

名校
一流老师
一流资源



三一丛书

信号与系统

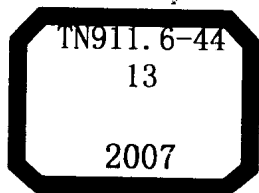
要点与解题

王霞 马春排 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

西安交大教学资源文库 三一丛书



信号与系统

要点与解题

王霞 马春排 编著

西安交通大学出版社

内容提要

本书为《信号与系统》课程学习的配套辅导教材,对其中的基本内容进行了详细的归纳和总结,并给出了各章学习中应注意的重点与难点。通过所举例题的详细解析来阐述课程学习中应掌握的基本原理、解题思路及分析方法,旨在启发读者学习《信号与系统》课程的兴趣,提高分析问题、解决问题的能力。全书共分为9章,附录中给出了自我检测题的参考答案和西安交通大学近年硕士研究生入学试题及答案。

本书适合作为普通高等院校电子信息工程、通信工程、自动化、电气工程与自动化、电子科学与技术等专业课程学习的参考教材,也可供报考相关专业硕士研究生的考生使用。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统要点与解题/王霞,马春排编著. —西安:
西安交通大学出版社,2007.2
(西安交大教学资源文库.三一丛书)
ISBN 978-7-5605-2329-3

I. 信... II. ①王... ②马... III. 信号系统-
高等学校-教学参考资料 IV. TN911.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2007)第 017262 号

书 名	信号与系统要点与解题
编 著	王霞 马春排
出版发行	西安交通大学出版社
地 址	西安市兴庆南路10号 (邮编:710049)
电 话	(029)82668357 82667874(发行部) (029)82668315 82669096(总编办)
印 刷	陕西宝石兰印务有限责任公司
字 数	353 千字
开 本	880mm×1230mm 1/32
印 张	9.5
版 次	2007年2月第1版 2007年2月第1次印刷
书 号	ISBN 978-7-5605-2329-3/TN·92
定 价	16.00 元

版权所有 侵权必究

丛书总序

为了使普通高等学校理工类专业的大学生更好地学习、掌握基础课和专业基础课知识,我们组织出版了这套“三一”丛书,目的就是提供一流的学习资源,使大家共享一流教师的教学经验和教学成果,为今后的学习打下良好的基础。

西安交通大学是国内仅有的几所具有百年历史的高等学府,是首批进入国家“211工程”建设的七所大学之一,1999年被国家确定为我国中西部地区惟一所以建设世界知名高水平大学为目标的学校。西安交大历来重视本科生教学,1996年成为全国首家本科教学评估为优秀的大学。学校拥有国家级、省部级、校级教学名师数十名,具有丰富的、一流的教学资源。本丛书均由西安交通大学长期在教学一线主讲的教授、副教授主编,他们具有丰富的基础课、专业基础课教学和辅导经验。丛书作者们在长期的教学实践中,深深了解学生在学习基础课、专业基础课时的难点和困惑点之所在,对如何使学生更有效地学习、掌握课程的基本知识和解题技巧进行了深入的探索和研究,并将成果体现于书中。

本丛书针对中少学时课程的特点和教学要求,以普通高等学校的学生为主要对象,不拘泥于某一本教材,而是将有特色和使用量较大的各种版本的教材加以归纳总结,取其精华,自成一体。书中对课程的基本内容、研究对象、教学要求、学习方法、解题思路进行了全面、系统的总结和提炼,按基本知识点、重点与难点、典型题解析、自我检测题等环

节进行编排。本丛书既可单独使用,也可与其他教材配合使用。

我们衷心希望本丛书成为您大学基础课和专业基础课学习阶段的良师益友,帮助您克服困难,进入大学学习的自由王国,并祝您早日成为国家的栋梁之材!

