



国家电工电子教学基地系列教材

4

电路基本理论

Basic Circuits Theory

© 张年凤 王宏远 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>



北京交通大学出版社
<http://press.bjtu.edu.cn>



国家电工电子教学基地系列教材

电路基本理论

张年凤 王宏远 编著

清华大学出版社
北京交通大学出版社
·北京·

内 容 简 介

本书是为大学本科电类专业电路理论课程编写的教材。本教材根据国家电工课程教学指导委员会制定的对高等学校电路课程教学的基本要求,在基本内容略有扩展的基础上,突出学习方法、思维方式的训练,做到准确、简明、高效。

全书共分为 13 章。第 1~8 章涵盖了电路的基本元件,基本定律、定理,电路的一般分析方法,直流电路及一阶、二阶电路,正弦稳态电路,三相电路,非正弦周期电流电路。第 9~13 章包含动态电路的复频域分析法(拉普拉斯变换法),双口网络,状态方程,开关电容网络和分布参数电路的稳态分析。总学时可以在 90~110 学时之间灵活掌握,也可少于 90 学时。

本书还可以供电力、电子、自动化、计算机通信等各方面的工程技术人员参考。

版权所有,翻印必究。

本书封面贴有清华大学出版社激光防伪标签,无标签者不得销售。

图书在版编目(CIP)数据

电路基本理论 / 张年凤,王宏远编著. —北京:清华大学出版社;北京交通大学出版社, 2004.2

(国家电工电子教学基地系列教材)

ISBN 7-81082-181-4

I. 电… II. ①张… ②王… III. 电路理论 - 高等学校 - 教材 IV. TM13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 066209 号

责任编辑:李 莉

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:010-51686045, 62237564

印刷者:北京东光印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开本:787×960 1/16 印张:29 字数:649千字

版次:2004年2月第1版 2004年2月第1次印刷

印数:1~4000册 定价:38.00元

国家电工电子教学基地系列教材 编审委员会成员名单

主任 谈振辉

副主任 张思东 赵尔沅 孙雨耕

委员 (以姓氏笔画为序)

王化深 卢先河 刘京南 朱定华 沈嗣昌

严国萍 杜普选 李金平 李哲英 张有根

张传生 陈后金 邹家驷 郑光信 屈波

侯建军 贾怀义 徐国治 徐佩霞 廖桂生

薛质 戴瑜兴

总 序

当今信息科学技术日新月异,以通信技术为代表的电子信息类专业知识更新尤为迅猛。培养具有国际竞争能力的高水平的信息技术人才,促进我国信息产业发展,提高国家信息化水平,都对电子信息类专业创新人才的培养、课程体系的改革、课程内容的更新提出了富有时代特色的要求。近年来,国家电工电子教学基地对电子信息类专业的技术基础课程群进行了改革与实践,探索了各课程的认知规律,确定了科学的教育思想,理顺了课程体系,更新了课程内容,融合了现代教学方法,取得了良好的效果。为总结和推广这些改革成果,在借鉴国内外同类有影响教材的基础上,决定出版一套以电子信息类专业的技术基础课程为基础的“国家电工电子教学基地系列教材”。

本系列教材具有以下特色:

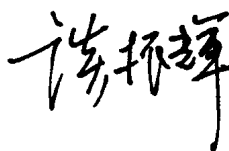
- 在教育思想上,符合学生的认知规律,使教材不仅是教学内容的载体,也是思维方法和认知过程的载体;
- 在体系上,建立了较完整的课程体系,突出了各课程内在联系及课群内各课程的相互关系,体现微观与宏观、局部与整体的辩证统一;
- 在内容上,体现现代与经典、数字与模拟、软件与硬件的辩证关系,反映当今信息科学与技术的新概念和新理论,内容阐述深入浅出,详略得当。增加工程性习题、设计性习题和综合性习题,培养学生分析问题和解决问题的素质与能力;
- 在辅助工具上,注重计算机软件工具的运用,使学生从单纯的习题计算转移到基本概念、基本原理和基本方法的理解和应用,提高了学习效率和效果。

本系列教材包括:

《基础电路分析》、《现代电路分析》、《模拟集成电路基础》、《信号与系统》、《电子测量技术》、《微机原理与接口技术》、《电路基础实验》、《电子电路实验及仿真》、《数字实验一体化教程》、《数字信号处理综合设计实验》、《电路基本理论》、《现代电子线路(上、下册)》。

本系列教材的编写和出版得到了教育部高等教育司的指导、北方交通大学教务处及电子与信息工程学院的支持,在教育思想、课程体系、教学内容、教学方法等方面获得了国内同行们的帮助,在此表示衷心的感谢。

北方交通大学
“国家电工电子教学基地系列教材”
编审委员会主任

A handwritten signature in black ink, appearing to read '高辉' (Gao Hui), written in a cursive style.

