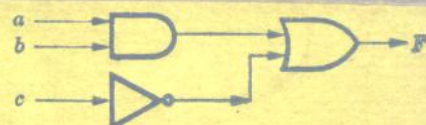
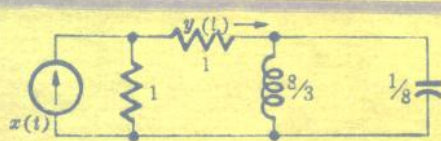
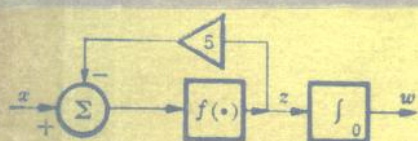


系统、 网络与计算： 基本概念



(美) M·L 德陶佐 等著
江 缉 光 等译

人民教育出版社

系统、网络与计算: 基本概念

(美) M. L. 德陶佐等著
江 缉 光 等 译

人 民 教 育 出 版 社

1978.10.北京

2788/30

系统、网络与计算: 基本概念

(美) M.L. 德陶佐等著

江 缉 光 等 译

*

人民邮电出版社出版

新华书店北京发行所发行

人民邮电出版社印刷厂印装

*

开本 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张 24 字数 551,000

1978年10月第1版 1979年5月第1次印刷

印数 00,001—36,000

书号 15012·0101 定价 2.00 元

前 言

这本书是五年以前开始的在麻省理工学院电工程系进行的教学试验的产物。我们的第一个班,是由二十名志愿参加者组成的。在当时看来,似乎是根本背离了传统的网络分析课程,向他们介绍了数字系统、计算方法、非线性系统、差分方程组——这一切都是与较为经典的网络理论结合着讲授的。

我们的教学试验,早期在材料的选择、展开和组织上存在着较多的欠缺条理和先入之见,演变到目前成为较有系统、减少了混乱的课程,其间日益频繁地出现在我们面前的一个根本问题是:随着在信息处理、通讯及控制等方面电路网络的应用日见减少,而计算机的应用愈益增加,未来的电气工程师的方向和目标是什么?这个不限于个别大学的问题,目前仍然没有解决。这个问题的重要性在于它决定着大学二年级第一门技术课的内容和性质。不能说我们已经找到了未来电气工程师所必需的基础,但开设这门课的动机却是基于上面所提出的问题。我们的动机(它的细节以及更确切的说明放在第一章中)是建立在这样一种信念上:未来的电气工程师应该能够通晓、选择、使用多种多样的基本单元,包括电路元件、运算放大器、逻辑门及计算机算法,对各种数学技巧与物理设备,能运用自如,在实现通讯、计算及控制方面的任务中,能够选择那些最合适的东西;此外,他在完成这些任务时,不应对某一类系统感到胆怯或抱有成见;他所学的技术知识,应该是十分基本的,这样才能用于解决他们将来要面临的种类广泛的问题。

在麻省理工学院,我们这个教学试验最后形成了两个学期的课。第一学期的内容就是这本书,着重于连续系统和网络、数字系统、用于系统分析的计算方法等方面的基本概念。由于重点在基本概念上,因此本书中所涉及的系统和方法,只限于变量数目很少的系统——典型的变量数是一个或两个。第二学期的内容是本书的下编《系统、网络与计算:多变量法》,重点放在将基本概念扩大应用于多变量的大系统的方法上。某些学生,特别是有志于控制方面的,两个学期的课都要学。另一部分学生,主要是有志于计算机方面的,只学第一学期的课。

在本书中,我们把传统上分散在连续系统和网络、数字系统、计算方法三个领域的内容合并在一起。这有几个理由:如果开设三门不同的课程,除了不经济之外,单独设课就把每一部分强调得过分,以致超出了专业的需要。一些共同的概念,例如描述系统性能的方程组的建立,等效系统等,放在一门课程中施教更为经济。另外,某些工作如加法,可以用电阻网络来完成,也可用运算放大器、数字加法器或计算程序来完成,联系起来研究,可以引起对比,这不仅是教学上的需要,也是实际工作中所希望的;最后,联系在一起进行探讨,使学生体会到几种不同的途径和技术有同等价值,这样能扩大他们的眼界。当然,用这种特殊方法去教这些内容,会使学生对问题的看法和他们的老同学有很大的不同。他们对过去被认为是重要的一些课题知道得少一些,但同时对另外一些课题及途径知道得多了——例如知道了利用数字系统和计算方法能做什么。在数

