

通信与计算机专业考研指导丛书

信号与系统 考研指导

XINHAO YU XITONG KAOYAN ZHIDAO

吕玉琴 尹霄丽 张金玲 编



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

通信与计算机专业考研指导丛书

信号与系统考研指导

吕玉琴 尹霄丽 张金玲 编

北京邮电大学出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

信号与系统考研指导/吕玉琴,尹霄丽,张金玲编. —北京:北京邮电大学出版社,2002

(通信与计算机专业考研指导丛书)

ISBN 7-5635-0539-3

I.信… II.①吕… ②尹… ③张 III.信号系统—研究生—入学考试—自学参考资料 IV.TN911.6

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第073719号

-
- 书 名:** 信号与系统考研指导
编 者: 吕玉琴,尹霄丽,张金玲
责任编辑: 郑捷
出 版 者: 北京邮电大学出版社(北京市海淀区西土城路10号)
邮 编: 100876 电 话: 62282185 62283578
网 址: <http://www.buptpress.com>
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京源海印刷厂印刷
印 数: 1—5 000 册
开 本: 850 mm×1 168 mm 1/32 印张:15.25 字数:393千字
版 次: 2002年11月第1版 2002年11月第1次印刷
书 号: ISBN 7-5635-0539-3/TN·249
定 价: 23.00元
-

内容摘要

本书是考研人员的参考用书。全书共有六章,每章包括三部分内容:第一部分是主要内容,对重点内容进行综合性地叙述;第二部分是例题详解,在这一部分中,精选了一些典型的、难度不同的题目,并对其进行分析求解;第三部分是习题,供读者自学时选用。在书后附有部分习题答案。本书还收录了1997年至2002年北京邮电大学硕士研究生入学考试信号与系统部分的考题,并提供了简要的求解过程或答案。

本书主要面向研究生入学考试的应考者,也可作为工科通信、电子类专业本科生学习参考用书。

前 言

“信号与系统”是电子信息类专业的重要技术基础课。随着IT行业的迅速发展,更多的专业开设“信号与系统”课程并列入考研科目。“信号与系统”课程的任务是研究确定信号通过线性时不变系统传输或处理的基本理论和基本分析方法。其理论性强,运用现代数学的概念和方法较多,是一门较难学习但又必须学好的专业基础课。

培养学生综合解决问题的能力是高校的重要任务之一,在多年的教学实践中,深知学生在学习“信号与系统”课程时,不仅需要典型例题和一定数量的习题来巩固、加深对所学知识的理解,而且需要有一定数量带有综合性的例题和习题对学生进行训练。为此,在历年教学实践的基础上我们编写了此书。

本书共分六章:信号的时域分析;系统的时域分析;连续时间信号与系统的频域分析;拉普拉斯变换、连续时间系统的 s 域分析; z 变换、离散时间系统的 z 域分析;系统的状态变量分析。每章包括三部分内容:第一部分是主要内容,基于准备参加考研人员已经学习过信号与系统课程,在这一部分中只对“信号与系统”的重点内容进行综合性地叙述;第二部分是例题详解,在这一部分中,我们精选了一些典型的、难度不同的题目,并对大部分题目进行了分析求解,引导学生识题、解题;第三部分是习题,供读者选

用。另外,本书附有北京邮电大学 1997~2002 年的“信号与系统”研究生考题,供读者参考。

本书共选编例题 190 道,习题 204 道,书末附有习题答案。本书在例题与习题的编排上,连续与离散并列,这样做,是把系统看作一个整体,既强调了连续和离散系统的共性,也突出了它们各自的特点,有助于对基本概念和分析方法的理解和掌握。

本书在例题中,力求做到一题多解,每解不仅给出详细的解题步骤,并对结果作必要的物理分析,澄清某些易于出现的错误概念,引出一些带规律性的结论。在习题中,除选编一些典型题外,侧重选编了难度较大、灵活性较强的综合题。例题和习题的类型,包括了概念题、证明题、计算题和应用题。其主要来源是历年教学中的积累及参考国内外的教材。因此,本书可作为广大自学者、报考电子信息类专业的研究生深入学习“信号与系统”课程的辅导材料,也可作为高校“信号与系统”课程的配套教材或教学参考书。

本书经集体讨论,分工执笔。第一、二章由吕玉琴编写,第三、六章由尹霄丽编写,第四、五章由张金玲编写。

由于编者水平有限,难免有错误和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2002 年 9 月于北京邮电大学

目 录

第一章 信号的时域分析

| | |
|------------------|----|
| 主要内容 | 1 |
| 一、信号的定义、分类 | 1 |
| 二、连续时间信号 | 2 |
| 三、离散时间信号 | 6 |
| 四、连续与离散时间信号分析的特点 | 9 |
| 例题详解 | 12 |
| 习 题 | 39 |
| 习题答案 | 47 |