2002年2月

前 言

电路理论课程是理工科电类学生的主干课、必修课,也是每个从事电力、电气、通信、计算机和自动控制专业人士的业务根基,其重要性是不言而喻的。所以在知识平台不断扩大的今天,电路理论课既要学好,又要尽量少时高效,本教材就是本着这一指导思想而编写的。因而在内容上做到重点突出、繁简得当,作为加深加宽的内容在目录中用*号标记,对非线性电路分析的内容只在附录中进行简单介绍。分布参数电路的过渡过程在一般电类专业,例如电力、通信后续课程电磁场理论中有专题讨论,所以在本书中没有编入,避免重复。复变函数、傅里叶级数、傅里叶变换等在高等数学中已经学过,在本书相应章节中只介绍应用,不进行烦琐的推导证明。凡编入的内容都配有相应的例题和适量的习题,书后附有习题答案。本书可作为理工科电类各专业本科生教材,也可供电类工程技术人员参考。

张年凤
编者 王宏远

2004. 1. 28

编者的话

人们常说 20 世纪后半叶是知识大爆炸的时代。而 21 世纪的到来,世界科技的进步更是日新月异。电子计算机及通信等领域的新技术、新材料、新产品的更新换代速度之快令人惊叹不已。

中国加入 WTO 后,在政治、经济、科学技术等方面,只有与时俱进,不断发展,开拓创新,才能永远立于不败之地。“发展才是硬道理”,要发展,就必须不断更新知识,不断扩大知识面。所以,当前我国社会各阶层人士都在以不同的方式学习新知识、新技术以充实自己。

以培养国家高级人才为己任的高等学校是知识的海洋。因此学生不仅需要学好所有的主干课,而且要争分夺秒地学习其他选修课及参加各种社会实践活动,时间的问题就自然地凸显出来。于是作为各门课程的主要载体——教材就必须与形势相适应。好的教材应该在准确的基础上做到简明,在严谨的基础上做到通达,也就是要做到深入浅出,易学高效,而不是话越说越长,书越写越厚。

电路理论课程是所有电类学生的必修课,在所有课程中占有很大比重,因而必须投入相当多的时间和精力来学习。如果能够提供一个深入浅出、简明高效的教材,则可以让事半功倍的效果。

基于这样的指导思想,作者精心总结了 20 多年的教学经验,认真参考了国内外电路理论方面的教材和相关书籍,其中包括很多优秀教材,编写了这本《电路基本理论》,奉献给读者。

本书着眼于准确、简明、高效。因而全书思维严谨,语言精炼,例题切中,并配以一定数量的、能达到检验和加深理解理论知识、培养解题和应用能力及训练思维方式的习题。避免了烦琐的文字叙述、数学推导及浩浩荡荡的题海,使学生从“学海无涯苦作舟”中解放出来,做到一看就懂、一学就会、欲罢不能、兴趣盎然。学电路理论何苦之有?其乐无穷。

好的教材应是一叶轻舟,载着我们的学生在无涯的学海中畅游,虽偶有惊涛骇浪,但放眼四周,心胸无比广阔;或在两岸峻峭的峡江中急驶,虽然“两岸猿声啼不住”但“轻舟已过万重山”!

本书是编者对于电工理论前辈们的专著的学习心得,也是自己多年教学的经验总结。如果对读者学习电路理论有所帮助,则应该感激前辈们严谨的治学风格和对科学理论精到的阐述给予本人多年的滋润和熏陶。在此对俞大光、李翰荪、江泽佳、邱关源、郑君里、葛守仁各位前辈表示衷心的感谢和崇高的敬意。如果本书有不足之处,则是本人应该继续努力的方向,请读者和各位同仁批评指正。

