

21 世纪高职高专规划教材·机电系列

电路分析基础

	祁鸿芳	主 编
张维玲	刘新辉	副主编
	李贵山	主 审

清华大学出版社
北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是依据教育部颁布的《高等学校工程专科电路及磁路课程教学基本要求》并结合工程实际编写的,参考学时为 90~110 学时(含实践性环节)。主要内容有:电路的基本概念和定律、线性电阻电路分析、正弦稳态电路的分析、含耦合电感电路的分析、三相电路的研究、二端口网路的研究、非正弦周期电流电路的计算、线性电路过渡过程的时域分析和复频域分析、磁路和铁心线圈及实验指导。

本书可作为高等职业院校、高等专科学校、成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院及民办高校的电气、电子、计算机等专业的教材,也可供有关专业工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

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。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电路分析基础/祁鸿芳主编. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社,2006.3
(21世纪高职高专规划教材·机电系列)

ISBN 7-81082-670-0

. 电... . 祁... . 电路分析-高等学校:技术学校-教材 . TM133

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 010998 号

责任编辑:吴嫦娥

出版者:清华大学出版社 邮编:100084 电话:010-62776969

北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010-51686414

印刷者:北京鑫海金澳胶印有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开本:185×260 印张:20 字数:496千字

版次:2006年4月第1版 2006年4月第1次印刷

书号:ISBN 7-81082-670-0/TM·12

印数:1~4000册 定价:28.00元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监局反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010-51686043,51686008;传真:010-62225406;E-mail:press@center.bjtu.edu.cn。

21世纪高职高专规划教材·机电系列

编审委员会成员名单

主任委员 李兰友 边奠英

副主任委员 周学毛 崔世钢 王学彬 丁桂芝 赵 伟

韩瑞功 汪志达

委 员 (按姓名笔画排序)

马 辉 万志平 万振凯 王永平 王建明

尤晓 丰继林 左文忠 叶 华 叶 伟

付晓光 付慧生 冯平安 江 中 佟立本

刘 炜 刘建民 刘 晶 曲建民 孙培民

邢素萍 华铨平 吕新平 陈小东 陈月波

李长明 李 可 李志奎 李 琳 李源生

李群明 李静东 邱希春 沈才梁 宋维堂

汪 繁 张文明 张权范 张宝忠 张家超

张 琦 金忠伟 林长春 林文信 罗春红

苗长云 竺士蒙 周智仁 孟德欣 柏万里

宫国顺 柳 炜 钮 静 胡敬佩 姚 策

赵英杰 高福成 贾建军 徐建俊 殷兆麟

唐 健 黄 斌 章春军 曹豫莪 程 琪

韩广峰 韩其睿 韩 劼 裘旭光 童爱红

谢 婷 曾瑶辉 管致锦 熊锡义 潘玫玫

薛永三 操静涛 鞠洪尧

出版说明

高职高专教育是我国高等教育的重要组成部分，它的根本任务是培养生产、建设、管理和服务第一线需要的德、智、体、美全面发展的高技术应用型专门人才，所培养的学生在掌握必要的基础理论和专业知识的基础上，应重点掌握从事本专业领域实际工作的基本知识和职业技能，因而与其对应的教材也必须有自己的体系和特色。

为了适应我国高职高专教育发展及其对教学改革和教材建设的需要，在教育部的指导下，我们在全中国范围内组织并成立了“21世纪高职高专教育教材研究与编审委员会”（以下简称“教材研究与编审委员会”）。“教材研究与编审委员会”的成员单位皆为教学改革成效较大、办学特色鲜明、办学实力强的高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院，其中一些学校是国家重点建设的示范性职业技术学院。

为了保证规划教材的出版质量，“教材研究与编审委员会”在全国范围内选聘“21世纪高职高专规划教材编审委员会”（以下简称“教材编审委员会”）成员和征集教材，并要求“教材编审委员会”成员和规划教材的编著者必须是从事高职高专教学第一线的优秀教师或生产第一线的专家。“教材编审委员会”组织各专业的专家、教授对所征集的教材进行评选，对列选教材进行审定。

目前，“教材研究与编审委员会”计划用2~3年的时间出版各类高职高专教材200种，范围覆盖计算机应用、电子电气、财会与管理、商务英语等专业的主要课程。此次规划教材全部按教育部制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”编写，其中部分教材是教育部《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》的研究成果。此次规划教材编写按照突出应用性、实践性和针对性的原则编写并重组系列课程教材结构，力求反映高职高专课程和教学内容体系改革方向；反映当前教学的新内容，突出基础理论知识的应用和实践技能的培养；适应“实践的要求和岗位的需要”，不依照“学科”体系，即贴近岗位，淡化学科；在兼顾理论和实践内容的同时，避免“全”而“深”的面面俱到，基础理论以应用为目的，以必需、够用为度；尽量体现新知识、新技术、新工艺、新方法，以利于学生综合素质的形成和科学思维方式与创新能力的培养。

