三导丛书

信号与系统

（西工大·第二版）

导教·导学·导考

DAOJIAO DAOXUE DAOKAO

范世贵 编

- 学习要求
- 本章重点
- 内容提高
- 重点知识结构
- 典型例题解析
- 考试考研指点
- 本章习题全解

西北工业大学出版社

三导丛书

信号与系统
导教·导学·导考

（西工大·第二版）

范世贵　编

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是信号与系统课程的辅导用书。全书内容共9章:信号与系统的基本概念,连续系统时域分析,连续信号频域分析,连续系统频域分析,连续系统复频域分析,复频域系统函数与系统模拟,离散信号与系统时域分析,离散信号与系统 z 域分析,状态变量法。每章由7个部分组成:学习要求,本章重点,内容提要,重点知识结构,典型例题解析,考试考研指点,本章习题全解。书后的附录提供了研究生招生试题(含解答)。

本书可作为大学生学习与考研复习用书,也可供教师教学参考。

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统 导教·导学·导考/范世贵编.—西安:西北工业大学出版社,2004.10

(三导丛书)

SBN 7-5612-1831-1

Ⅰ.信… Ⅱ.范… 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(2004)第082441号

出版发行:西北工业大学出版社
通信地址:西安市友谊西路127号 **邮编**:720072
电　　话:(029)88493844 88491757
印 刷 者:陕西向阳印务有限公司
开　　本:830 mm×1 162 mm 1/32
印　　张:14.75
字　　数:490千字
版　　次:2005年1月第1版 2005年1月第1次印刷
定　　价:20.00元

前　言

信号与系统课程是电子、通信、电力、自动化、计算机、自动控制、信息处理、水声等专业一门重要的技术基础课程。它主要研究信号与系统分析的基本理论与方法及其在工程实践中的应用。学好这门课程对于打好基础、培养能力、发展智力，培养良好的非智力素质，培养科学与创新思想方法，培养科学研究与技术研究的方法论，都有着十分重要的作用。

信号与系统课程的特点是内容多，有深度、新度和广度；用到的工程数学知识特别多，比较抽象；习题类型多，内涵深，外延大，难度高，计算量大，计算的技巧性很强，学好这门课程的难度较大。因此学生很需要有一本良好的自学指导读物。另外，信号与系统课程也是上述各类专业硕士研究生招生考试课程，广大考生也十分需要一本实用有效的复习用书。为了适应这些需要，我们编写了本书，供以课程教学、学习和应试考研之用。

我们编写此书是以段哲民、范世贵编著的《信号与系统》（西工大，第二版）教科书的内容、结构体系、章节顺序为蓝本，并对该书的习题进行了全解。但由于本书是按国家教育部颁布的《信号与系统课程教学基本要求》编写的，因此本书对不同高校所选用的其他版本的信号与系统教材也同样适用。

全书内容共 9 章：信号与系统的基本概念，连续系统时域分析，连续信号频域分析，连续系统频域分析，连续系统复频域分析，复频域系统函数与系统模拟，离散信号与系统时域分析，离散信号与系统 z 域分析，状态变量法。每章内容均由 7 部分组成：学习要求，本章重点，内容提要，重点知识结构，典型例题解析，考试考研指点，本章习题全解。在“考试考研指点”部分中，还精选了适量的重点高校的考试考研试题并做了解答。

本书倾注对信号与系统课程内容深度、新度、广度、量度的把握和理解，对长期教学实践经验的凝结与升华，对研究生招生考试规律的认识与研究，并广泛学习和吸收了百家之长。本书会教你“博学之，审问之，慎思之，明辨之，笃学之”。