本书的编辑出版得到了卢先河博士的大力支持,在此表示诚挚的感谢。

我们的研究生景麟、张建文、郭跃、徐永建、耿艳明、陈建武、王振、周娅和李婕同学为本书的打字和画图付出了辛苦的劳动,作者在此对他们表示深深的感谢。

编者 张年凤
王宏远
2004.1.28

目 录

第 1 章 电路的基本元件和基尔霍夫定律	(1)
1.1 电路理论中的常用变量及基尔霍夫两定律	(1)
1.1.1 变量、参考方向、关联参考方向及功率的判断	(1)
1.1.2 集中参数电路的概念	(5)
1.1.3 基尔霍夫电流定律(KCL)和基尔霍夫电压定律(KVL)	(7)
1.2 二端电阻元件及欧姆定律	(11)
1.2.1 二端电阻元件的广义定义	(11)
1.2.2 线性定常正值电阻	(11)
1.2.3 线性定常负值电阻	(12)
* 1.2.4 线性时变电阻	(13)
1.2.5 非线性电阻	(13)
1.2.6 线性定常正值电阻的串、并、混联	(15)
1.3 理想独立电源与实际独立电源	(18)
1.3.1 理想的独立电压源	(18)
1.3.2 理想的独立电流源	(19)
1.3.3 实际电压源	(20)
1.3.4 实际电流源	(21)
1.3.5 实际电压源与实际电流源的相互转换(等效变换)	(22)
1.4 二端电容元件及二端电感元件	(22)
1.4.1 常用函数及其波形	(22)
1.4.2 线性定常电容元件及串、并联	(26)
1.4.3 线性定常电感元件及串、并联	(31)
1.5 理想运算放大器与理想受控源	(34)
1.5.1 理想运算放大器	(34)
1.5.2 含理想运算放大器的电路分析	(35)
1.5.3 理想受控源及含理想受控源电路的分析	(36)
习题	(39)
第 2 章 电阻电路的等效化简	(45)
2.1 电桥电路	(45)
2.1.1 平衡电桥	(45)
2.1.2 非平衡电桥	(46)
2.2 纯电阻电路的 Δ 、 Y (或 π 、 T)形等效变换	(47)
2.3 电源的转移	(50)

2.4	含受控源电路的等效化简	(52)
	习题	(55)
第3章	电路分析的一般方法	(59)
3.1	电路分析的一般原则及标准支路方程	(59)
3.1.1	电路的 $2b$ 方程	(59)
3.1.2	电路的标准支路方程	(59)
3.2	图论的初步知识	(60)
3.2.1	线图、无向图、有向图	(60)
3.2.2	连通图、全通图、非连通图	(61)
3.2.3	子图、生成子图	(61)
3.2.4	树、树枝、树余、连支	(62)
3.2.5	割集、基本割集、基本回路	(63)
3.3	关联矩阵	(64)
3.3.1	节点支路关联矩阵	(64)
3.3.2	基本回路(与支路)关联矩阵	(66)
3.3.3	基本割集(与支路)关联矩阵	(67)
3.3.4	网孔(与支路)关联矩阵	(68)
3.4	KCL与KVL的矩阵表达式	(70)
3.4.1	KCL的矩阵表达式	(70)
3.4.2	KVL的矩阵表达式	(72)
3.5	支路电流法	(75)
3.6	节点电位法	(78)
3.7	网孔电流法	(83)
3.7.1	网孔电流法的概念及表达式	(83)
3.7.2	用节点法和网孔法列方程时特殊支路的处理	(85)
3.8	回路电流法	(89)
3.9	割集电压法	(91)
	习题	(94)
第4章	线性网络的几个定理	(98)
4.1	替代定理	(98)
4.2	叠加定理	(100)
4.3	等效电源定理	(105)
4.4	特勒根定理(似功率守恒定理)	(110)
4.5	互易定理	(113)
	习题	(119)

