

21  
世纪

21世纪高职高专系列教材

# 电工与电子基础

中国机械工业教育协会 组编



机械工业出版社  
China Machine Press

21 世纪高职高专系列教材

# 电工与电子基础

中国机械工业教育协会 组编

主 编 山东工程学院 董传岱  
副主编 洛阳工学院 唐之义  
参 编 厦门大学 林育兹  
          山东工程学院 李震梅 房华玲 任鲁涌 张连俊  
主 审 武汉船舶职业技术学院 张丹平



机械工业出版社

本书是作者在多年从事电工电子教学工作的基础上编写而成的。其中电工技术部分包括直流电路、正弦交流电路、电路的暂态分析、铁心线圈电路与变压器、异步电动机及其控制;电子技术部分包括半导体器件的基本知识、放大电路的原理和分析基础、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡电路、整流与直流稳压电源、基本逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器与时序逻辑电路。本书文字叙述详细,概念阐述清楚、通俗易懂,简化理论推导,突出应用实训内容,可作为高职、高专、夜大、函大等大专层次非电类专业学生电工电子课程的教材,也可作为非电类工程师以及其它有关专业人员的培训教材和参考书。

### 图书在版编目 (CIP) 数据

电工与电子基础/中国机械工业教育协会编. —北京:机械工业出版社, 2001. 6  
21世纪高职高专系列教材  
ISBN 7-111-08372-5

I. 电... II. 中... 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 N. ①TM②TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 030645 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:王英杰 版式设计:冉晓华 责任校对:张媛

封面设计:姚毅 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

2001年7月第1版·第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·17.25印张·424千字

0 001—4 000册

定价:26.00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

11/11/06

## 21 世纪高职高专系列教材编委会名单

**编委会主任** 中国机械工业教育协会 郝广发

**编委会副主任** (单位按笔画排)

山东工程学院 仪垂杰  
大连理工大学 唐志宏  
天津大学 周志刚  
甘肃工业大学 路文江  
江苏理工大学 杨继昌  
成都航空职业技术学院 陈玉华

机械工业出版社 陈瑞藻(常务)  
沈阳工业大学 李荣德  
河北工业大学 檀润华  
武汉船舶职业技术学院 郭江平  
金华职业技术学院 余党军

**编委会委员** (单位按笔画排)

广东白云职业技术学院 谢瀚华  
山东省职业技术教育师资培训中心 邹培明  
上海电机技术高等专科学校 徐余法  
天津中德职业技术学院 李大卫  
天津理工学院职业技术学院 沙洪均  
日照职业技术学院 李连业  
北方交通大学职业技术学院 佟立本  
辽宁工学院职业技术学院 李居参  
包头职业技术学院 郑刚  
北京科技大学职业技术学院 马德青  
北京建设职工大学 常莲  
北京海淀走读大学 成运花  
江苏理工大学 吴向阳  
合肥联合大学 杨久志

同济大学 孙章  
机械工业出版社 李超群 余茂祚(常务)  
沈阳建筑工程学院 王宝金  
佳木斯大学职业技术学院 王跃国  
河北工业大学 范顺成  
哈尔滨理工大学工业技术学院 线恒录  
洛阳大学 吴锐  
洛阳工学院职业技术学院 李德顺  
南昌大学 肖玉梅  
厦门大学 朱立秒  
湖北工学院高等职业技术学院 吴振彪  
彭城职业大学 陈嘉莉  
燕山大学 刘德有

# 序

1999年6月中共中央国务院召开第三次全国教育工作会议,作出了“关于深化教育改革,全面推进素质教育的决定”的重大决策,强调教育在综合国力的形成中处于基础地位,坚持实施科教兴国的战略。决定中明确提出要大力发展高等职业教育,培养一大批具有必备的理论知识和较强的实践能力,适应生产、建设、管理、服务第一线急需的高等技术应用性专门人才。为此,教育部召开了关于加强高职高专教学工作会议,进一步明确了高职高专是以培养技术应用性专门人才为根本任务;以适应社会需要为目标;以培养技术应用能力为主线设计学生的知识、能力、素质结构和培养方案;以“应用”为主旨和特征来构建课程和教学内容体系;高职高专的专业设置要体现地区、行业经济和社会发展的需要,即用人的需求;教材可以“一纲多本”,形成有特色的高职高专教材系列。

“教书育人,教材先行”,教育离不开教材。为了贯彻中共中央国务院以及教育部关于高职高专人才培养目标及教材建设的总体要求,中国机械工业教育协会、机械工业出版社组织全国部分有高职高专教学经验的职业技术学院、普通高等学校编写了这套《21世纪高职高专系列教材》。教材首批80余本(书目附书后)已陆续出版发行。

本套教材是根据高中毕业3年制(总学时1600~1800)、兼顾2年制(总学时1100~1200)的高职高专教学计划需要编写的。在内容上突出了基础理论知识的应用和实践能力的培养。基础理论课以应用为目的,以必需、够用为度,以讲清概念、强化应用为重点;专业课加强了针对性和实用性,强化了实践教学。为了扩大使用面,在内容的取舍上也考虑到电大、职大、业大、函大等教育的教学、自学需要。

每类专业的教材在内容安排和体系上是有机联系、相互衔接的,但每本教材又有各自的独立性。因此各地区院校可根据自己的教学特点进行选择使用。

为了提高质量,真正编写出有显著特色的21世纪高职高专系列教材,组织编写队伍时,采取专门办高职的院校与办高职的普通高等院校相互协作编写并交叉审稿,以便实践教学和理论教学能相互渗透。

机械工业出版社是我国成立最早、规模最大的科技出版社之一,在教材编辑出版方面有雄厚的实力和丰富的经验,出版了一大批适用于全国研究生、大学本科、专科、中专、职工培训等各种层次的成套系列教材,在国内享有很高的声誉。我们相信这套教材也一定能成为具有我国特色的、适合21世纪高职高专教育特点的系列教材。

