



高等学校电气信息类规划教材

总主编 王耀南

电 路 导 论

何怡刚 主编

湖南大学出版社



TM13
H220:1

高等学校电气信息类规划教材
总主编 王耀南

电 路 导 论

主 编 何怡刚

湖南大学出版社

2004·长沙

内 容 简 介

本书是根据教育部颁布的《电路课程教学基本要求》编写的,主要内容有:电路变量、电路元件、电阻电路及其分析、电路定理、运算放大器电路、储能元件、 RL 和 RC 电路的全响应、含两个储能元件的电路的全响应、正弦稳态分析、交流稳态功率、三相电路、频率响应、拉普拉斯变换、网络函数、非正弦周期电路、滤波电路、二端口网络、PSpice 和 MATLAB 在电路分析与设计中的应用。书末附有部分习题答案。

本书体系结构、选材和习题安排均独具特色,适合普通高等学校电气、电子、计算机、信息、仪器仪表、自动化等(强、弱电)专业师生使用,也可供科技人员自学参考。

图书在版编目(CIP)数据

电路导论/何怡刚主编. —长沙:湖南大学出版社,2004. 8
(高等学校电气信息类规划教材)

ISBN 7-81053-774-1

I. 电... II. 何... 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(2004)第 063302 号

电路导论

Dianlu Daolun

主 编:何怡刚

责任编辑:李继盛

特约编辑:刘慧姣

封面设计:张 毅

出版发行:湖南大学出版社

社 址:湖南·长沙·岳麓山 邮 编:410082

电 话:0731-8821691(发行部),8821315(编辑室),8821006(出版部)

传 真:0731-8649312(发行部),8822264(总编室)

电子邮箱:press@hnu.net.cn

网 址: <http://press.hnu.net.cn>

印 装:湖南新华印刷集团有限责任公司(邵阳)

总 经 销:湖南省新华书店

开本:787×1092 16 开 印张:31.75

字数:734 千

版次:2004 年 8 月第 1 版 印次:2004 年 8 月第 1 次印刷

印数:1~4 000 册

书号:ISBN 7-81053-774-1/TN·15

定价:38.00 元

版权所有,盗版必究
湖南大学版图书凡有印装差错,请与发行部联系

高等学校电气信息类规划教材

编辑委员会

主任:章 兢

(湖南大学副校长,教授,博士生导师)

总 主 编:王耀南

(湖南大学电气与信息工程学院院长,教授,博士生导师)

常务副主任:彭楚武 罗 安 何怡刚 黄辉先 黎福海 黄守道 王英健

副 主 任:(按姓氏笔画为序)

王新辉 邓曙光 朱荣辉 刘志壮 陈日新 杨家红 张万奎

张忠贤 周少武 贺达江 黄绍平 彭解华 瞿遂春

委 员:(按姓氏笔画为序)

丁跃浇 方厚辉 王 辉 王 群 王建君 田学军 包 艳

刘祖润 肖强晖 李益华 李正光 李茂军 李春树 李欣然

余建坤 汪鲁才 张学军 金可音 孟凡斌 欧青立 唐勇奇

康 江 黄智伟 揭 屿 曾喆昭 熊芝耀 戴瑜兴

参 编 院 校

(排名不分先后)

湖南大学

国防科学技术大学

湘潭大学

湖南师范大学

长沙理工大学

湖南科技大学

湖南农业大学

南华大学

株洲工学院

湖南工程学院

吉首大学

湖南商学院

湖南理工学院

湖南文理学院

湖南城市学院

邵阳学院

怀化学院

零陵学院

长沙学院

湖南工学院(筹)

序

我国高等教育已经发展到大众化教育的新阶段。随着国家工业化建设迅猛发展,电气信息类专业技术人才的需求也日益增大。为了适应人才培养的这种新形势,跟踪科学技术的前沿进展,我们根据教育部面向 21 世纪电气信息类课程改革的要求,结合湖南大学和兄弟院校长期教学教改的经验,为大学电气信息类本科生编写了这套教材。

