



国家工科教学基地
21世纪电工电子系列教材

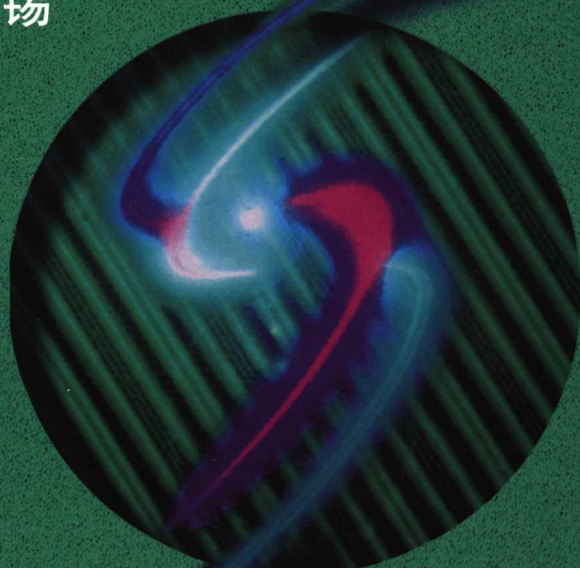
电路理论

——电阻性网络

主编 谭 丹

(第二版)

编著 黄冠斌 孙亲锡



华中科技大学出版社

HUAZHONG UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY PRESS

E-mail: hustpp@wuhan.cngb.com

21 世纪电工电子系列教材

电 路 理 论

——电阻性网络

(第二版)

主 编 谭 丹

编 者 黄冠斌 孙亲锡

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电路理论——电阻性网络(第二版)/谭 丹 主编
武汉:华中科技大学出版社,2006年9月
ISBN 7-5609-1820-4

I. 电…

II. 谭…

III. 电路理论-高等学校-教材

IV. TM13

电路理论——电阻性网络(第二版)

谭 丹 主编

责任编辑:李 德

封面设计:潘 群

责任校对:陈 骏

责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录 排:武汉众心设计室

印 刷:湖北恒泰印务有限公司

开本:787×960 1/16

印张:13

字数:232 000

版次:2006年9月第2版

印次:2006年9月第7次印刷

定价:18.80元

ISBN 7-5609-1820-4/TM·73

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是电路理论模块化教材的基础部分。全书分七章:基尔霍夫定律和网络图论,二端电阻性元件,受控源与运算放大器,简单电路的等效变换,网络分析的一般方法,网络定理,非线性电阻网络分析。本书基本概念讲述清楚,易于读者接受;基本方法分析透彻,易于读者掌握;配合正文有丰富的例题及详尽的分析和解题步骤,章末有本章主要内容总结,重难点提示的“小结”及精选适量的习题,引导读者正确、有效地掌握基本概念,灵活应用基本分析方法。

本书适用于高等院校电类专业本科生教材。同时,也可作报考电类专业的研究生参考书,以及相近专业师生和工程技术人员的参考书。

总 序

电路理论是一门重要的技术基础课,是工科电类、电子、通信、控制以及电机一体化等学科必备的理论基础,对大学生总体课程的学习和今后的工作起着深远的影响。

本套教材自第一版问世以来,已历经了七年。在这世纪之交的七年中,随着教学改革的不深入,全国各高等院校均制定出面向 21 世纪新的培养计划,在加强基础、拓宽专业的指导思想下,电路理论的课时减少了,但其课程的重要地位没有改变,为适应新形势,对原教材进行了修订。

全书仍分为《电阻性网络》、《时域与频域分析》、《端口网络与均匀传输线》三个模块,形成电路理论课程的三个台阶。这样,可使学生在学习过程中具有明确的阶段性,发挥他们学习的自觉性、主动性和创造性,使他们沿着这三个台阶攀登,打下深厚、坚实的电路理论基础。