中国机械工业教育协会

# 前 言

电工与电子基础是面向高职、高专、夜大、函大等大专层次非电类专业学生的一门技术基础课程。通过本课程的学习使学生获得电工技术与电子技术的基本理论、基本知识和基本技能，为学习后续课程和专业知识以及毕业后从事工程技术工作打下理论基础和实践基础。

本教材是21世纪高职高专系列教材之一，是根据教育部[2000]2号文件精神，参考教育部（前国家教育委员会）1995年颁发的高等工业学校“电工技术（电工学I）”和“电子技术（电工学II）”两门课程的教学基本要求编写的。

本书是作者从事多年电工电子教学工作的基础上编写而成的。在本教材编写过程中，我们本着下列原则：精选教学内容、深浅适度、主次分明、详略恰当、处处考虑职业教育特点，在内容的阐述方面，以物理概念为主，突出实践性、实用性，力求做到文字通顺流畅，通俗易懂，以便学生学习。

本书包含电工技术基础和电子技术基础两大部分。电工技术内容有：电路模型和基本定律、电路的基本分析方法、正弦交流电路的基本概念和稳态分析、三相正弦交流电路、电路的暂态分析、磁路和铁心线圈电路、异步电动机及其控制。电子技术内容有：半导体器件的基本知识、放大电路的原理和分析基础、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡器、整流与直流电源、数制和码制、逻辑代数、基本逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、定时器电路等。

董传岱组织了本书的编写，制定了详细的编写提纲，并负责了全书的统稿工作。全书共14章，其中第1、2章由唐之义编写；第3、6、9章由李震梅编写；第4、5、8章由董传岱编写；第7、11章由房华玲编写；第10章由张连俊编写；第12、13章由林育兹编写；第14章由任鲁涌编写。

本书由武汉船舶职业技术学院的张丹平副教授主审，他详细地审阅了编写大纲以及全部书稿，提出了许多宝贵意见和建议。另外，石油大学（华东）的刘润华教授详细地审阅了编写大纲，并提出了许多宝贵意见和建议。编者在这里一并向他们表示衷心的感谢。

本书与闫章修主编的《电工与电子实验》一书配套使用，有些内容如电工测量及有关附录等没有收编于本书。限于编者的水平，本书中不妥和错误之处在所难免，望读者及同行老师们给以批评指正。

编者

# 目 录

序  
前言

第 1 章 直流电路 .....	1
1.1 电路模型 .....	1
1.1.1 电路的组成部分 .....	1
1.1.2 电路模型 .....	2
1.2 电路的基本物理量 .....	2
1.2.1 电流 .....	2
1.2.2 电压与电动势 .....	3
1.2.3 电功率 .....	5
1.3 欧姆定律 .....	6
1.4 电路的工作状态 .....	7
1.4.1 有载工作状态 .....	7
1.4.2 开路 .....	8
1.4.3 短路与短接 .....	8
1.5 基尔霍夫定律 .....	9
1.5.1 基尔霍夫电流定律 (KCL) .....	9
1.5.2 基尔霍夫电压定律 (KVL) .....	10
1.6 电阻的联接方式及其转换 .....	11
1.6.1 电阻的串联 .....	11
1.6.2 电阻的并联 .....	12
1.6.3 电阻 Y 联结与 $\Delta$ 联结的等效 变换 .....	15
1.7 电压源与电流源及其等效变换 .....	17
1.7.1 电压源 .....	17
1.7.2 电流源 .....	18
1.7.3 电压源与电流源的等效变换 .....	19
1.8 支路电流法 .....	23
1.9 节点电压法 .....	24
1.10 叠加原理 .....	25
1.10.1 叠加原理的内容 .....	25
1.10.2 使用叠加原理应注意的问题 .....	26
1.11 戴维南定理 .....	27
复习思考题 .....	31

第 2 章 正弦交流电路 .....	35
2.1 正弦交流电压与电流 .....	35
2.1.1 正弦交流电的概念 .....	35
2.1.2 正弦量的三要素 .....	35
2.1.3 正弦交流电的相量表示法 .....	39
2.2 电阻元件的交流电路 .....	43
2.2.1 电阻元件 .....	43
2.2.2 电阻元件的交流电路 .....	43
2.3 电感元件的交流电路 .....	44
2.3.1 电感元件 .....	44
2.3.2 电感元件的交流电路 .....	45
2.4 电容元件的交流电路 .....	46
2.4.1 电容元件 .....	46
2.4.2 电容元件的交流电路 .....	47
2.5 $RL$ 串联的交流电路 .....	49
2.5.1 伏安特性 .....	49
2.5.2 $RL$ 串联电路的功率 .....	50
2.6 $RC$ 串联交流电路 .....	52
2.6.1 伏安特性 .....	52
2.6.2 $RC$ 串联电路的功率 .....	53
2.7 $RLC$ 交流电路 .....	54
2.7.1 $RLC$ 串联谐振电路 .....	54
2.7.2 $RLC$ 并联谐振电路 .....	57
2.8 功率因数的提高 .....	59
2.8.1 功率因数及提高功率因数的 意义 .....	59
2.8.2 提高功率因数的措施 .....	60
复习思考题 .....	62
第 3 章 三相正弦交流电路 .....	66
3.1 三相交流电源 .....	66
3.2 三相负载的 Y 联结 .....	68
3.3 三相负载的 $\Delta$ 联结 .....	70
3.4 三相电路的功率 .....	72
3.4.1 三相功率的计算 .....	72