本书可作为大学生学习信号与系统辅导用书，对报考研究生的人员进行系统复习尤为适用，也可作为教师教学的参考用书。

本书在编写中参阅了大量的书籍以及试题库试题，均在书后的参考书目中一一列出，谨表诚挚谢意。

书中不妥和不完善之处在所难免，敬请赐教。

编　者

2004 年 7 月

目　　录

第1章 信号与系统的基本概念

1.1 学习要求

(1) 了解信号与系统的基本概念与定义,会画信号的波形。

(2) 了解常用基本信号的时域描述方法、特点与性质,并会应用这些性质。

(3) 深刻理解信号的时域分解、变换与运算与方法,并会求解。

(4) 深刻理解线性时不变系统的定义与性质,并会应用这些性质。

1.2 本章重点

(1) 基本的连续时间信号的时域描述与时域特性。

(2) 单位冲激信号的定义、性质及应用。

(3) 信号的时域变换与时域运算及其综合应用。

(4) 线性时不变系统的性质及应用。

1.3 内容提要

1.3.1 信号的定义与分类

1. 定义

信号是带有信息(如语言、音乐、图像、数据等)的随时间(或空间)变化的物理量或物理现象,其图像称为信号的波形。

2. 信号的分类

根据不同的分类原则,信号可分为:连续时间信号与离散时间信号;确定性信号与随机性信号;周期信号、非周期信号与概周期信号;功率信号与能量信

号；正弦信号与非正弦信号；一维信号、二维信号与多维信号。

3. 名词术语

(1) 无时限信号：在时间区间$(-\infty,\infty)$内$f(t)\neq 0$的信号。

(2) 因果信号：若当$t<0$时$f(t)=0$；当$t>0$时$f(t)\neq 0$，则$f(t)$为因果信号。

(3) 有始信号：若当$t<t_1$时$f(t)=0$；当$t>t_1$时$f(t)\neq 0$，则$f(t)$为有始信号，其起始时刻为t_1，t_1为常数。因果信号为有始信号的特例。

(4) 反因果信号：若当$t>0$时$f(t)=0$；当$t<0$时$f(t)\neq 0$，则$f(t)$为反因果信号。

(5) 有终信号：若当$t<t_2$时$f(t)\neq 0$；当$t>t_2$时$f(t)=0$，则$f(t)$为有终信号，其终止时刻为t_2，t_2为实常数。反因果信号为有终信号的特例。

(6) 时限信号：若在时间区间(t_1,t_2)内$f(t)\neq 0$，而在此区间外$f(t)=0$，则$f(t)$为时限信号。

1.3.2 基本的连续信号

1. 直流信号

$$f(t)=A \qquad t\in\mathbf{R}$$

式中，A为常数。若$A=1$，则称为单位直流信号。

2. 正弦信号

$$f(t)=A\cos(\omega t+\psi) \qquad t\in\mathbf{R}$$

式中，A，ω，ψ分别称为振幅、角频率和初相角，均为实常数。

若A，ω，ψ不为常数，则分别称为变幅度的、变频率的、变相位的正弦信号，或者称调幅的、调频的、调相的正弦信号。

正弦信号有如下性质：

(1) 其一阶导数仍然是正弦信号，即

$$\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}f(t)=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}[A\cos(\omega t+\psi)]=\omega A\cos\left(\omega t+\psi+\frac{\pi}{2}\right)$$

可见仅是振幅增至ω倍，初相角增加了$\frac{\pi}{2}$。

(2) 满足如下形式的二阶微分方程，即

$$\frac{\mathrm{d}^2}{\mathrm{d}t^2}f(t)+\omega^2 f(t)=0$$

在信号与系统分析中，这一性质十分有用。

3. 单位阶跃信号

$$U(t)=\begin{cases}1, & t\geqslant 0\\ 0, & t<0\end{cases}$$

4. 单位冲激信号

(1) 定义：$\begin{cases}\delta(t)=\begin{cases}\infty, & t=0\\ 0, & t\neq 0\end{cases}\\ \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)\mathrm{d}t=1\end{cases}$

(2) 性质：$f(t)\delta(t)=f(0)\delta(t)$

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

$$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(t)\mathrm{d}t=f(0)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(t-t_0)\mathrm{d}t=f(t_0)$$