本套书在保留原有书的特色基础上,吸取了任课教师的合理建议,对教材的内容、结构进行了整合,使其结构更加完善合理,更有利于教学组织。

在每章后新增了“小结”,提纲挈领地归纳了一章的主要内容和学习中应注意的问题,有助于学生从整体上掌握一章的内容。

为了便于自学,在一些重点章节及难以理解的地方,论述得比较详尽,同时还编有丰富的具有一定深度和难度的颇具启发性的例题分析,以启迪学生的思路,扩大他们的视野。

习题是各章内容的延续,在新版中原书的绝大部分及难度较大可以激发学生思考,促使他们从更深的层面理解和掌握电路理论内容的习题全部保留,删除了计算繁杂及内容重复的部分习题,增加了综合性的习题。在习题的编排上按章节顺序从基本到综合重新进行了调整,新的编排更有利于学生自主学习和自我训练。各章习题都附有参考答案,供学生对照检查。

编写本教材的作者,都是从事电路理论课程教学多年的教授、副教授,具有丰富的教学经验。他们在教学过程中,力求在讲深讲透电路理论的基本概念、基本原理和基本分析方法的同时,加强对学生分析问题、解决问题的能力以及素质的培养。在本书的编写中,作者多少溶进了这方面的心血,具有一定的特色。书中有不少观点和提法是作者经过多年的教学总结和提炼出来的。

本书的内容具有一定的深度、广度和难度,在组织教学时可以根据不同的情况进行取舍。本书不仅可作为有关专业的电路理论课程的教材和硕士研究生入学考试的参考书,也可供有关的工程技术人员参考。

为了满足需要,本书以附录形式编写了“磁路与含铁心的线圈”一章。

本书《电阻性网络》由谭丹副教授主编,《时域与频域分析》由杨泽富副教授主编,《端口网络与均匀传输线》由颜秋容副教授主编。

由于本书内容较多,范围较广,篇幅较大,可能会有一些考虑不周和错漏之处,恳请广大读者与同仁给予批评指正。

编者

2006年6月于武汉华中科技大学

第二版序

本书第一版至今,历经七载。七年多来,本书作为华中科技大学电类专业本科生电路理论课程教材和硕士研究生入学考试的主要参考书,赢得广大读者和教师的充分肯定,并为我校国家级电工电子教学基地建设作出了贡献。另一方面,这些年来我国的高等工程教育和教学都发生了很大的变化,此次修订,正是为了适应这一变化而进行的。

此次修订保留了原书的体系,变动的地方主要如下。

1. 删去了第一章习题中一些较难较深的习题。
2. 将第二章中“线性电阻元件的串联、并联与混联”归入到第四章,这样与第二章的标题“二端电阻性元件”更贴切,也使“简单电路的等效变换”的内容更为集中。
3. 删去了第二章中“晶体三极管和场效应晶体管”一节的内容。
4. 重新整合了“简单电路等效变换”这一章。根据组成等效变换电路的元件不同,将等效变换方法分成“线性电阻元件的等效变换”及“含源电路的等效变换”两小节。这种结构更有利于学生在使用等效变换方法分析电路问题时正确、合理地选择等效变换的具体方法。
5. 对“网络分析的一般方法”的论述,在阐明各种分析方法的实质后,更加注重学生在学习电路理论阶段实用的视察法列写电路方程。
6. 关于“电路中的线性关系”,只不过是替代定理和叠加定理的一个应用,所以修订中不再作为一小节列出,而仅在例题或习题中体现。
7. 各章后面都增加了“小结”,归纳了一章的主要内容和学习中要注意的问题。

参加本次修订工作的有谭丹、黄冠斌、孙亲锡。全书由谭丹修改定稿。

书中的不当或错误之处,请读者和同行予以批评指正。

编 者

2006.6

第一版序

以变量约束的实数代数方程(组)描述的电路称为电阻性电路(网络)。电阻性电路所涉及的电路元件有电阻、独立电源、受控电源和运算放大器等。电阻性网络的分析是电路理论最基础的内容,而随着电路理论的工程背景由电力等强电技术向电子、通信及控制等弱电技术的转移,电阻性网络的分析又日益显示出它的重要性。本书就是为适应我校电工、电子课程体系和内容改革,加强基础,拓宽专业面的要求,便于分阶段和模块化组织教学而编写的。