电气信息类课程是培养电类专业人才的基础课程,大量概念、理论、方法和工程案例构成了一个完整的技术知识体系。学生要开启心智、培育形成电类专业思维、打下电类专业人才的技术知识基础,必须系统地扎实地学好这些课程。为此,我们在组织编写这套教材时,特别注意了以下几个方面:

一是保证基础。作为大学基础课程,应确保基本概念、基本原理和基本方法的学习。只有透彻地理解和掌握了基础知识,才能顺利地进入电气信息技术领域的大门,才有可能进一步深造。

二是跟踪新技术。电气信息技术发展日新月异,大学教材必须及时吸纳最新技术,使学生了解学科发展动态。本套教材一方面注意反映学科各方面的最新进展,安排了扩充阅读的相关文献题录,指引学生直接接触学科前沿;另一方面还根据学科与技术的发展趋势,对经典知识进行重新组织编排。本套教材还将及时再版,及时更新内容,确保与时俱进,始终处于技术发展的最前沿。

三是注重应用。电气与信息理论源于工程实践,源于科学发现和技术发明,就像艺术源于生活一样。本套教材在讲述基本理论的同时,注重联系工程实际,并把作者的研究成果应用到其中。在正文、例题和习题中,特意安排了大量工程实用问题,通过理论和工程实际的结合,使学生学到知识并掌握方法。

四是文理渗透、启发诱导。为了提升素质,开阔视野,培养科学创新意识,理工科学生应适当了解与学科相关的课程外知识。为此,在许多教材中精心安排了“扩展与思考”的内容,使学生从中体会科学思想、科学方法以及科技与人文、科学与艺术相互交融的精神和境界。

五是部分教材以多媒体 CAI 课件配合。这样可以将重要的知识点以生动形象的画面表现出来,深化认识,提高学习效果,也便于课堂教学。

本套教材经过充分研讨和论证,聘请各院校教学经验丰富、科研基础深厚的教授和副教授担任主编和编写者,是湖南所有电气信息类院校团结协作的成果,是全省最优秀的电气信息工程学科专家学者集体智慧的结晶。

本套教材的编写和出版,得到了湖南大学、国防科学技术大学、湘潭大学、湖南师范大学、长沙理工大学、湖南农业大学、湖南科技大学、南华大学、株洲工学院、湖南工程学院、吉首大学、湖南商学院、湖南理工学院、湖南城市学院、湖南文理学院、邵阳学院、怀化学院、零陵学院、长沙学院、湖南工学院(筹)等高校的通力合作,得到了湖南大学出版社的支持和帮助,在此一并表示衷心感谢。

王耀南

2004 年 6 月于岳麓山

前言

本书是根据教育部颁布的《电路课程教学基本要求》编写的,主要目标是适应教学内容和课程体系改革以及拓宽专业面的需求。本书适合普通高等学校电气、电子、计算机、信息、仪器仪表、自动化类等(强、弱电)各专业使用。

本书主要内容有:电路变量、电路元件、电阻电路及其分析、电路定理、运算放大器电路、储能元件、 RL 和 RC 电路的全响应、含两个储能元件的电路的全响应、正弦稳态分析、交流稳态功率、三相电路、频率响应、拉普拉斯变换、网络函数、非正弦周期电路、滤波电路、二端口网络。贯穿每一章均有 PSpice 和 MATLAB 在电路分析与设计中的应用,目的是加强计算机辅助电路分析与设计的内容教学。

书中对传统内容进行了精选,保证了必需的常用的基础知识,删去了一些不常用的和陈旧的内容。在内容阐述方面,力求做到便于自学,使能适应启发式教学方法的需要。重视学科的系统性,强调理论与实际的紧密结合,叙述力求清楚、准确。在体系安排上,分别按电阻电路、一阶电路、二阶电路、交流电路、频域法和端口网络等先后顺序,以便在使用时具有一定的灵活性。

