

面向 21 世纪高职高专系列教材

电工与电子技术基础

周元兴 主编

孙艳霞 审



机械工业出版社

本教材是根据面向 21 世纪高职高专教材编委会的编写计划组织编写的,是机电类专业的配套教材。

本书内容包括:直流电路,正弦交流电路,电磁电器和电磁设备,继电器-接触器控制电路,可编程控制器简介,工厂输配电与照明电路和安全用电,常用晶体管,晶体三极管放大电路,集成运算放大电路,门电路和组合逻辑电路,触发器和时序逻辑电路,非电量的测量(传感器)简介等共 12 章。

本书取材力求科学、先进,结合当代电工与电子技术的发展,内容上注重实用性和针对性。

本教材适用于高职高专机电类专业的学生阅读,也可供机械行业的广大读者自学。

图书在版编目(CIP)数据

电工与电子技术基础/周元兴主编. —北京:机械工业出版社, 2002. 1
面向 21 世纪高职高专系列教材
ISBN 7-111-08312-1

I. 电... II. 周... 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. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 001562 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)
责任编辑:赵 慧 版式设计:张世琴 责任校对:李秋荣
封面设计:雷明顿 责任印制:路琳
北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行
2002 年 2 月第 1 版·第 1 次印刷
1000mm×1400mm B5·10.125 印张·462 千字
0 001—5 000 册
定价:28.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话 (010) 68993821、68326677-2527

面向 21 世纪高职高专

电子技术专业系列教材编委会成员名单

顾问	王文斌	陈瑞藻	李 奇	杨 杰	
主任委员	曹建林				
副主任委员	穆天保	张中洲	张福强	巩志强	董维佳
	祖 炬	华永平	任德齐		
委员	张锡平	刘美玲	杨元挺	刘 涛	马 彪
	华天京	冯满顺	周卫华	崔金辉	曹 毅
	朱华贵	孙吉云	孙津平	吴元凯	孙心义
	张红斌	饶庆和	苟爱梅		
秘书长	胡毓坚				
副秘书长	邓 红				

出版说明

积极发展高职高专教育,完善职业教育体系,是我国职业教育改革和发展的一项重要任务。为了深化职业教育的改革,推进高职高专教育的发展,培养21世纪与我国现代化建设要求相适应的,并在生产、管理、服务第一线从事技术应用、经营管理、高新技术设备运作的高级职业技术应用型人才,尽快组织一批适应高职高专教学特色的教材,已成为各高职高专院校的迫切要求。为此,机械工业出版社与高职高专计算机专业、电子技术专业和机电专业教材编委会联合组织了全国40多所院校的骨干教师,共同研究开发了一批计算机专业、电子技术专业和机电专业的高职高专系列教材。

各编委会确立了“根据高职高专学生的培养目标,强化实践能力和创新意识的培养,反映现代职业教育思想、教育方法和教育手段,造就技术实用型人才为立足点”的编写原则。力求使教材体现“定位准确、注重能力、内容创新、结构合理和叙述通俗”的编写特色。

本套系列教材是由高职高专计算机专业、电子技术专业、机电专业教材编委会分别会同各院校第一线专业教师针对高职高专计算机、电子技术和机电各专业的教学现状和教材存在的问题开展研讨,尤其针对目前高职高专教学改革的新情况,分别拟定各专业的课程设置计划和教材选题计划。在教材的编制中,将教学改革力度比较大、内容新颖、有创新精神、比较适合教学、需要修编的教材以及院校急需、适合社会经济发展的新选题优先列入选题规划。在广泛征集意见及充分讨论的基础上,由各编委会确定每个选题的编写大纲和编审人员,实行主编负责制,编委会通过责任编委和主审对教材进行质量监控。

担任本套教材编写的老师们都是来自各高职高专院校教育第一线的教师,他们以高度的责任感和使命感,经过近一年的努力,终于将本套教材呈现在广大读者面前。由于高职高专教育还处于起步阶段,加上我们的水平和经验有限,在教材的选题和编审中可能出现这样那样的问题,希望使用这套教材的教师和学生提出宝贵的意见和建议,以利我们今后不断改进,为我国的高职高专教育事业的繁荣而共同努力。

高职高专系列教材编委会
机械工业出版社

前 言

本教材是根据高等职业教育的发展,结合机电类专业适应社会和培养高级应用型技术人材需求,由教材编委会组织编写的。该教材是机电类专业配套教材。

本课程是机电类专业的一门重要技术基础课。其任务是使学生掌握机电类专业必备的电工基础知识、电子基础知识和安全用电常识;熟悉常用的电工应用技术、电子应用技术;了解电工技术和电子技术在机械领域中的新产品、新技术。考虑到该课程是机电类专业的基础综合性课程,所以在编写教材时,结合了高等职业技术教育的特点,力求做到内容浅显好学,语言通俗易懂;又根据本课程实践性较强的特点,在各章后都安排了实践性很强的技能训练和习题,使理论教学与实践紧密结合,培养学生理论联系实际的能力和实事求是的科学态度。