和以往所使用的电路理论课教材相比较,本书的特点如下。

(1)第一章介绍了基尔霍夫电流定律与电压定律后,接着就介绍网络图论的基本知识。从基尔霍夫电流定律和电压定律与电路元件的性质无关出发,编者考虑将网络图论的内容提前不仅是可能的,而且这样做可以使学生尽早对电路的这两个基本定律所包含的深层次内容建立起严密完整的概念,例如关于 KCL 与 KVL 方程的独立性问题,电网络中的独立和完备变量等问题,避免以往在相当长一段时间内的盲目性。

(2)在“二端电阻性元件”一章,编者力图将非线性电阻元件建立在实用的电子器件上,介绍电子电路中应用较多的一些非线性电子器件的特性,如普通二极管,热敏电阻器,压敏电阻器等。

(3)在“多端电阻性元件”一章中,简要介绍晶体管与场效应管的特性。这一方面是我们吸收了有关后续课程教师的意见,另一方面编者的主要意图还在于让学生更多地了解受控电源这一电路元件的一些实物背景。长期以来,运算放大器是学生学习的一个难点,本书在介绍这一电路元件时,先简要介绍实际运算放大器,并给出了一个实际运算放大器内部的分立元件等效电路。在这里我们无意要求学生在学习电路理论课程的时候就能完全看懂这一复杂的电路图,只想它能在帮助学生理解掌握运算放大器这一电路元件的特性时起到一点作用。

(4)介绍网络分析的一般方法时,对于每一种分析方法都是从一个具体的简单电路入手,阐明一种分析方法的实质和导出电路方程的基本思路,紧扣电路分析的两个基本依据。在此基础上加以概括和抽象,上升到矩阵形式的电路方程,以严密的数学论证,总结归纳出用视察法列写电路方程的规则。

(5)网络定理是网络重要性质的概括,在介绍各个网络定理时,编者首先是从具体的电路例子引出定理内容,然后再展开对定理的深入讨论,这样做有利于学生理解各个网络定理。编者在详尽叙述叠加定理后,附带指出了电路中的线性关系,因此不需多少篇幅,就能拓宽学生解决问题的思路。

(6)本书最后一章介绍非线性电阻电路分析的一些常用方法。编者考虑到非

线性电路的分析是电路理论的一个重要内容,学生在学完电路理论课程时,应初步具备分析非线性电路的知识和能力。另外在教材中写进这方面的内容,有利于和电子学课程内容的衔接。本章中对凹电阻和凸电阻的特性曲线分别给出了它们的函数表示式,这有助于用解析法解决具有分段线性特性的电流控制型或电压控制型非线性一端口电阻网络的综合问题。

本书中标有“*”的内容,教师可根据教学对象、教学时数等因素决定取舍。删去这些内容时并不影响基本内容的连贯性。

参加本书编写的有黄冠斌(第一、三、七章),孙亲锡(第二、六章),谭丹(第四、五章)。对于本书内容的安排和取舍,虽然编者在以往的教学活动中也曾经过实践,但将其正式成书对编者来说还是一次尝试,因此书中会有一些欠缺之处,编者恳请使用本书的教师和学生批评指正。

