考研辅导丛书

十五
配套参考

普通高等教育“十五”国家级规划教材配套参考书

信号与线性系统分析 第4版
教学指导书

王松林　张永瑞　郭宝龙　李小平

高等教育出版社

TN911.6
9=3C

普通高等教育“十五”国家级规划教材配套参考书

信号与线性系统分析

（第4版）

教学指导书

王松林　张永瑞　郭宝龙　李小平

高等教育出版社

内容提要

本书是与吴大正教授主编的《信号与线性系统分析》(第4版)(简称教材)相配套的教与学指导书。本书针对教材所讲述的八章内容,对每章都编写了"教学基本要求"、"教学知识点归纳"、"教材习题解答"以及"精选试题"四部分。"教学基本要求"和"教学知识点归纳"不但对任课教师有参考价值,而且对学生学习本课程也有指导作用。"教材习题解答"可以帮助学生深化对基本概念的理解,提高分析问题的能力。"精选试题"按章精选了2000年以后全国二十多所重点大学"信号与系统"课程硕士研究生入学考试试题近300道,并给出了参考答案。

本书可作为高等学校电子信息和电气类各专业的教师和学生学习"信号与系统"课程的教学参考书和学习指导书,也可作为"信号与系统"课程研究生入学考试的辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

信号与线性系统分析(第4版)教学指导书/王松林等. —北京:高等教育出版社,2006.5
ISBN 7-04-018678-0

Ⅰ.信... Ⅱ.王... Ⅲ.①信号理论-高等学校-教学参考资料②线性系统-系统分析-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(2006)第023671号

策划编辑 刘激扬 **责任编辑** 欧阳舟 **封面设计** 李卫青 **责任绘图** 朱静
版式设计 胡志萍 **责任校对** 杨雪莲 **责任印制** 毛斯璐

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网址	http://www.hep.edu.cn
总机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
		网上订购	http://www.landraco.com
经销	蓝色畅想图书发行有限公司		http://www.landraco.com.cn
印刷	北京嘉实印刷有限公司	畅想教育	http://www.widedu.com
开本	787×960 1/16	版次	2006年5月第1版
印张	31.5	印次	2006年5月第1次印刷
字数	590 000	定价	38.90元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 18678-00

前　言

为了配合吴大正教授主编的普通高等教育“十五”国家级规划教材和百门精品建设教材(一类)《信号与线性系统分析》(第4版)(以下简称教材)实施教学,并作为百门精品教材建设的一部分,我们编写了这本教与学指导书。

本书针对教材所讲述的八章内容,对每章都编写了“教学基本要求”、“教学知识点归纳”、“教材习题解答”以及“精选试题”四部分。其中“教学基本要求”按照教育部教学指导委员会最新修订的“信号与系统”课程基本要求编写,指出了教学重点。“教学知识点归纳”不是简单的知识点罗列,而是对教学内容进行提炼,尽可能以图表的形式归纳,并对教材内容有所扩充。“教材习题解答”对教材中的部分习题进行了详尽解答。“精选试题”按章精选了2000年以后全国二十多所重点大学“信号与系统”课程硕士研究生入学考试试题近300道,并给出了参考答案。

衷心感谢吴大正教授对本书编写的指导以及在本书编写过程中给予许多帮助的各位同事。感谢本书所选用的全国二十多所重点大学“信号与系统”课程硕士研究生入学试题的诸位命题老师。

由于编者水平有限及时间紧迫,书中肯定存在不足或错误,恳请广大读者批评赐教。

编　者

2005年9月于西安电子科技大学

目　　录

试读结束：需要全本请在线购买：　www.ertongbook.com

第一章
信号与系统

§1.1 本章教学基本要求

(1) 掌握信号的基本描述方法、分类及其基本运算。

(2) 掌握系统的基本概念和描述方法,掌握线性时不变系统的概念。

(3) 掌握冲激信号和阶跃信号的物理意义以及性质。

§1.2 教学知识点归纳

一、信号的定义

信号是载有信息的随时间变化的物理量或物理现象,其图像称为信号的波形。本课程主要讨论电信号,即随时间变化的电压或电流(有时可能是电荷或磁链)。

二、信号的分类

可以从多种角度来观察、分析研究信号的特征,提出对信号进行分类的方法。常用的有连续时间信号与离散时间信号分类;确知信号与随机信号分类;周期信号与非周期信号分类;能量信号与功率信号分类等。