本教材参考学时数为164学时,其中理论教学122学时,技能训练42学时。

本书由周元兴担任主编。第1章由李溪冰编写,第2、7章由李积芳编写,第3章由成建生编写,第4、8章由赵明富编写,第5、12章由汪卫红编写,第6章由方凤编写,第9、10、11章由周元兴编写。

本书由孙艳霞审。在编写、整理和定稿过程中,还得到许多同行的帮助,在此谨向所有为本书的编审、出版给予支持和帮助的同志表示诚挚的感谢。

由于时间仓促及编者水平有限,书中错误和欠妥之处在所难免,恳请广大读者不吝指教。

编 者

目 录

出版说明

前言

第 1 章 直流电路 1

1.1 电路及主要物理量 1

1.1.1 电路的组成和作用 1

1.1.2 电路模型 2

1.1.3 电路的重要物理量 2

1.2 欧姆定律 7

1.2.1 一段电阻电路欧姆定律 7

1.2.2 全电路的欧姆定律 8

1.3 电阻的串、并联联结 9

1.3.1 电阻的串联 9

1.3.2 并联电路 10

1.4 电路的三种工作状态 11

1.4.1 有载工作状态 11

1.4.2 空载运行状态 13

1.4.3 短路状态 13

1.5 基尔霍夫定律及支路电流法 14

1.5.1 基尔霍夫电流定律 (KCL) ... 15

1.5.2 基尔霍夫电压定律 (KVL) ... 15

1.5.3 支路电流法 16

1.6 电源的等效变换 17

1.6.1 电压源 17

1.6.2 电流源 18

1.6.3 电压源与电流源的等效变换 ... 18

1.7 叠加原理 20

1.8 戴维南定理 22

1.9 电路中电位的计算 24

1.10 技能训练 1 万用表的使 用 26

1.10.1 训练目的 26

1.10.2 实验原理 26

1.10.3 训练设备与器材 30

1.10.4 实验内容 31

1.10.5 思考与分析 32

1.11 技能训练 2 电路中电位的测 量 32

1.11.1 训练目的 32

1.11.2 训练原理 32

1.11.3 训练设备与器材 32

1.11.4 实训内容与步骤 33

1.12 小结 33

1.13 习题 34

第 2 章 正弦交流电路 39

2.1 正弦交流电的基本概念 39

2.1.1 正弦量的三要素 39

2.1.2 正弦交流电的有效值 41

2.2 正弦量的相量图表示法 42

2.3 单一参数正弦交流电路 43

2.3.1 电阻元件的交流电路 44

2.3.2 电感元件的交流电路 45

2.3.3 电容元件的交流电路 47

2.4 RLC 串联电路 49

2.4.1 电压和电流关系 49

2.4.2 功率关系 50

2.4.3 串联谐振电路 51

2.5 RL 串联与 C 并联电路 52

2.5.1 电压、电流的关系 52

2.5.2 功率关系 53

2.5.3 并联谐振电路 53

2.5.4 功率因数的提高 54

2.6 三相电源的联结 54

2.7 三相负载的联结 56

2.7.1 三相负载的星形联结 56

2.7.2 三相负载的三角形联结 58

2.7.3 三相功率 59

2.8 技能训练 3 日光灯电路的装 接 60

2.8.1 训练目的 60

2.8.2 电路原理	60	3.7.1 训练目的	93
2.8.3 训练器材和仪器	61	3.7.2 仪器设备及工具	93
2.8.4 训练内容	61	3.7.3 训练内容	94
2.8.5 注意事项	62	3.7.4 注意事项	98
2.8.6 分析与思考	62	3.7.5 分析与思考	98
2.9 小结	63	3.8 小结	99
2.10 习题	63	3.9 习题	100
第3章 电磁电器和电磁设备	66	第4章 继电-接触器控制电路	102
3.1 磁路	66	4.1 常用低压电器	102
3.1.1 磁场的基本物理量	66	4.1.1 开关	102
3.1.2 磁性材料的磁性能	67	4.1.2 继电器	104
3.1.3 磁路的概念	68	4.1.3 熔断器	105
3.2 交流铁心线圈电路	69	4.1.4 自动空气断路器	105
3.2.1 交流铁心线圈电路中的电磁关 系	69	4.2 笼型三相异步电动机的点动、 起停控制电路	106
3.2.2 交流铁心线圈的功率损耗	69	4.2.1 笼型三相异步电动机的点动控 制电路	106
3.3 变压器的原理和应用	70	4.2.2 笼型三相异步电动机的起停控 制电路	108
3.3.1 变压器空载运行	71	4.3 笼型三相异步电动机的正反 转控制电路	110
3.3.2 变压器负载运行	71	4.3.1 接触器联锁的正反转控制线 路	110