本书重点讨论集中参数线性电路。本书的主体内容为第 1 至第 5 章、第 7 至第 8 章、第 10 至第 12 章、第 17 章,其他章节可作为参考内容。每一章在讨论基本原理之前,总是从实际挑战引出问题,然后阐述解决问题所需的电路理论与分析方法,最后再讨论实际挑战问题的解决办法。这种阐述方法在国内同类教材是没有的。与此相适应,在每一章均安排了相关的两节内容,这些内容在讲授时可灵活处理。此外,贯穿每一章的 PSpice 和 MATLAB 内容也可视情况灵活处理。每一章的习题安排上也很有特色。为与内容适应,每一章安排了巩固知识型、验证型和应用 PSpice、MATLAB 分析与设计习题,以便读者能较好地掌握基本内容,培养分析问题和解决问题的能力,特别是计算机辅助电路分析与设计的能力。在选用练习题时,若硬件设施有限,建议学生以巩固知识型习题为主。

总的讲课时数为 80 至 120 学时。

本书中所用专门名词在正文中出现时附有英文,以方便读者阅读英文资料。

参加本书编写工作的有:何怡刚、陈洪云、胡登宇、王群、汤放奇、包艳、谭阳红、彭敏放、邓晓、张美英、肖玉衡、张晚英、何勋杰、彭良玉、林俊、朱彦卿、王桓、周龙、耿云玲、赵文山、谢宏、向阳、贺达江。书稿的结构和最后的文字润色工作由何怡刚负责。书稿经高等学校电气信息类规划教材编辑委员会审定作为教材出版。

限于我们的水平以及时间仓促,书中不妥和错误之处恐不在少数,希望读者予以批评指正。意见请寄湖南大学电气与信息工程学院电工电子技术系。

编者

2004 年 8 月

目 次

第 1 章 电路变量

1.1 设计挑战——喷气阀控制器	(1)
1.2 电路与电流	(1)
1.3 量纲、单位	(4)
1.4 电压	(6)
1.5 功率和能量	(7)
1.6 伏特表和安培表	(9)
1.7 电路分析和设计	(9)
1.8 实例	(11)
1.9 喷气阀控制器电路设计	(12)
1.10 总结	(13)
习题一	(13)

第 2 章 电路元件

2.1 设计挑战	(16)
2.2 电气工程和线性模型	(16)
2.3 有源和无源电路元件	(18)
2.4 电阻元件	(19)
2.5 独立电源	(21)
2.6 受控电源	(24)
2.7 伏特表和安培表	(26)
2.8 变换器	(26)
2.9 开关	(28)
2.10 举例验证	(29)
2.11 测温电路的设计	(30)
2.12 总结	(31)
习题二	(32)

第 3 章 电阻电路

3.1 设计挑战——可调电压源	(36)
3.2 电路应用	(36)
3.3 基尔霍夫定律	(37)
3.4 一个单回路电路——分压器	(39)
3.5 并联电阻和分流	(41)

3.6 串联电压源与并联电流源	(43)
3.7 电路分析	(44)
3.8 利用 MATLAB 分析电阻电路	(45)
3.9 举例验证	(47)
3.10 可调电压源的设计挑战解决方案	(49)
3.11 设计举例——分压器	(50)
3.12 总结	(51)
习题三	(53)

第4章 电阻电路分析方法

4.1 设计挑战——分压器角度显示	(59)
4.2 通信电路	(60)
4.3 含独立电流源电路的结点电压分析法	(60)
4.4 含独立电流源和电压源电路的结点电压分析法	(63)
4.5 含受控源电路的结点电压分析法	(66)
4.6 含独立电压源电路的网孔电流分析法	(67)
4.7 含电流源电路的网孔电流分析法	(69)
4.8 结点电压法和网孔电流法的比较	(71)
4.9 用 PSpice 进行直流分析	(72)
4.10 用 MATLAB 进行直流分析	(73)
4.11 举例验证	(74)
4.12 电位计角度显示的设计挑战解决方案	(76)
4.13 设计举例——最大功率负载	(77)
4.14 总结	(79)
习题四	(79)