第 5 章 动态电路的时域分析	(124)
5.1 一阶电路	(124)
5.1.1 RC 电路的零输入响应、零状态响应和全响应	(124)
5.1.2 RL 电路的零输入响应	(131)
5.1.3 求解一阶电路的三要素法	(133)
5.1.4 阶跃响应与冲激响应	(138)
5.1.5 线性与定常	(141)
5.2 二阶电路	(143)
5.2.1 RLC 串联电路的零输入响应	(143)
5.2.2 零状态 RLC 电路对单位冲激激励的响应	(154)
5.2.3 零状态 RLC 二阶电路对指数激励的响应	(157)
* 5.3 关于高阶电路	(160)
5.3.1 电路的高阶微分方程的列写	(160)
5.3.2 方程的求解	(163)
5.4 卷积积分	(165)
5.4.1 卷积积分公式	(165)
5.4.2 卷积积分的性质	(166)
5.4.3 与冲激函数相卷积或与阶跃函数相卷积	(168)
习题	(174)
第 6 章 正弦稳态分析	(180)
6.1 正弦函数及其相量表示法	(180)
6.1.1 正弦量的三要素	(180)
6.1.2 两个同频率正弦量的相位差	(180)
6.1.3 正弦量的有效值	(181)
6.1.4 正弦量的相量表示法	(182)
6.2 线性定常 RLC 元件的伏安特性和基尔霍夫两定律的相量表示	(184)
6.2.1 线性定常电阻元件	(184)
6.2.2 线性定常电容元件	(184)
6.2.3 线性定常电感元件	(186)
6.2.4 基尔霍夫定律的相量表示法	(187)
6.3 广义欧姆定律、复阻抗及复导纳	(188)
6.3.1 广义欧姆定律、复阻抗	(188)
6.3.2 复导纳与 GCL 并联电路的复导纳	(190)
6.4 简单正弦电路的稳态分析	(191)
6.5 正弦稳态电路的功率	(194)
6.5.1 瞬时功率	(194)
6.5.2 平均功率	(195)

6.5.3	无功功率	(196)
6.5.4	视在功率	(196)
6.5.5	复功率	(196)
6.5.6	功率守恒定理	(198)
6.6	提高功率因数	(200)
6.7	负载获取最大功率(最大功率传输定理)	(202)
6.8	谐振	(205)
6.8.1	串联谐振	(205)
6.8.2	并联谐振	(210)
6.9	互感耦合电路	(212)
6.9.1	互感耦合的基本概念	(212)
6.9.2	有互感耦合线圈的连接	(214)
6.9.3	空心变压器	(217)
6.9.4	理想变压器	(223)
	习题	(225)
第7章	三相电路	(235)
7.1	对称三相电源和对称三相负载的Y形连接	(235)
7.1.1	对称三相电源	(235)
7.1.2	Y形连接对称三相电源	(236)
7.1.3	Y-Y连接对称三相电路	(236)
7.2	对称三相电源和对称三相负载的 Δ 形连接	(237)
7.2.1	Δ 形连接对称三相电源	(237)
7.2.2	Δ - Δ 连接对称三相电路	(238)
7.3	对称Y- Δ 电路及对称 Δ -Y电路	(240)
7.3.1	对称Y- Δ 电路	(240)
7.3.2	对称 Δ -Y电路	(241)
7.4	不对称三相电路	(243)
7.4.1	不对称Y-Y连接三相电路	(243)
7.4.2	电源对称负载不对称的其他连接方式	(247)
7.5	三相功率的测量	(248)
7.5.1	三相四线制	(248)
7.5.2	三相三线制	(249)
	习题	(250)
第8章	非正弦周期电流电路的稳态分析	(253)
8.1	傅里叶级数	(253)
8.1.1	非正弦周期函数	(253)

8.1.2	几种对称波形周期函数的谐波分析	(254)
8.2	线性定常电路对周期性激励稳态响应的频域分析法	(257)
8.3	非正弦周期函数的有效值及平均功率	(258)
8.3.1	非正弦周期函数的有效值	(258)
8.3.2	非正弦周期电流电路的平均功率	(259)
8.4	滤波器的概念	(262)
8.5	傅里叶级数的指数形式和周期函数的频谱	(264)
* 8.6	对称三相非正弦周期电流电路	(268)
8.6.1	三相非正弦周期交流电压的波形分析	(268)
8.6.2	Y形连接电路	(270)
8.6.3	电源 Δ 形连接	(271)
	习题	(273)
第9章	动态电路的复频域分析——拉普拉斯变换法	(275)
9.1	拉普拉斯变换及拉普拉斯反变换	(275)
9.1.1	拉普拉斯变换与傅里叶变换	(275)
9.1.2	拉普拉斯反变换	(277)
9.2	拉普拉斯变换的基本性质	(278)
9.2.1	线性组合定理	(278)
9.2.2	微分定理	(278)
9.2.3	积分定理	(279)
9.2.4	时域位移定理	(281)
9.2.5	复频域位移定理	(281)
9.2.6	初值定理和终值定理	(282)
9.2.7	卷积定理	(283)
9.3	拉普拉斯反变换部分分式展开法	(286)
9.3.1	$F(s)$ 具有简单极点的情况	(287)
9.3.2	$F(s)$ 具有多重极点的情况	(288)
9.4	电路基本规律的复频域形式	(293)
9.4.1	基尔霍夫两定律的复频域形式	(293)
9.4.2	电阻、电容、电感元件伏安特性的复频域形式	(293)
9.5	运算法	(296)
9.6	网络函数	(300)
9.6.1	定义	(300)
9.6.2	网络函数与电路冲激响应的关系	(301)
9.6.3	网络函数的极点与零输入响应的关系	(303)
9.6.4	网络函数的极点与网络结构和元件参数的关系	(306)
* 9.6.5	网络函数的零点与零传输	(308)