3.3.3 变压器的阻抗变换	72	4.3.2 按钮、接触器联锁的正反转控 制线路	111
3.3.4 变压器的额定值	73	4.4 行程控制、时间控制电路	112
3.3.5 特殊变压器	74	4.4.1 行程控制电路	112
3.4 电磁铁及其电磁电器	76	4.4.2 时间控制电路	114
3.4.1 电磁铁	76	4.5 触头的联锁	117
3.4.2 交流接触器	78	4.5.1 按顺序先后起动	118
3.4.3 电磁阀	79	4.5.2 按顺序先后停止	118
3.5 三相异步电动机	80	4.5.3 同时运行, 不允许单独运 行	119
3.5.1 三相异步电动机的结构	80	4.5.4 单独运行, 不允许同时运 行	119
3.5.2 三相异步电动机的工作原理	81	4.6 控制电路应用举例	119
3.5.3 三相异步电动机的电磁转矩和 机械特性	83	4.6.1 C620—1 型普通车床电路分 析	119
3.5.4 三相异步电动机的铭牌	85	4.6.2 CW6140 型普通车床控制电 路	120
3.5.5 三相异步电动机的起动、调速 和制动	87	4.7 技能训练 5 笼型三相异步	
3.5.6 三相异步电动机的选择	90		
3.6 单相异步电动机介绍	91		
3.6.1 单相异步电动机的工作原理	91		
3.6.2 电容分相式异步电动机	92		
3.6.3 罩极式异步电动机	93		
3.7 技能训练 4 三相异步电动 机的拆装	93		

电动机点动、起停控制电路装	
接	122
4.7.1 训练目的	122
4.7.2 训练设备、工具和器材	122
4.7.3 训练内容	122
4.7.4 注意事项	123
4.7.5 分析与思考	123
4.8 技能训练 6 笼型三相异步电	
动机正反转控制电路的装接 ..	124
4.8.1 训练目的	124
4.8.2 训练设备、工具和器材	124
4.8.3 训练内容	124
4.8.4 注意事项	125
4.8.5 分析与思考	125
4.9 小结	127
4.10 习题	127
第 5 章 可编程序控制器简介	130
5.1 可编程序控制器的概述	130
5.1.1 可编程序控制器的特点	130
5.1.2 可编程序控制器的组成	131
5.2 可编程序控制器的基本工作原	
理	132
5.2.1 可编程序控制器的等效电	
路	132
5.2.2 可编程序控制器的工作方	
式	134
5.3 F 系列器件和编号	136
5.3.1 输入继电器 (X)	136
5.3.2 输出继电器 (Y)	136
5.3.3 辅助继电器 (M)	137
5.3.4 移位寄存器	137
5.3.5 定时器 (T)	138
5.3.6 计数器 (C)	138
5.3.7 特殊辅助继电器	139
5.4 F 系列 PLC 基本逻辑指令 ..	139
5.4.1 LD、LDI、OUT 指令	140
5.4.2 AND、ANI 指令	140
5.4.3 OR、ORI 指令	141
5.4.4 ORB 指令	141
5.4.5 ANB 指令	142
5.4.6 S、R 指令	143
5.4.7 RST 指令	143
5.4.8 PLS 指令	144
5.4.9 SFT 指令	145
5.4.10 NOP 指令	145
5.4.11 MC、MCR 指令	145
5.4.12 CJP、EJP 指令	146
5.4.13 END 指令	147
5.5 常用基本电路的编程	147
5.5.1 编程的基本规则	147
5.5.2 编程技巧	148
5.5.3 动断触头的处理	149
5.5.4 基本电路的编程	150
5.6 技能训练 7 三相异步电动机	
Y- Δ 起动控制电路的编程	153
5.6.1 训练目的	153
5.6.2 训练原理和要求	153
5.6.3 控制电路联结	153
5.6.4 训练步骤	154
5.6.5 分析与思考	154
5.7 小结	154
5.8 习题	155
第 6 章 工厂输配电与照明线路和安	
全用电	157
6.1 工厂输配电	157
6.1.1 电力系统	157
6.1.2 输电	158
6.1.3 配电	158
6.2 照明电路	159
6.2.1 照明电路的装接	159
6.2.2 导线的选择	162
6.3 触电和防止触电的保护措	
施	164
6.3.1 触电	164
6.3.2 防止触电的保护措施	165
6.4 安全用电及触电急救常识	167
6.4.1 安全用电常识	167
6.4.2 触电急救常识	168
6.5 技能训练 8 单相电能表的联	
结	170