此外，为了使规划教材更具广泛性、科学性、先进性和代表性，我们希望全国从事高职高专教育的院校能够积极加入到“教材研究与编审委员会”中来，推荐“教材编审委员会”成员和有特色、有创新的教材。同时，希望将教学实践中的意见与建议及时反馈给我们，以便对已出版的教材不断修订、完善，不断提高教材质量，完善教材体系，为社会奉献更多更新的与高职高专教育配套的高质量教材。

此次所有规划教材由全国重点大学出版社——清华大学出版社与北京交通大学出版社联合出版，适用于各类高等专科学校、高等职业学校、成人高等学校及高等院校主办的二级职业技术学院使用。

前 言

本书是为适应 21 世纪高职高专教育教学内容和课程体系改革的需要而编写的。编者进行了大量的调研，参考了国内外相关的教材，力求继承传统性，增强应用性，反映先进性。

本书编写的特点为：在传统理论基础之上，以理论必需、够用为原则，注重理论与实际的结合，加强实际应用的内容，侧重于培养学生解决生产实际问题的能力；以实际的认识规律建立模型，阐述理想元件的定义与实际器件的辩证关系；每章含有与理论相适应的工程应用实例，为理论和方法的学习奠定实际背景基础；将解题思路融于例题中，以利于提高学生分析问题和解决问题的能力；增加了与教学内容配套的实验指导环节，以利于提高学生的动手能力。

全书共分 9 章，并配有电路实验指导。第 1 章电路的基本概念和基本定律，主要讨论了电路及电路模型，介绍电路中的物理量及电路元件，引入了参考方向的概念并研究了电路的元件约束和拓扑约束；第 2 章电阻电路，介绍了利用等效变换分析有源网络与无源网络，重点研究了电路的 3 种分析方法（支路分析法、网孔分析法和节点分析法）及 3 个基本定理（叠加定理、戴维南定理和诺顿定理）；第 3 章正弦稳态电路分析，主要介绍了正弦量及其相量表示法、正弦电流电路的基本性质和基本规律、功率和正弦稳态电路的计算；第 4 章耦合电感和谐振电路，介绍了耦合电感元件、耦合电感的分析方法及串联谐振和并联谐振特性；第 5 章三相电路，介绍三相电源及负载的连接、对称三相电路的分析计算及不对称三相电路的特点；第 6 章二端口网络，介绍了二端口网络的定义和最常用的导纳参数、阻抗参数、传输参数和混合参数；第 7 章非正弦周期电流电路分析，主要介绍了傅里叶级数展开式、非正弦周期电流电路中的有效值、平均功率及用谐波分析法计算非正弦周期电流电路；第 8 章线性电路过渡过程的时域分析和复频域分析，介绍了时域分析的经典法和复频域分析的运算法；第 9 章磁路和铁心线圈，主要介绍了磁路的基本定理和铁磁性物质的磁化情况及铁心线圈模型。

为帮助读者学习，每章有基本要求和小结，每节后附有思考题和练习题，每章后均附有习题，书后配有参考答案。

全书由祁鸿芳主编，张维玲、刘新辉为副主编。祁鸿芳编写第 2、3、5、6、7 章，张维玲编写第 1、8 章和附录 A，刘新辉编写第 4、9 章及附录 B。李贵山教授审阅了全稿，提出了许多宝贵意见，保证了本书学术水平的严谨和准确，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，错误和不恰当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编者
2006 年 3 月

目 录

第 1 章 电路的基本概念和基本定律.....	(1)
1.1 电路和电路模型	(1)
1.1.1 电路	(1)
1.1.2 电路模型	(2)
1.2 电路的主要物理量及方向	(3)
1.2.1 电流及其参考方向	(3)
1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向	(5)
1.2.3 电功率和电能	(7)
1.3 线性电阻元件的欧姆定律	(9)
1.3.1 电阻元件	(9)
1.3.2 线性电阻元件与欧姆定律.....	(10)
1.3.3 短路和开路	(10)
1.3.4 线性电阻元件吸收(消耗)的功率	(11)
1.4 电压源.....	(13)
1.4.1 理想电压源	(13)
1.4.2 由电压源构成的实际直流电源模型	(14)
1.5 电流源.....	(16)
1.5.1 理想电流源	(16)
1.5.2 由电流源构成的实际直流电源模型	(17)
1.6 受控源.....	(19)
1.7 基尔霍夫定律.....	(22)
1.7.1 电路图	(22)
1.7.2 基尔霍夫电流定律	(23)
1.7.3 基尔霍夫电压定律	(24)
本章小结	(26)
习题	(27)
第 2 章 电阻电路	(32)
2.1 无源电阻网络的化简.....	(32)
2.1.1 等效变换和电阻的串联	(32)
2.1.2 电阻的并联	(34)