编者

1997.10 于武昌

目 录

第一章 基尔霍夫定律和网络图论	(1)
1-1 电路及电路模型	(1)
1-1-1 电路	(1)
1-1-2 理想电路元件, 电路模型	(2)
1-2 电压和电流及其参考方向	(2)
1-2-1 电压和电位	(3)
1-2-2 电流	(6)
1-2-3 电流和电压的关联参考方向, 功率	(8)
1-3 基尔霍夫定律	(10)
1-3-1 基尔霍夫电流定律(KCL)	(11)
1-3-2 基尔霍夫电压定律(KVL)	(12)
1-4 网络图论的基本概念	(14)
1-5 有向图的矩阵表示	(19)
1-5-1 关联矩阵	(19)
1-5-2 网孔矩阵	(21)
1-5-3 基本回路与基本回路矩阵	(22)
1-5-4 基本割集和基本割集矩阵	(23)
1-5-5 有向图矩阵间的关系	(24)
1-6 KCL 与 KVL 方程的矩阵形式	(25)
1-6-1 KCL 的矩阵形式	(26)
1-6-2 KVL 的矩阵形式	(29)
小结	(31)
习题	(31)
第二章 二端电阻性元件	(36)
2-1 电阻元件	(36)
2-1-1 电阻元件的定义与分类	(36)
2-1-2 线性时不变电阻元件	(36)
2-1-3 线性时变电阻元件	(37)
2-1-4 一些典型的非线性时不变电阻元件	(38)
2-1-5 电阻元件的无源性	(41)
2-2 独立电源	(41)

2-2-1 独立电压源	(41)
2-2-2 独立电流源	(41)
2-2-3 实际直流电源的两种模型	(44)
小结	(45)
习题	(45)
第三章 受控电源与运算放大器	(48)
3-1 受控电源	(48)
3-1-1 四种形式的受控电源	(48)
3-1-2 含受控电源的简单电路	(50)
3-1-3 受控电源与独立电源的比较	(52)
3-2 运算放大器	(52)
3-2-1 实际运算放大器简介	(52)
3-2-2 理想运算放大器及其特性	(54)
3-2-3 含运算放大器的简单电路分析示例	(55)
小结	(58)
习题	(59)
第四章 简单电路的等效变换	(63)
4-1 等效电路的概念	(63)
4-2 线性电阻元件的等效变换	(64)
4-2-1 线性电阻元件的串联、并联与混联	(64)
4-2-2 平衡电桥电路,三端线性电阻网络的 Y- Δ 等效变换	(68)
4-3 含源电路的等效变换	(73)
4-3-1 戴维南电路与诺顿电路的等效变换	(73)
4-3-2 电压源与支路并联的等效电路	(76)
4-3-3 电流源与支路串联的等效电路	(78)
4-3-4 无伴电源的等效变换	(79)
4-4 线性电阻性二端网络的入端电阻	(82)
4-4-1 入端电阻的定义	(82)
4-4-2 求入端电阻的一些方法	(83)
小结	(86)
习题	(87)
第五章 网络分析的一般方法	(94)
5-1 电网络的 $2b$ 方程	(94)
5-1-1 支路方程	(94)
5-1-2 电路的 $2b$ 方程	(96)
5-2 支路电流分析法	(97)

5-2-1 支路电流方程	(97)
5-2-2 含受控电源电路的支路电流方程	(101)
5-2-3 网络含无伴电流源的处理	(102)
5-3 节点电压分析法	(104)
5-3-1 节点电压方程	(104)
5-3-2 网络不含受控电源时节点电压方程的分析, 视察法	(108)
5-3-3 含受控电源网络的节点电压方程	(111)
5-3-4 网络含无伴电压源的处理	(112)
5-4 回路电流分析法	(114)
5-4-1 回路电流方程	(115)
5-4-2 网络不含受控电源时回路电流方程的分析, 视察法	(116)
5-4-3 含受控电源网络的回路电流方程	(119)
5-4-4 网络含无伴电流源的处理	(121)
* 5-5 割集分析法(树支电压分析法)	(123)
5-5-1 割集方程	(123)
5-5-2 割集方程的分析, 视察法	(125)
5-5-3 含受控电源网络的割集方程	(126)
5-5-4 网络含无伴电压源的处理	(127)
小结	(129)
习题	(129)
第六章 网络定理	(135)
6-1 替代定理	(135)
6-1-1 例子与定理	(135)
6-1-2 定理证明与应用	(136)
6-2 叠加定理	(137)
6-2-1 例子与定理	(137)
6-2-2 定理证明	(138)
6-2-3 应用举例	(140)
6-3 戴维南-诺顿等效网络定理	(145)
6-3-1 定理内容	(145)
6-3-2 定理证明	(146)
6-3-3 定理应用	(147)
6-4 特勒根定理	(153)
6-4-1 定理内容及证明	(153)
6-4-2 应用举例	(155)
6-5 互易定理	(156)