6.5.1 训练目的	170	7.8 习题	197
6.5.2 基本原理	170	第8章 晶体三极管放大电路	199
6.5.3 训练器材	171	8.1 单管放大电路的工作原理	199
6.5.4 训练步骤	171	8.1.1 放大电路的组成	199
6.5.5 注意事项	172	8.1.2 静态工作点的设置	201
6.5.6 分析与思考	172	8.1.3 共射极放大电路的工作原 理	202
6.6 小结	172	8.2 放大电路的图解法	203
6.7 习题	173	8.2.1 静态分析	204
第7章 常用晶体管	174	8.2.2 动态分析	204
7.1 晶体二极管	174	8.2.3 非线性失真	205
7.1.1 半导体材料	174	8.3 微变等效电路法	207
7.1.2 PN结	175	8.3.1 晶体三极管的微变等效电 路	207
7.1.3 晶体二极管	176	8.3.2 放大电路的微变等效电路	208
7.2 晶体三极管	178	8.4 技能训练11 单管放大电 路	210
7.2.1 晶体三极管的结构	178	8.4.1 训练目的	210
7.2.2 晶体三极管的电流放大作 用	179	8.4.2 工作原理	210
7.2.3 晶体三极管的特性曲线	180	8.4.3 训练设备和器材	211
7.2.4 晶体三极管的主要参数	181	8.4.4 训练步骤	211
7.3 绝缘栅场效应管	182	8.4.5 注意事项	213
7.3.1 N沟道增强型MOS管	182	8.4.6 分析与思考	213
7.3.2 N沟道耗尽型MOS管	183	8.5 技能训练12 串联型稳压电 源	213
7.4 晶闸管	184	8.5.1 训练目的	213
7.4.1 晶闸管的结构	184	8.5.2 工作原理	213
7.4.2 晶闸管的工作原理	184	8.5.3 训练仪表和器材	214
7.4.3 晶闸管的伏安特性	186	8.5.4 训练内容	215
7.4.4 晶闸管的主要参数	186	8.5.5 分析与思考	216
7.5 技能训练9 晶体管的简易测 试	187	8.6 技能训练13 集成稳压电 源	216
7.5.1 训练目的	187	8.6.1 训练目的	216
7.5.2 训练原理	187	8.6.2 工作原理	216
7.5.3 训练器材和仪表	188	8.6.3 训练设备器材	218
7.5.4 训练内容	188	8.6.4 训练内容	218
7.5.5 分析与思考	189	8.6.5 分析与思考	219
7.6 技能训练10 常用电子仪器 的使用	189	8.7 小结	219
7.6.1 训练目的	189	8.8 习题	220
7.6.2 训练说明	189	第9章 集成运算放大电路	222
7.6.3 训练仪器	196		
7.6.4 训练内容	196		
7.7 小结	197		

9.1 集成运算放大器简介	222	10.3.2 译码器与数字显示	254
9.1.1 集成运算放大器的组成	222	10.3.3 加法器	257
9.1.2 运算放大器的主要参数和工作特点	223	10.3.4 数据选择器	259
9.2 基本运算电路	225	10.4 技能训练 16 译码显示电路	259
9.2.1 反相比例运算电路	225	10.4.1 训练目的	259
9.2.2 同相比例运算电路	226	10.4.2 训练原理和电路	260
9.2.3 加减运算电路	227	10.4.3 训练器材与设备	261
9.3 电压比较器	229	10.4.4 训练步骤	261
9.3.1 电压比较器及其传输特性	229	10.4.5 分析与思考	261
9.3.2 滞回电压比较器	231	10.5 小结	262
9.4 振荡电路	232	10.6 习题	263
9.4.1 振荡电路原理	233	第 11 章 触发器和时序逻辑电路 ...	266
9.4.2 RC 正弦波振荡电路	233	11.1 集成触发器	266
9.4.3 方波振荡电路	236	11.1.1 RS 触发器	266
9.5 技能训练 14 用运算放大器实现运算的电路	236	11.1.2 主从型 JK 触发器	269
9.5.1 训练目的	236	11.1.3 D 触发器	270
9.5.2 运算放大电路原理	237	11.2 计数器	272
9.5.3 训练仪器及设备	237	11.2.1 二进制计数器	272
9.5.4 训练内容及步骤	237	11.2.2 二十进制加法计数器	274
9.5.5 注意事项	240	11.3 寄存器	276
9.5.6 分析与思考	240	11.3.1 数码寄存器	276
9.6 技能训练 15 用运算放大器实现电压比较的电路	240	11.3.2 移位寄存器	277
9.6.1 训练目的	240	11.4 集成 555 定时器	278
9.6.2 训练电路和原理	240	11.4.1 555 定时器简介	278
9.6.3 训练设备和仪器	241	11.4.2 555 定时器构成的施密特触发器	280
9.6.4 训练内容	241	11.4.3 555 定时器组成的单稳态触发器	280
9.6.5 注意事项	242	11.4.4 555 定时器构成的多谐振荡器	281
9.6.6 分析与思考	242	11.5 技能训练 17 二进制加法计数器	282
9.7 小结	243	11.5.1 训练目的	282
9.8 习题	243	11.5.2 训练电路和原理	282
第 10 章 门电路和组合逻辑电路 ...	246	11.5.3 训练器材与设备	283
10.1 概述	246	11.5.4 训练内容和步骤	283
10.2 门电路	247	11.5.5 分析与思考	284
10.2.1 基本门电路	247	11.6 技能训练 18 555 定时器的应用	284
10.2.2 三态输出“与非”门电路 ...	251		
10.3 组合逻辑电路	252		
10.3.1 编码器	252		