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

$$\delta(t-t_0)=\delta[-(t-t_0)]$$

$$\delta(at)=\frac{1}{a}\delta(t)$$

$$\delta(at-t_0)=\frac{1}{a}\delta\left(t-\frac{t_0}{a}\right)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(at)\mathrm{d}t=\frac{1}{a}f(0)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(at-t_0)\mathrm{d}t=\frac{1}{a}f\left(\frac{t_0}{a}\right)$$

a 为大于零的实常数，t_0 为实常数。

(3) $U(t)$ 与 $\delta(t)$ 的关系：

$$\delta(t)=\frac{\mathrm{d}U(t)}{\mathrm{d}t}$$

$$\int_{-\infty}^{t}\delta(\tau)\mathrm{d}\tau=U(t)$$

5. 单位冲激偶信号 $\delta'(t)$

(1) 定义：$\delta'(t)=\dfrac{\mathrm{d}\delta(t)}{\mathrm{d}t}$

(2) 性质：$\delta'(t)=-\delta'(-t)$

$$\delta'(t-t_0)=-\delta'[-(t-t_0)]$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}\delta'(t)\mathrm{d}t=0 \quad (\text{因 } \delta'(t) \text{ 为奇函数})$$

$$\int_{-\infty}^{t}\delta'(\tau)\mathrm{d}\tau=\delta(t)$$

$$f(t)\delta'(t)=f(0)\delta'(t)-f'(0)\delta(t)$$

$$f(t)\delta'(t-t_0)=f(t_0)\delta'(t-t_0)-f'(t_0)\delta(t-t_0)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta'(t)\mathrm{d}t=-f'(0)$$

$$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta'(t-t_0)\mathrm{d}t=-f'(t_0)$$

t_0 为实常数。

6. 符号函数 $\mathrm{sgn}(t)$

$$\mathrm{sgn}(t)=\begin{cases}1, & t>0\\ 0, & t=0\\ -1, & t<0\end{cases}$$

或
$$\mathrm{sgn}(t)=U(t)-U(-t)=2U(t)-1$$

7. 单位斜坡信号

$$r(t)=tU(t)=\begin{cases}0, & t<0\\ t, & t\geqslant 0\end{cases}$$

单位斜坡信号 $r(t)$ 与 $U(t)$,$\delta(t)$ 的关系：

$$r(t)=\int_{-\infty}^{t}U(\tau)\mathrm{d}\tau, \qquad \frac{\mathrm{d}r(t)}{\mathrm{d}t}=U(t)$$

$$r(t)=\int_{-\infty}^{t}\int_{-\infty}^{t}\delta(\tau)\mathrm{d}\tau, \qquad \frac{\mathrm{d}^2r(t)}{\mathrm{d}t^2}=\delta(t)$$

8. 单边衰减实指数信号

$$f(t)=A\mathrm{e}^{-\alpha t}U(t)=A\mathrm{e}^{-\frac{1}{\tau}t}U(t)$$

式中 α，τ 均为大于零 0 的实常数；$\tau=\dfrac{1}{\alpha}$，称为时间常数，单位为 s。当 $t=\tau=\dfrac{1}{\alpha}$ s 时有

$$f(\tau)=A\mathrm{e}^{-1}=0.368A$$

9. 复指数信号

$$f(t) = Ae^{st}, \quad t \in \mathbf{R}$$

式中，$s = \sigma + \mathrm{j}\omega$ 为复频率；σ,ω 为实常数；σ 的单位为 $\frac{1}{\mathrm{s}}$，ω 的单位为 rad/s。

(1) 当 $s = 0$ 时，$f(t) = A$，为直流信号。

(2) 当 $s = \sigma(\omega = 0)$ 时，$f(t) = Ae^{\sigma t}$，为实指数信号。

(3) 当 $s = \mathrm{j}\omega(\sigma = 0)$ 时，$f(t) = Ae^{\mathrm{j}\omega t} = A\cos\omega t + \mathrm{j}A\sin\omega t$。

(4) 当 $s = \sigma + \mathrm{j}\omega$ 时，$f(t) = Ae^{\sigma t}(\cos\omega t + \mathrm{j}\sin\omega t)$。

10. 抽样信号

$$f(t) = \frac{\sin t}{t} = \mathrm{Sa}(t), \quad t \in \mathbf{R}$$

其性质如下：

(1) $f(t) = \frac{\sin t}{t}$ 为实变量 t 的偶函数。

(2) $\lim\limits_{t\to 0} f(t) = f(0) = \lim\limits_{t\to 0}\frac{\sin t}{t} = 1$。