学和工程方面,他们考虑问题的方式也不同了,因为强调了某些基本概念,例如函数、系统地建立方程、存在性、直线性等,这些对于不同类型的系统都要用到。

虽然这本书是给有志于通讯、计算及控制的电工程系二年级学生用的,但对希望了解现代基本理论的工程技术人员,以及从事于工程之外的学科——例如经济学——而又正在用到工程方法的工作人员,也是有用的。

书中的一些习题最好能用计算机求解,有些实际上也只能用计算机求解。在麻省理工学院,仅在最近两年我们的学生使用了 APL 语言的人机对话终端机及几种辅助通用程序,可以利用它解代数方程或微分方程组,计算系统函数值,设计及分析所提出的迭代法则等。虽然使用计算机是我们的愿望和宗旨,但这并不是必不可少的。用其它程序语言及设备也能收到同样的效果,要是没有计算机,完全不用计算机,注意力集中在用一、二个变量所描述的基本概念上也未尝不可,这并不会带来实质上的损失。

本书分为十一章,第一、二章是技术性的前言及主要内容的介绍。第三、四章讨论静态的或者无记忆的、连续的(模拟)系统和电阻网络;第五章是用于上述系统的计算分析;第六章是无记忆离散的(组合的或数字的)系统;第七、八章是动态的连续的网络及系统(分别从状态、输入-输出的观点讨论);第九章是用于这些系统的计算分析;第十章是动态数字系统;第十一章是有延迟的线性系统的特殊情况。各章末的习题是为了说明应用及启发新的思路而选定的。习题的编号与节次对应,各节习题的编排顺序一般是由易到难。

在麻省理工学院,我们在一学期中教了第三、四、五、六、七、八、十章及附录。对已经学过传统的网络理论的学生,作为计算方法及数字系统的一学期课程,可选用第三、五、六、九、十章为基本内容。已学过或者以后还要学数字系统的学生,一学期内需学连续系统、网络及计算方法时,可选用第三、四、五、七、八、九、十一章为基本内容。

这本书和它的下编都是由四位作者合写的。每一章都由主要执笔者重写过几次,主要执笔者如下:阿坦斯四、五、七、八章;斯潘六、八、九、十章;梅森三、四、十一章;德陶佐一、二、三、四、五、七、九章并负责全书。

我们愿对所有促成本书的人表示感谢(以下志谢略——译者)。

M. L. 德陶佐 M. 阿坦斯

R. N. 斯潘 S. J. 梅森

译 者 的 话

本书是原作者在美国麻省理工学院进行课程改革试验过程中编写的, 供电工程系二年级学生使用。

本书的特点是将系统理论、网络理论及数值计算三方面的基本概念与分析方法密切结合起来, 以适应用数字计算机进行系统分析、设计的需要。相当大的部分是围绕电网络进行讨论的, 所以其中仍包括有一般《电路原理》教材的基本内容。它将电网络和一般的系统结合起来讨论, 这样就可以从一般的系统分析的角度来研究电网络, 也有助于将电网络的基本概念和分析方法用于其它各种系统。针对用计算机进行系统分析的需要, 书中还介绍了几种求方程式的数值解的基本方法。

这本书将原来分属许多门课程比较广泛的基本内容, 概括到一本教材之中, 有一定的参考价值。所以我们将它译出, 供电机、自动控制等专业的学生以及技术人员、教师参考。在翻译过程中, 对原书中的个别错误作了订正。

参加本书翻译工作的有: 肖达川(第十章)、唐统一(第八章)、王先冲(绪言, 第一章, 第二章), 杨福生(第五章、第九章)、陈允康(第七章)、周礼杲(第六章、第十一章)、夏明玉(第四章)、江缉光(第三章)。由江缉光对全书译文进行了校对。

由于译者水平不高, 译文中难免有不妥和错误之处, 欢迎读者批评指正。

目 录

前言	1
----	---

第一章 引 论

1.1 主旨和历史	1	连续-离散维	5
1.2 目的	2	线性-非线性维	5
解析-算法维	2	目的及方法的小结	7

第二章 系统及状态模型

2.1 系统的定义及分析	8	状态模型的推广	26
2.2 综合	13	可用状态模型形式表示的系统的规则	27
2.3 有记忆的及无记忆的系统	14	本节小结	28
无记忆系统及关系	21	习 题	29
2.4 状态模型	24		