第5章 电路定理

5.1 电源连接和等效变换	(92)
5.2 齐次定理和叠加定理	(103)
5.3 替代定理	(108)
5.4 戴维南定理和诺顿定理	(110)
5.5 最大功率传输	(119)
5.6 特勒根定理	(122)
5.7 互易定理	(125)
5.8 对偶特性和对偶原理	(128)
5.9 总结	(130)
习题五	(135)

第 6 章 运算放大器

6.1 运算放大器	(141)
6.2 理想运算放大器	(143)
6.3 含理想运算放大器电路的结点分析法	(145)
6.4 应用运算放大器的单元电路设计	(149)
6.5 实际运算放大器的特性	(150)
6.6 运算放大器与 PSpice	(152)
习题六	(155)

第 7 章 储能元件

7.1 设计挑战——积分器、开关	(158)
7.2 能量储存装置	(159)
7.3 电容器	(160)
7.4 电容器的能量储存	(164)
7.5 串联和并联电容器	(167)
7.6 电感器	(169)
7.7 电感器的能量储存	(173)
7.8 串联和并联电感器	(175)
7.9 开关电路的初始条件	(177)
7.10 电压运放与 RC 电路	(181)
7.11 运用 MATLAB 去绘制电容或电感电压与电流图	(182)
7.12 举例验证	(184)
7.13 积分器和开关的设计	(185)
7.14 总结	(188)
习题七	(188)

第 8 章 RL 和 RC 电路的全响应

8.1 设计挑战——电脑和打印机	(196)
8.2 信号与通讯	(198)
8.3 一阶电路对常量输入的响应	(199)
8.4 时序开关	(207)
8.5 一阶电路的稳定性	(211)
8.6 单位阶跃源	(213)
8.7 一阶电路的非常量激励响应	(216)
8.8 微分算子	(221)
8.9 用 PSpice 分析全响应	(223)
8.10 校验举例	(223)
8.11 应对设计挑战的解决方法	(224)
8.12 总结	(227)

习题八	(229)
第 9 章 含两个储能元件的电路的全响应	
9.1 设计挑战	(241)
9.2 通信和功率系统	(241)
9.3 含两个储能元件的电路微分方程	(242)
9.4 二阶微分方程的解——自然响应	(246)
9.5 RLC 并联电路的自由响应	(248)
9.6 RLC 并联临界阻尼电路的自由响应	(250)
9.7 RLC 并联欠阻尼电路的自由响应	(251)
9.8 RLC 电路的强制响应	(254)
9.9 RLC 电路的全响应	(257)
9.10 电路分析的状态变量法	(260)
9.11 复平面上的根	(265)
9.12 RLC 电路的 PSpice 分析	(267)
9.13 实例验证	(268)
9.14 设计挑战的解决方法	(269)
习题九	(272)
第 10 章 正弦稳态分析	
10.1 设计挑战——运放电路的设计	(286)
10.2 交流电	(286)
10.3 正弦量	(287)
10.4 正弦激励下 RL 电路的稳态响应	(288)
10.5 复指数激励函数	(289)
10.6 相量的概念	(290)
10.7 R 、 L 、 C 元件特性方程的相量形式	(290)
10.8 阻抗和导纳	(293)
10.9 基尔霍夫定律的相量形式	(296)
10.10 结点电压分析与网孔电流分析	(297)
10.11 叠加定理、戴维南和诺顿等效电路、电源变换	(299)
10.12 相量图	(301)
10.13 PSpice 在正弦稳态分析中的应用	(302)
10.14 含运算放大器的电路	(303)
10.15 应用 MATLAB 分析正弦稳态电路	(304)
10.16 设计挑战的解决方案	(306)
10.17 总结	(308)
习题十	(309)