11.6.1 训练目的	284	12.4.3 应用举例	303
11.6.2 训练电路和原理	284	12.5 光电传感器及其应用	304
11.6.3 训练设备与仪器	285	12.5.1 光电效应	304
11.6.4 训练内容与步骤	285	12.5.2 光电元件	304
11.6.5 分析与思考	287	12.5.3 光电式传感器及其应用	306
11.7 小结	287	12.6 技能训练 19 扩散硅压阻 式压力传感器	307
11.8 习题	288	12.6.1 训练目的	307
第 12 章 非电量的测量 (传感器) 简介	292	12.6.2 基本原理	307
12.1 传感器概述	292	12.6.3 训练仪表及部件	308
12.1.1 传感器	292	12.6.4 训练步骤	308
12.1.2 传感器的组成	293	12.6.5 注意事项	309
12.1.3 传感器的分类	293	12.6.6 分析与思考	309
12.2 测力传感器及其应用	293	12.7 技能训练 20 金属箔式应变 片: 单臂、半桥、全桥比较 ...	309
12.2.1 弹性敏感元件	294	12.7.1 训练目的	309
12.2.2 电阻应变式传感器	294	12.7.2 训练仪表和部件	309
12.3 位移传感器及其应用	296	12.7.3 训练步骤	309
12.3.1 霍尔式传感器	297	12.7.4 注意事项	310
12.3.2 霍尔式位移传感器应用	298	12.8 小结	310
12.4 温度传感器及其应用	298	12.9 习题	311
12.4.1 温标和测量方法	298		
12.4.2 常用温度传感器	299		

第 1 章 直流电路

直流电路是交流电路、电子电路的基础。本章主要介绍电路的组成和作用，电路的主要物理量及其参考方向。电路的三种工作状态，电路中电源、电阻、电流和电压关系及等效变换。电路的基本定律、基本定理和应用及电路中电位的概念和应用。

1.1 电路及主要物理量

1.1.1 电路的组成和作用

电路就是电流所通过的路径，它是由电路元件按一定方式组合而成的。电路的结构形式多样，繁简不一，功能也不尽相同。在研究电路的工作原理时，通常是用一些规定的图形符号来代表实际的电路元件，并用连线表示它们之间的连接关系，画成原理电路图进行分析。原理电路图简称电路图。

图 1-1 所示的电路是一个最简单的实用直流电路，它由一个电源（干电池）、一个负载（小灯泡）、一个开关和连接导体所组成。对电源来讲，负载、连接导线和开关称为外电路，电源内部的一段电路称为内电路。图 1-2 是该直流电路的电路图。

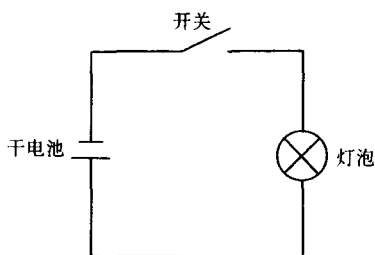


图 1-1 手电筒电路

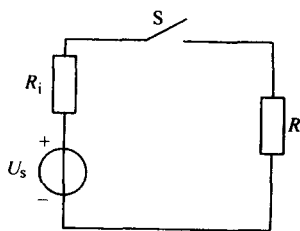


图 1-2 原理电路图

电源是供应电能的装置，它把其他形式的能量转换为电能。例如发电机把机械能转换为电能、电池把化学能转换为电能。电源是电路中的能量来源，是推动电流运动的源泉，在它的内部进行着其他形式的能量到电能的转换。