6-5-1 互易网络 N_R	(156)
6-5-2 互易定理	(157)
6-5-3 应用举例	(159)
* 6-6 中分定理	(160)
6-6-1 对称激励的对称电路	(160)
6-6-2 反对称激励的对称电路	(161)
6-6-3 应用举例	(162)
小结.....	(163)
习题.....	(165)
第七章 非线性电阻电路分析.....	(171)
7-1 非线性电阻电路的图解法	(171)
7-1-1 非线性电阻元件串联或并联的端口特性	(171)
7-1-2 图解法确定直流工作点	(176)
7-2 非线性电阻电路的小信号分析法	(178)
* 7-3 非线性电阻电路的分段线性化分析法	(181)
* 7-4 非线性电阻电路的电路方程	(184)
小结.....	(186)
习题.....	(187)
部分习题答案.....	(191)

第一章 基尔霍夫定律和网络图论

本章简要回顾描述电路特性的两个重要物理量——电流和电压,主要是强调它们的参考方向或参考极性;阐述仅与电路的几何结构有关而与电路元件性质无关的基尔霍夫电流定律和电压定律,两个定律是电路分析的基本依据之一。

从基尔霍夫定律与电路元件性质无关出发,将电路抽象为有向线图,介绍网络图论的基本知识,以深入揭示电路在几何结构方面呈现的性质(称为电路的拓扑性质),这些性质对以后的电路分析是重要的。

1-1 电路及电路模型

1-1-1 电 路

实际电路(electrical circuit)是将若干电气设备或电器件按一定方式连接起来构成的电流通路。从一个完整电路的各部分所起的主要作用来看,一个完整电路都包含电源(或信号源),负载以及电源至负载的中间环节三个基本部分。电池,发电机,信号发生器等是电源(electrical source)或信号源的实体,在电路中电源或信号源的作用是向电路提供电能或有用的电信号。各种各样的用电设备或耗能及储能器件,如电灯,电动机,扬声器,电视显像管,电阻器和电容器等,统称为负载(load)。负载的作用是实现电能或电信号与其它形式能量或信号之间的转换,有时也可能是电能与电能之间或电信号与电信号之间的转换。中间环节包括连接导线、开关及处理设备,其作用是输送、分配电能和对电信号进行处理。因此,电路是互相连接起来的电源与负载的总体,电流能在其中流通。电路有时也称为电网络或网络。

根据电路的运行条件,有的电路可以按集中参数电路的观点和理论分析处理,有的电路则必须按分布参数电路的观点和理论分析处理。集中参数电路(lumped circuit)的观点和理论认为:电路中的电磁量,如电流和电压等,只是时间的函数,因而描述电路的方程一般是常微分方程(对电阻性电路,是实数代数方程)。分布参数电路(distributed circuit)的观点和理论认为:电路中的电磁量是时间和空间坐标的函数,因而描述电路的方程是偏微分方程。首先,对一个实际电路,是应按集中电路的理论加以分析研究,还是应按分布参数电路的理论加以分析研究,主要是视电路的最大几何尺寸与电路运行时电流波或电压波的最高频率对应的波长相比较是否可以忽略而定。若以 λ 表示电流波或电压波最高频率对应的波长, d 表

示电路的最大几何尺寸,则当 $d < 0.01\lambda$ 时,就可以作为集中参数电路加以分析研究,而当 $d \geq 0.01\lambda$ 时,就应按分布参数电路加以分析研究了。其次,即使电流波或电压波频率较低,但如果电压很高,例如长距离直流输电线(像葛洲坝至上海的直流输电线,输电电压为500kV),也应按分布参数电路分析研究。本书只讨论集中参数电路。用集中参数电路的观点分析研究电路时,认为电路中的一些电磁现象或电磁过程,例如电能的消耗,电场能量与磁场能量的储存或释放等,只存在于电路中的某些部件上,并且都能用相应的电路元件(集中参数元件)表示在电路图中。电路的几何尺寸和空间位置是无关紧要的,在不改变电路各部分相互连接关系的前提下,可以将电路图画成看起来最习惯和最便于分析计算的形式。