第 11 章 交流稳态功率

11.1	设计挑战——最大功率传输	(312)
11.2	周期量的有效值	(312)
11.3	瞬时功率	(313)
11.4	平均功率、无功功率、视在功率	(314)
11.5	复功率	(316)
11.6	功率因数提高	(317)
11.7	功率叠加定理	(319)
11.8	最大功率传输定理	(321)
11.9	耦合电感	(322)
11.10	理想变压器	(328)
11.11	用 PSpice 对变压器电路进行分析	(330)
11.12	实例验证	(332)
11.13	最大功率传输电路的设计	(333)
11.14	总结	(335)
	习题十一	(336)

第 12 章 三相电路

12.1	设计挑战——功率因数的提高	(339)
12.2	三相电压	(340)
12.3	Y—Y 型电路	(342)
12.4	Y— Δ 变换	(346)
12.5	Y— Δ 三相电路	(348)
12.6	对称三相电路	(350)
12.7	三相电路的功率	(354)
12.8	三相功率的测量	(358)
12.9	对称三相电路和 PSpice	(360)
12.10	PSpice 电路仿真分析验证举例	(361)
12.11	课题设计	(363)
12.12	总结	(365)
	习题十二	(365)

第 13 章 频率响应

13.1	设计挑战——收音机调谐器	(369)
13.2	增益、相移和网络函数	(370)
13.3	伯德(Bode)图	(375)
13.4	谐振电路	(383)
13.5	应用 PSpice 分析频率响应	(387)
13.6	应用 MATLAB 绘制 Bode 图	(389)

13.7	收音机调谐器的设计	(389)
13.8	总结	(392)
	习题十三	(393)
第 14 章 拉普拉斯变换		
14.1	拉普拉斯变换的概念	(395)
14.2	拉普拉斯变换的基本性质和运算定理	(397)
14.3	反拉普拉斯变换	(400)
14.4	运算电路	(404)
14.5	应用拉普拉斯变换分析线性电路	(407)
14.6	网络函数	(409)
14.7	卷积	(412)
14.8	用 MATLAB 进行拉普拉斯变换	(414)
	习题十四	(416)
第 15 章 非正弦周期电路		
15.1	设计挑战	(420)
15.2	信号的正交函数分解	(421)
15.3	傅里叶级数	(422)
15.4	傅里叶系数与函数的对称性	(424)
15.5	傅里叶级数的指数形式	(426)
15.6	周期信号的频谱	(427)
15.7	傅里叶有限级数	(428)
15.8	非正弦周期电路的有效值和功率	(430)
15.9	非正弦周期电流电路的计算	(432)
15.10	设计挑战问题解答	(433)
15.11	非正弦周期电流电路的 PSpice 模拟	(434)
	习题十五	(437)
第 16 章 滤波电路		
16.1	设计挑战——载波电话中的低通滤波器	(440)
16.2	电滤波器	(440)
16.3	滤波器	(440)
16.4	二阶滤波器	(443)
16.5	高阶滤波器	(449)
16.6	零极点和 S 平面	(453)
16.7	滤波电路中的失真	(456)
16.8	全通滤波器及其网络函数	(457)
16.9	载波电话中低通滤波器的设计	(458)
16.10	用 PSpice 验证设计实例	(460)

习题十六	(461)
第 17 章 二端口网络	
17.1 设计挑战	(463)
17.2 二端口网络的参数	(464)
17.3 二端口的 Z 参数和 Y 参数	(464)
17.4 二端口的混合参数和传输参数	(468)
17.5 二端口参数之间的关系	(470)
17.6 二端口的等效电路	(472)
17.7 二端口的连接	(473)
17.8 二端口参数的 PSpice 求法	(475)
17.9 设计挑战问题解答	(476)
习题十七	(477)
 部分习题参考答案	 (482)
参考文献	(490)

第 1 章 电路变量

人们在日常生活中发现了许多电现象,科学家对电现象不断加以研究,有关电荷的知识逐渐积累发展,形成电气定律。本章主要阐述电路设计过程。在这里,我们将阐述如何应用电荷、电流、电压、功率和能量等变量来描述和分析电路元件。电路设计是电路元件综合的过程,目标是实现所要求的电路变量。本章将以喷气阀电路设计为例,讲解电路设计过程。