负载是取用电能的装置，它把电能转换为其他形式的能量。例如电灯把电能转换为光能和热能，电动机把电能转换为机械能。在它们的内部进行着电能到其他形式的能量的转换。

连接导线和开关，用来连接电源与负载，使它们构成电流的通路，把电源的能量输送给负载，并根据需要控制电路的接通和断开。这一部分也称之为电路的中间环节，起传输和控制电能的作用。

上述电路常用于电力及一般用电系统中，称为电力电路，它主要起着电能的传输和

转换的作用。对于这一类电路，一般要求在传输和转换过程中，尽可能地减少能量损耗以提高效率。

另有一类电路的主要作用是传递和处理信号，称为信号电路。例如在扩音机电路中，传声器（话筒）把语言或音乐转换为随声波变化的电信号，称为信号源。此信号经扩音机内的放大器放大后，通过连接导线传递给终端设备（扬声器），由终端设备把这一信号再还原为音响增强了的语言或音乐输出，起着负载的作用，放大器和连接导线起着中间环节的作用。信号的这种转换和放大，称为信号的处理。在这类电路中，虽然也有能量的传输和转换，但其数量很小，一般所关心的是信号传递的质量，如要求不失真、准确、灵敏、快速等。

由此可见，电路按其功能可以分为两类：一类是为了实现能量的传输和转换，这类电路称为电力电路；另一类是为了实现信号的传递和处理，这类电路称为信号电路。对于一个完整的电路而言，电源（或信号源）、负载和中间环节是三个基本组成部分，它们是缺一不可的。

1.1.2 电路模型

实际电路中的元件种类繁多，在电路分析中不可能因物而异，通常是将实际电路元件理想化（或模型化）。即在一定条件下，突出其主要的电磁性质，忽略其次要因素，把它近似地看作理想电路元件，用一个理想电路元件或由几个理想元件的组合来代替实际电路元件。如用“电阻”这个理想电路元件来代替电阻器、电阻炉、灯泡等消耗电能的实际元件，用内电阻 R_i 和理想电压源 U_s 相串联的理想元件组合来代替实际的直流电源等。

用理想电路元件及其组合来代替实际电路元件，就构成了与实际电路相对应的电路模型。我们在进行理论分析时所指的电路，就是这种电路模型。根据对电路模型的分析所得出的结论，有着广泛的实际指导意义。

1.1.3 电路的重要物理量

1. 电流

电荷的定向移动就形成了电流。电流的实际方向习惯上指正电荷运动的方向。

电流主要分为两类：一类为大小和方向均不随时间改变的电流叫做恒定电流，简称直流，用符号 I 表示。另一类为电流的大小和方向随时间变化，称为变动电流，用符号 i 表示。其中一个周期内电流的平均值为零的变动电流则称为交变电流，简称交流，也用符号 i 表示。在本章只研究直流电路。

对于直流，单位时间 t 内通过导体横截面的电荷 [量][⊖] Q 是恒定不变的，即

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

⊖ 方括号中的字，在不致引起混淆、误解的情况下，可以省略，下同。

对于变动电流（含交流），在一很小的时间间隔 dt 内，通过导体横截面的电荷 [量] 为 dq ，则该瞬间电流为

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (1-2)$$

电流的单位是安 [培] (A)。1A 电流为 1 秒内通过导体横截面的电荷 [量] 为 1 库 [仑] (C)。电流的单位有时也用千安 (kA)，毫安 (mA) 或微安 (μA) 作单位，其关系如下：

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

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

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

在分析电路时，对复杂电路中某一段电路里电流的实际方向有时很难立即判定，有时电流的实际方向还在不断地改变，因此在电路中很难确定电流的实际方向。为了解决这样的困难，引入了电流的“参考方向”这一概念。

在一段电路或一个电路元件中事先选定一个方向，这个选定的电流方向就叫做电流的参考方向。参考方向可以任意选定，在电路图中用箭头表示，有时也用双下标表示。如 I_{ab} 表示参考方向是由 a 指向 b 的电流。但选定的电流参考方向不一定与电流的实际方向一致。当电流的实际方向与参考方向一致时，电流为正值 ($I > 0$)，如图 1-3a 所示；当电流的实际方向与参考方向相反时，电流为负值 ($I < 0$)，如图 1-3b 所示。因此在选定参考方向之后，电流的值才有正负之分。也只有在此条件下，电流的正负才有意义。

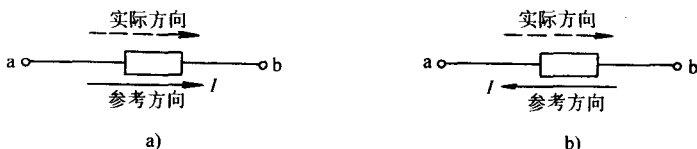


图 1-3 电流参考方向与实际方向的关系

2. 电位和电压

与物体在某一位置上具有一定的位能相类似，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，必须像要确定物体位能的大小必须选择一个基准点一样，在电路中选择一参考点作为基准点。