1. 连续时间信号与离散时间信号

在连续时间范围内有定义的信号称为连续时间信号,简称连续信号。连续信号可用函数式或波形表示。

只在一些离散时间点上有定义的信号称为离散时间信号,简称离散信号,也常称为序列。离散信号可用函数式、波形或数字序列(逐一列出序列值)表示。

注意:(1) 连续时间信号是除若干不连续点之外,“任意时间”都有确定的函数值,而离散时间信号是只在某些离散时间点有确定函数值,其他时间点“没有定义”,不能想当然地误认为其他时间点的函数值是0。(2) 连续时间信号的幅值可以是连续的,也可以只取某些规定值,时间和幅值都为连续的信号又称为

模拟信号。(3) 离散时间信号在时间上是离散的，时间取值可以是均匀的，也可以是不均匀的。如果幅值也被限定为某些离散值，即经过量化的离散时间信号又称为数字信号。

2. 确知信号与随机信号

若信号能被表示为一确定的时间函数，对于任意指定的时刻均可确定其相应的函数值，这种信号称为确知信号。

若信号不能用确切的函数描述，它在任意时刻的取值都具有不确定性，只可能知道它的统计特性，如在某时刻取某一数值的概率，这类信号称为随机信号。电子系统中的起伏热噪声、雷电干扰信号就是两种典型的随机信号。

3. 周期信号与非周期信号

一个连续信号 $f(t)$，若对所有 t 均满足

$$f(t) = f(t+mT), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots$$

则称 $f(t)$ 为连续周期信号，满足上式的最小的 T 值称为 $f(t)$ 的周期。

一个离散序列 $f(k)$，若对所有 k 均满足

$$f(k) = f(k+mN), \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \cdots$$

则称 $f(k)$ 为周期序列，满足上式的最小的整数 N 值称为 $f(k)$ 的周期。

不具有周期性的信号称为非周期信号。

注意：(1) 连续的正弦(或余弦)函数 $\sin(\omega t)$ [或 $\cos(\omega t)$] 一定是周期信号，其周期 $T=\frac{2\pi}{\omega}$。而对离散的正弦(或余弦)序列 $\sin(\theta k)$ [或 $\cos(\theta k)$] (θ 称为数字角频率，单位为 rad)，只有当 $\frac{2\pi}{\theta}$ 为有理数时才是周期序列，其周期为 $N = M\frac{2\pi}{\theta}$，M 取使 N 为整数的最小整数。如对信号 $\cos(6\pi t)$，由于 $\frac{2\pi}{\theta} = \frac{2\pi}{6\pi} = \frac{1}{3}$ 为有理数，因此它是周期序列，其周期 $N = 1$。(2) **两个连续周期信号之和不一定是周期信号。只有当该两连续信号的周期 T_1 与 T_2 之比为有理数时，其和信号才是周期信号，其周期 T 等于 T_1、T_2 的最小公倍数。两个离散周期序列之和一定是周期序列，其周期 N 等于两个序列周期的最小公倍数。**

4. 能量信号与功率信号

将信号 $f(t)$ 施加于 1 Ω 电阻上，它所消耗的能量 $E = \int_{-\infty}^{\infty} |f(t)|^2 \mathrm{d}t$，它所消耗的功率 $P = \lim\limits_{T\to\infty} \frac{1}{T}\int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} |f(t)|^2 \mathrm{d}t$，分别定义为该信号的能量、功率。

如果信号 $f(t)$ 的能量 E 满足：$0 < E < \infty$ (此时信号功率 $P = 0$)，则称 $f(t)$ 为能量有限信号，简称能量信号。**任何时限有界信号都属于能量信号。**