3.4.2 三相功率的测量 .....	73	5.5.2 仪用互感器 .....	106
<b>3.5 安全用电知识 .....</b>	<b>74</b>	5.5.3 三相变压器 .....	107
3.5.1 安全用电常识 .....	75	<b>复习思考题 .....</b>	<b>108</b>
3.5.2 防触电的安全技术 .....	75	<b>第6章 异步电动机及其控制 .....</b>	<b>110</b>
3.5.3 安全用电的注意事项 .....	76	<b>6.1 三相异步电动机的结构与工作</b>	
<b>复习思考题 .....</b>	<b>77</b>	原理 .....	110
<b>第4章 电路的暂态分析 .....</b>	<b>78</b>	6.1.1 三相异步电动机的结构 .....	110
<b>4.1 换路定理 .....</b>	<b>78</b>	6.1.2 三相异步电动机的工作原理 .....	111
4.1.1 产生暂态过程的原因 .....	78	<b>6.2 三相异步电动机的机械特性及其使用 .....</b>	<b>114</b>
4.1.2 换路定理及初始值的确定 .....	78	6.2.1 三相异步电动机的电磁转矩与机械特性 .....	114
<b>4.2 RC 电路的暂态过程 .....</b>	<b>80</b>	6.2.2 三相异步电动机的接线 .....	115
4.2.1 零输入响应 .....	81	6.2.3 三相异步电动机的起动 .....	115
4.2.2 零状态响应 .....	82	6.2.4 三相异步电动机的反转 .....	116
4.2.3 全响应 .....	83	6.2.5 三相异步电动机的调速 .....	116
<b>4.3 一阶线性电路暂态分析的三要素法 .....</b>	<b>84</b>	6.2.6 三相异步电动机的制动 .....	117
4.3.1 三要素分析法 .....	84	6.2.7 三相异步电动机的铭牌数据 .....	117
4.3.2 RL 电路的暂态过程 .....	85	<b>6.3 常用低压控制电器 .....</b>	<b>119</b>
<b>复习思考题 .....</b>	<b>89</b>	6.3.1 手动电器 .....	119
<b>第5章 铁心线圈电路与变压器 .....</b>	<b>91</b>	6.3.2 自动电器 .....	120
<b>5.1 磁场的基本物理量 .....</b>	<b>91</b>	<b>6.4 三相笼型电动机的基本控制 .....</b>	<b>123</b>
5.1.1 磁感应强度 .....	91	6.4.1 笼型电动机的点动控制线路 .....	124
5.1.2 磁通 .....	91	6.4.2 笼型电动机的起停控制线路 .....	124
5.1.3 磁场强度 .....	91	6.4.3 笼型电动机的两地控制线路 .....	125
5.1.4 磁导率 .....	92	6.4.4 笼型电动机的正反转控制线路 .....	125
<b>5.2 磁路及其基本定律 .....</b>	<b>93</b>	<b>6.5 单相异步电动机 .....</b>	<b>126</b>
5.2.1 磁性材料 .....	93	<b>复习思考题 .....</b>	<b>128</b>
5.2.2 磁路 .....	94	<b>第7章 半导体器件的基本知识 .....</b>	<b>129</b>
5.2.3 磁路的基本定律 .....	94	<b>7.1 半导体的导电特性 .....</b>	<b>129</b>
<b>5.3 交流铁心线圈电路 .....</b>	<b>95</b>	7.1.1 本征半导体及其导电特性 .....	129
<b>5.4 变压器 .....</b>	<b>98</b>	7.1.2 N 型半导体 .....	130
5.4.1 变压器的用途和基本结构 .....	98	7.1.3 P 型半导体 .....	131
5.4.2 变压器的工作原理 .....	99	<b>7.2 半导体二极管 .....</b>	<b>131</b>
5.4.3 变压器的外特性与效率 .....	102	7.2.1 PN 结的形成及单向导电性 .....	131
5.4.4 单相变压器的同极性端及其测定 .....	103	7.2.2 二极管的基本结构 .....	132
5.4.5 变压器的额定值 .....	104	7.2.3 二极管的伏安特性 .....	133
<b>5.5 特殊变压器与三相变压器 .....</b>	<b>105</b>	7.2.4 二极管的主要参数 .....	133
5.5.1 自耦变压器 .....	105	7.2.5 稳压二极管 .....	134



<b>7.3 半导体三极管</b> .....	135	<b>8.8 差动放大电路</b> .....	163
7.3.1 基本结构 .....	135	8.8.1 差动放大电路的基本形式 .....	163
7.3.2 晶体管的电流分配和放大原理 .....	136	8.8.2 长尾式差动放大电路 .....	164
7.3.3 伏安特性曲线 .....	138	<b>8.9 功率放大电路</b> .....	168
7.3.4 主要参数 .....	139	8.9.1 对功率放大器的要求 .....	168
<b>7.4 绝缘栅型场效应管</b> .....	140	8.9.2 OTL 互补对称功率放大电路 .....	169
7.4.1 增强型绝缘栅场效应管 .....	140	8.9.3 OCL 互补对称功率放大电路 .....	170
7.4.2 绝缘栅场效应管的四种基本 类型 .....	141	8.9.4 采用复合管的互补对称功率放 大电路 .....	170
7.4.3 主要参数 .....	143	8.9.5 集成功率放大电路 .....	171
7.4.4 场效应管和晶体三极管的比较 .....	143	<b>复习思考题</b> .....	172
<b>复习思考题</b> .....	144	<b>第9章 集成运算放大器及其应     用</b> .....	175
<b>第8章 放大电路的原理和分析     基础</b> .....	146	<b>9.1 集成运算放大器的简单介绍</b> .....	175
<b>8.1 基本放大电路</b> .....	146	9.1.1 集成运算放大器的特点及其 电路组成 .....	175
8.1.1 基本放大电路的组成 .....	146	9.1.2 集成运算放大器的主要参数 .....	176
8.1.2 直流通路和交流通路 .....	147	9.1.3 理想运算放大器及其分析依据 .....	178
8.1.3 静态工作点及其估算 .....	147	<b>9.2 比例运算电路</b> .....	179
8.1.4 主要性能指标 .....	148	9.2.1 反相比例运算电路 .....	179
<b>8.2 放大电路的图解分析法</b> .....	149	9.2.2 同相比例运算电路 .....	180
8.2.1 静态分析 .....	149	9.2.3 差动比例运算电路 .....	181
8.2.2 动态分析 .....	150	<b>9.3 反向比例求和电路</b> .....	182
<b>8.3 基本放大电路的微变等效电     路法</b> .....	152	<b>9.4 电压比较器</b> .....	182
8.3.1 晶体管的微变等效电路 .....	153	<b>9.5 检测与测量实用电路</b> .....	184
8.3.2 放大电路的微变等效电路 .....	153	<b>复习思考题</b> .....	185
8.3.3 放大电路的性能指标 .....	154	<b>第10章 正弦波振荡电路</b> .....	187
<b>8.4 静态工作点稳定的放大电路</b> .....	155	<b>10.1 产生正弦波振荡的条件</b> .....	187
8.4.1 静态工作点的稳定 .....	155	10.1.1 自激振荡 .....	187
8.4.2 静态工作点的估算 .....	155	10.1.2 正弦波振荡电路的组成部分 .....	188
8.4.3 性能指标 .....	156	<b>10.2 RC 振荡电路</b> .....	188
<b>8.5 射极输出器</b> .....	157	10.2.1 RC 桥式振荡电路 .....	188
8.5.1 射极输出器的静态分析 .....	157	10.2.2 其它形式的 RC 振荡电路 .....	190
8.5.2 射极输出器的特点 .....	157	10.2.3 RC 振荡电路的特点 .....	190
<b>8.6 负反馈放大器</b> .....	158	<b>10.3 LC 振荡电路</b> .....	191
8.6.1 反馈的概念及其组态 .....	158	10.3.1 变压器反馈式 LC 振荡电路 .....	191
8.6.2 负反馈的作用 .....	158	10.3.2 其它形式的 LC 振荡电路 .....	192
<b>8.7 多级放大电路</b> .....	160	10.3.3 LC 振荡电路应用举例——接近 开关 .....	193
8.7.1 耦合方式及其特点 .....	160		
8.7.2 RC 耦合多级放大电路 .....	161		