2.1.3	电阻的串并联	(35)
2.1.4	无源三端网络(电阻的三角形连接与星形连接)的等效变换	(37)
2.2	电源模型的等效变换和电源支路的串并联.....	(41)
2.2.1	两种电源模型的等效变换.....	(41)
2.2.2	电压源支路的串并联	(44)
2.2.3	电流源支路的串并联	(45)
2.3	支路分析法.....	(47)
2.3.1	分析线性电路的一般方法.....	(47)
2.3.2	支路分析法	(48)
2.3.3	支路分析法的步骤	(49)
2.4	网孔分析法和回路分析法.....	(50)
2.4.1	网孔分析法的定义和方程.....	(50)
2.4.2	网孔分析法的计算步骤	(51)
2.4.3	回路分析法	(52)
2.4.4	含受控源的电路	(53)
2.5	节点分析法.....	(54)
2.5.1	节点方程	(54)
2.5.2	节点分析法的计算步骤	(55)
2.5.3	电路中仅含理想电压源支路的求解方法	(56)
2.5.4	单节点偶电路分析	(57)
2.5.5	含受控源电路的节点分析方法	(58)
2.5.6	几种分析方法的比较	(58)
2.6	叠加定理与齐次定理.....	(59)
2.6.1	叠加定理	(59)
2.6.2	用叠加定理分析含受控源电路	(62)
2.6.3	齐次定理	(62)
2.7	替代定理.....	(63)
2.8	等效电源定理.....	(64)
2.8.1	戴维南定理	(64)
2.8.2	诺顿定理	(67)
2.8.3	最大功率传输定理	(69)
	本章小结	(71)
	习题	(72)
第3章	正弦稳态电路分析	(78)
3.1	正弦量.....	(79)
3.1.1	正弦量的概念及正弦量的时域表示	(79)
3.1.2	正弦量三要素	(79)
3.1.3	正弦量的有效值	(81)

3.2	正弦量的基本概念	(83)
3.2.1	正弦量的旋转矢量表示法	(83)
3.2.2	正弦量的相量表示法	(83)
3.2.3	几何表示法	(84)
3.2.4	正弦量的相量运算	(85)
3.3	基尔霍夫定律的相量形式	(86)
3.3.1	KCL 的相量形式	(86)
3.3.2	KVL 的相量形式	(86)
3.4	电感元件和电容元件	(87)
3.4.1	电感元件	(87)
3.4.2	电容元件	(89)
3.5	电阻、电感、电容元件的 VAR 的相量形式	(90)
3.5.1	电阻	(90)
3.5.2	电感	(92)
3.5.3	电容	(95)
3.6	阻抗和导纳	(98)
3.6.1	阻抗	(98)
3.6.2	导纳	(100)
3.7	阻抗与导纳的等效变换及串并联	(102)
3.7.1	阻抗与导纳的等效变换	(102)
3.7.2	阻抗的串并联	(104)
3.8	正弦电流电路中的功率	(106)
3.8.1	瞬时功率	(106)
3.8.2	平均功率	(107)
3.8.3	无功功率	(108)
3.8.4	视在功率	(108)
3.8.5	复功率	(109)
3.9	功率因数的改善及最大功率传输	(111)
3.9.1	功率因数的改善	(111)
3.9.2	最大功率传输	(112)
3.10	正弦稳态电流电路的计算	(113)
	本章小结	(118)
	习题	(119)
第 4 章	耦合电感和谐振电路	(124)
4.1	耦合电感元件	(124)
4.1.1	耦合线圈的自感和互感	(124)
4.1.2	耦合线圈的总磁链	(125)
4.1.3	耦合线圈的互感电压	(126)