在学习使用过程中,您如果发现书中有不妥之处或有好的建议,敬请批评指正并反馈给我们,我们会进一步改进自己的工作,力争使您满意。

真诚感谢您使用西安交大版图书。

西安交大出版社网址:<http://press.xjtu.edu.cn>

<http://www.xjtupress.com>

理工医事业部信箱: jdlgy31@126.com

西安交通大学出版社

2006年6月

前 言

本书是与《信号与系统》课程内容相配套的学习指导参考书。

《信号与系统》是普通高等院校电气与电子信息类专业本科生继《电路》或《电路分析基础》课程之后必修的重要主干课程。该课程主要研究确知信号的特性,线性时不变系统的特性,信号通过线性时不变系统的基本分析方法,以及信号与系统分析方法在某些重要工程领域的应用。该课程所涉及的基本理论、基本思想和方法对所有从事相关专业的工程技术人员都是重要而且必需的。

信号与系统的概念广泛地涉及很多科学和技术领域。例如通信、航空和航天、地震检测、电子电路、声学、生物工程、气象预报等领域。通过本课程的学习,应使同学们掌握信号分析与线性系统分析的基本理论及分析方法,对工程中应用的简单系统建立数学模型,并对数学模型进行求解,提高分析问题与解决问题的能力,以适应信息科学与技术的飞速发展,并为在相关专业领域的深入学习打下坚实的基础。

《信号与系统》是一门专业基础性课程,内容体系比较完整,理论性较强,既有较为严格的数学基础,又有现代技术的实践背景。理解与掌握信号与系统的分析方法与分析思路是课程学习的主要内容和基本要求,那么如何才能有效地掌握信号与系统的分析方法和解题思路呢?多做习题是学好信号与系统课程的必由之路。只有通过一定数量的习题练习和训练,才能比较牢固地掌握有关的基本概念和基本分析方法。

为配合本课程的学习,本书通过梳理《信号与系统》课程的基本内容,归纳总结了课程学习中的重点与难点,给出了将近 200 道的例题分析。通过所举例题的详细解析来阐述课程学习中应掌握的基本原理、基本概念、解题思路及分析方法,促进学生对课程内容的理解与掌握,并激发学习者的深入思考。为使读者更好地掌握解题思路与基本知识

点,每一章后都给出了附有答案的自我检测题。通过这些例题与习题的训练,旨在启发读者学习信号与系统的兴趣,提高分析问题、解决问题的能力。

本书在编写过程中并没有拘泥于某一本教材,考虑到读者对象的专业不同,在选择学习中应掌握的基本知识点及重点、难点时都有所兼顾,对例题及自我检测题都做了精心的选择,希望对读者在学习掌握课程知识点与分析方法上能有所启迪。

本书的第2~5章由马春排编写,王霞编写了其余的各章节,并对全书进行了统稿。阎鸿森教授参与了本书编写大纲的制定,审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵的意见。本书在编写过程中得到了西安交通大学电子与信息工程学院信息与通信工程系有关领导的热情鼓励和大力支持,并得到了西安交通大学出版社的大力支持,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足和错误之处,恳请读者来信(wangxia@mail.xjtu.edu.cn)批评指正。

作者

2006年8月于西安交大

目 录

前言

第 1 章 信号与系统	(1)
1.1 基本知识点	(1)
1.2 重点与难点	(4)
1.3 典型题解析	(6)
1.4 自我检测题	(17)
第 2 章 信号与系统的时域分析	(20)
2.1 基本知识点	(20)
2.2 重点与难点	(25)
2.3 典型题解析	(26)
2.4 自我检测题	(47)
第 3 章 周期信号的频域表示——傅里叶级数	(52)
3.1 基本知识点	(52)
3.2 重点与难点	(57)
3.3 典型题解析	(59)
3.4 自我检测题	(74)
第 4 章 非周期信号的频域表示——傅里叶变换	(80)
4.1 基本知识点	(80)
4.2 重点与难点	(87)
4.3 典型题解析	(88)
4.4 自我检测题	(114)
第 5 章 采样	(125)
5.1 基本知识点	(125)
5.2 重点与难点	(130)
5.3 典型题解析	(131)
5.4 自我检测题	(146)