图 1-4 所示电路中，把 b 点作为参考点，则正电荷在 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 与正电荷所带电荷 [量] Q 的比值，称为电路中 a 点的电位，用 V_a 表示：即

$$V_a = \frac{W_a}{Q} \quad (1-3)$$

由式 (1-3) 可知，电路中某点相对于参考点电位的大小，在数值上就等于单位正电

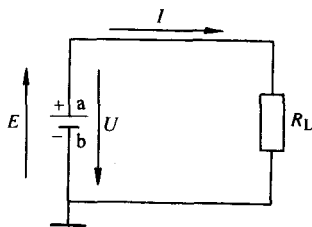


图 1-4 b 点为参考点的电路

荷在该点所具有的电位能。

电位的单位是焦 [耳] / 库 [仑] (J/C)，称为伏 [特] (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为定值。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电位高的电位为正值，用“+”表示；电位比参考点电位低电位为负值，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 a, b 两点间的电压为

$$U_{ab} = V_a - V_b \quad (1-4)$$

电压是衡量电场力做功能力的物理量，它在数量上等于单位正电荷受电场力作用从电路的某一点移到另一点所做的功，或等于单位正电荷顺着电场方向从某一点移到另一点所失去的能量。

电压的单位也是伏 [特]。如果电场力把 1 库 [仑] (C) 电量从 a 点移到 b 点所做的功是 1 焦 [耳] (J)，则 a 与 b 两点间的电压就是 1 伏 [特] (V)。

电压有时用千伏 (kV)，毫伏 (mV) 作单位。

$$1\text{kV} = 1000\text{V} = 10^3\text{V}$$

$$1\text{mV} = 0.001\text{V} = 10^{-3}\text{V}$$

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。因此在电压方向上，电位是逐点降低的。

在一些复杂电路中，某两点间的电压实际方向有时难于事先确定，和对待电流一样，对元件或电路两点之间可以任意选定一个方向为电压的参考方向。当电压的实际方向与它的参考方向一致时，电压值为正 ($U > 0$)，如图 1-5a 所示；反之，当电压的实际方向与它的参考方向相反时，电压值为负 ($U < 0$)，如图 1-5b 所示。

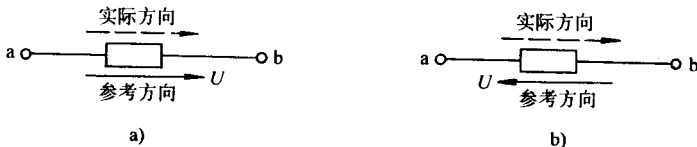


图 1-5 电压参考方向与实际方向的关系

有时还用双下标或电位的高低来表示电压的参考方向，如电压 U_{ab} 表示电压的参考方向由 a 点指向 b 点。

电压的实际方向是客观存在的，它决不因该电压的参考方向的不同选择而改变，由此可知： $U_{ab} = -U_{ba}$ 。

电流参考方向的选定与电压参考方向的选定是独立无关的。但为了方便起见，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“+”极性的一端流入，从标以“-”极性的一端流出，则把这种电流和电压的参考方向称为关联参考方向，简称为关联方向。

需要指出，在计算电路的某一未知电流或电压时，应先标明该电流或电压的参考方向，不标出参考方向，所求得的电流或电压的正负值就没有正确的意义。

3. 电动势

在闭合电路中，要维持连续不断的电流，必须要有电源。在电源内部有一种局外力（非静电力），在它的作用下将正电荷由低电位处移向高电位处。电池中的局外力是由电解液和金属极板间的化学作用产生的，发电机中的局外力是由电磁作用产生的。由于局外力而使电源两端具有的电位差叫电动势，并规定电动势的实际方向是由低电位端指向高电位端。把电位高的一端叫正极，电位低的一端叫负极，则电动势的实际方向规定在电源内部从负极到正极，如图 1-6a 所示。因此，在电动势的方向上电位是逐点升高的。电动势在数值上等于局外力把正电荷从负极板搬运到正极板所做的功 W_{ba} 与被搬运的电荷 [量] Q 的比值，用 E 表示，即

$$E = \frac{W_{ba}}{Q} \quad (1-5)$$

电动势的单位也用伏 [特] 表示。如果局外力把 1 库 [仑] (C) 电量从 b 点搬运到 a 点所做的功是 1 焦 [耳] (J)，则 b 与 a 两点间的电动势就等于 1V。