4.1.4	耦合电感元件	(127)
4.1.5	耦合电感的相量模型	(127)
4.1.6	同名端的判断方法	(128)
4.2	含有耦合电感电路的计算	(129)
4.2.1	耦合电感的串联	(129)
4.2.2	耦合电感的并联	(130)
4.2.3	互感消去法	(131)
4.2.4	含耦合电感电路的一般计算方法	(132)
4.3	理想变压器	(134)
4.3.1	理想变压器模型及电压、电流关系	(134)
4.3.2	理想变压器特性	(135)
4.4	正弦交流电路中的谐振	(136)
4.4.1	串联谐振	(137)
4.4.2	并联谐振	(140)
4.4.3	电感线圈和电容器的并联谐振电路	(142)
	本章小结	(144)
	习题	(145)
第5章	三相电路	(147)
5.1	三相电源及其连接	(147)
5.1.1	三相电源	(147)
5.1.2	三相电源的连接	(148)
5.2	三相负载的连接	(151)
5.2.1	星形连接	(151)
5.2.2	三角形连接	(152)
5.3	对称三相电路的计算	(155)
5.4	不对称三相电路的概念	(158)
5.5	三相电路的功率	(161)
5.5.1	有功功率、无功功率、视在功率	(161)
5.5.2	对称三相电路中的瞬时功率	(162)
5.5.3	三相功率的测量	(163)
	本章小结	(166)
	习题	(168)
第6章	二端口网络	(171)
6.1	二端口网络	(171)
6.2	二端口网络的阻抗参数和导纳参数	(172)
6.2.1	阻抗参数方程(Z 方程)与阻抗参数(Z 参数)	(172)
6.2.2	导纳参数方程(Y 方程)与导纳参数(Y 参数)	(174)

6.2.3	传输参数方程(T 方程)与传输参数(T 参数)	(177)
6.2.4	混合参数方程(H 方程)与混合参数(H 参数)	(179)
6.3	互易二端口网络的等效电路	(181)
6.3.1	形等效电路	(181)
6.3.2	T形等效电路	(182)
	本章小结	(183)
	习题	(184)
第7章	非正弦周期电流电路分析	(186)
7.1	非正弦周期电流	(186)
7.2	非正弦周期函数展开成傅里叶级数	(187)
7.2.1	傅里叶级数的展开形式	(187)
7.2.2	对称波形的傅里叶级数	(191)
7.3	非正弦周期电量的有效值和平均功率	(194)
7.3.1	有效值	(194)
7.3.2	非正弦周期电流电路的平均功率(有功功率)	(195)
7.4	非正弦周期电流电路的稳态分析	(196)
	本章小结	(199)
	习题	(199)
第8章	线性电路过渡过程的时域分析和复频域分析	(201)
8.1	换路定律和初始条件的计算	(202)
8.1.1	换路定律	(202)
8.1.2	初始值的计算	(203)
8.2	一阶电路的零输入响应	(204)
8.2.1	RC电路的零输入响应	(205)
8.2.2	RL电路的零输入响应	(206)
8.3	一阶电路的零状态响应	(209)
8.3.1	RC电路在直流激励下的零状态响应	(209)
8.3.2	RL电路在直流激励下的零状态响应	(211)
8.4	一阶电路的全响应及三要素法	(213)
8.4.1	全响应的分解	(213)
8.4.2	分析一阶电路全响应的三要素法	(216)
8.5	阶跃函数和一阶电路的阶跃响应	(220)
8.5.1	阶跃函数	(220)
8.5.2	一阶电路的阶跃响应	(222)
8.6	RLC串联电路的零输入响应	(224)
8.7	拉普拉斯正变换、反变换	(230)
8.7.1	拉氏正变换定义	(230)

8.7.2	拉氏反变换	(231)
8.7.3	原函数和象函数之间的对应关系	(231)
8.8	拉普拉斯变换的一些性质	(232)
8.8.1	线性组合定理	(232)
8.8.2	微分定理	(233)
8.8.3	积分定理	(234)
8.9	用部分分式法进行拉氏反变换	(236)
8.9.1	只具有单极点的有理函数的反变换	(236)
8.9.2	具有多重极点的有理函数的反变换	(237)
8.10	线性电路的复频域分析	(239)
8.10.1	用拉普拉斯变换求解过渡过程	(239)
8.10.2	电阻、电感、电容元件 VCR 的复频域形式	(239)
8.10.3	基尔霍夫定律的复频域形式	(240)
8.10.4	欧姆定律的复频域形式	(241)
	本章小结	(244)
	习题	(247)
第 9 章	磁路和铁心线圈	(252)
9.1	磁路的基本物理量	(252)
9.1.1	磁感应强度和磁通	(252)
9.1.2	磁场强度	(253)
9.1.3	磁导率	(253)
9.1.4	磁场的基本性质	(253)
9.2	铁磁材料及其特性	(254)
9.2.1	铁磁物质	(254)
9.2.2	磁化曲线	(254)
9.3	磁路和磁路定律	(256)
9.3.1	磁路的概念	(256)
9.3.2	磁路的基本定律	(257)
9.3.3	磁路和电路的类比和区别	(258)
9.4	交变磁通磁路	(259)
9.4.1	磁损耗	(259)
9.4.2	线圈电压与磁通的关系	(260)
9.4.3	正弦电压作用下磁化电流的波形	(261)
9.4.4	正弦电流作用下磁通的波形	(262)
9.5	铁心线圈	(263)
9.5.1	不考虑线圈电阻及漏磁通的电路模型	(263)
9.5.2	考虑线圈电阻及漏磁通的电路模型	(264)
	本章小结	(265)