如果信号$f(t)$的功率P满足:$0<P<\infty$(此时信号能量$E=\infty$),则称$f(t)$为功率有限信号,简称功率信号。**任何有界的周期信号均属于功率信号。**

相应地,对于离散时间信号,也有能量信号、功率信号之分。

满足$E=\sum_{k=-\infty}^{\infty}|f(k)|^2<\infty$的离散信号,称为能量信号。

满足$P=\lim_{N\to\infty}\frac{1}{N}\sum_{k=-N/2}^{N/2}|f(k)|^2<\infty$的离散信号,称为功率信号。

三、两个基本信号及其性质

单位阶跃信号$\varepsilon(t)$、单位冲激信号$\delta(t)$是连续信号中两个最基本的信号;单位阶跃序列$\varepsilon(k)$、单位样值序列$\delta(k)$是离散信号中两个最基本的信号。关于$\varepsilon(\cdot)$、$\delta(\cdot)$[$\varepsilon(\cdot)$为$\varepsilon(t)$与$\varepsilon(k)$的概括符号,$\delta(\cdot)$也一样]的定义,二者之间的关系及$\delta(\cdot)$的重要性质归纳于表1.1和表1.2,以便于读者对照比较。

表1.1 $\varepsilon(\cdot)$与$\delta(\cdot)$的定义及二者关系

项目 / 类型	连 续	离 散
定 义	$\varepsilon(t)=\begin{cases}0, & t<0\\ \frac{1}{2}, & t=0\\ 1, & t>0\end{cases}$ $\begin{cases}\delta(t)=0, t\neq 0\\ \int_{-\infty}^{\infty}\delta(t)\mathrm{d}t=1\end{cases}$	$\varepsilon(k)=\begin{cases}0, & k<0\\ 1, & k\geqslant 0\end{cases}$ $\delta(k)=\begin{cases}0, & k\neq 0\\ 1, & k=0\end{cases}$
$\delta(\cdot)$与$\varepsilon(\cdot)$的关系	$\delta(t)=\frac{\mathrm{d}\varepsilon(t)}{\mathrm{d}t}$ $\varepsilon(t)=\int_{-\infty}^{t}\delta(\tau)\mathrm{d}\tau$	$\delta(k)=\varepsilon(k)-\varepsilon(k-1)$ $\varepsilon(k)=\sum_{m=-\infty}^{k}\delta(m)=\sum_{m=0}^{\infty}\delta(k-m)$

表1.2 $\delta(\cdot)$的重要性质

序号	$\delta(t)$的重要性质	$\delta(k)$的重要性质
1	$\delta(-t)=\delta(t)$	$\delta(-k)=\delta(k)$
2	$f(t)\delta(t)=f(0)\delta(t)$	$f(k)\delta(k)=f(0)\delta(k)$
3	$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta(t)\mathrm{d}t=f(0)$	$\sum_{k=-\infty}^{\infty}f(k)\delta(k)=f(0)$

续表

序号	$\delta(t)$的重要性质	$\delta(k)$的重要性质
4	$\delta(at)=\dfrac{1}{\lvert a\rvert}\delta(t)$	$\delta(ak)=\delta(k)$
5	$f(t)\delta'(t)=f(0)\delta'(t)-f'(0)\delta(t)$	—
6	$\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\delta'(t)\mathrm{d}t=-f'(0)$	—
7	$\delta^{(n)}(at)=\dfrac{1}{\lvert a\rvert}\cdot\dfrac{1}{a^n}\delta^{(n)}(t)$	—
8	若$f(t)$为普通函数,$t_i(i=1,2,\cdots,n)$为$f(t)$的n个相异单实根,则 $\delta[f(t)]=\sum_{i=1}^{n}\dfrac{1}{\lvert f'(t_i)\rvert}\delta(t-t_i)$	—

注意:(1) $\varepsilon(t)$、$\delta(t)$是奇异函数;而$\varepsilon(k)$、$\delta(k)$为普通函数。(2) 利用阶跃函数(序列)的截取特性,可方便地写出分段函数的闭合表达式。