习题	(310)
第 10 章 双口网络	(314)
10.1 双口网络概述	(314)
10.1.1 双口网络的定义	(314)
10.1.2 学习双口网络伏安方程的意义	(314)
10.2 双口网络的短路导纳矩阵(参数)和开路阻抗矩阵(参数)及其相互关系	(315)
10.2.1 短路导纳矩阵	(315)
10.2.2 开路阻抗矩阵	(317)
10.3 双口网络的混合参数矩阵	(319)
10.4 双口网络的传输参数矩阵	(320)
10.5 各参数矩阵之间的关系及双口网络的互易性	(320)
10.6 双口网络的等效电路	(323)
10.6.1 无源双口网络的等效电路	(323)
10.6.2 含有线性受控源的双口网络的 T 形和 π 形等效电路	(324)
10.7 双口网络的连接	(326)
10.7.1 双口网络的串联	(326)
10.7.2 双口网络的并联	(327)
10.7.3 双口网络的串并联和并串联	(328)
10.7.4 双口网络的级联	(329)
10.8 有载双口网络	(330)
10.8.1 有载双口网络的输入阻抗和输出阻抗	(330)
10.8.2 对称双口网络的特性阻抗和传播常数	(331)
习题	(334)
* 第 11 章 网络分析的状态变量分析法	(338)
11.1 网络的状态变量和状态方程	(338)
11.1.1 状态矢量和状态变量	(338)
11.1.2 状态方程	(338)
11.1.3 状态变量的选择和状态方程的建立	(340)
11.2 状态方程的复频域解法	(344)
11.2.1 状态方程	(344)
11.2.2 输出变量的拉普拉斯变换式和转移函数	(345)
11.3 状态方程的时域解法	(347)
11.3.1 状态方程的解	(347)
11.3.2 输出方程的解	(349)
习题	(351)

第 12 章 分布参数电路的稳定状态	(353)
12.1 电路参数的分布性及分布参数电路	(353)
12.1.1 电路参数的分布性及分布参数电路概述	(353)
12.1.2 均匀长线的偏微分方程	(354)
12.2 正弦电源作用下传输线方程的稳态解	(355)
12.3 行波	(358)
12.4 均匀长线的传播特性	(363)
12.4.1 传播系数	(364)
12.4.2 特性阻抗	(365)
12.5 无畸变线	(368)
12.6 波的反射系数与无反射波	(370)
12.6.1 波的反射系数	(370)
12.6.2 匹配负载	(371)
12.6.3 终端开路	(373)
12.6.4 终端短路	(374)
12.7 均匀长线的入端阻抗	(375)
12.8 无损耗线	(377)
12.9 均匀长线的集中参数等效电路	(386)
12.10 对称双口网络的传输(传播)常数与特性阻抗	(389)
习题	(392)
* 第 13 章 开关电容网络	(394)
13.1 开关电容元件	(394)
13.1.1 什么是开关电容网络(SCN)	(394)
13.1.2 开关电容元件的特性(SC)	(394)
13.2 开关电容网络简介	(396)
13.3 开关电容网络中的一些非理想因素	(402)
习题	(404)
附录 A 简单非线性电阻电路的分析	(405)
附录 B 常用函数的傅里叶级数展开式	(410)
附录 C 一些常用函数的拉普拉斯变换	(412)
附录 D 双口网络各参数矩阵之间的关系	(413)
附录 E 电路理论中常用专业名词中英文对照表	(414)
习题答案	(434)
参考文献	(443)

第 1 章 电路的基本元件和基尔霍夫定律

1.1 电路理论中的常用变量及基尔霍夫两定律

1.1.1 变量、参考方向、关联参考方向及功率的判断

在电路理论中一般常用的变量为电压(降)、电流和电功率,有时也用到电位、电位能、电荷、磁通、磁通链等,但主要是电压(用 U 或 u 表示),电流(用 I 或 i 表示),电功率(用 P 或 p 表示)。