第 6 章 LTI 系统的频域分析	(151)
6.1 基本知识点	(151)
6.2 重点与难点	(154)
6.3 典型题解析	(155)
6.4 自我检测题	(174)
第 7 章 通信系统	(177)
7.1 基本知识点	(177)
7.2 重点与难点	(180)
7.3 典型题解析	(180)
7.4 自我检测题	(187)
第 8 章 连续时间信号与系统的变换域分析	(190)
8.1 基本知识点	(190)
8.2 重点与难点	(202)
8.3 典型题解析	(204)
8.4 自我检测题	(217)
第 9 章 z 变换	(220)
9.1 基本知识点	(220)
9.2 重点与难点	(229)
9.3 典型题解析	(230)
9.4 自我检测题	(249)
附录 1 自我检测题参考答案	(252)
附录 2 西安交通大学近年硕士研究生入学考试信号与系统试题	(274)
西安交通大学 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	(274)
西安交通大学 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	(278)
西安交通大学 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题	(281)
附录 3 西安交通大学研究生入学考试信号与系统试题答案	(285)
西安交通大学 2003 年攻读硕士学位研究生入学考试试题答案 ..	(285)
西安交通大学 2004 年攻读硕士学位研究生入学考试试题答案 ..	(288)
西安交通大学 2005 年攻读硕士学位研究生入学考试试题答案 ..	(291)
参考书目	(296)

第 1 章 信号与系统

这一章主要讨论信号与系统的基本概念,建立相应的数学描述方法,以便利用这种数学描述及其表示方法,建立起信号与系统的分析体系。

1.1 基本知识点

1. 信号的分类与描述

信号可以描述范围极其广泛的物理现象。信号可以分为确知信号与随机信号,也可以分为连续时间信号与离散时间信号。

确知信号可以表示成一个或几个自变量的函数。作为信号分析的基础,本课程只研究确知信号。

信号的描述方式:

物理上:信号是信息寄寓变化的一种表现形式;

数学上:信号是一个或多个变量的函数关系;

形态上:信号表现为一种随变量变化的波形。

2. 信号的自变量变换

由于信号可视为自变量的函数,当自变量改变时,必然会使信号的特性相应地改变。

(1) 时移变换

$$x(t) \longrightarrow x(t - t_0)$$

当 $t_0 > 0$ 时,信号向右平移 t_0 ; 当 $t_0 < 0$ 时,信号向左平移 $|t_0|$;

$$x(n) \longrightarrow x(n - n_0)$$

当 $n_0 > 0$ 时,信号向右平移 n_0 ; 当 $n_0 < 0$ 时,信号向左平移 $|n_0|$;

(2) 反转变换

$$x(t) \longrightarrow x(-t)$$

信号以 $t = 0$ 为轴做镜像对称。

$$x(n) \longrightarrow x(-n)$$

信号以 $n = 0$ 为轴做镜像对称。

(3) 尺度变换

$$x(t) \longrightarrow x(at)$$

$a > 1$ 时 $x(at)$ 是将 $x(t)$ 在时间上压缩 a 倍, $0 < a < 1$ 时 $x(at)$ 是将 $x(t)$ 在时间上扩展 $1/a$ 倍。

由于离散时间信号的自变量只能取整数值,因而尺度变换只对连续时间信号而言。而对离散时间信号来说,则对应着抽取与内插。

如: $x_1(n) = x(an)$ (a 为正整数)

显然 $x_1(n)$ 是从 $x(n)$ 中依次每隔 $a-1$ 点抽出序列中一个点的过程,这一过程称为对信号 $x(n)$ 的抽取。

$$x_2(n) = \begin{cases} x(n/a) & n = am \\ 0 & n \neq am \end{cases}, x_2(n) \text{ 是在序列 } x(n) \text{ 的每两点之间插入 } a-1 \text{ 个}$$

零的过程。这一过程称为对信号 $x(n)$ 的内插。

3. 信号的奇、偶分解

任何信号都能分解成一个偶信号与一个奇信号之和。对实信号有:

连续时间信号

$$x(t) = x_e(t) + x_o(t)$$

$$x_e(t) = \frac{1}{2}[x(t) + x(-t)]$$

$$x_o(t) = \frac{1}{2}[x(t) - x(-t)]$$

离散时间信号

$$x(n) = x_e(n) + x_o(n)$$

$$x_e(n) = \frac{1}{2}[x(n) + x(-n)]$$

$$x_o(n) = \frac{1}{2}[x(n) - x(-n)]$$

对复信号有:

连续时间信号

$$x(t) = x_e(t) + x_o(t)$$

$$x_e(t) = \frac{1}{2}[x(t) + x^*(-t)]$$

$$x_o(t) = \frac{1}{2}[x(t) - x^*(-t)]$$

离散时间信号

$$x(n) = x_e(n) + x_o(n)$$

$$x_e(n) = \frac{1}{2}[x(n) + x^*(-n)]$$

$$x_o(n) = \frac{1}{2}[x(n) - x^*(-n)]$$

4. 单位阶跃信号与单位冲激信号

(1) 单位脉冲序列 $\delta(n)$

$$\text{定义 } \delta(n) = \begin{cases} 1, & n = 0 \\ 0, & n \neq 0 \end{cases}$$

(2) 单位阶跃序列 $u(n)$

$$\text{定义 } u(n) = \begin{cases} 1, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases}$$

$\delta(n)$ 与 $u(n)$ 之间的关系

$$\delta(n) = u(n) - u(n-1) \quad (\text{一次差分})$$

$$u(n) = \sum_{k=0}^n \delta(k) = \sum_{k=0}^{\infty} \delta(n-k)$$

$\delta(n)$ 具有提取信号 $x(n)$ 中某一点的样值的作用。

$$x(n)\delta(n) = x(0)\delta(n)$$

$$x(n)\delta(n-n_0) = x(n_0)\delta(n-n_0)$$

(3) 单位阶跃信号 $u(t)$

$$\text{定义: } u(t) = \begin{cases} 1, & t > 0 \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

(4) 单位冲激信号 $\delta(t)$

$$\text{定义: } \delta(t) = \frac{du(t)}{dt}, \quad u(t) = \int_{-\infty}^t \delta(\tau) d\tau$$

信号 $\delta(t)$ 的取样性质

$$x(t)\delta(t) = x(0)\delta(t)$$

$$x(t)\delta(t-t_0) = x(t_0)\delta(t-t_0)$$

5. 离散时间复指数序列的周期性

离散时间复指数序列 $e^{j\omega_0 n}$ 不一定是周期的,要具有周期性,必须具备一定条件:

$$\frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{m}{N}$$

当 ω_0 变化时,并非所有的 $e^{j\omega_0 n}$ 都是互相独立的。离散时间信号的有效频率范围只有 2π 的区间,其中 $\omega = 0, \omega = 2\pi k$ 处都对应最低频率。而 $\omega = \pi$ 或 $\omega = 2k\pi + \pi$ 处都对应最高频率。

6. 系统的性质

(1) 记忆系统与无记忆系统 无记忆系统:在任何时刻,系统的输出都只与当前时刻的输入有关,而与该时刻以外的输入无关,则称该系统是无记忆系统。

记忆系统:如果一个系统的输出响应不仅与当前时刻的输入有关,而且与该时刻以外的其它时刻的输入有关,则称该系统是记忆系统。

在无记忆系统中有一种特例,即任何时刻系统的输出响应与输入信号都相同

$$y(t) = x(t), \quad y(n) = x(n)$$

这样的无记忆系统称为恒等系统。

(2) 可逆性与逆系统 如果一个系统对任何不同的输入都能产生不同的输出,即输入与输出是一一对应的,则称该系统是可逆系统。

如果一个系统对两个或两个以上不同的输入能产生相同的输出,则系统是不可逆的,称为不可逆系统。如果一个可逆系统与另一个系统级联后构成一个恒等系统,则称后者是前者的逆系统。

(3) 因果性 如果一个系统在任何时刻的输出都只与当前这个时刻的输入以及以前的输入有关,而和该时刻以后的输入无关就称这个系统是因果的,否则就是非因果的。

一般说来,非因果系统是不可物理实现的,这体现了因果性对系统实现的重要性。但在非实时处理信号的离散时间系统或信号的自变量并不具有时间概念的情况下,因果性并不一定成为系统能否物理实现的先决限制。例如在图像处理中,自变量是图像中各点的坐标位置,而非非代表时间。在某些数据处理中,如股市分析、经济预测等,实际上是以足够的延时来换取非因果性的实现。

(4) 稳定性 如果一个系统当输入有界时,产生的输出也是有界的,则该系统是稳定系统,否则就是非稳定系统。

工程实际中总希望所设计的系统是稳定的,因此稳定性对系统来说是非常重要的。

(5) 时不变性 如果一个系统当输入信号有一个时移时,输出响应也产生同样的时移,除此之外,输出响应无任何其它变化,则称该系统是时不变的。

检验一个系统是否时不变的步骤:

- ① 令输入为 $x_1(t)$, 根据系统的描述, 确定此时的输出 $y_1(t)$;
- ② 将输入信号变为 $x_2(t) = x_1(t - t_0)$, 再根据系统描述确定输出 $y_2(t)$;
- ③ 检验 $y_2(t)$ 是否等于 $y_1(t - t_0)$, 若相等则为时不变系统, 否则为时变系统。

(6) 线性 如果一个系统既满足叠加性也满足齐次性就称该系统是线性的, 否则就是非线性的。线性系统具有两个性质: 叠加性与齐次性。

如果一个系统是线性的, 当我们能够把输入信号 $x(t)$ 分解成若干个简单信号的线性组合时, 只要能得到该系统对每一个简单信号所产生的响应, 就可以很方便地根据线性特性, 通过线性组合而得到系统对 $x(t)$ 的输出响应。

$$\text{若 } x_k(t) \longrightarrow y_k(t), \text{ 且 } x(t) = \sum_k a_k x_k(t)$$

$$\text{则 } y(t) = \sum_k a_k y_k(t)$$

这一思想是信号与系统分析理论和方法建立的基础。

线性时不变(LTI)系统是本课程所研究的对象。

1.2 重点与难点

1. 信号的自变量变换

信号的自变量变换是信号与系统分析中最基本的变换,是指信号在时间轴上的变换,包括三种基本形式:平移、反转与尺度变换。

这里需要注意:离散时间信号的尺度变换指的是信号的抽取与内插。要能画

出信号 $x(t)$ 变换为 $x(at-b)$ 的波形或已知 $x(at-b)$ 变换为 $x(t)$ 的波形, 以及信号 $x(n)$ 的综合变换, 并理解其中的物理含义。

2. 信号的周期性

应掌握连续时间与离散时间信号的周期性判断。只有满足 $x(t+T) = x(t)$ 或 $x(n+N) = x(n)$ 的信号才是周期的, 其中最小的 T 或 N 是信号的基波周期。

3. 信号的奇偶分解

将信号分解成奇部与偶部之和是信号最基本的分解形式之一, 有时通过信号奇偶部的分解可以带来问题分析的简便。

需要掌握信号奇部、偶部的求解方法以及会画出信号的奇部、偶部波形。

4. 离散时间复指数序列的周期性及离散频率

离散时间复指数序列 $e^{j\omega_0 n}$, 对任意的 ω_0 而言信号并不一定是周期的, 要具有周期性, 必须具备一定条件: $\frac{\omega_0}{2\pi} = \frac{m}{N}$, 即 ω_0 与 2π 的比值为一个有理数。此外要注意: 当 ω_0 变化时, 并非所有的 $e^{j\omega_0 n}$ 都是互相独立的, 离散时间信号的有效频率范围只有 2π 的区间, 其中 π 的偶数倍附近对应着信号的低频分量, 而 π 的奇数倍附近对应着信号的高频分量。

对离散时间信号的频率特性进行观察时, 由于其频率特性呈现周期性, 只需观察一个 2π 区间即可。

应掌握离散时间复指数序列或正弦信号周期性的判断, 并会计算周期信号的周期值。

5. 单位冲激信号与单位脉冲信号

单位冲激信号 $\delta(t)$ 与单位脉冲信号 $\delta(n)$ 是两个最简单的时域信号, 由于其自身的取样性质, 它们是展开信号时域分解的基本信号单元。

取样性: $x(n)\delta(n) = x(0)\delta(n)$; $x(n)\delta(n-n_0) = x(n_0)\delta(n-n_0)$

$$x(t)\delta(t) = x(0)\delta(t); x(t)\delta(t-t_0) = x(t_0)\delta(t-t_0)$$

应很好地掌握信号的取样性质及信号特点, 以及它们与单位阶跃信号之间的转换关系。

6. 系统的性质

根据系统所呈现的特性不同, 可将系统分为 6 大类: 记忆性、可逆性、因果性、稳定性、线性、时不变性等。根据系统性质的定义, 对给定的系统要能够判断其所具有的性质, 尤其是系统的线性与时不变性, 因为这是构成信号与系统分析方法的基础, 要透彻地理解系统的线性与时不变性。