附录 A 电路实验指导	(267)
实验一 电工仪表测量误差的处理方法.....	(268)
实验二 元件伏安特性的测绘.....	(270)
实验三 基尔霍夫定律的验证.....	(273)
实验四 电源的等效变换.....	(274)
实验五 叠加原理的验证.....	(277)
实验六 戴维南定理的验证.....	(278)
实验七 交流电路参数的测定.....	(281)
实验八 一阶 RC 串联电路响应的研究	(283)
实验九 日光灯电路及功率因数的提高.....	(286)
实验十 RLC 串联谐振电路的研究	(288)
实验十一 二端口网络测试.....	(291)
实验十二 三相负载的连接.....	(294)
实验十三 三相电路功率的测量.....	(296)
附录 B 部分习题答案	(299)
参考文献.....	(306)

第 1 章 电路的基本概念和基本定律

基本要求

1. 牢固掌握电路模型、理想电路元件的概念。
2. 深刻理解电流、电压、电功率和电能的物理意义，牢固掌握各量之间的关系式，深刻理解参考方向的概念。
3. 掌握分析计算电阻、电压源、电流源的电流、电压和功率的方法。
4. 掌握受控源的概念，能进行含受控源不含独立源的二端电阻网络等效为一个电阻的简单电路的计算。
5. 牢固掌握基尔霍夫电流定律、基尔霍夫电压定律和电路元件(电阻元件、电压源、电流源)的电压电流关系。

本章介绍电路模型和理想电路元件，其中包括电阻、独立电源和受控电源。引进了电流、电压的参考方向的概念，研究与电路连接方式有关的基本定律——基尔霍夫定律，它是集总电路的基本定律，包括电流定律和电压定律。基尔霍夫定律与构成电路的元件性质无关。

1.1 电路和电路模型

1.1.1 电路

1. 电路的定义

电路(circuit)是指为了某种需要由一些电气器件按一定方式连接起来的电流的通路。这里所谓的电气器件泛指实际的电路部件，如电阻器、电容器、电感线圈、晶体管、变压器等。

2. 电路的作用

电路的组成方式很多，功能也各不相同，其中一种作用是实现电能的传输和转换。典型的例子是电力系统，发电厂的发电机组把热能或原子能或水能等转换成电能，通过变压器、输电线等输送给各用电单位，此处又把电能转换成机械能、光能、热能等。

电路的另一重要作用是实现信号的传递和处理。通过电路把施加的信号(称为激励)变换或“加工”成为其他所需要的输出(称为响应)。常见的例子如扩音机，传声器(话筒)将声音变成电信号，经过放大器的放大，送到扬声器再变成声音输出。传声器施加的电信号称为激励(excitation)，它相当于电源；扬声器得到的放大信号称为响应(response)，它相当于负载。由于传声器施加的信号比较微弱，不足以推动扬声器发音，需要采用传输环节对信号起

传递和放大作用。

在其他许多场合，如自动控制设备、计算机、通信设备等方面有种类繁多、为完成不同任务的各种电路。

由此可见，电路主要由电源、负载和传输环节三部分组成：电源是提供电能或电信号的设备；负载是用电或输出信号的设备；传输环节用于传输电能和电信号。

1.1.2 电路模型

实际电路的几何尺寸相差甚大。电力系统或通信系统可能跨越省界、国界甚至是洲际的，但集成电路的芯片则不大于指甲，在这样大小的芯片上却可能有成千上万甚至数百万个晶体管相互连接成为一个复杂的电路或系统。