第二章 系统的时域分析

| | |
|------------------|----|
| 主要内容 | 55 |
| 一、系统的定义、分类 | 55 |
| 二、连续时间系统的时域分析 | 57 |
| 三、离散时间系统的时域分析 | 63 |
| 四、连续与离散时间系统分析的特点 | 68 |
| 例题详解 | 70 |

| | |
|------|-----|
| 习 题 | 128 |
| 习题答案 | 140 |

第三章 连续时间信号与系统的频域分析

| | |
|------------------------|-----|
| 主要内容 | 150 |
| 一、任意信号在完备正交函数系中的表示法 | 150 |
| 二、周期信号的频域分析——傅里叶级数 | 152 |
| 三、非周期信号的频域分析 | 155 |
| 四、傅里叶变换的性质 | 157 |
| 五、周期信号的傅里叶变换 | 159 |
| 六、功率信号与能量信号 | 159 |
| 七、抽样信号的傅里叶变换与抽样定理 | 161 |
| 八、线性时不变系统的频率响应 | 163 |
| 九、系统无失真传输条件 | 164 |
| 十、理想低通滤波器 | 165 |
| 十一、调制解调 | 167 |
| 十二、带宽 | 168 |
| 十三、相关 | 169 |
| 十四、系统的物理可实现性 | 170 |
| 十五、利用希尔伯特变换研究系统函数的约束特性 | 170 |
| 例题详解 | 171 |
| 习 题 | 233 |
| 习题答案 | 246 |

第四章 拉普拉斯变换、连续时间系统的 s 域分析

| | |
|----------|-----|
| 主要内容 | 254 |
| 一、拉普拉斯变换 | 254 |

| | |
|-------------------------|-----|
| 二、线性系统的复频域分析 | 261 |
| 三、系统函数 $H(s)$ | 264 |
| 四、傅里叶变换与拉普拉斯变换的关系 | 268 |
| 例题详解 | 269 |
| 习 题 | 325 |
| 习题答案 | 334 |

第五章 z 变换、离散时间系统的 z 域分析

| | |
|-----------------------------|-----|
| 主要内容 | 341 |
| 一、离散时间序列的 z 变换 | 341 |
| 二、离散时间系统的 z 域分析 | 350 |
| 三、系统函数 $H(z)$ 与系统特性分析 | 351 |
| 四、 z 域与 s 域的关系 | 353 |
| 例题详解 | 355 |
| 习 题 | 389 |
| 习题答案 | 396 |

第六章 系统的状态变量分析

| | |
|-----------------------|-----|
| 主要内容 | 402 |
| 一、名词和定义 | 402 |
| 二、信号流图 | 402 |
| 三、连续时间系统状态方程的建立 | 406 |
| 四、连续时间系统状态方程的求解 | 409 |
| 五、离散时间系统状态方程的建立 | 411 |
| 六、离散时间系统状态方程的求解 | 413 |
| 七、状态矢量的线性变换 | 414 |
| 八、系统的可控制性与可观测性 | 415 |
| 例题详解 | 416 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| 习 题 | 442 |
| 习题答案 | 447 |
| 1997 ~ 2002 年硕士研究生入学试题 | 451 |
| “信号与系统”研究生入学考试试题分数分配 | 473 |
| 参考文献 | 474 |

第一章 信号的时域分析

主要内容

我们对连续时间信号和离散时间信号分别进行信号的时域分析。信号的自变量变换和有关奇异信号的特点是这一章的重点要求。离散时间信号的分析与连续时间信号分析有其共同或相似之处,也有不同之处,请读者认真体会。

一、信号的定义、分类

信号是消息的表现形式,消息则是信号的具体内容。

在现代通信系统的通信方式中,信号通常是随时间变化的电压或电流(有时可能是电荷或磁通)。从数学观点而言,这类信号是独立变量 t 的函数 $f(t)$ 。

观察、分析、研究信号的特征,可从多种不同的角度来分类:

{ 连续时间信号:在所讨论的时间间隔内,除若干不连续点之外,对于任意时间值都可给出确定的函数值
离散时间信号:在时间上是离散的,只在某些不连续的规定瞬时给出函数值,在其他时间没有定义