1. 电流

从物理学中我们已经知道电荷质点的运动称为电流。电流就其成因来看大致可以分成三类,即:传导电流,运流电流和位移电流。

第一类 传导电流。在金属导体中自由电子有规则的运动,在电解质中正负离子有规则的运动均称为传导电流。

第二类 运流电流。电子、离子甚至宏观带电体在空间做机械运动时所形成的电流称为运流电流。

将单位时间内通过导体横截面积的电量定义为电流强度,用 i 表示,其方向规定为正电荷移动的方向。

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

其中, q 为电荷,基本单位为 C(库仑); t 为时间,基本单位为 s(秒);所以 i 的基本单位为 A(安)。其单位换算为 $10^{-3} \text{ A} = 1 \text{ mA}$ (毫安), $10^{-6} \text{ A} = 1 \mu\text{A}$ (微安), $10^3 \text{ A} = 1 \text{ kA}$ (千安), $10^6 \text{ A} = 1 \text{ MA}$ (兆安)。

电流强度 i 用以衡量电流的大小,简称为电流。所以, i 既是物理现象又是强度(大小)的表示。

第三类 位移电流。由于 $i = \frac{dq(t)}{dt}$,如果有交变电压加在电容器两极板上,由于电场的交变,在接有电容器的电路中导体各横截面的电量也随时间变化,电路中将会形成电流,这种电流称为位移电流。

电流的速度为电磁场建立的速度,即光速

$$c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$$

电流按其大小与方向是否随时间而变,又可以分为两种。

稳恒电流 电流的大小、方向都不随时间而变,是恒定不变的值,简称为直流,用大写的 I 表示。测量仪表上标志为 DC(直流电流表)。

交变电流 电流的大小、方向都随时间而变,简称为交流,用小写 $i(t)$ 表示。测量仪表上标志为 AC(交流电流表)。

注意 只改变大小,不改变方向的电流称为脉动电流,例如,正弦交变电流,通过半波整流或全波整流后的电流只改变大小,不改变方向,是脉动电流,一般将其归到交流电流中。

电流的实际正向在前面已规定为正电荷移动的方向,但是在复杂电路中未经计算很难判断。如果是交流电流也无法在图中标示出每一瞬间电流的方向。因此,有必要在电路图中预先规定各支路电流的假定正向,又叫做参考正向或参考方向。当真正正向与假定正向一致时,电流的代数值为正,当真正正向与假定正向相反时,电流的代数值为负,反之亦然。

图 1-1 与图 1-2 中 i 的方向都是假定正向或参考正向,但通过计算后,图 1-1 中 $i_1 = 3 \text{ A}$,说明其电流的真实方向与假定正向相同,确实是从 a 流到 b 的 3 A 电流。而图 1-2 中 $i_2 = -5 \text{ A}$,说明其真实方向与假定正向相反,不是从 c 流到 d,而是从 d 流到 c,真实方向用 i'_1 和 i'_2 表示。

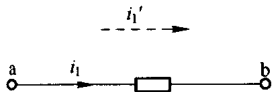


图 1-1 电流的真实正向与假定正向相同



图 1-2 电流的真实正向与假定正向相反

因此,(1) 电路分析计算之前必须规定电流的假定正向(参考方向)并在图中标示出来。(2) 电流的真实方向由计算结果(代数值)与假定方向共同确定。代数值为正,说明电流的真实方向与假定方向相同;代数值为负,说明电流的真实方向与假定方向相反。(3) 电流是标量,不是矢量。

2. 电压

两点电位之差称为电压。在库仑场中,由于库仑场是保守力场,电荷处于电场中不同的位置将具有不同的电位能。电荷在电场中移动,电场力所做的功是电位能改变的量度,有试验电荷 q_0 从 a 点移到 b 点,电场力做功为 ΔW_{ab} 。

$$\Delta W_{ab} = W_a - W_b = q_0 \int_a^b \mathbf{E} dl = q_0 \int_a^\infty \mathbf{E} dl - q_0 \int_b^\infty \mathbf{E} dl$$

其中, \mathbf{E} 为电场强度, $q_0 \int_a^\infty \mathbf{E} dl$ 是 q_0 在电场中 a 点所具有的电位能, $q_0 \int_b^\infty \mathbf{E} dl$ 是 q_0 在电场中 b 点所具有的电位能。