电路理论主要研究电路中发生的电磁现象，而用电流、电荷、电压或磁通等物理量来描述其中的过程。电路理论的目标是计算电路中各器件的端电流和端子间的电压，一般不涉及器件内部发生的物理过程。电路理论中有一个重要的假设，当构成电路的器件及电路本身的尺寸远小于电路工作时的电磁波的波长，或者说电磁波通过电路的时间可认为是瞬时的，则电磁场理论和实践均证明在任意时刻流入各器件任一端子的电流和任两个端子间的电压都将是单值的量。在这种近似条件下，用足以反映其电磁性质的一些理想电路元件或它们的组合来模拟实际电路中的器件。这种理想电路元件称为集总元件或集总参数元件。理想电路元件是具有某种确定的电磁性质的假想元件。它是一种理想化的模型并具有精确的数学定义。理想电路元件是通过端子与外部相连接的，而根据端子的数目可分为二端、三端、四端元件等。在任何时刻，从具有两个端子的集总元件的一个端子流入的电流将恒等于从另一端流出的电流，并且元件的端电压是单值的。对于多于两个端子的集总元件来说，在任何时刻流入任一端子的电流和任意两端之间的电压是单值的量。

实际电路中各器件的端子是通过导线相互连接起来的，而在电路模型中各理想元件的端子是用“理想导线”(即认为它们的电阻为零)连接起来的。电路理论中用抽象的理想元件及其组合近似地代替实际的器件，从而构成了与实际电路相对应的电路模型。

由集总元件构成的电路称为集总电路，或称为具有集总参数的电路。从电磁场理论的观点，集总电路的尺寸可以完全忽略不计。如果实际电路的尺寸不远小于工作时电磁波的波长，则这种电路便不能按集总电路来处理。本书只考虑集总电路。

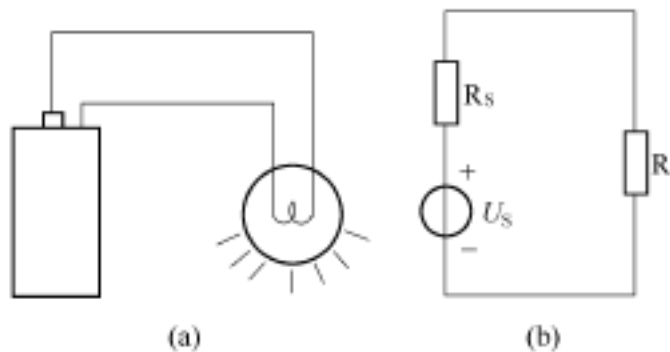


图 1-1 电路模型

本章后面将分别介绍各种(理想)电路元件(今后涉及的一般均为理想元件，故往往略去“理想”二字)，如二端电阻元件、电容元件、电感元件等。

图 1-1(a)所示为一个简单的实际电路，其中有一个电源(干电池)，一个负载(小灯泡)和两根连接导线，其电路模型将如图 1-1(b)所示，电阻元件 R 表示小灯泡，干电池用电压源 U_s 和电阻元件 R_s 来表示，而连接导线在电路模型中用相应的理想导线或线段来表示。

应当注意电路元件与实际器件的区别。例如实验室或电子仪器中用的各式各样的电阻

应当注意电路元件与实际器件的区别。例如实验室或电子仪器中用的各式各样的电阻

器、电容器、线圈、晶体管等，一般都可以用电路元件及它们的组合来模拟，但两者之间不完全等同。通常在一定的工作条件下，根据实际器件的主要物理功能，可按不同的精确程度用电路元件及它们的组合来予以模拟。例如，在工作频率比较低时，一个线圈就可以用电阻和电感元件的串联组合构成的模型来描述。当频率较高时，线圈的绕线之间的电容效应就不容忽视，这种情况下表征这个线圈的较精确的模型还应当包含电容元件。总之在不同条件下，同一实际器件可能要用不同的电路模型来模拟。本书将不涉及如何建立模型的问题。

今后所说的电路一般均指由理想电路元件构成的抽象电路而非实际电路。大量实践充分证实只要电路模型取得恰当，按抽象电路分析计算所得结果与对应的实际电路中测量所得结果基本上是一致的。当然，如果电路模型选择得不好，则会造成很大误差，有时甚至还可能导致自相矛盾的结果。在某种意义上可以说，电路理论是一门相当精确的工程学科，这是因为按理论所预测的电路状况一般与实际情况是十分接近的。

电路理论是一门研究网络分析和网络综合或设计的基础工程学科，它涉及的面非常广泛。本书的主要内容是介绍电路理论的入门知识，其重点是电路的分析，它探讨电路的基本定律和定理，并讨论电路的各种计算方法。电路中的物理量主要有电流、电荷、电压和磁通。此外，能量和功率也很重要。无论简单的还是复杂的实际电路都可以通过几种理想电路元件所构成的抽象电路来充分地描述。分析和计算这种电路的基本定律也只有几个。研究电路分析的一个重要目标往往是为了进行电路的设计，并力图使得设计电路的性能良好，同时又要设法降低其成本，提高可靠性等。