第三章 连续的无记忆系统

3.1 引言	32	隐式系统	41
3.2 定义	32	3.6 直线性	44
3.3 用函数框建立物理器件的模型	36	3.7 等效和近似	47
3.4 显式系统和隐式系统	37	近似	50
3.5 系统方程的列写和求解	38	习 题	53
显式系统	39		

第四章 电阻网络

4.1 引言	56	线性节点电压方程: 电流源	76
4.2 网络结构	57	线性节点电压方程: 电压源	77
4.3 约束	58	线性节点电压方程: 非独立源	80
概述	58	非线性节点电压方程	81
网络变量	58	节点电压方程的解: 存在性和唯一性	83
参考方向	60	4.5 直线性	84
拓扑约束(KCL和KVL)	61	节点电压方程的直线性	84
元件约束	64	迭加原理	86
4.4 电阻网络方程的列写和求解	71	齐性	88
节点电压	71	4.6 等效	90
一般节点电压方程式	73	概说	90

电阻的串、并联	91	比例器的实现	101
非线性网络的等效	95	求和器的实现	103
戴维南和诺顿等效电路	97	电阻-二极管网络及门限方框	104
4.7 由电阻网络组成的框图系统	101	单调增长的分段直线函数的实现	106
概说	101	习 题	106

第五章 迭代法

5.1 引言	114	5.4 $F(x)=0$ 的迭代解法: 牛顿法	128
5.2 迭代法	114	从匹卡德法引出牛顿法	129
5.3 $x=f(x)$ 的迭代解: 匹卡德算法	118	牛顿法	130
解答的存在性	119	由泰勒级数展开引出牛顿法	130
解答的唯一性	120	牛顿法的收敛性	132
算法 $x_{k+1}=f(x_k)$ 的收敛性	122	收敛速度	133
收敛速度	124	5.5 $f(x)=x$ 的解: 高阶收敛	135
收缩性的图象解释	125	5.6 结论	136
旧例新释	126	习 题	136
本节摘要	128		

第六章 离散的无记忆系统

6.1 引言	144	6.6 组合逻辑和布尔函数	156
6.2 逻辑电路	145	6.7 布尔函数的最小化	161
6.3 逻辑门	147	6.8 例题, 功能完备性和自由选取	167
6.4 布尔代数	150	习 题	172
6.5 布尔函数及其表达式	153		

第七章 动态系统和网络: 状态分析

7.1 引言	179	指数激励	206
7.2 一阶框图系统	180	正弦激励	206
7.3 电容和电感: 动态网络的基本单元	184	非线性一阶微分方程式	207
特性的数学表示	185	7.7 线性一阶网络和系统的阶跃响应和冲激 响应	208
从物理上看电容器和电感器	188	RC 网络: 阶跃响应	209
网络元件中的功率和能量	189	RC 网络: 窄脉冲响应	212
各种电量及其相互关系	191	直线性和迭加	213
7.4 一阶网络	192	定理 7.6-1 的证明	215
状态方程和输出方程式的列写	193	一阶运算放大器系统	217
用网络元件组成积分器	196	二极管-电容器网络	218
7.5 简单一阶常微分方程式的求解	198	7.8 二阶系统和网络	220
非线性一阶微分方程式的浅说	199	两个联立微分方程的列写	220
7.6 一阶微分方程的求解	201	两个简单二阶系统的求解	223
非强制情况	202	习 题	227
强制情况	203		
恒定激励	205		

第八章 动态系统与网络: 输入-输出分析

8.1 引言	234	8.6 阻抗: 网络的系统函数	258
8.2 输入-输出表示方式的实例	235	RLC 网络实例	258
一般结论	237	一般考虑	259
8.3 奇异函数	237	元件阻抗的使用	261
8.4 线性微分方程的求解	240	8.7 S 平面; $H(s)$ 的图解求值	263
重根	244	8.8 正弦稳态分析	265
用自然频率激励	246	概述	265
高阶方程	246	复数与实数激励	266
突然激励	247	旋转矢量	268
强制函数与解的导数	250	求频率响应	269
迭加	252	8.9 阻抗与自然频率	273
一般结论	253	习 题	275
8.5 稳态解和系统函数	256		

第九章 微分方程的计算解答

9.1 引言	283	方法的分类	293
9.2 定积分的计算	283	开型法	295
插值多项式	285	闭型法	296
积分方法的特例	287	9.4 开型法及闭型法的误差	298
积分误差	290	习 题	300
9.3 常微分方程的计算解答	292		

