电路或一个电路元件,如果选定电流的参考方向与电压的参考方向一致,即选定电流从标以电压“+”的一端流入,从标以电压“-”的一端流出,则把电流和电压的这种参考方向称为关联参考方向,简称关联方向,如图 1-6 所示。

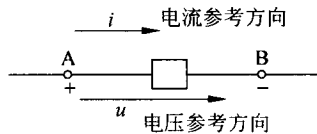


图 1-6 电压与电流的关联参考方向

3. 功率

电场力推动正电荷在电路中运动时,电场力做功,同时电路吸收能量,电路在单位时间内吸收的能量称为电路吸收的电功率,简称功率,在直流的情况下,功率的符号用 P 来表示。