$\left\{ \begin{array}{l} \text{确定性信号} \left\{ \begin{array}{l} \text{周期信号} \\ \text{非周期信号} \end{array} \right\} \text{对于指定的某一时刻 } t \text{ 可确定一} \\ \text{随机信号} \left\{ \begin{array}{l} \text{平稳随机信号} \\ \text{非平稳随机信号} \end{array} \right\} \text{具有未可预知的不确定性} \end{array} \right.$ 相应的函数值 $f(t)$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{功率信号: 具有有限功率的信号, 能量无限} \\ \text{能量信号: 具有有限能量的信号, 功率为零} \end{array} \right.$

$\left\{ \begin{array}{l} \text{实信号: 各时刻的函数值为实数, 是物理可实现信号} \\ \text{复信号: 函数值为复数的信号称为复信号, 常用的是复指数信号} \end{array} \right.$

还可将信号分为一维信号与多维信号, 调制信号, 载波信号和已调信号等等。

二、连续时间信号

对于任意时间值都可给出确定的函数值, 此信号称为连续时间信号。

内容要点:

- 典型信号
- 信号运算
- 奇异信号
- 信号的分解

1. 典型的连续时间信号

(1) 双边指数信号

$$f(t) = Ke^{-at}, \quad (-\infty < t < \infty)$$

(2) 单边指数信号

$$f(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ e^{-\frac{t}{\tau}} & t \geq 0 \end{cases}$$

重要特性: 其对时间的微分和积分仍然是指数形式。

(3) 正弦信号

$$f(t) = K\sin(\omega t + \theta) \quad (-\infty < t < \infty)$$

与指数信号类似,正弦信号对时间的微分和积分仍然是正弦信号。

(4) 复指数信号

$$f(t) = Ke^{st} = Ke^{(\sigma + j\omega)t} \quad (-\infty < t < \infty)$$

$s = \sigma + j\omega$ 称为复频率。

欧拉公式表示了复指数信号与正、余弦信号之间的关系:

$$\begin{cases} e^{j\omega t} = \cos\omega t + j\sin\omega t \\ e^{-j\omega t} = \cos\omega t - j\sin\omega t \end{cases} \quad \begin{cases} \cos\omega t = \frac{1}{2}(e^{j\omega t} + e^{-j\omega t}) \\ \sin\omega t = \frac{1}{2j}(e^{j\omega t} - e^{-j\omega t}) \end{cases}$$

在信号分析理论中,复指数信号是一种非常重要的基本信号。

虽然在实际中不可能产生复指数信号,但可以利用复指数信号来描述各种基本信号, s 的实部 σ 表征了该信号振幅随时间变化的状况,虚部 ω 表征了其振荡的角频率。若 $\sigma > 0$,它们是增幅振荡;若 $\sigma < 0$,则是衰减振荡;当 $\sigma = 0$ 时,是等幅振荡。当 $\omega = 0$ 时,复指数信号就成为实指数信号 $e^{\sigma t}$ 。如果 $\sigma = \omega = 0$,则 $f(t) = K$,这时就成为直流信号。可见,复指数信号概括了许多常用信号。

(5) 抽样信号(Sampling Signal)

$$\text{Sa}(t) = \frac{\sin t}{t}$$

如图 1.1 所示。

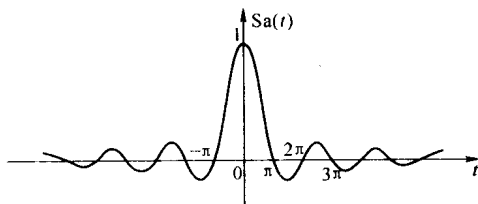


图 1.1

特点:

- ① $\text{Sa}(-t) = \text{Sa}(t)$ 偶函数
- ② $t = 0, \text{Sa}(t) = 1$, 即 $\lim_{t \rightarrow 0} \text{Sa}(t) = 1$
- ③ $\text{Sa}(t) = 0, t = \pm n\pi, n = 1, 2, 3, \dots$
- ④ $\int_0^{\infty} \frac{\sin t}{t} dt = \frac{\pi}{2}, \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin t}{t} dt = \pi$
- ⑤ $\lim_{t \rightarrow \pm\infty} \text{Sa}(t) = 0$
- ⑥ $\text{sinc}(t) = \sin(\pi t)/\pi t$

2. 信号的运算

(1) 信号的自变量变换

信号的平移、倒置(翻转)、展缩(尺度变换)

$$f(t) \rightarrow f(at \pm b) = f[a(t \pm b/a)]$$

注意:一切变换都是对 t 而言,展缩之后的变换只需时移 b/a 个单位,而不是 b 个单位。 $a < 0$ 时有倒置。

(2) 信号的时域运算

相加减 $r(t) = e_1(t) + e_2(t)$, 相乘 $r(t) = e_1(t) \cdot e_2(t)$, 倍乘 $r(t) = Ae(t)$

微分 $r(t) = \frac{de(t)}{dt}$, 积分 $r(t) = \int_{-\infty}^t e(t)dt$

3. 奇异信号

(1) 定义

函数本身有不连续点(跳变点)或其导数与积分有不连续点的函数。

注意:奇异函数的定义区间是全时间域范围。

(2) 典型的奇异信号

如图 1.2 所示。

斜变信号(斜坡信号或斜升信号)

$$R(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ t & t \geq 0 \end{cases}$$