第十章 有限状态机

10.1 引言	304	部分说明的机器	316
10.2 离散记忆元件	304	缩减机的性质	317
组合锁	306	10.6 时序电路	317
10.3 有限状态机的定义	307	时序电路的综合	322
作为有限状态机的组合锁——状态表和转移图	308	用 $J-K$ 触发器实现	324
10.4 输入-输出特性	309	10.7 有限状态机的局限性	329
10.5 有限状态机的设计	311	习 题	329
状态等价	313		

第十一章 理想延迟和卷积

11.1 引言: 利用非线性和理想延迟的线性传输系统	334	延迟	339
11.2 理想延迟和积分	336	11.5 无耦合线性模型: 带有局部反馈的并联延迟	341
11.3 记忆为理想延迟形式时的状态模型	338	11.6 原始的一阶模型的脉冲响应	343
11.4 基本的线性模型: 具有并联反馈的级联		11.7 由级联延迟变换为并联延迟的示例	345

11.8 有限的无反馈模型及其单位脉冲响应.....	347	11.13 包含延迟、微分和积分的卷积	355
11.9 匹配滤波器.....	348	11.14 积分和延迟作为系统的记忆元件	
11.10 迭加积分.....	351	的比较.....	357
11.11 卷积运算.....	352	11.15 系统函数.....	359
11.12 表示卷积基本性质的线性系统等效.....	354	习 题.....	361
附录 A 复数和指数.....			364
译名对照表.....			369

第一章 引 论

本章的目的是帮助读者了解为什么本书用这种特殊的方式写这些特殊的内容。在一定的意义上,可以认为本章是前言的延伸,因为对教师来说,大部分内容、概念的来源、以及研究的方向,他们都已了解,本章不过是为他们作一回顾。但是对学生来说,他们一般是不了解这些内容的,本章提供了一些历史背景以及某些主旨。

1.1 主旨和历史

确定一门大学课程的质量有着许多难以掌握的因素,我们认为,这个问题似乎可以从这样三个基本方面来进行考察,那就是教学法、关联性、以及持久性。教学法包括:教课方法;如何把教学内容分配到讲课、课堂练习、实验、作业、辅导等环节中;叙述的简练及连贯等。此外,或许是更重要的,通过教师对课程的兴趣和热情,好的教学法可使学生有勇气去钻研他们还不太会解决的问题。关联性是表示本课程如何密切地反映这个领域中振奋人心的尖端研究与进展,其基本内容在现实中的重大应用,以及为高度专门化和学位研究所作的准备。最后,持久性反映在避免课程的主要内容现在很时兴,将来却不那么重要了。

用上述尺度衡量电工程系现行课表中的基本课程,得到的结论就成为编写本书主题的基本动机。在数字计算机和控制及通讯的进展带来技术上的巨大变革时,传统的电工基本课程,特别是在关联性和持久性上就显得有问题了。透析近七十年来电工课程发展的历史,或许有助于理解最近的这些变化及其后果。

例如考察从1900年以来麻省理工学院电工程系历年课程设置情况,我们注意到可以分为三个阶段,每一阶段有着大体一致的要求。第一个阶段(1900—1945)所涉及的是电能的生产、分配和使用。在这个阶段中的课程有如磁路、变压器、交流电路;论文的题目如“宾夕法尼亚州铁路系统的电气化”等。第二个阶段(1945—1965)所涉及的是通讯、信息处理和控制用电子学。在这个时期中雷达盛行了,信息论发展了,电子网络及滤波器几乎应用到每个能应用的“任务”之中。第三个阶段(1965—),就是我们现在已进入的阶段,是关于数字计算机、信息的数字处理、自动判定等。

在电工程系课程中的技术课程或主要电类课程的演变经历了这三个阶段的同时,数学的内容却几乎没有大的变化。具体地如两个或三个学期的微积分,一个学期的微分方程,一个学期的工程应用数学,从1900年到1976年都一样。

从历史回顾中得出两点结论或教益。第一,虽然技术有了变化,数学的基本内容几乎是不变

的,它具有高度的关联性及持久性,因此,在对数学课程作重大的变动之前,需要再三考虑。第二,多年来,技术性专题由于要保持关联性经历了很大的变化,但在引进新的专题时并不是将原有内容全部排除,而是将它们进行了概括和压缩,在更基本的意义上保留在新课程之中。例如,现在的学生不去学两个学期的电动机设计了,然而他们有足够的电磁理论和机电能量转换的知识,能够迅速理解这方面的专门书籍。