1.2 电路的主要物理量及方向

1.2.1 电流及其参考方向

1. 电流

带电粒子(电子、离子等)的有秩序运动形成电流(current)。衡量电流大小的量是电流强度，称电流。所以电流既是一种物理现象，又是一个物理量。电流在量值上等于通过某处的电荷量与所需时间之比。用符号 i 表示，即

$$i \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dq}{dt} \quad (1-1)$$

式中 dq 是在极短时间 dt 内通过某处的电荷量。习惯上规定正电荷运动的方向为电流的方向。

若电流的量值和方向不随时间变动，即 $\frac{dq}{dt}$ 等于定值，则这种电流称为直流电流(direct current)，简称为直流(DC)。直流电流常用大写的字母 I 表示，所以式(1-1)可改写为

$$I = \frac{q}{t} \quad (1-2)$$

式中 q 是在时间 t 内通过某处的电荷量。

周期性变动且平均值为零的电流称为交变电流(alternate current)，简称为交流(AC)。交流电流常用小写字母 i 表示。

电流的 SI 单位是安[培](ampere), 符号为 A; 电荷量的单位是库[仑](coulomb), 符号为 C。若每秒通过某处的电荷量为 1 C, 则电流为 1 A。将电流的 SI 单位冠以 SI 词头(见表 1-1), 即可得到电流的十进倍数单位和分数单位, 常用的有 kA(千安)、mA(毫安)、 μ A(微安)等。

表 1-1 常用 SI 词头

因 数	10^9	10^6	10^3	10^2	10^1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}
名 称	吉	兆	千	百	十	分	厘	毫	微	纳	皮
符 号	G	M	k	h	da	d	c	m	μ	n	p

2. 电流的参考方向

电流在导线中或一个电路元件中流动的实际方向只有两种可能, 见图 1-2。当有正电荷的净流量从 a 端流入并从 b 端流出时, 习惯上就认为电流是从 a 端流向 b 端; 反之, 则认为电流是从 b 端流向 a 端。电路分析中, 有时对某一段电路中电流实际流动方向很难预先判断出来, 有时电流的实际方向还在不断地改变, 因此很难在电路中标明电流的实际方向。由于这些原因, 引入了电流“参考方向(reference direction)”的概念。

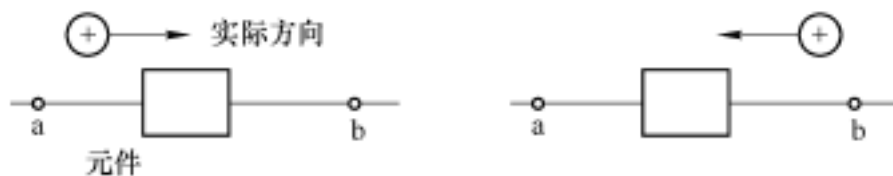


图 1-2 电流方向

在图 1-3 中先选定其中某一个方向作为电流的方向, 这个方向叫作电流的参考方向(图中用实线表示)。当然, 所选的方向并不一定就是电流实际的方向(图中用虚线表示)。把电流看成代数量。若电流的参考方向与它的实际方向一致, 则电流为正值($i > 0$); 反之, 若电流的参考方向与它的实际方向相反, 则电流为负值($i < 0$), 见图 1-3。于是, 在指定的电流参考方向下, 电流值的正和负, 就可以反映出电流的实际方向。

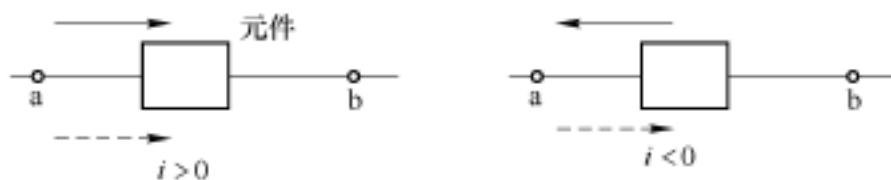


图 1-3 电流的参考方向

电流的参考方向除用箭头在电路图上表示外, 还可用双下标表示。例如, 对于图 1-4(a) 的电流 i , 可用 i_{ab} 表示其参考方向由 a 指向 b(图 1-4(b)), 也可用 i_{ba} 表示其参考方向由 b 指向 a(图 1-4(c))。显然, 两者相差一个负号, 即

