



高等学校教材配套辅导及
考研专业课应试指导丛书(通信电子类)



双博士系列

信号与系统 辅导 及

考研应试指导

编写 通信电子类教材辅导及
考研应试指导委员会

总策划 胡东华

课程同步辅导

典型考题分析

考研真题荟萃

考研过关必备



机械工业出版社
China machine Press

高等学校教材配套辅导及考研专业课应试指导丛书(通信电子类)

信号与系统

辅导及考研应试指导

编写 通信电子类教材辅导及考研应试指导委员会
总策划 胡东华



机械工业出版社

声明:本书封面及封底均采用双博士品牌专用图标(见右图);该图标已由国家商标局注册。未经本策划人同意,禁止其他单位或个人使用。



信号与系统辅导及考研应试指导/电子类教材辅导及考研应试指导委员会编.

- 北京:机械工业出版社,2003.8

ISBN 7-111-12697-1

(高等学校教材配套辅导及考研专业课应试教程指导丛书,电子类)

I. 信... II. 通... III. 信号与系统-高等学校-教学参考资料 IV. TN79

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮编:100037)

责任编辑:郭爱红

责任校对:郭爱红

封面设计:胡东华

责任印制:何全君

北京市高岭印刷厂印刷

机械工业出版社出版发行

2003年9月第1版 第1次印刷

787mm×1092mm 1/16 印张11.875 字数183千字

定价:16.00元

©版权所有 违法必究

盗版举报电话:(010)62534708(著作权者)

<http://www.bbdd.cc>(中国教育考试双博士网站)

<http://www.cmpbook.com>(机械工业出版社网站)

如有字迹不清、缺页、倒页、脱页,由本社发行部负责调换。

<http://www.bbdd.cc>

“考研押题讲座”免费授课计划

一、内容:考研政治、英语、数学(一、二、三、四)、西医综合科目考前一个半月押题讲座

二、讲座总策划及献爱心人:胡东华

三、讲座资料提供:

北大、清华、人大考研辅导班资料采编组 联合提供
京城考研命题信息搜集研究组

四、免费讲座时间:2003 年 12 月 1 日~2004 年 1 月 15 日

五、网站:中国教育考试双博士网站:<http://www.bbdd.cc>

六、课程表:

时 间 科 目	12 月第 1 周	12 月第 2 周	12 月第 3 周	12 月第 4 周	1 月第 1 周	1 月第 2 周
政 治	马克思主义哲学、 马克思主义 政治经济学	毛泽东思想概论	邓小平理论 与“三个代表” 重要思想概论	当代世界经济 与政治 形势与政策	网上通知	网上通知
英 语	听力	英语知识运用	阅读理解 A (命题趋势)	阅读理解 B (英译汉)	写作命题预测 及背诵范文	网上通知
数 学 一	高数 (1~5)	高数 (6~11)	线性代数	概率论与 数理统计	网上通知	网上通知
数 学 二	高数(1~3)	高数(4~6)	高数(7~11)	线性代数	网上通知	网上通知
数 学 三	微积分 (1~5)	微积分 (6~10)	线性代数	概率论与 数理统计	网上通知	网上通知
数 学 四	微积分 (1~5)	微积分 (6~10)	线性代数	概率论	网上通知	网上通知
西医综合	生理学 生物化学	病理学	外科学	内科学	网上通知	网上通知

(如有变化,另行通知)

双博士品牌 真情大奉献

来自北京大学研究生会的感谢信

双博士:

您好!

首先感谢您对北京大学“十佳教师”评选活动的热情支持和无私帮助!师恩难忘,北京大学“十佳教师”评选活动是北京大学研究生会的品牌活动之一,是北京大学所有在校研究生和本科生对恩师情谊的最朴素表达。双博士作为大学教学辅导及考研领域全国最大的图书品牌之一,不忘北大莘莘学子和传道授业的老师,其行为将永久的被北大师生感怀和铭记。

作为考研漫漫征途上的过来人,双博士曾陪伴我们度过考研岁月的无数个日日夜夜,曾带给我们无数个明示和启发,当然也带给我们今天的成功。

特致此信,向双博士表达我们内心长久以来的感激之情,并祝愿双博士事业蒸蒸日上。

北京大学研究生会

二零零二年十二月

郑州某大学学生的来信

双博士:

您好!

.....

我曾购买了“双博士”的《大学英语精读课文辅导》(3)、(4)册,我认为质量很好,因为我在准备2001年6月份的全国四级考试前没买太多的辅导资料,仅是每天背《辅导》上的知识点,另外又做(看)了双博士的模拟题、真题解析及词汇,而我却考出了94.5分的骄人成绩,真应感谢双博士为我们带来了如此上乘的资料。我信赖双博士,也相信考研中借助双博士的力量,会取得更好的成绩。所以我在您寄来的书目中挑了一下,如果可以的话,我想得到代号为“RB12”的《考研应试教程(英语分册)》,或者是代号为“B18A”的《研究生入学考试英语词汇·考点·记忆法·用法详解》。两本书中的任何一本,我都相信会给我带来好运!

另外,.....

李XX

2001年11月22日

天津某高校学生的来信

双博士:

你们好!