10.4 石英晶体振荡电路 .....	194	12.3.2 TTL 三态门 .....	228
10.4.1 石英晶体的特性 .....	194	12.3.3 MOS 反相器 .....	230
10.4.2 石英晶体振荡电路 .....	195	<b>复习思考题</b> .....	231
<b>复习思考题</b> .....	196	<b>第 13 章 组合逻辑电路</b> .....	233
<b>第 11 章 整流与直流稳压电源</b> ...	198	<b>13.1 逻辑代数的基本知识</b> .....	233
<b>11.1 直流电源的组成</b> .....	198	13.1.1 逻辑代数的基本公式 .....	233
<b>11.2 整流电路</b> .....	198	13.1.2 逻辑函数的公式化简法 .....	234
11.2.1 单相半波整流电路 .....	198	13.1.3 卡诺图化简法 .....	235
11.2.2 单相桥式整流电路 .....	200	<b>13.2 组合逻辑电路的分析与设计</b>	
<b>11.3 滤波电路</b> .....	202	<b>方法</b> .....	237
11.3.1 电容滤波器 .....	202	13.2.1 组合逻辑电路的分析 .....	237
11.3.2 RC- $\pi$ 型滤波电路 .....	203	13.2.2 组合逻辑电路的设计 .....	238
<b>11.4 稳压管稳压电路</b> .....	204	<b>13.3 加法器</b> .....	239
<b>11.5 串联型晶体管稳压电路</b> .....	205	13.3.1 半加器 .....	239
<b>11.6 集成稳压电源</b> .....	206	13.3.2 全加器 .....	239
<b>11.7 开关型稳压电路</b> .....	207	<b>13.4 译码器</b> .....	240
<b>11.8 晶闸管</b> .....	209	13.4.1 编码器及其概念 .....	240
11.8.1 基本结构 .....	209	13.4.2 二进制译码器 .....	241
11.8.2 导电特性与工作原理 .....	209	13.4.3 二十进制显示译码器 .....	242
11.8.3 伏安特性 .....	211	<b>复习思考题</b> .....	244
11.8.4 主要参数 .....	211	<b>第 14 章 触发器与时序逻辑电</b>	
<b>11.9 单相半控桥式整流电路</b> .....	212	<b>路</b> .....	247
<b>11.10 单结晶体管及其触发电路</b> ...	213	<b>14.1 触发器</b> .....	247
11.10.1 单结晶体管 .....	214	14.1.1 RS 触发器 .....	247
11.10.2 单结晶体管触发电路 .....	215	14.1.2 JK 触发器和 D 触发器 .....	248
<b>复习思考题</b> .....	216	14.1.3 触发器功能间的相互转换 .....	250
<b>第 12 章 基本逻辑门电路</b> .....	218	<b>14.2 寄存器</b> .....	251
<b>12.1 概述</b> .....	218	14.2.1 数码寄存器 .....	251
12.1.1 脉冲信号 .....	218	14.2.2 移位寄存器 .....	251
12.1.2 数制和码制 .....	219	14.2.3 集成寄存器举例 .....	252
12.1.3 数字电路分类 .....	220	<b>14.3 计数器</b> .....	254
<b>12.2 分立元件门电路</b> .....	221	14.3.1 二进制计数器 .....	254
12.2.1 三种基本逻辑运算 .....	221	14.3.2 二十进制计数器 .....	256
12.2.2 二极管与门 .....	223	14.3.3 N 进制计数器 .....	258
12.2.3 二极管或门 .....	223	<b>14.4 555 集成定时器及其应用</b> .....	259
12.2.4 晶体管非门 .....	224	14.4.1 555 集成定时器简介 .....	259
12.2.5 复合门电路 .....	224	14.4.2 单稳态触发器 .....	260
<b>12.3 集成门电路</b> .....	226	14.4.3 多谐振荡器 .....	261
12.3.1 TTL 与非门 .....	226	<b>复习思考题</b> .....	262
		<b>参考文献</b> .....	264

# 第1章 直流电路

本章讨论的主要内容是：电路的基本物理量，电路分析所用的基本概念，电路的基本定律和以电阻电路为例介绍的几种常用的电路分析方法：电源变换、支路电流法、节点电压法、叠加原理、戴维南定理等。本章内容是电路分析与计算的基础。