(3) 当 $t = k\pi \quad (k = \pm 1, \pm 2, \cdots)$ 时，$f(t) = 0$。

(4) $\int_{-\infty}^{\infty} f(t)\mathrm{d}t = \int_{-\infty}^{\infty}\frac{\sin t}{t}\mathrm{d}t = \pi$。

(5) $\lim\limits_{t\to\pm\infty}\frac{\sin t}{t} = 0$。

1.3.3　信号的时域分解

(1) 任意信号 $f(t)$ 可分解为在不同时刻阶跃的具有不同阶跃幅度的无穷多个阶跃函数的连续和，即

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f'(\tau)U(t-\tau)\mathrm{d}\tau \approx \sum_{k=-\infty}^{\infty} f'(k\Delta\tau)U(t-k\Delta\tau)\Delta\tau$$

(2) 任意信号 $f(t)$ 可分解为在不同时刻出现的具有不同强度的无穷多个冲激函数的连续和，即

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\tau)\delta(t-\tau)\mathrm{d}\tau \approx \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(k\Delta\tau)\delta(t-k\Delta\tau)\Delta\tau$$

(3) 任意信号 $f(t)$ 可分解为直流分量 $f_{\mathrm{D}}(t)$ 与交流分量 $f_{\mathrm{A}}(t)$ 之和，即

$$f(t) = f_{\mathrm{D}}(t) + f_{\mathrm{A}}(t)$$

(4) 任意信号 $f(t)$ 可分解为偶分量 $f_{\mathrm{e}}(t)$ 与奇分量 $f_{\mathrm{o}}(t)$ 之和，即

$$f(t) = f_{\mathrm{e}}(t) + f_{\mathrm{o}}(t)$$

式中　　$$f_e(t)=\frac{1}{2}[f(t)+f(-t)]$$

$$f_o(t)=\frac{1}{2}[f(t)-f(-t)]$$

1.3.4　信号的时域变换

(1) 折叠：将信号 $f(t)$ 以纵坐标轴为轴折叠，可得折叠信号 $f(-t)$。即将 $f(t)$ 中的 t 换以 $-t$，所得 $f(-t)$ 即为 $f(t)$ 的折叠信号。

(2) 时移：将信号 $f(t)$ 沿 t 轴平移 τ 即得时移信号 $f(t-\tau)$，τ 为实常数。当 $\tau>0$ 时为右移，当 $\tau<0$ 时为左移。信号右时移用时移器（也称延时器）实现，如图 1.1 所示。

(3) 倒（反）相：将信号 $f(t)$ 以横坐标轴（即 t 轴）为轴反转 180°，即得倒相信号 $-f(t)$，用倒相器实现，如图 1.2 所示。

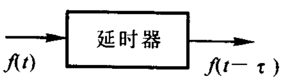

图 1.1　延时器

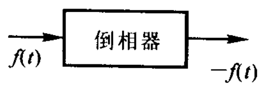

图 1.2　倒相器

(4) 时域展缩：以变量 at 置换 $f(t)$ 中的变量 t，即得展缩信号 $f(at)$，a 为非零正实常数。若 $0<a<1$ 时，则表示将 $f(t)$ 的波形在时间轴上展宽到 a 倍，如图 1.3(b) 所示（a 取 $\frac{1}{2}$）；若 $a>1$ 时，则表示将 $f(t)$ 的波形在时间轴上压缩到 $\frac{1}{a}$ 倍，如图 1.3(c) 所示（a 取 2）。