单位阶跃信号

$$u(t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ 1 & t > 0 \end{cases}, t=0 \text{ 点无定义或 } 1/2$$

单位门信号

$$G_{\tau}(t) = u\left(t + \frac{\tau}{2}\right) - u\left(t - \frac{\tau}{2}\right)$$

单位冲激信号

$$\delta(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \left[u\left(t + \frac{\tau}{2}\right) - u\left(t - \frac{\tau}{2}\right) \right] \quad \begin{cases} \int_{-\infty}^{\infty} \delta(t) dt = 1 \\ \delta(t) = 0 \quad (t \neq 0) \end{cases}$$

冲激偶 $\delta'(t)$

冲激信号的导数, 即 $\frac{d\delta(t)}{dt} = \delta'(t)$, 是一个奇函数, 它的宽度和面积都为零。

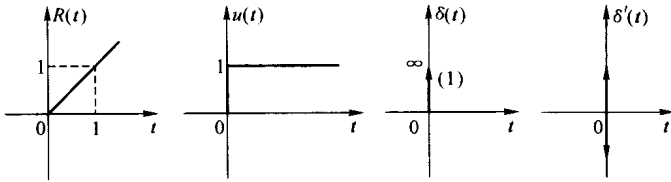


图 1.2

$u(t)$, $\delta(t)$ 以及其他的奇异函数在线性时不变系统的研究中所起的作用就在于一种物理现象理想化的作用。利用这些理想化会对这样的系统得到一种极其重要而又非常简单的表示。

4. 信号的分解

为了便于信号分析与信号处理, 可以将信号从不同角度分解研究。

(1) 直流分量与交流分量

$$f(t) = \underbrace{f_D}_{\text{常数}} + \underbrace{f_A(t)}_{\text{平均值为零}}$$

(2) 偶分量与奇分量

$$f(t) = f_e(t) + f_o(t)$$

其中 $f_e(t) = f_e(-t)$, $f_o(t) = -f_o(-t)$ 。

(3) 脉冲分量

$$f(t) \approx \sum_{t_1=-\infty}^{\infty} f(t_1)[u(t-t_1) - u(t-t_1-\Delta t_1)]$$

用 $\delta(t)$ 表示任意函数

$$f(t) = \lim_{\Delta t_1 \rightarrow 0} \sum_{t_1=-\infty}^{\infty} f(t_1)\delta(t-t_1)\Delta t_1 = \int_{-\infty}^{\infty} f(t_1)\delta(t-t_1)dt_1$$

(4) 实部分量与虚部分量

$$f(t) = f_r(t) + jf_i(t)$$

(5) 正交函数分量

$$\text{三角函数集分解: } f(t) = c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(n\omega_1 t + \varphi_n)$$

$$\text{复指数函数集分解: } f(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F(n\omega_1)e^{jn\omega_1 t}$$

三、离散时间信号

离散信号在时间上是离散的,只在某些离散时刻给出函数值。

内容要点:

- 信号表示
- 信号运算
- 典型信号

1. 信号的表示

离散时间信号可以用以下三种形式表示:

- 数字序列: 逐个列出序列的值
- 函数式: 写成一般闭式的表达式或用典型信号表示
- 波形表示: 线段的长短表示函数值的大小

2. 信号的运算

信号的自变量变换

- 移位: 序列中每个样值逐项依次移 m 位, 得到新的序列
- 倒置: 波形相对于纵轴翻转
- 尺度变换: 波形的压缩或扩展

信号的时域运算

- 相加减: 同序号的值对应相加减
- 求和: $y(n) = \sum_{k=-\infty}^n x(k)$
- 相乘: 同序号的值对应相乘
- 差分 $\begin{cases} \text{前向: } \Delta x(n) = x(n+1) - x(n) \\ \text{后向: } \nabla x(n) = x(n) - x(n-1) \end{cases}$

3. 典型的离散时间信号

(1) 单位样值信号

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

如图 1.3 所示。

(2) 单位阶跃序列

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

如图 1.4 所示。

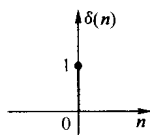


图 1.3

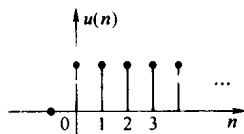


图 1.4