本书的基本宗旨在于关联性与持久性。在1965年前后,下面这种不协调的情况就已经表现得特别明显。我们电工程系的学生,接受的是经典的、“连续的”电工基本知识的训练;而在我们周围的世界里应用数字计算机或专用的数字系统,来进行着日益增多的系统分析及系统设计。采用多开设不同选修课的办法以适用现代工程技术,看来既不合算也不合理;例如,这办法把工程技术的一部分强调为基本的,而把另一部分当作次要的或非基本的,虽然教师和学生都知道后者具有重要意义。我们的动机中一个甚至更重要的因素是,考虑到存在着下述危险:如果学生不按前景的要求去学习涌现出来的新的基本知识,那么学到的东西将来有可能成为过时的。下一节要讨论这些基本内容是什么,以及本书的目的何在。

1.2 目 的

本书的主要目的是向读者介绍电工中侧重于系统的基本概念。现代电工包括许多性质不同的领域,例如控制、材料、电磁学、动力学、通信理论、电路及信号、生物电子学以及计算机。我们认为,一个学生不论他的最终专业是什么,都应该学习某些对于上述各个不同领域是共同而又基本的内容。

本书的内容包括某些技术基础及相应的应用数学,都是结合系统理论来讲授的。系统理论,特别是所谓状态模型的观点,是我们为达到上述目的所采用的方法的一部分。对此将在第二章中更加详细地讨论。类似于表示三维空间那样,我们用三个主要的维来进一步说明本书的内容,并把它们叫做连续-离散维,线性-非线性维,解析-算法维。这些维或者方面形成图1.2-1中的立方体,其中包含了所有有关的主要内容。

例如,传统的电网络及模拟的基本单元是线性的和连续的,而数字系统则是非线性的和离散的。另一方面,分析线性系统的方法,基本上是解析的,而在分析非线性连续系统方面很有用的迭代法及数值积分法都是算法的。对于以前没有遇见过这些术语的读者,通过下面三个例子或许能最好地说明这三方面各自的意义。

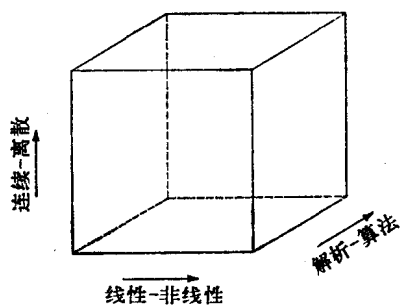


图 1.2-1 主要内容的表示

解析-算法维

考虑简单的一次多项式:

对于一切 x ,

$$f(x) = ax + b$$

a 及 b 满足下列约束

$$\left| \frac{b}{a} \right| < C \quad \text{及} \quad a > 0 \quad (1)$$

可以作出下面的陈述

$f(x)$ 有一个而且仅仅一个零点^① s , 有 $s = -b/a$, 并有 $-C < s < C$

这是一个很容易证明的定理, 它是寻求 $f(x)$ 的零点的解析方法的基础。这就是说, 给定两个实数 a 和 b , 我们可以用“除”及“乘以常数”的运算, 找到一个零点 s 的解析解。这表示在图 1.2-2 中, 图中表示乘法和除法的两个框, 可以是手算的乘、除, 或者是一个能完成这种运算的程序, 还可以是一个能实现这些任务的电子装置(即一个电压代表 a , 另一个电压代表 b , 将这两个电压加在除法框上, 就能产生一个输出电压, 代表 b/a)。

在一定意义上, 这个解析解是将隐式 $0 = ax + b$ 反演为显式 $s = -b/a$ 的结果。

现在研究下面找零点 s 的算法或者一组规则。

算法 1.2-1

1. 令 $i=0$ 及 $u_0=0$ 。
2. (a) 若 $f(u_i) > \epsilon$ ($\epsilon > 0$), 则 $u_{i+1} = u_i - c/2^{i+1}$; 转向第 3 步。
(b) 若 $f(u_i) < -\epsilon$, 则 $u_{i+1} = u_i + c/2^{i+1}$; 转向第三步。
(c) 若 $|f(u_i)| \leq \epsilon$, 则 $s \cong u_i$ 。停止。
3. 对 i 加 1, 并转向第 2 步。