## 1.1 电路模型

### 1.1.1 电路的组成部分

电路是为了完成某种功能，将电器元件或设备按一定方式联接起来而形成的系统，通常用以构成电流的通路。从日常生活中使用的用电设备到工农业生产、科学研究中用到的各种生产机械的电气控制部分及计算机、各种测试仪表等，从广义上说，都是实际中的电路。最简单电路如图 1-1a 所示。

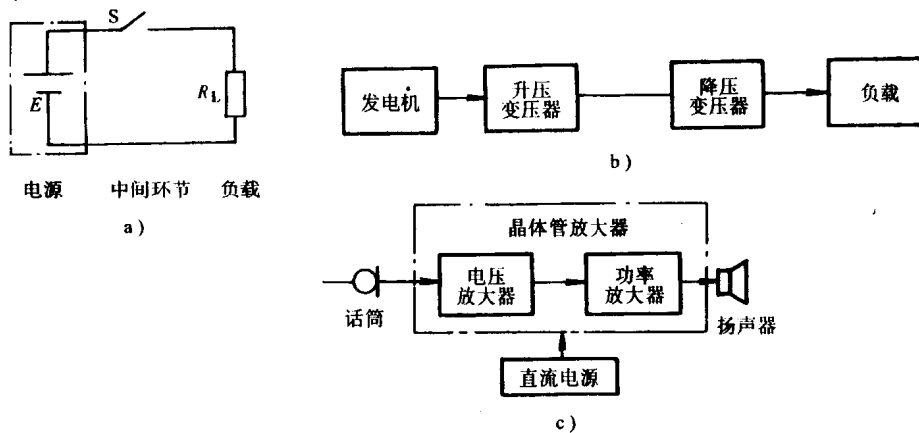


图 1-1 电路模型

实际电路的种类繁多，但就其功能来说，可以概括为两个方面：其一，是进行能量的传输、分配与转换。典型例子是电力系统中的输配电线路及用户负载构成的系统。在这一系统中，由发电机将其它形式的能量转换成电能，再通过变压器、输电线送到用户负载，负载又将电能转换成机械能、光能、热能等其它形式的能量（如电动机、灯、电炉等）；其二，是实现信息的传递与处理。典型的例子有电话、收音机、电视机等，这类电路的作用是将输入信号处理、放大后送到负载，负载将电信号转换成声音或图像等。图 1-1 中的 b、c 分别为这两方面电路的示意图。

电路的简繁不一，但就其组成，大致有以下三个部分：电源（或信号源）、负载和中间环节。对于简单和复杂电路来说，最大的区别就是中间环节的复杂程度。照明灯的中间环节可以是两条导线、一个开关，而收音机、电视机的中间环节就复杂得多。

电源（或信号源）的电压或电流信号通常称为电路的激励，在激励的作用下，电路各部分产生的电压和电流称为响应。讨论在已知条件下，电路激励与响应的关系，是电路分析的

主要内容。

### 1.1.2 电路模型

实际电路中所使用的元件的电磁性能较为复杂，为了便于对实际电路进行分析和数学描述，引出电路模型这一概念。所谓电路模型，是指由一些理想元件组成的电路，是对实际电路进行科学抽象与概括的结果。理想电路元件是在一定条件下突出其主要电磁性能，只反映某一种能量转换的元件。理想元件主要有：电阻元件、电感元件、电容元件，这几种为无源的理想元件；此外有源的理想元件，常用到的有电压源和电流源，其电路模型的图形符号如图 1-2 所示。

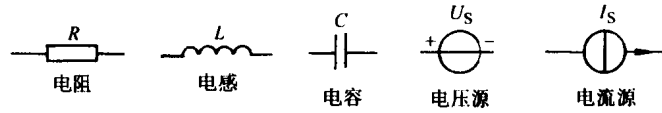


图 1-2 元件的基本模型

电阻  $R$  这种理想电路元件，只反映电能转换为热能的物理过程。凡是通电流后能将电能转换为热能，而其它能量转换可以忽略的元件（例如白炽灯、电炉等），在电路分析中就可以将其看作一个电阻，或者说将理想元件  $R$  作为该元件的电路模型。

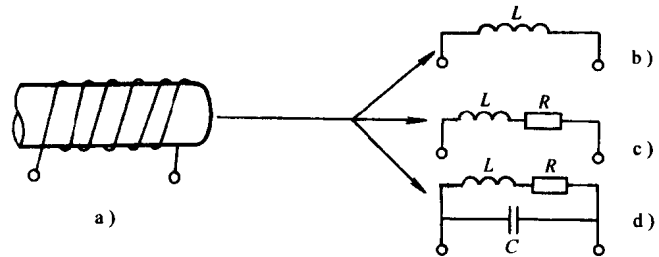


图 1-3 实际线圈在不同条件下的模型

电感  $L$  主要物理特性是储存磁能，而一个实际的线圈在低频电路中主要也体现了储存磁场能量的特点，所以可以用理想元件电感  $L$ ，或  $L$  与  $R$  串联组合，作为线圈的模型；在高频情况下，有时也需要考虑它所储存的电能，如图 1-3 所示。

电容元件主要物理特性是储存电场能。

有源器件中的电压源和电流源是一个实际电源的两种不同模型：一种用电压表示，称为电压源；另一种用电流形式表示，称为电流源。电压源可以看作是理想电压源和电阻串联的组合，电流源可以看作理想电流源和电阻（内阻）并联的组合。所以，理想电压源和理想电流源是实际电源抽象出来的一种模型，如图 1-4 所示。