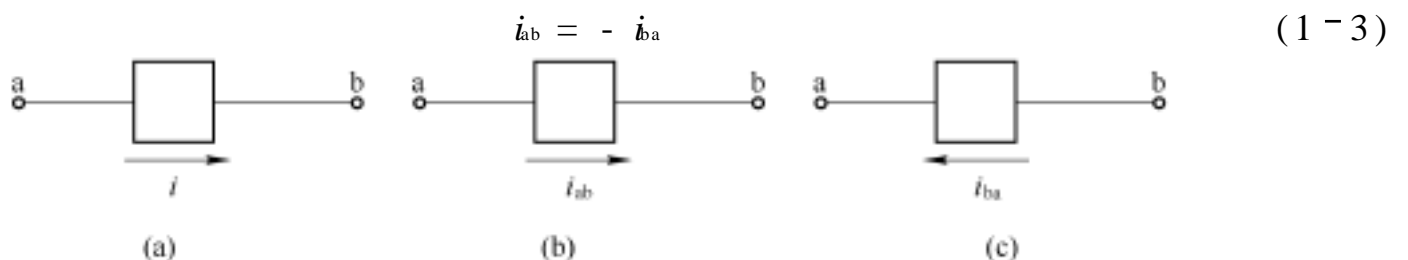


图 1-4 电流的参考方向

1.2.2 电压、电位、电动势及其参考方向

1. 电压

当导体中存在电场时，电荷将在电场力的作用下运动，并把电能转换为其他形式的能量。单位正电荷在电场力的作用下由 a 点转移到 b 点时减少的电能为电路中 a、b 两点间的电压(voltage)，用符号 u_{ab} 表示，即

$$u_{ab} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dW}{dq} \quad (1-4)$$

式中， dq 为由 a 点转移到 b 点的电荷量， dW 为转移过程中电荷减少的电能。

电压表明单位正电荷在电场力作用下转移时减少的电能，减少电能体现为电位的降低(从高电位点到低电位点)，所以电压的方向是电位降低的方向。

2. 电位

若任取一点 c 作为参考点，则由某点 a 到参考点 c 的电压 u_{ac} 称为 a 点的电位(potential)，用 φ_a 表示。电位参考点可以任意选取，通常选择大地、设备外壳或接地点作为参考点。在一个连通的系统中只能选择一个参考点。参考点电位为零。

电压与电位的关系为：a、b 两点之间的电压等于这两点电位之差，即

$$u_{ab} \stackrel{\text{def}}{=} \varphi_a - \varphi_b \quad (1-5)$$

式中， φ_a 为 a 点电位， φ_b 为 b 点电位。所以，电压和电位差一般可以认为意义相同，知道电路上各点电位后，便可求得各段的电压。电位的量值与参考点的选择有关，在电路中选定参考点后，也可由电路各段电压求得电路各点的电位。例如图 1-5 中，已知 $u_{ab} = 6 \text{ V}$ ， $u_{bc} = 2 \text{ V}$ ，若选 c 点为参考点，则 $\varphi_c = 0 \text{ V}$ ， $\varphi_b = \varphi_c + u_{bc} = 2 \text{ V}$ ，

$$\varphi_a = \varphi_b + u_{ab} = 8 \text{ V}。$$

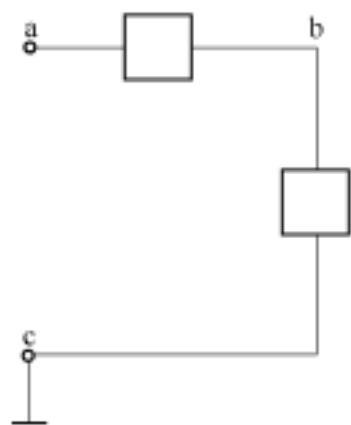


图 1-5 电位的计算

3. 电动势

在电场力作用下，正电荷一般总是从高电位点向低电位点运动。为了形成连续的电流，在电源中正电荷必须从低电位点移到高电位点。这就要求在电源中有一个电源力作用在电荷上，使之逆电场力方向运动，并把其他能量转换成电能。例如在发电机中，当导体在磁场中运动时，导体内便出现这种电源力；在电池中，电源力存在于电极间。电动势(electromotive force)表明了单位正电荷在电源力作用下转移时增加的电能，用符号 e 表示，即

$$e \stackrel{\text{def}}{=} \frac{dW_s}{dq} \quad (1-6)$$

式中， dq 为转移的电荷， dW_s (下标 S 表示电源) 为转移过程中电荷增加的电能。增加电能体现为电位的升高(从低电位点到高电位点)，所以电动势的方向是电位升高的方向。

如果用正(+)极性表示电源的高电位端，用负(-)极性表示其低电位端，如图 1-6 所