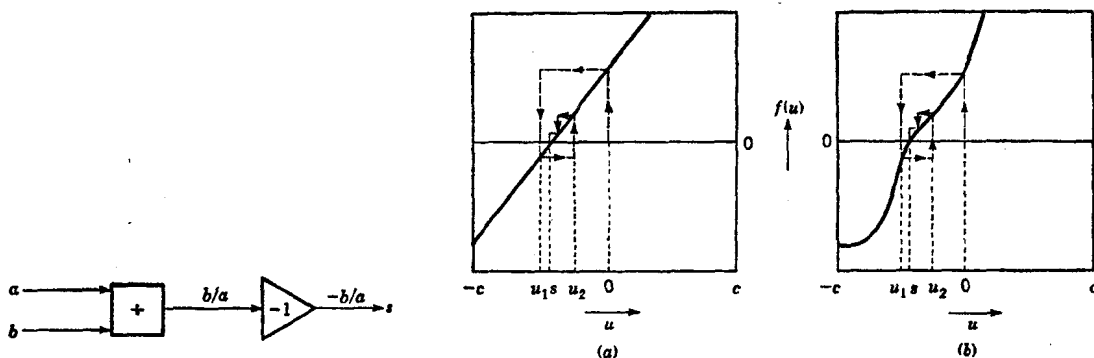


图 1.2-2 解析解答的说明

图 1.2-3 算法过程示意图

如图 1.2-3a 所示, 这一组规则产生了数列 $0, u_1, u_2, \dots$, 在每次迭代后(每一个 i 的新数值), u_i 向解 s 趋近的距离是前一次的 u_{i-1} 走过的一半, 容易证明, 这个数列可以按任何所需要的精度趋近于 s , 这个精度决定于所选定的允许误差 ϵ 。

如果读者去证明这一点, 就将导出一个关于这一算法的收敛性的定理。

① $f(x)$ 的一个零点 s 是指 x 取 s 值时 $f(x) = 0$ 。

由此看来,用算法 1.2-1 去求 s 可能显得很不自然,计算上也很费事,因为用下面的关系式能够得出准确的答案,

$$s = -b/a \tag{2}$$

但是可以设想 a 及 b 是不知道的,因为我们往往要和一个未知的或者对其内部不能了解的装置打交道,只知道对给定的 x ,该装置有一个相应的 $f(x)$ 。另外, $f(x)$ 可能不是一个一次多项式,不过可能知道它服从给定的约束,例如

对于一切 x ,

$$0 < m_1 \leq f'(x) \leq m_2 < \infty \quad |s| < c \tag{3}$$

这就是说, $f(x)$ 随着 x 的增加而增加,并且它的斜率在两个正实数之间。读者可以指望这种情况下算法 1.2-1 仍将收敛于零点 s , 如图 1.2-3b 所示。现在就可以看出算法 1.2-1 很有用处了,因为我们往往不知道求零点的任何解析方法。的确,如果多项式是高于四次的,我们知道,可以用平方根式、立方根式等算出的解析解是不存在的(伽罗瓦 Galois, 1811—1832)。然而,算法 1.2-1 却不论多项式的次数如何,只要(3)式成立,就可以按任何要求的精度趋近于零点。

上述的例子是用简单的题目来说明: 一个算法是一组进行数学运算的指令,编制它的目的是为了得出给定问题的解。不难想象,凡是其解析解答已知的任意复杂网络都存在求解的算法。现在,甚至以后,读者都可能会有理由地觉得奇怪:既然有了算法,用计算机就能为我们完成系统分析的任务,那么,我们为什么还必须首先研究网络和系统的基本知识呢?这是因为算法都限于解算某些特定类型的问题。[例如,算法 1.2-1 不能一般地去求 $f(x)$ 的零点,如果取消了(3)式的约束。]此外,要能从事任何一项建设性的和创造性的工作,无论是在算法或系统研制上,解算和判定过程中,都需要对系统及算法的基础有透彻的了解。

在结束前面的立方体上算法维的讨论之前,还希望对数学中算法的演进作一个简短的历史回顾。曾经有过一个时期,数学中的绝大部分内容,都来源并且应用于日常生活中的实际问题。欧拉(Euler 1707—1783)是这一算法年代的先驱,在他的心目中总是将他的定理和算法的实际应用,置于最主要的地位。在十九世纪里,对数学的抽象性和逻辑性方面,强调得越来越多,算法问题被置于次要地位。当时的数学家,都完全满足于证明解答的存在性,即使根本计算不出来也是如此。但是到了二十世纪三十年代后期,一个意义重大的技术发展,即计算机出现了。从图 1.2-4 中可看出这一发展的意义,多少世纪以来实际上没有什么变化的计算速度,这时陡然增加了六、七个数量级。过去需要计算几年的工作,现在只要几秒钟就能够完成。