四、信号的运算

1. 信号的自变量变换

信号的自变量变换是指信号在时间域里进行移位、反转、尺度变换以及三者的结合变换。表1.3归纳了信号自变量变换的各种情况。

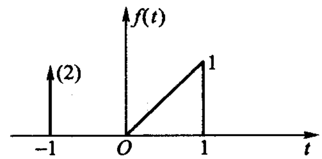
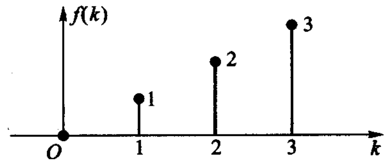
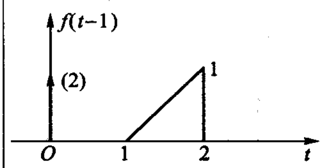
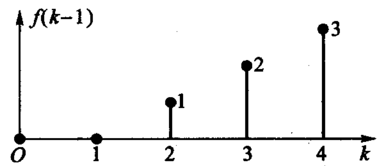
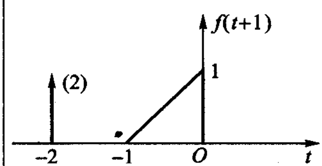
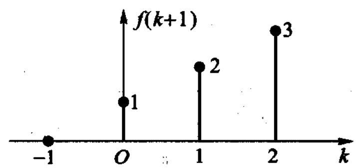
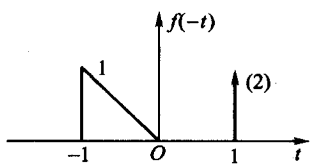
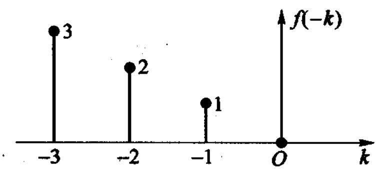
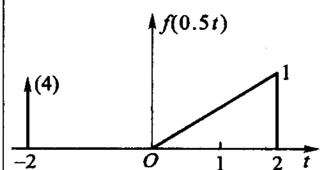
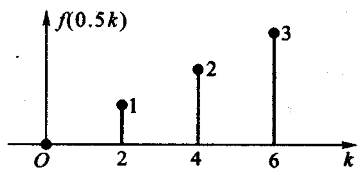
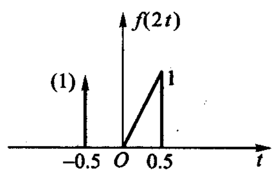
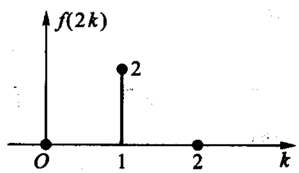
注意:(1)信号的自变量变换中,当信号压缩或扩展时,离散信号应只留下离散时间点上的值,要按规律去除某些点或补足相应的零值。而连续时间信号因为时间是连续的,没有这个限制。(2)对包含冲激函数的连续信号进行尺度变换时,冲激函数的强度也将发生变化。

2. 信号的时域运算

连续信号的常用时域运算有加、减、乘、微分、积分等;离散信号的常用时域运算有加、减、乘、差分、求和等。这里将两类信号的时域运算简明地归纳于表1.4中。

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com

表 1.3 信号的时域变换

信号类别 / 变换形式		设连续信号	设离散信号
			
移位	右移		
	左移		
反转			
尺度变换	$a<1$		
	$a>1$		

续表

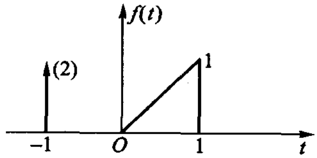
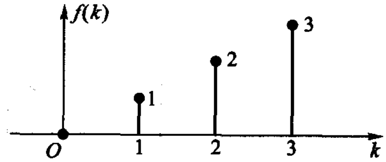
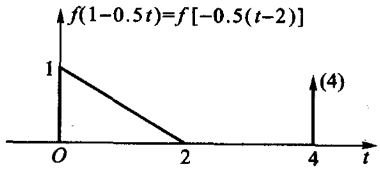
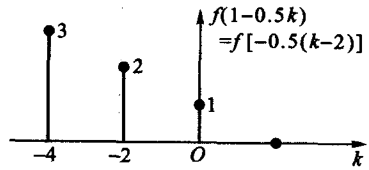
信号类别 / 变换形式	设连续信号	设离散信号
		