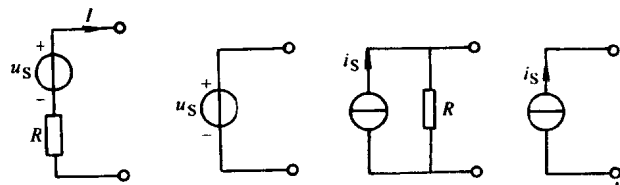


图 1-4 电源模型

此外，还有受控源，这里不作介绍。

今后，所分析的都是实际电路的电路模型，简称电路。在电路图中，各种电路元件用规定的图形符号表示，在没有特别说明的情况下，对联接图中各元件导线的电阻忽略不计。

## 1.2 电路的基本物理量

### 1.2.1 电流

#### 1.2.1.1 电流的实际方向

电流是由电荷作定向运动而形成的。金属导体内含有大量自由电子（带负电荷）在电场力作用下作定向移动，如图 1-5a 所示。

自由电子移动形成电流，其作用效果与等量正电荷在电场力作用下移动是一致的。因此习惯上把正电荷运动的方向定为电流的实际方向，即由电源正端出发回到电源负端，如图 1-5b 所示。

计量电流大小的物理量称为电流强度，简称电流。电流强度的定义为：单位时间  $t$  内通过导体横截面的电量  $Q$ 。如果任一瞬间这个电量是恒定的，则电流强度  $I$  为

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

根据国家标准，将不随时间变化的恒定量（也称直流量）用大写字母表示，而随时间变化的物理量用小写字母表示：

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

$i$  为某瞬间电流数值，称瞬时值。

在国际单位制中，电流的单位为 A（安培），简称安。表示数量大的电流可用 kA（千安）， $1\text{kA} = 1000\text{A}$ ；表示较小的电流可用 mA（毫安）、 $\mu\text{A}$ （微安）或 nA（纳安），它们的关系为

$$1\text{A} = 10^3\text{mA} = 10^6\mu\text{A} = 10^9\text{nA}$$

### 1.2.1.2 电流的参考方向

在实际电路分析中，电流的实际方向往往是未知的，特别是在分析复杂电路时，各支路电流的实际方向有时是难以确定的，而对于交流电路中的电流更无法表示电流的实际方向，为此，引出参考方向的概念。

参考方向（也称正方向）就是任意选定某一方向作为电流的方向，所选电流的参考方向不一定与电流的实际方向一致，但不会影响电路分析所得结论的正确性。按参考方向求解得出的电流值有两种可能，得正值，说明参考方向与实际方向一致，若为负值，则说明参考方向与实际方向相反。

在图 1-6 中，电流  $I_1$  和  $I_2$  分别为  $R_1$ 、 $R_2$  中电流的参考方向，由图中给出的电压和电阻值可得： $I_1 = 2\text{A}$ ， $I_2 = -2\text{A}$ ，由结果可知  $R_1$  中电流实际方向与参考方向  $I_1$  相同， $R_2$  中电流实际方向与参考方向  $I_2$  相反。可见有了电流的参考方向，再结合分析结果，就可以确定各支路电流的实际方向。而在电路中，电流未标明参考方向的前提下，讨论电流的正负值是无意义的。

## 1.2.2 电压与电动势

### 1.2.2.1 电压

1. 电压的概念 电压是衡量电场力对电荷做功能力大小的物理量。在图 1-5 中正电荷在电场力作用下，从 a 端（电源正极）移到 b 端（电源负极）形成电流使电阻发热，说明电场力作了功。所以，a、b 两点间，电压  $U_{ab}$  在数值上等于把单位正电荷从 a 点移到 b 点，电场力所作的功，表示为

$$U_{ab} = \frac{W}{Q} \quad (1-3)$$

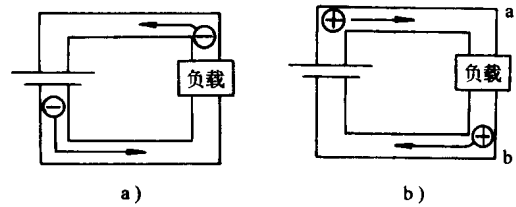


图 1-5 电荷运动示意图

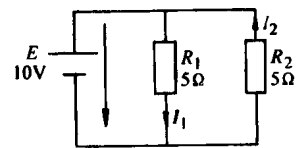


图 1-6 电路的参考方向与实际方向

电压又称为电压降或电位差  $U_{ab}$ ，表明电源正极 a 点电位  $U_a$  高于负极 b 点电位  $U_b$ ，故

$$U_{ab} = U_a - U_b \quad (1-4)$$

式 (1-4) 中，电压为恒定数值，称为直流电压。随时间变化的电压则表示为：

$$u_{ab} = \frac{dw}{dq} \quad (1-5)$$

式中  $q$ ——电量 (C)；

$w$ ——电场力移动电荷所作的功 (J)；

$u_{ab}$ ——电压的瞬时值 (V)。

在国际单位制中，电压的单位为伏特，简称 V (伏)，将 1C (库仑) 正电荷从图 1-5 中 a 端移到 b 端，电场力做功为 1J (焦耳)，则 a、b 两点间电压为 1V (伏特)，即  $U_{ab} = 1V$ 。各种电压单位间的关系如下

$$1kV = 1000V$$

$$1V = 10^3mV = 10^6\mu V$$

2. 电压的实际方向 电压的实际方向规定：由高电位端指向低电位端。表示的方法如图 1-7 所示：

可用箭头表示，由高电位端指向低电位端；或用极性符号，“+”表示高电位，“-”表示低电位；也可用下标 a 表示高电位，b 表示低电位。

3. 电压的参考方向 与电流一样，各元件电压的实际方向往往也是难以事先判断出来的，所以在电路分析过程中也必须对其设定参考方向。电压参考方向与实际方向间的关系也同样由分析计算结果确定。结果值为正，说明参考方向与实际方向相同，否则相反。

参考方向是任意设定的，但为了分析计算方便起见，对同一个电路的无源元件往往将电流、电压设定相同的参考方向，即所谓关联的参考方向。如图 1-6 中， $R_1$  中电压与电流即为关联参考方向；而  $R_2$  中电压与电流即为非关联参考方向。