1.1 设计挑战——喷气阀控制器

通常我们需要一个电路为诸如泵和阀门等器件提供能量。我们需要确定该器件需要多大的电流和电压才能使它在预期的时间内工作。在这里我们考虑一个喷气阀控制器,该控制器在 1 min 的工作时间内需消耗 40 mJ 的能量。能量需经过其他的器件如电池供给喷气阀控制器。我们需要绘出喷气阀控制器及其能源供应电路模型。在考虑简单的电路时,根据传递到喷气阀控制器的能量来确定所需的电压与电流。在本章末,我们将确定为使喷气阀控制器在 1 min 的工作时间内消耗 40 mJ 的能量所需的电压和电流,以及所需的电池。在进行喷气阀控制器电路设计之前,我们将从下节开始详细地阐述电路变量。

1.2 电路与电流

与其他动力源相比,电能最突出的特性是流动性和灵活性。电能可以根据用户的需要沿着二条导线移动到任何点,并转换为光、热或运动。

一个电路或电网络是由电气元件相互连接而成,电气元件连接成闭合路径,使电流可连续流动。一个简单电路如图 1.2.1 所示,图中有大家熟知的两个元件:电池(U_s)与电阻(R)组成,每个元件用图 1.2.2 所示二端元件表示。元件有时又叫器件,端子有时又叫结点:

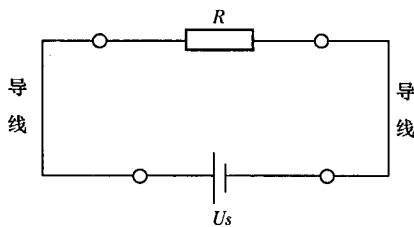


图 1.2.1 一个简单电路

一个有两个端子的基本元件如图 1.2.2 所示。基本元件不可再分为其他元件,但可以由电气变量——电压和电流进行数学描述。

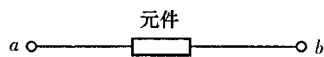


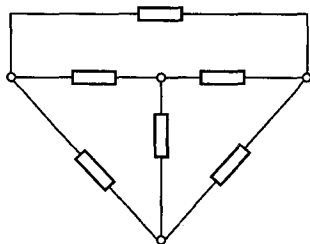
图 1.2.2 一个通用的具有端子 a 和 b 的二端电气元件

一个由一组元件相互联接组成的较复杂的电路如图 1.2.3 所示,图中给出了端子的联接情况。

电流可在电路中流动,电流是流过给定点的电荷随时间的变化率。电荷能引起电现象,是物质固有的特性。电荷 q 的大小可以用电子的电量来表示,一个电子的电量为 $-1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$,也就是说 -1 C 的电荷有 6.24×10^{18} 个电子的电量。电流流过某特定区域时,其大小是单位时间内流过该区域的电荷。电流用公式表示为:

$$i = dq/dt \quad (1.2.1)$$

式中 q 表示电荷,单位为 C(Coulombs),电流的单位为 A 图 1.2.3 一个含六个元件的电路 (Ampere), 1 A 为 1 C/s 。



整个这一章我们都用小写字母表示随时间变化的量,例如 $q(t)$;用大写字母表示恒定的量,例如 Q 。

电流的方向习惯上表示正电荷的流动方向,这个习惯最初是由本杰铭·福兰克林(Benjamin Franklin)提出来的。当然,我们现在知道在金属中流动的是带负电的电子,但习惯上假设为正电荷的流动。

图 1.2.4 表示电流的表示法,电流的标注由两部分组成:电流的值(也可用变量名表示)和指定的方向。图 1.2.4 所示有两种方法表示电流的方向:电流 i_1 表示电流从端子 a 流到端子 b ,电流 i_2 表示电流从端子 b 流到端子 a ,电流 i_1 和 i_2 大小相等方向相反,即: $i_1 = -i_2$ 。