1-1-2 理想电路元件,电路模型

如上所述,电路是将一些电气设备或电器件用导线连接起来构成的电流通路。为了叙述的方便,将这些电气设备或电器件统称为实际器件。实际器件都能够维持电流流动,并在其端钮间保持电压。任何一个实际器件,在电流或电压作用下都包含有能量的消耗、电场能量的储存和磁场能量的储存三个基本效应,这些基本效应互相缠绕,使实际器件呈现很复杂的性状,以致直接分析由实际器件组成的电路是极困难的,甚至是不可能的。上述三种基本效应在某个器件上的表现又不是均衡的,在一定的条件下,其中的某一种效应可能表现较强,处于主导地位,而别的效应可能表现较弱,处于次要地位,即使将其忽略,也不致使理论分析结果与实际情况有本质的差异。因此,就有必要也有可能对实际器件加以近似,加以理想化,把只具备单一电磁性质的电路元件称为理想电路元件(ideal circuit element),简称电路元件(circuit element)。由于没有任何一个特殊的实际器件只呈现一种电磁性质,而能把其它电磁性质排除在外,所以具有单一电磁性质的电路元件是理想化了,实际中是不存在的。但是由于各种电路元件都是用数学加以严格定义的(在这个意义上电路元件又称为数学元件),并用规定的图形符号表示,因而由理想电路元件互相连接所组成的电路非常便于理论分析。电路理论所研究的就是由理想元件互相连接组成的电路——电路模型,而非具体的实际电路。诚然,理论研究是为实际服务并指导实际发展的,对于一个实际的电器件或电路,可以通过对其中发生的能量效应或电磁现象的观察分析,用一些恰当的理想电路元件按一定方式连接组成的电路模型去逼近实际情况。这里的关系正如力学中为了研究物体的受力情况就需要建立质点、刚体、理想气体等模型一样。

1-2 电压和电流及其参考方向

分析电路应有对电路的数学描述,这是由电路的一些物理量,如电流、电

压、电荷、磁通链、功率和能量等来表示的, 这些物理量统称为电路变量或网络变量。电流和电压是描述电路特性的两个基本变量, 这是因为: 电流和电压是电路中比较容易观察到的两个物理量; 电路的基本定律是叙述一个电路中各部分的电流或电压之间关系的; 一旦一个电路中各部分的电流和电压被确定, 则这一电路的特性就被掌握了, 如由已知电流和电压求功率或能量是很容易的。

1-2-1 电压和电位

一、电压的定义

库仑电场力移动单位正电荷由电场中的 a 点到 b 点所做的功称为 a 、 b 两点间的电压(voltage)。如图 1-1 所示, 设在电场力作用下, 电量为 dq 的电荷由 a 点沿路径 l 被移动到 b 点时, 电场力所做的功为 dW , 则 a 、 b 两点间的电压为

$$u = \frac{dW}{dq} \quad (1-1)$$

或根据电场强度 E 的定义, 电压也可用积分形式定义

$$u = \int_{ab} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (1-2)$$

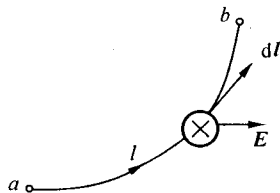


图 1-1 电压的定义

一般情况下, 电压是随时间变化而变化的。本书中电压用英文字母 u 或 U 表示, 并且规定小写字母表示电压是随时间变化而变化的, 大写字母表示不随时间变化的电压(直流电压)。对其它的电路变量也都按此规定。电压的 SI^② 单位为伏[特]^③(V), 实用中还常用千伏(kV), 毫伏(mV)等单位计量电压, 它们的关系是 $1\text{kV} = 10^3\text{V}$, $1\text{mV} = 10^{-3}\text{V}$ ^④。书中有些地方为简便起见, 可将某些物理量视为无量纲量。