4. 电位 在电路计算中，电位是一个很重要的概念，引入电位后，可以简化计算、简化电路画法。在电子技术中，电路中电源经常是用电位形式给出的。电路中任一点的电位是指该点对参考点的电压降。所以，提到某点电位，必须首先选定参考点，规定参考点的电位为零，用图符  $\perp$  表示，如图 1-7 所示的 d。比参考点高的电位为“+”，低电位为“-”。例如，若 c 点设为参考点，则 c 点电位，可表示为  $V_c = 0$ ，其余各点  $V_d = 6V$ ， $V_b = 4V$ ， $V_a = 8V$ ， $V_e = 2V$ ；两点的电位之差即为两点间的电压，如： $U_{ab} = V_a - V_b = 4V$ ，也可选 d 点为参考点，则： $V_d = 0V$ ， $V_b = -2V$ ， $V_a = 2V$ ， $V_c = -6V$ ， $V_e = -4V$ ， $U_{ab} = V_a - V_b = 4V$ 。

可见：参考点改变，各点电位也随之改变；不论参考点如何改变，两点间的电位差（即电压）并不改变，例如  $U_{ab}$  就是 4 伏，余者可自行验算。

### 1.2.2.2 电动势

在图 1-5 中电场力作功使电路中有电流通过，为了维持电路中持续不断的电流通过，在电池  $E$  内部必须要克服电场力把正电荷从低电位移向高电位，即非电场力作功。为了衡量非电场力对电荷作功的能力，引入电动势这一物理量。其定义为：电源电动势  $E$  ( $E_{ba}$ ) 在数值上等于非电场力把单位正电荷  $Q$  从电源的低电位端 b 经电源内部移到高电位端 a 所作的功  $E$ 。

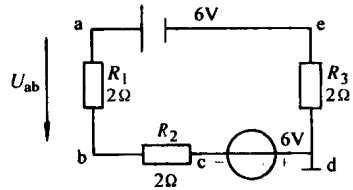


图 1-7 电压及电位的表示

表示为

$$E = \frac{W}{Q} \quad (1-6)$$

与式(1-3)比较,可见,其表达式中等号右边是相同的,因此两点间电动势的数值和电压降数值及单位是完全相同的,等号左边则表明了两者方向刚好相反。这是因为在电源内部是非电场力将正电荷从电源负极移到正极做功,是将非电能转化为电能,使正电荷获得电能而电位升高。因此,电动势的实际方向是负极指向正极,即电位升高的方向。电源内部电流从低电位流向高电位,而电源外部即外电路的电流是高电位流向低电位。所以,电源一旦接通,电路中电流就能连续不断。电动势的实际方向在很多情况下是已知的,这时一样可以把它认定为参考方向,如果实际方向未知或是交流电源的电动势,也可以和电压、电流一样设定参考方向,再从分析计算的结果得到实际的方向。

总之,在今后的电路分析中,电流、电压、电动势都要求标明方向。而且,不论已知的还是自己设定的可一律看作参考方向。

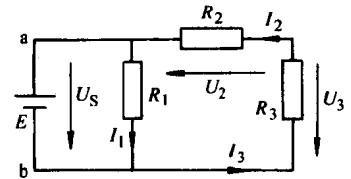


图 1-8 例 1 图

**例 1** 图 1-8 所示电路中,已知电动势  $E = -10\text{V}$ ,  $R_1 = 5\Omega$ ,  $R_2 = R_3 = 5\Omega$ 。求  $E$ 、 $U$ 、 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_3$ 、 $U_2$ 、 $U_3$ 。

**解** 按设定参考方向,  $E$  是由低到高,与实际方向相反,故从 a 到 b 为电压降  $E = -10\text{V}$   $U_s = 10\text{V}$   $U$  与实际电压极性相同。

$I_1 = 2\text{A}$  与  $U_s$  参考方向相同,为关联参考方向。

$I_2 = -1\text{A}$  与  $U$  为非关联参考方向。

$U_2 = -5\text{V}$

$U_3 = 5\text{V}$   $I_3 = I_2 = -1\text{A}$   $I_3$ 、 $U_3$  为非关联参考方向。

可见,电阻元件当  $I$  与  $U$  取关联参考方向时,结果的符号相同;取非关联参考方向时,  $U$  与  $I$  的符号相异。

电源的数值可以用电动势  $E$  表示,也可以用端电压  $U$  表示。若二者取相同的参考方向时,则  $U = -E$ ,若取相反参考方向时,则  $U = E$ ,这是因为电动势  $E$  的参考方向表示电位升高,而端电压  $U$  的参考方向表示电位降低的缘故。这两种表示对外电路的作用是等效的。

### 1.2.3 电功率

一个元件的电功率等于该元件两端的电压与通过该元件电流的乘积。元件上的电功率有的是发出的,有的是吸收的,如何确定是哪种呢?以图 1-9 电路为例来分析,由此了解确定和计算的方法。图示为简单电路,很容易确定两个元件(电源与负载电阻  $R$ )上电压与电流的实际方向。可以看出,消耗功率的元件  $R$  上  $U$  与  $I$  实际方向相同,其乘积大于 0;而发出功率的电源  $E$ ,  $U$  与  $I$  实际方向相反,其乘积小于 0。

但通常在进行电路分析时,  $U$  与  $I$  均采用参考方向(正方向),这时,可按下面的两点规定来确定元件的功率:

1. 由  $U$ 、 $I$  的参考方向确定公式的符号:

(1) 当  $U$  与  $I$  选相同(关联)正方向时

$$P = UI \quad (\text{或 } p = ui) \quad (1-7)$$

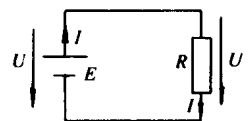


图 1-9 电路功率  
计算图示

(2) 若  $U$  与  $I$  选不同 (非关联) 正方向时

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

式中  $R$ ——功率 (W);

$U$ ——电压 (V);

$I$ ——电流 (A)。

2. 将已知电压  $U$  ( $u$ ) 和电流  $I$  ( $i$ ) 的数值及符号代入式 (1-7) 或式 (1-8) 中得到计算结果。

若计算结果  $P > 0$ , 表明该元件是吸收 (或消耗) 功率的元件;