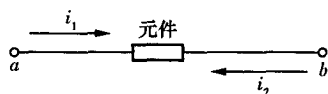


图 1.2.4 电路元件中的电流

我们用箭头表示电流的方向。一个完整的电流描述需要两个量:电流值(可以为正或为负)和电流方向(由箭头表示)。

如果流经元件的电流是恒定的,我们可以用恒定值 I 表示,如图 1.2.5,恒定电流又叫直流 DC(Direct Current)。直流 DC 也即幅值为恒定值的电流。

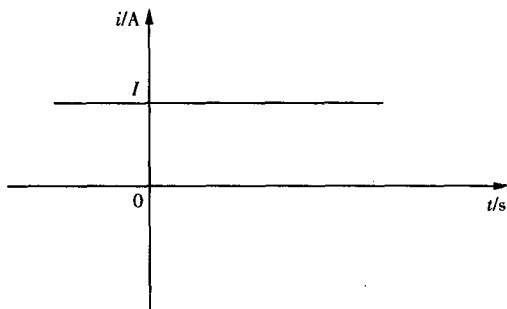


图 1.2.5 幅值为 I 的直流电流

随时间变化的电流 $i(t)$ 有许多形式,如斜波函数、正弦函数或指数函数,示于图 1.2.6。正弦电流又叫交变电流 AC(Alternating Current)。

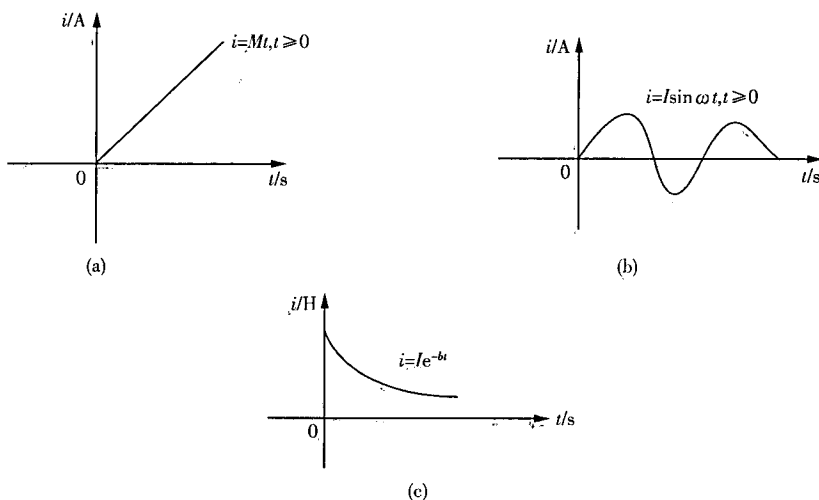


图 1.2.6 (a)斜波函数 (b)正弦函数 (c)指数函数

如果电荷 q 已知, 电流 i 可以很容易由式(1.2.1) 计算出来, 另一方面, 如果电流 i 已知, 电荷 q 也很容易计算出来, 我们有:

$$q = \int_{-\infty}^t I d\tau = \int_0^t I d\tau + q(0) \quad (1.2.2)$$

其中 $q(0)$ 是 $t=0$ 时的电荷值。

例 1.2.1 已知进入元件的电荷为 $q=6t+5$ C, 求从元件端子流进的电流。

解: 由式(1.2.1)得: $I=dq/dt=6$ A, 其中电流的单位为 A。

例 1.2.2 如图 1.2.6(a)所示, 已知流经元件的电流为 $i=Mt, t \geq 0$, M 为恒定值, 假设 $t=0$ 时, 电荷为 0 ($q(0)=0$), 求流进元件端子的电荷。