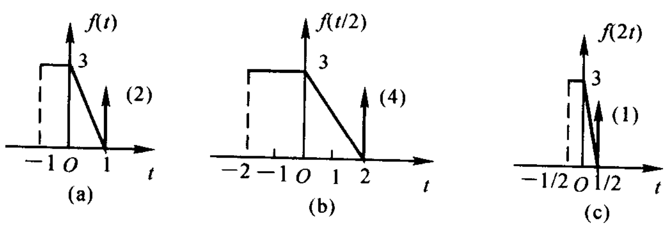

图　1.3

1.3.5　信号的时域运算

(1) 相加运算：n 个信号 $f_1(t)$, $f_2(t)$, …, $f_n(t)$ 相加，构成一个新的信号 $y(t)$，即

$$y(t) = f_1(t) + f_2(t) + \cdots + f_n(t) \quad n = 1,2,3,\cdots$$

相加运算用加法器实现，如图 1.4 所示。

(2) 相乘运算：n 个信号 $f_1(t)$, $f_2(t)$, …, $f_n(t)$ 相乘，构成一个新的信号 $y(t)$，即

$$y(t) = f_1(t) f_2(t) \cdots f_n(t)$$

相乘运算用乘法器实现，如图 1.5 所示。相乘也称调制，乘法器也称调制器。

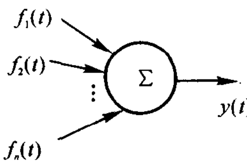

图 1.4　加法器

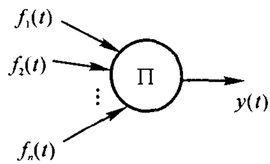

图 1.5　乘法器

(3) 幅度变化：将信号 $f(t)$ 乘以实常数 a，即得 $y(t) = af(t)$，用数乘器实现，如图 1.6 所示。数乘器也称比例器或标量乘法器。

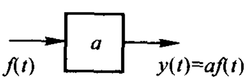

图 1.6　数乘器

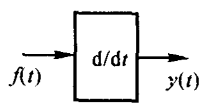

图 1.7　微分器

(4) 微分运算：将信号 $f(t)$ 求一阶导数，即得其微分信号 $y(t) = \dfrac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t} f(t)$。信号的微分运算用微分器实现，如图 1.7 所示。

(5) 积分运算：将信号 $f(t)$ 在区间 $(-\infty, t)$ 内积分即得其积分信号 $y(t) = \int_{-\infty}^{t} f(\tau)\mathrm{d}\tau$。信号的积分运算用积分器实现，如图 1.8 所示。

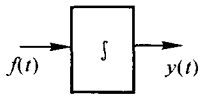

图 1.8　积分器

图 1.9　系统的定义

1.3.6　系统的定义与分类

能够完成某种变换、运算或传输功能的集合体称为系统，如图 1.9 所示。其中符号 $H[\quad]$ 称为算子，表示将输入信号 $f(t)$ 进行某种运算后即得输出信号 $y(t)$。

根据不同的分类原则，系统可分为：

(1) 动态系统与非动态系统。若系统在 t_0 时刻的响应 $y(t_0)$，不仅与 t_0 时刻的激励 $f(t_0)$ 有关，且与区间 $(-\infty, t_0]$ 的激励有关，则这种系统称为动态系统，也称记忆系统。若系统在 t_0 时刻的响应 $y(t_0)$ 只与 t_0 时刻的激励 $f(t_0)$ 有关，而与区间 $(-\infty, t_0)$ 的激励无关，则这种系统称为非动态系统或静态系统，也称非记忆系统或即时系统。

(2) 线性系统与非线性系统。能同时满足齐次性与叠加性的系统称为线性系统。满足叠加性是线性系统的必要条件。不能同时满足齐次性与叠加性的系统称为非线性系统。

(3) 时不变系统与时变系统。能满足时不变性质的系统称为时不变系统，否则称为时变系统。

(4) 因果系统与非因果系统。能满足因果性质的系统称为因果系统，也称可实现系统。因果系统的特点是，当 $t>0$ 时作用于系统的激励，$t<0$ 时不会在系统中产生响应。不满足因果性质的系统称为非因果系统，也称不可实现系统。

(5) 连续时间系统与离散时间系统。

(6) 集中参数系统与分布参数系统。

1.3.7　线性时不变系统的性质

设激励 $f(t)$，$f_1(t)$，$f_2(t)$ 产生的响应分别为 $y(t)$，$y_1(t)$，$y_2(t)$，并设 A，A_1，A_2 为任意常数，则线性时不变系统有如下性质：

(1) 齐次性：$Af(t) \to Ay(t)$