移位、反转、尺度变换三者结合		

表 1.4 信号的时域运算

信号类别 / 运算形式	连续信号 设信号 $f_1(t)$，$f_2(t)$， 运算结果为 $y(t)$	离散信号 设序列 $f_1(k)$，$f_2(k)$， 运算结果为 $y(k)$
加、减运算	对应时刻两信号相加、减 $y(t)=f_1(t)\pm f_2(t)$	对应序号两序列相加、减 $y(k)=f_1(k)\pm f_2(k)$
乘运算	对应时刻两信号相乘 $y(t)=f_1(t)\times f_2(t)$	对应序号两序列相乘 $y(k)=f_1(k)\times f_2(k)$
微(差)分运算	$y(t)=\dfrac{\mathrm{d}f(t)}{\mathrm{d}t}$	$y(k)=\nabla f_1(k)=f_1(k)-f_1(k-1)$ （后向一阶差分） $y(k)=\Delta f_2(k)=f_2(k+1)-f_2(k)$ （前向一阶差分）
积分(求和)运算	$y(t)=\int_{-\infty}^{t}f(\tau)\mathrm{d}\tau$	$y(k)=\sum_{m=-\infty}^{k}f(m)$

注意：(1) 对有第一类间断点的函数进行微分运算时，在间断点处将出现冲激函数。 (2)信号的时域运算中，连续信号是对自变量的微分、积分运算，离散信号是差分、求和运算。

五、系统的定义

若干相互作用、相互联系的事物按一定规律组成具有特定功能的整体称为系统，这是系统的广义定义。对电信号而言，系统可看做是对信号进行存储、转换、传输和处理的物理装置。

六、系统的特性与分类

可以从多种角度来观察、分析研究系统的特征，提出对系统进行分类的方法。一种常用的分类法是按系统输入的信号与系统输出的信号是连续信号还是离散信号来分类。

$$\begin{cases}\text{连续时间系统:输入、输出信号都是连续信号。}\\ \text{离散时间系统:输入、输出信号都是离散信号。}\\ \text{混合系统:输入信号是连续信号、输出信号是离散信号,或反之。}\end{cases}$$

不管连续系统或离散系统，按系统特性常又可细分为不同类型。

系统框图如图 1.1 所示。图中 $f(\cdot)$ 表示输入，$\{x(0)\}$ 表示系统的起始状态，$y(\cdot)$ 表示系统的输出。

图 1.1 系统框图

1. 线性系统与非线性系统

若系统满足下列线性性质：

（1）**可分解性** ［全响应 $y(\cdot)$ 可分解为零输入响应 $y_{zi}(\cdot)$ 与零状态响应 $y_{zs}(\cdot)$ 之和］，即