解: 由方程(1.2.2), 得到:

$$q = \int_0^t M\tau d\tau + q(0) = 1/2 Mt^2 \text{ C}$$

例 1.2.3 假设流经元件的电流为图 1.2.7所示, 假设 $q(0)=0$, 求电荷 $q(t)$, 并画草图表示 $q(t)$ 的波形。

解: 根据图 1.2.7, 电流 $i(t)$ 为:

$$i(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & 0 \leq t \leq 1 \\ 1/2(t+1) & t > 1 \end{cases}$$

根据式(1.2.2), 有:

$$q(t) = \int_0^t i(\tau) d\tau + q(0)$$

当 $0 \leq t \leq 1$ 时

$$q(t) = \int_0^t 1 d\tau = t$$

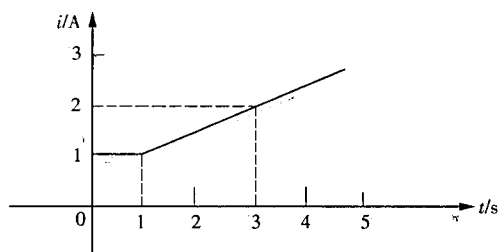


图 1.2.7 例 1.2.3 的电流波形图

当 $t > 2$ 时:

$$\begin{aligned}
 q(t) &= \int_0^1 1 d\tau + \int_0^t 1/2(\tau + 1) d\tau \\
 &= 1 + (1/4\tau^2 + 1/2\tau)\Big|_0^t \\
 &= 1 + 1/4t^2 + 1/2t - (1/4 + 1/2) \\
 &= 1/4t^2 + 1/2t + 1/4 \text{ C}
 \end{aligned}$$

$q(t)$ 的波形示于图 1.2.8, 可见, 尽管 $i(t)$ 在 $t=0$ 时不连续, 但 $q(t)$ 为连续函数。

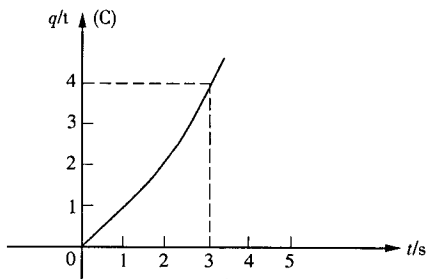


图 1.2.8 例 1.2.3 的 $q(t)$ 的波形

1.3 量纲、单位

为了表示电路与其元件, 在电路中出现的参数必须有一致的单位、量纲。在 1960 年的国际度量衡会议上, 提出国际公制单位, 通常称 SI 单位体制。

SI 是国际公制单位系统。基本的 SI 单位示于表 1.3.1, 单位的符号通常用特定的字母或字母的组合来表示, 一般是相应英文和人名的缩写。

表 1.3.1 SI 基本单位

量的名称	SI 单位	
	名称 (name)	符号 (symbol)
长度 (length)	米 (meter)	m
质量 (Mass)	千克 (公斤) (kilogram)	kg
时间 (Time)	秒 (second)	s
电流 (Electric current)	安[培] (Ampere)	A
热力学温度 (Thermodynamic temperature)	开[尔文] (Kelvin)	K
物质的量 (Amount of substance)	摩[尔] (mole)	mol
发光强度 (Luminous intensity)	坎[德拉] (candela)	cd

根据 SI 基本单位可推导出其它常用的物理量的单位, 如表 1.3.2 所示。例如, 电荷单位库仑(C)可以用电流单位与时间单位的乘积推导出来, 即安培·秒($A \cdot s$), 能量的单位焦耳(J), 是力单位乘距离的单位($N \cdot m$)。

SI 单位的优越性在于可用十进位系统来表示对基本单位而言很大或很小的数。当表示很大或很小的数时, 我们可以在基本单位前加上标准词头, 从而使得数的表示很简洁, 例如通常用的词头厘米(cm)实际是 0.01 米。标准词头是用 10 的幂来表示的, 如表 1.3.3 所示。在实际应用中, 十进位倍数或词头往往后跟适当的单位, 例如, 1 200 W 写作 1.2 kW, 0.008 A 写作 8 mA。