电压的定义是与做功的概念相联系的, 正电荷从 a 点移动到 b 点时, 库仑电场可能做正功, 也可能做负功。由(1-2)式容易看出, 在计算 a 、 b 之间的电压时, 若所取的积分路径的走向与原来选取的走向相反, 则计算结果将与原来的差一负号。这些都表明, 电压是一个代数量, 可正可负。

库仑电场的基本规律之一是: 沿任一闭合路径电场强度 E 的线积分等于零, 即

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0 \quad (1-3)$$

① ab 仅表示由 a 点经过路径 l 到 b 点的线积分, 并不表示积分限。

② SI 表示国际单位制(System International)。

③ 表示单位名称的方括号内的字可以省略, 下同。

④ 表示十进倍数和分数单位的词头为 $p(10^{-12})$, $n(10^{-9})$, $\mu(10^{-6})$, $m(10^{-3})$, $k(10^3)$, $M(10^6)$ 。

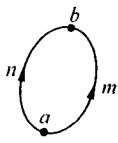


图 1-2 电压与路径无关

根据这一基本规律,对图 1-2 应有

$$\begin{aligned} \int_{amb} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} + \int_{bna} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} &= 0 \\ \text{即} \quad \int_{amb} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} - \int_{amb} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} &= 0 \\ \int_{amb} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} &= \int_{amb} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \end{aligned}$$

最后一式表明,两点间的电压与所经历的路径无关。这样 a, b 两点的电压就可以表示为

$$u = \int_{(a)}^{(b)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad (1)$$

而无需指出经过的是哪个路径。电压与路径无关的基本事实是:电路中任意两点之间连接的电压表,不管连接电压表的导线如何弯曲,只要连接在电路中的那两点位置不变,则电压表读数不变。在理论计算中,求两点之间的电压可能有几个路径,这时就应选择易于计算的路径。

二、电位

在两点间电压与路径无关的前提下,若在电场中任意选择一参考点 o ,如图 1-3 所示,则电场中各点与参考点 o 之间都有确定的电压,如

$$u_{ao} = \int_{(a)}^{(o)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \stackrel{\text{def}}{=} \varphi_a \quad (2)$$

$$u_{bo} = \int_{(b)}^{(o)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \stackrel{\text{def}}{=} \varphi_b$$

而

$$u_{oo} = \int_{(o)}^{(o)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = 0$$

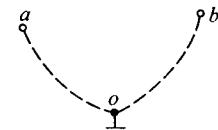


图 1-3 电位的概念

各点到参考点的电压称为各点的电位。在电路图中参考点常用符号“ $\perp$ ”表示。

建立了电位概念以后,图 1-3 所示中 a, b 间的电压可以表示为

$$u_{ab} = \int_{ab} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_{(a)}^{(o)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} + \int_{(o)}^{(b)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_{(a)}^{(o)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} - \int_{(b)}^{(o)} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \varphi_a - \varphi_b$$

可见, a, b 两点间的电压就等于 a, b 两点的电位差(potential difference)。

显然,各点的电位会因参考点的选择不同而有不同的值,所以电位是相对的量。但两点之间的电位差(即电压)是一定的,与参考点的选择无关。电位参考点的选择原则上是任意的,但在同一个问题中,电位参考点一经选定,就得以此为准,而不可选取两个或两个以上的电位参考点。在电磁场理论中,通常以无限远处作为电位参考点。在电力系统中往往以大地作为电位参考点。在电子线路中多把设备的金属外壳或公共接线端作为电位参考点。在电路分析中,有时也要选择电位参考点,这种情况下一般是依怎样选择参考点才便于问题的分析而定,对此将在后

① 积分表示式中 $(a), (b)$ 不是积分限,仅表示由 a 点至 b 点。

② 符号“ $\stackrel{\text{def}}{=}$ ”表示定义相等。