由于计算机具有进行初等判断和不厌重复工作的能力,从而带来了这一惊人的计算速度上的变化。这对算法数学的再兴,以及更广泛地,对技术和人们的日常生活,产生了巨大的冲击作用。在我们这本书里不可能对这件事作深入的讨论。因此,我们将目标集中在某些算法基础上,这些算

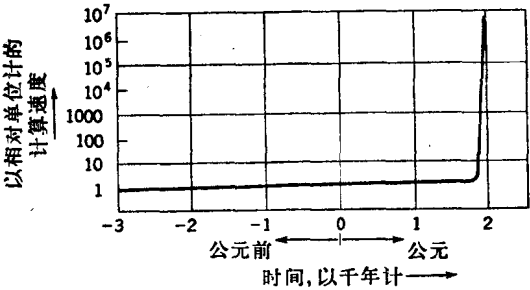


图 1.2-4 计算速度的历史进展

法在技术方面是用于分析连续系统，在数学方面是用于初等的分析。下面来进行立方体上另一维的讨论。

连续-离散维

假设我们希望把 0 到 49 之间两个整数用物理器件进行加法，我们可以取 A 及 B 两个容器，让每个容器中的水量代表一个整数。加法可以这样进行：将容器 A 中所盛的水倾入容器 B 中，然后测量 B 中的总水量。然而这种加法是不“完善”的，有不精确的地方，造成不精确的原因有：如由于不小心溅出了水；水有蒸发；量测误差等等。我们把这些不希望有的干扰总体地称之为噪声。为了在存在噪声的条件下求出这个和，我们把测出的量用四舍五入法取与其最接近的整数。这样，若测出的水的总量为 67.6 单位，我们就说和是 68，若测出为 67.4，就说和是 67。

其次，如果我们将上述的两个整数中的每一个都用两个容器代表，一个当作个位，另一个当作十位。将这些容量表示为 A_{10}, A_1 ，及 B_{10}, B_1 。于是 $A=18$ 对应于 $A_{10}=1$ 及 $A_1=8$ 。为了将 A 和 B 相加，我们来看一下十进制的加法规则：

1. 若 $9.5 \leq A_1 + B_1 < 10.5$ ，则弃去 $A_1 + B_1$ 的个位；若 $A_1 + B_1 \geq 10.5$ 则从 A_1, B_1 容器的水量中去掉十个单位。在这两种情况下，都应在十位的 $A_{10} + B_{10}$ 的水量内加进一单位的水量。
2. 若 $A_1 + B_1 < 9.5$ ，我们只需将 A_1 倾入 B_1 ，将 A_{10} 倾入 B_{10} 。

我们再来“测量”这个和，并且用舍入法取与其最接近的整数。即相加之后，如果容量 $A_{10} + B_{10} = 5.7$ 及 $A_1 + B_1 = 8.3$ ，我们认为和就是 68。

比较上述两种途径，我们看到用二容器法所能承受^①的噪声是在每个容器的全部容量的 $\pm 5\%$ 以内，而用一容器法，相应的噪声只是容器的全部容量的 $\pm 0.5\%$ 。因此，二容器法能承受的噪声是一容器法的十倍。这样的方法还可以施行到下面两个极端情况。一个极端是将整数 A 及 B 用尽可能多的容器来表示，而使每个容器中出现的不同水面的数目尽量少（即只有两个水面——满的或空的），为的是能最大限度地抵制噪声。这就导出了 1 和 0 的二进制，就是我们以后要讨论的所谓离散系统。另一个极端情况，我们可以只用一个容器中的水面高低代表一个实数，例如 π 这个数可以用 π 个单位的水量代表。这就表示了我们称之为连续系统的东西。一般说来，在信息的表示、传递或处理中，用离散方式代替连续方式，可以提高抗噪声的能力。当然，我们要研究的离散系统并不涉及水和容器，而是相应的电量，例如双触发器的电的状态，或者是磁心的磁化状态。

线性-非线性维

我们定义：有输入 x ，输出 y 的算子 L （器件，元件，系统）是线性的，当且仅当 a, b 为任意实数， x_1, x_2 为任意实数或实数值的函数时，有

$$L(ax_1 + bx_2) = aL(x_1) + bL(x_2) \quad (4)$$

^① 就是说，对每个容器中的水量，四舍五入后，我们就得到和的正确值。

式中 $+$ 是通常的算术相加。如果一个算子不遵从方程(4),则称为非线性的。例如下面的运算:

1. $y=x$
2. $y=4x$
3. 对一切 t , $y(t)=\int_0^t x(u)du$ $y(0)=0$

都是线性的,因为它们都满足方程(4)。又如下面的运算

1. $y=|x|$
2. $y=\frac{1}{x}$
3. 对一切 t , $y(t)=\int_0^t |x(u)|du$

就不满足方程(4),因此是非线性的。

方程(4)这个简单的约束是很强的,可以应用在许多物理器件和系统上。它在工程系统的分析及综合上引出很合适而又很有用的一种结构。然而,由于方程(4)是一个约束,它限制了能够有满意的解答的问题类型。

例如研究一个求线性算子的问题,此算子要能将每一个三角形“信号” $x(t)$ 转换成一个正弦式信号 $y(t)$,如图 1.2-5 所示,其中 t 代表时间,周期 T 的长短不限 (即不论 T 是一年还是百万分之一秒, $y(t)$ 在周期 T 中都是正弦式的)。

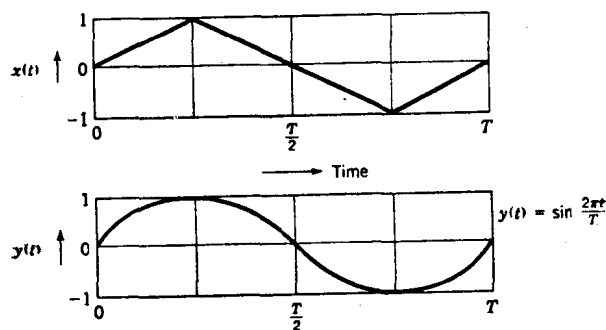


图 1.2-5 线性-非线性的维的例子

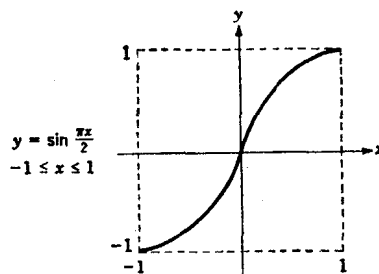


图 1.2-6 对图 1.2-5 例题的非线性算符

读者可能乐意去寻找这样一个算子,但他应该知道这样的一个线性算子是不存在的。另一方面,图 1.2-6 所示的一个简单的非线性算子,就能容易而准确地实现这一目的。那就是说,当 x 按三角形波变化, y 就按照所要的正弦式信号变化。

许多有趣而且有用的任务,往往能够用非线性的手段来完成,有时则是非用它不可。此外,做成计算机或数字处理器的大多数离散系统通常都是非线性的。以往在信息的处理及传递的应用上,几乎无例外地使用线性算子。由于计算机和算法技术的出现,非线性系统的分析与设计,虽然仍比线性系统的分析与设计要难一些,但已不再是可怕的难题了。

总而言之,我们的立方体上的线性-非线性维所提出的目标,导致既要研究线性的系统又要研究非线性的系统,无论系统是连续的或者离散的,分析上用解析的或算法的手段都是这样。

目的及方法的小结

从立方体的三个维看出,传统的电工基本知识只占立方体的八分之一,这就是图 1.2-7 中画有阴影线的,由线性的、连续的、解析的字样表示的那一部分。

本书和它的下编的目标,就是进一步探讨这个立方体,但并不是对各个部分花费同样多的时间,而是着重于我们认为比较基本的部分。根据上述基本内容,把系统分为三类:电网络,模拟框图系统及数字系统;并按有无记忆组织其内容。与之有关的数学有:布尔代数,应用于离散系统;解代数方程和微分方程的解析法、迭代法和数值积分法,应用于连续系统,在线性的

情况下用解析法,否则用后两种方法。自始至终我们都强调基本概念,这些基本概念包括诸如系统的正规定义,表征系统的方程的列写和求解,这些方程的解答的存在性及唯一性,算法的收敛性,以及系统的等效性等等。

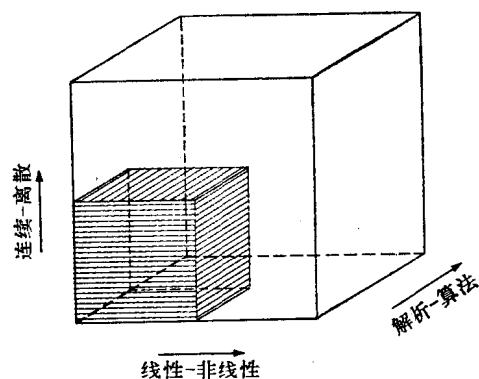


图 1.2-7 传统的电工基本内容(阴影部分)