若  $P < 0$ , 则该元件是发出功率的元件。

例 2 求图 1-10 中各元件消耗的功率。

解 电动势  $E_1$  消耗的功率

$$P_{E_1} = -U_1 I = -10\text{V} \times 1\text{A} = -10\text{W} < 0$$

电动势  $E_2$  消耗的功率

$$P_{E_2} = U_2 I = 5\text{V} \times 1\text{A} = 5\text{W} > 0$$

电阻  $R$  消耗的功率

$$P_R = -IU \quad \text{而 } U = -IR = -1\text{A} \times 5\Omega = -5\text{V}$$

故

$$P_R = -IU = -1\text{A} \times (-5)\text{V} = 5\text{W} > 0$$

结果表明: 电动势  $E_1$  消耗功率为  $-10\text{W}$ , 即发出  $10\text{W}$  功率, 是电路中的电源 (电能的施主); 电动势  $E_2$  消耗功率  $5\text{W}$ , 是电路负载 (电能的得主); 电阻  $R$  消耗功率  $5\text{W}$ 。可以看出:

(1) 消耗功率  $5\text{W} + 5\text{W} = 10\text{W}$ , 发出功率也为  $10\text{W}$ , 此谓功率平衡。可以此检验电路计算结果是否正确。

(2) 电阻上消耗功率总是大于 0, 计算时可以按下式进行

$$P = UI = \frac{U^2}{R} = I^2 R$$

### 1.3 欧姆定律

欧姆定律 ( $OL$ ) 是电路的基本定律之一, 是用于描述线性电阻伏安特性的关系式。所谓线性电阻是指其阻值不随两端电压或流过其中的电流数值而变化的电阻。今后, 如果没有特殊说明, 电阻均认为是线性的。

欧姆定律表明, 流过电阻  $R$  的电流与电阻两端电压  $U$  成正比。其数学表达式为:

$$I = \frac{U}{R}$$

$$U = IR$$

$$R = \frac{U}{I}$$

对于图 1-11b, 则欧姆定律应表示为

$$I = -\frac{U}{R}$$

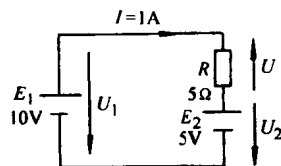
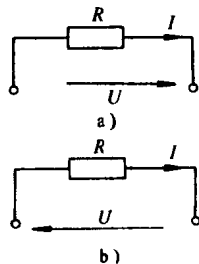


图 1-10 例 2 图



(1-9)

图 1-11 欧姆定律图示

(1-10)



即当电阻上电压与电流取关联参考方向时，欧姆定律形式为式(1-9)，电压与电流取非关联参考方向时应写作式(1-10)。

在国际单位制中，电阻的单位为欧姆( $\Omega$ )，简称欧，若电阻两端加上1V的电压，流过其中的电流是1A，则表明该电阻的阻值为 $1\Omega$ 。经常使用的电阻单位及其关系为

$$1\text{M}\Omega = 10^3\text{k}\Omega = 10^6\Omega$$

例3 已知图1-12电路中，电阻 $R=10\Omega$ ，电压 $U=20\text{V}$ ，(1)求 $I$ ；  
(2)若电流参考方向如虚线箭头所示，则求电流 $I$ 。

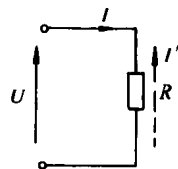


图1-12 例3图

解 (1)  $U$  与  $I$  参考方向相反 (非关联)

$$I = -U/R = -20\text{V}/10\Omega = -2\text{A}$$

(2)  $U$  与  $I$  参考方向相同 (关联)

$$I = U/R = 20\text{V}/10\Omega = 2\text{A}$$

## 1.4 电路的工作状态

电源、负载通过中间环节接成电路，由于中间环节的控制作用，电路可能处于通路(有载)、开路和短路三种不同的工作状态。

### 1.4.1 有载工作状态

当开关闭合，电源与负载接通，称电路处于有载工作状态，此时电路中有电流通过，如图1-13a所示。

电路中 $E$ 为电源电动势， $R_0$ 为电源的内电阻，通常内阻 $R_0$ 很小， $R_L$ 为负载电阻。此时，电路中，也是负载中的电流 $I$ 可由下式决定

$$I = \frac{E}{R_0 + R_L} \quad (1-11)$$

$$\text{负载的端电压} \quad U_L = IR_L = E - IR_0 \quad (1-12)$$

可见，负载端电压与电源内阻有关，内阻越大、负载电流越大，则负载端电压 $U_L$ 就越低。将式(1-12)两边同乘以电流 $I$ ，则得到各部分功率的关系：

$$U_L I = EI - I^2 R_0$$

$$\text{即} \quad P_{R_L} = P_E - P_{R_0} \quad (1-13)$$

其中 $P_{R_L}$ 为负载消耗的功率，与内阻 $R_0$ 上消耗功率之和应与电源发出的功率相平衡。

总之，在有载工作状态下，电路中电流 $I \neq 0$ ，负载端电压 $U_L < E$ ，电源产生的功率取决

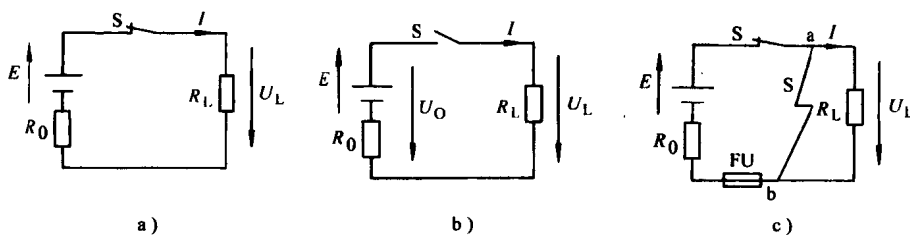


图1-13 电路工作状态

a) 负载 b) 开路 c) 短路