$$y(\cdot) = y_{zi}(\cdot) + y_{zs}(\cdot)$$

（2）**齐次性** （含零输入响应齐次性和零状态响应齐次性），即

$$\{ax(0)\} \rightarrow ay_{zi}(\cdot)$$

$$af(\cdot) \rightarrow ay_{zs}(\cdot)$$

（3）**叠加性** （含零输入响应叠加性和零状态响应叠加性），即

$$\{x_1(0) + x_2(0)\} \rightarrow [y_{zi1}(\cdot) + y_{zi2}(\cdot)]$$

$$[f_1(t) + f_2(t)] \rightarrow [y_{zs1}(\cdot) + y_{zs2}(\cdot)]$$

则称该系统为线性系统。或者说，凡具有可分解性、零输入线性和零状态线性的系统称为线性系统。线性系统的三个条件缺一不可，否则，就是非线性系统。

2. 时不变系统与时变系统

若系统满足输入延迟多少时间，其零状态响应也延迟多少时间，即

$$f(t - t_0) \rightarrow y_{zs}(t - t_0) \text{（连续系统）}$$

$$f(k-k_0) \to y_{zs}(k-k_0) \text{（离散系统）}$$

则称该系统具有时不变特性。具有时不变性的系统称为时不变系统，否则称为时变系统。

3. 因果系统与非因果系统

因果系统是指当且仅当输入信号激励系统时，才会出现零状态输出的系统。具体地说，因果系统的输出不会出现在输入之前，即因果系统满足下列因果性：

对连续系统，若当 $t<t_0$ 时激励 $f(t)=0$，则当 $t<t_0$ 时零状态响应 $y_{zs}(t)=0$。

对离散系统，若当 $k<k_0$ 时激励 $f(k)=0$，则当 $k<k_0$ 时零状态响应 $y_{zs}(k)=0$。

不满足因果性的系统称为非因果系统。

4. 稳定系统与不稳定系统

如果系统的输入有界，输出也有界，即若 $|f(\cdot)|<\infty$，$|y_{zs}(\cdot)|<\infty$，则该系统称为有界输入有界输出（BIBO）稳定系统，否则称为不稳定系统。

5. 记忆系统与无记忆系统

如果系统的输出不仅与当前时刻的输入有关，而且还与它过去的或将来的输入有关，系统就称为记忆系统①。如果系统的输出只与当前时刻的输入有关，系统就称为无记忆系统。

注意：(1)若系统既满足线性性质，又满足时不变特性，则称该系统为线性时不变系统，简称为 LTI 系统。这是本课程研究的重点。LTI 系统满足微分性和积分性，即若 $f(t) \to y_{zs}(t)$，则

$$\frac{\mathrm{d}f(t)}{\mathrm{d}t} \to \frac{\mathrm{d}y_{zs}(t)}{\mathrm{d}t}; \quad \int_{-\infty}^{t} f(\tau)\,\mathrm{d}\tau \to \int_{-\infty}^{t} y_{zs}(\tau)\,\mathrm{d}\tau$$

下列因素导致微分（差分）方程所描述的系统是非线性或时变的：

① 若方程中任何一项是一个常数或是 $y(\cdot)$ 或 $f(\cdot)$ 的非线性函数，则它是非线性的。② 若 $y(\cdot)$ 或 $f(\cdot)$ 中的任意一项的系数是 t 或 k 的显式函数，或对 $y(\cdot)$ 或 $f(\cdot)$ 中的任意一项进行尺度变换或反转运算，则它是时变的。

(2) 对系统的时不变性、因果性、稳定性、记忆性的判别只需针对零状态响应。

七、系统的描述

描述系统的方法有多种形式，这里概括归纳于表 1.5。

---

① 输出与将来的输入有关的系统，确切说应称为预测系统，但学术界共识这类系统也归并到记忆系统一类。

表 1.5 系统的各种描述形式

描述形式 \ 系统类型		连续系统	离散系统
方程描述	输入输出方程	$\sum_{i=0}^{n} a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^{m} b_j f^{(j)}(t)$	$\sum_{i=0}^{n} a_{n-i} y(k-i) = \sum_{j=0}^{m} b_{m-j} f(k-j)$
	动态方程	$\dot{\boldsymbol{x}}(t) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{f}(t)$ $\boldsymbol{y}(t) = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}(t) + \boldsymbol{D}\boldsymbol{f}(t)$	$\boldsymbol{x}(k+1) = \boldsymbol{A}\boldsymbol{x}(k) + \boldsymbol{B}\boldsymbol{f}(k)$ $\boldsymbol{y}(k) = \boldsymbol{C}\boldsymbol{x}(k) + \boldsymbol{D}\boldsymbol{f}(k)$
框图描述		$\boxed{\int}$ ⓐ ⓢ 组合连接表述系统	$\boxed{D}$ ⓐ ⓢ 组合连接表述系统
流图描述		信号流图描述是框图描述的简化表示	
冲激响应描述	时域	$h(t)$	$h(k)$
系统函数描述	实频域	$H(j\omega)$	$H(e^{j\theta})$
	复频域	$H(s)$	$H(z)$