线性时不变(LTI) 系统是本课程所研究的对象, 本课程中的信号与系统的分

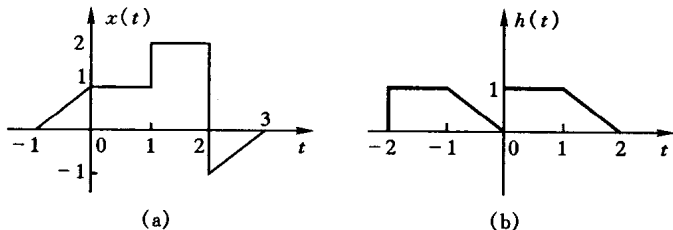
析都是基于此展开的。

1.3 典型题解析

例 1.1 已知连续时间信号 $x(t)$, $h(t)$ 如例 1.1 图(a), (b) 所示。试画出下列各信号的波形图, 并加以标注。

(1) $x(2t+2)$; (2) $h(\frac{t}{2}-2)$; (3) $h(1-2t)$; (4) $x(1-t)h(t-1)$;

(5) $x(2-\frac{t}{2})h(t+4)$



例 1.1 图

解 信号的自变量变换可通过不同的过程来实现, 但最终的结果应是一致的。

(1) 由 $x(t)$ 画出 $x(2t+2)$ 可由以下的方法实现。

① $x(t) \longrightarrow x(2t) \longrightarrow x(2t+2)$

先对 $x(t)$ 压缩两倍, 然后再向左平移 $t_0 = 1$ 。

② $x(t) \longrightarrow x(t+1) \longrightarrow x(2t+2) = x(2(t+1))$

先对 $x(t)$ 向左平移 $t_0 = 1$, 然后再以 $t = -1$ 为对称轴进行压缩。变换后的波形如例 1.1 解图(1) 所示。

(2) 由 $h(t)$ 画出 $h(\frac{t}{2}-2)$ 的波形, 可由以下的方法来实现。

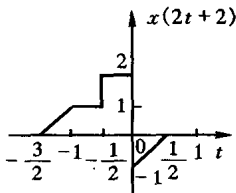
① $h(t) \longrightarrow h(\frac{t}{2}) \longrightarrow h(\frac{1}{2}(t-4)) = h(\frac{t}{2}-2)$

先对 $h(t)$ 进行扩展, 然后将扩展后的波形向右平移 $t_0 = 4$ 。

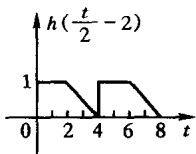
② $h(t) \longrightarrow h(t-4) \longrightarrow h(\frac{1}{2}(t-4)) = h(\frac{1}{2}t-2)$

先对 $h(t)$ 进行向右平移 $t_0 = 4$, 然后再以 $t = 4$ 为对称轴进行扩展。变换后的波形如例 1.1 解图(2) 所示。

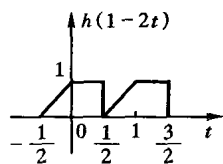
(3) 由 $h(t)$ 画出 $h(1-2t)$ 可通过以下的方法来实现。



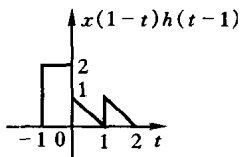
(1)



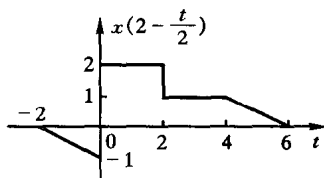
(2)



(3)



(4)



(5)

例 1.1 解图

$$\textcircled{1} h(t) \longrightarrow h(-t) \longrightarrow h(-2t) \longrightarrow h(-2(t - \frac{1}{2})) = h(1 - 2t)$$

先对 $h(t)$ 以 $t = 0$ 为对称轴进行反转, 然后再以 $t = 0$ 为对称轴进行压缩, 再向右平移 $t_0 = 1/2$ 。

$$\textcircled{2} h(t) \longrightarrow h(t - \frac{1}{2}) \longrightarrow h(2(t - \frac{1}{2})) \longrightarrow h(-2(t - \frac{1}{2})) = h(1 - 2t)$$