由于电动势 E 两端的电压值为恒定值，且不论电流的大小和方向如何，其电位差总是不变，故用一个两端标上电位极性的恒定电压源 U_s 来表示，如图 1-6b 所示。在分析电路时，电路中电压参考方向不同时，其值不同。当选取的电压参考方向与该电源的极性一致时， $U = U_s$ ，如图 1-6c 所示；相反时， $U = -U_s$ ，如图 1-6d 所示。且与电路中的电流无关。

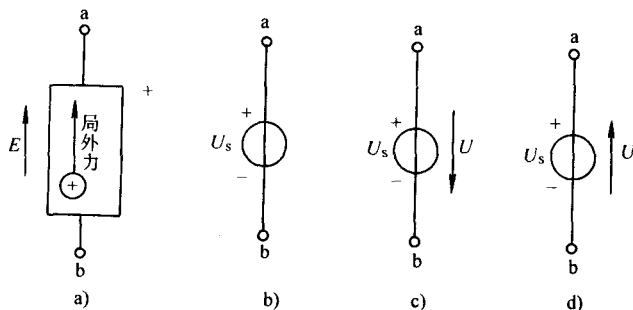


图 1-6 电动势（恒压源）的符号及不同电压参考方向

4. 电能和电功率

在电流通过电路的同时，电路中发生了能量的转换。

在电源内，外力不断地克服电场力对正电荷做功，正电荷在电源内获得了能量，把非电能转换成电能。在外电路中，正电荷在电场力作用下，不断地流过负载，正电荷在外电路中放出能量，把电能转换成为其他形态的能。由此可见，在电路中，电荷只是一种转换和传输能量的媒介物，电荷本身并不产生或消耗任何能量。通常所说的用电，就是指取用电荷所携带的能量而言。

从非电能转换来的电能等于电源的电动势与被移动的电荷 [量] Q 的乘积，即

$$W_{U_s} = U_s Q = U_s I t \quad (1-6)$$

此电能可分为两部分：其一是外电路取用的电能（即电源输出的电能） W_1 ，其二是

因正电荷电源内部受局外力作用在移动电荷过程中存在阻力, 故内电路将消耗电能 W_i 。

外电路取用的电能等于外电路两端的电压 U 与受电场力作用而移动的电荷 [量] Q 的乘积, 即

$$W = UQ = UI t \quad (1-7)$$

电荷在内电路中移动时, 把一部分电能转换成热能, 这是无法利用的能量损耗。根据能量守恒定律得

$$W_i = W_{U_s} - W = (U_s - U) I t \quad (1-8)$$

式 (1-8) 中 $(U_s - U)$ 称为电源内部电压降, 用 U_i 表示, 于是可得电路的能量平衡方程为

$$U_s I t = U I t + U_i I t \quad (1-9)$$

等式两边除以 $I t$, 则得

$$U_s = U + U_i \quad (1-10)$$

上式称为电路的电压平衡方程式。其含义是: 恒压源两端的电压等于电源输出端电压与电源内部电压降之和。

在某段时间内, 电路中产生 (或损耗) 的电能与该段时间的比值称为电功率, 用 P 表示。在闭合电路中电源产生的电功率为

$$P_{U_s} = \frac{U_s I t}{t} = U_s I \quad (1-11)$$

负载取用的电功率为

$$P_{R_L} = \frac{U I t}{t} = U I \quad (1-12)$$

内电路损耗的电功率为

$$\Delta P = \frac{U_i I t}{t} = U_i I \quad (1-13)$$

这三者间的关系是

$$P_{U_s} = P_{R_L} + \Delta P \quad (1-14)$$

式 (1-14) 称为电路的功率平衡方程式。功率的单位是瓦 [特] (W)。电能的单位是焦 [耳] (J)。因这些单位有时太小, 所以功率的单位常用千瓦 (kW), 电能的单位常用千瓦 [小] 时 (kW · h)。1 kW · h 俗称 1 度电。

【例 1-1】如图 1-7 所示, 已知电动势 $U_s = 24V$, 端电压 $U = 22V$, 电流 $I = 5A$, 求 P_{U_s} 、 P_{R_L} 、 ΔP 和 U_i 。

解: $P_{U_s} = U_s I = 24 \times 5W = 120W$

$$P_{R_L} = U I = 22 \times 5W = 110W$$

$$\Delta P = U_i I = (24 - 22) \times 5W = 10W$$

$$U_i = U_s - U = 24V - 22V = 2V$$

【思考题 1-1】

(1) 导线中通过一直流电流, 已知 1s 内从 a 到 b 通过横截面的电荷 [量] 为 0.5C。

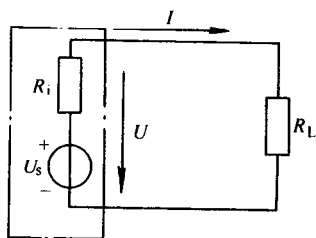


图 1-7 例 1-1 电路