说明：① 系统的各种描述方式之间可以相互转换。

② 对于一个确定的系统，输入输出方程形式唯一，系统函数唯一，而状态方程、框图、信号流图均可有多种形式。

③ 动态方程描述将在第八章介绍，流图描述将在第七章介绍，冲激响应描述将在第二、三章讨论，实频域系统函数描述将在第四章介绍，复频域系统函数描述将在第五、六章讨论。

§1.3 习题一解答

1.1 画出下列各信号的波形[式中 $r(t)=t\varepsilon(t)$ 为斜升函数]。

(1) $f(t)=(2-3e^{-t})\varepsilon(t)$　　(3) $f(t)=\sin(\pi t)\varepsilon(t)$

(4) $f(t)=\varepsilon(\sin t)$　　(5) $f(t)=r(\sin t)$

(7) $f(k)=2^k\varepsilon(k)$　　(9) $f(k)=\sin\left(\frac{k\pi}{4}\right)\varepsilon(k)$

解：(1) 根据 $\varepsilon(t)$ 的定义，$f(t)$ 可写为

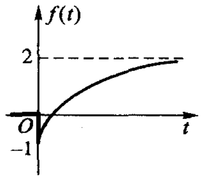
$$f(t)=\begin{cases}2-3e^{-t} & t>0\\ 0, & t<0\end{cases}$$

由此画出其波形，如解图 1.1－1 所示。

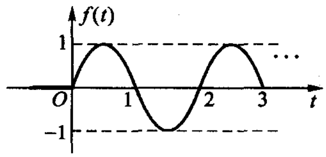
(3) 根据 $\varepsilon(t)$ 的定义，$f(t)$ 可写为

$$f(t)=\begin{cases}\sin(\pi t), & t>0\\ 0, & t<0\end{cases}$$

其中 $\sin(\pi t)$ 的周期为 2，由此画出其波形，如解图 1.1－3 所示。

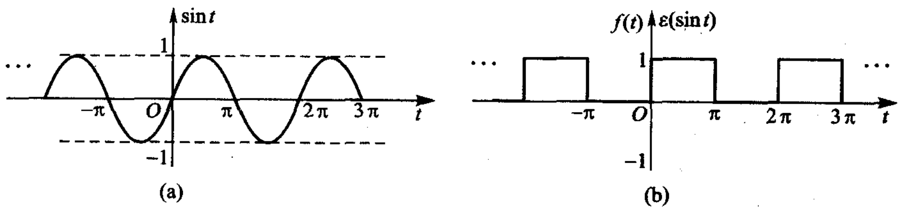


解图 1.1－1



解图 1.1－3

（4）本题是画复合信号波形的问题。先画出 $\sin t$ 的波形，如解图 1.1－4(a)所示。根据 $\varepsilon(t)$ 的定义，可知对 $\sin t>0$ 的时间区域 $\varepsilon(\sin t)=1$，否则 $\varepsilon(\sin t)=0$，所以可画出 $\varepsilon(\sin t)$ 的波形如解图 1.1－4(b)所示。

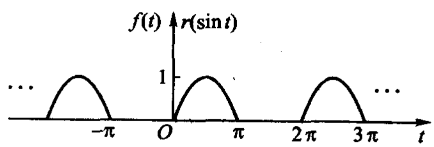


解图 1.1－4

（5）本题也是画复合信号波形的问题。先画出 $\sin t$ 的波形，如解图 1.1－4(a)所示。由于

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

所以对 $\sin t>0$ 的时间区域 $r(\sin t)=\sin t$，否则 $r(\sin t)=0$，因此，可画出 $r(\sin t)$ 的波形，如解图 1.1－5 所示。



解图 1.1－5

（7）根据 $\varepsilon(k)$ 的定义，$f(k)$ 可写为

$$f(k)=\begin{cases}2^k, & k\geqslant 0\\ 0, & k<0\end{cases}$$

由此可画出其波形，如解图 1.1－7 所示。

（9）$f(k)$ 可写为

试读结束：需要全本请在线购买： www.ertongbook.com