先对 $h(t)$ 向右平移 $\frac{1}{2}$, 再以 $t = \frac{1}{2}$ 为对称轴进行压缩, 然后再以 $t = \frac{1}{2}$ 为对称轴进行反转。变换后的波形如例 1.1 解图(3) 所示。

注: 在做反转与尺度变换时, 要注意对称轴的位置。

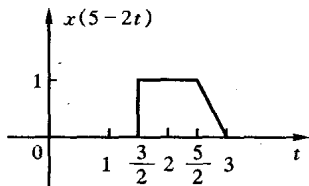
根据上述的思路, $x(1-t)h(t-1)$ 的波形如例 1.1 解图(4) 所示。 $x(2 - \frac{t}{2})$ 的波形如例 1.1 解图(5) 所示。由于其与 $h(t+4)$ 无公共的有值区间, 故 $x(2 - \frac{t}{2}) \cdot h(t+4) = 0$ 。

例 1.2 已知信号 $x(5-2t)$ 的波形图如例 1.2 图所示, 试画出 $x(t)$ 的波形图, 并加以标注。

解 已知自变量变换后的波形, 需求出原始波形, 可做如下的变换:

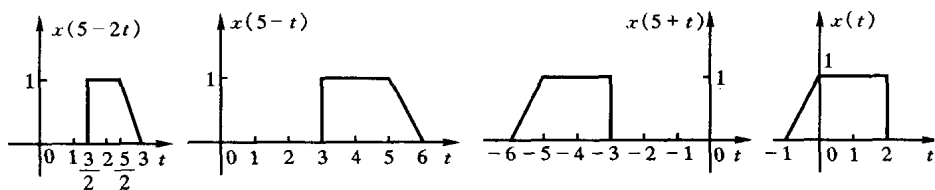
$$x(5-2t) \rightarrow x(5-t) \rightarrow x(5+t) \rightarrow x(t)$$

先对 $x(5-2t)$ 以 $t = 0$ 为对称轴的尺度变



例 1.2 图

换,得 $x(5-t)$,再以 $t=0$ 为轴反转得 $x(5+t)$,然后再向右平移 $t_0=5$ 。波形如例 1.2 解图所示。



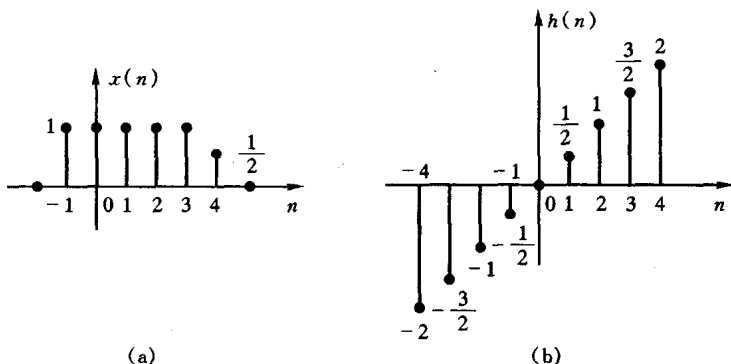
例 1.2 解图

注:当然,这一题解还可以由其它的变换过程求得,如

$$(1) x(5-2t) \rightarrow x(5+2t) \rightarrow x(2t) \rightarrow x(t)$$

$$(2) x(5-2t) \rightarrow x(-(2t-5)) \rightarrow x(2t-5) \rightarrow x(t-5) \rightarrow x(t)$$

例 1.3 已知离散时间信号 $x(n]$, $h(n)$ 如例 1.3 图(a), (b) 所示,试画下列各信号的波形图,并加以标注。



例 1.3 图

$$(1) x(4-n); \quad (2) x(2n+1); \quad (3) \hat{x}(n) = \begin{cases} x(\frac{n}{3}), & n \text{ 为 } 3 \text{ 的倍数}; \\ 0, & \text{其它 } n \end{cases}$$

$$(4) h(2-n); \quad (5) x(1-n)h(n+4)$$

解 各信号波形如例 1.3 解图所示。

(1) $x(4-n)$ 可由 $x(n)$ 先做反转得 $x(-n)$,然后再向右平移 $n_0=4$ 。

(2) $x(2n+1)$ 可由 $x(n)$ 对应着 n 点求得。

(3) $\hat{x}(n)$ 是通过将 $x(n)$ 两点之间插入两个零点来实现。