.....

我们都知道,英语学习中,口语是非常重要的,而《英美流行口语》正是我们所需要的,是一场及时雨。五一、五四前后,我校将举办一次口语演讲比赛,我们将把这几本书作为奖品赠送给口语出色的同学,相信他们会很意外,也会很高兴的。双博士为我们着想,我们也希望能以微小之力量,给她的工作以支持和回报。其实,我想,只要我们真正为爱好英语的同学做了事,使他们从中受了益,英语有了提高,就是对“双博士”最好的回报了,对不对?

还有,我校对购买“双博士”图书比较困难,到书店买,常被抢购一空,由老师订购又“姗姗来迟”,所以,我想与你们联系,能否帮同学们统一订购?如可以,请将你们的订购时间、办法等以传真方式告诉我。

.....

英语俱乐部部长:于XX

2002年4月24日

Q.T.A.N Y.A.N

前言

双博士品牌考研丛书,已成为全国最著名的考研图书品牌,其市场的覆盖率约占全国考研市场的三分之一。

据调查,缺乏对专业课命题侧重点及考试要求的了解,已成为众多考生专业课考试失利的原因,进而与继续深造的机会失之交臂。因此,选取一本好的专业课辅导教材,对于有志于考研的莘莘学子来说,至关重要。本丛书涉及法学、金融、经管、西医、通信电子、计算机、机械、控制理论与控制工程及其他热门专业。策划本丛书的指导精神是既方便于在校本科生同步学习时参考,更适合于准备参加硕士研究生入学考试的学生作为专业课辅导用书。

本丛书的编写,以普通高等学校普遍采用的教材为蓝本,针对性强,信息含量高,具有明确的参考价值和实用意义,是考研专业课不可多得的工具与助手。本书各章在编排上有以下特色:

1. 基本概念及重点、热点、考点内容精要:对与本章相关的知识点进行课后阐述,使考生既能熟练掌握基础知识,又可把握重点、要点。
2. 典型例题、考题分析:这一部分精选了名校历年试题作为本书的例题,并提供详细的解析过程,强调解题思路。还附有知识点小结。本部分内容既可使考生把握命题原则,又可熟悉题目类型,触类旁通。
3. 自测题及模拟训练题:该部分为考生自行练习而提供,备有详细的解答过程。便于考生及时总结,查漏补缺。
4. 在全书最后一章为模拟试题。这些模拟试卷也是名校近年的真题,并配有详细解析。

综合起来,本书凸显以下特色:

1. 专题化的编写体例。面对普通高等学校专业课教材的泛泛的讲解,本书从更深的层次,对常考的知识点加重了讲解的力度。
2. 极富针对性的题型训练。在每章或每部分的典型例题、模拟试题中,均编排名校近几年的考研真题,并附有详细的参考答案。
3. 资料翔实、全面、新颖。一般情况下,真题在研究生入学考试中极易重复。
4. 本科生各科目考试,试题也常常选用考研真题。故本书有利于本科生在期末考试中获得高分。

"双博士"品牌系列丛书,以其独有的魅力和卓越的品质被誉为最受欢迎的教学辅导丛书,销量居全国同类书榜首。全国约有三分之一的大学生读过或正在使用本品牌丛书(不含盗版)。本品牌丛书封面、封底都带有双博士的书标。此书标已由国家商标局注册。该系列品牌丛书,在读者中已树立起不可替代的品牌形象,引起了媒介的广泛关注。中央电视台1999年9月15日-10月15日在"99全球财富论坛"特别节目及《东方时空》黄金时间强档推出该品牌系列丛书,成为当时图书界传媒热点。1999年11月5日《光明日报》第9版以"图书市场面临商标竞争时代"为标题,以"胡东华系列双博士品牌文教图书引起关注"为副标题做了报道。后被多家报纸转载。《中国青年报》、《新闻出版报》、《中国文化报》、《中国教育报》和《中国大学生》等报刊对该品牌系列丛书也做了相应报道。

本书采用60克胶版纸印刷,双色排版,便于阅读和记忆。双博士全体同仁非常感谢考生对双博士品牌的厚爱。

虽然我们力求呈现给广大考生一本完美适用的专业课辅导用书,无奈时间有限,且因本丛书涉及面广,本数多,如有错误,敬请广大读者谅解,也可发电子邮件(shuangboshi@sina.com)交流指正。

07/01/28/08

“双博士”网站留言选登

自从2001年双博士网站举办免费的考研及四、六级讲座以来,每天都有大量读者留言,交流考试心得和对双博士丛书的观感。现将部分留言选登如下:

	作者: 考研人 来自: 湖北 2003-2-16, 23:31:04 留言内容: 今天上网把你们的考研网上押题讲座和你们上传的真题对比来看,押中的题还真不少来! 希望双博士在2004年考研政治理论方面继续给广大考生押题!!
	作者: 奋斗 来自: 福建 2003-2-16, 23:40:00 留言内容: 是的,我认为政治理论做的最好的部分是形势与政策部分,其中有关16大的考题共8分全部押中了;毛概部分押中了中国共产党的最低纲领和最高纲领部分;当代部分即最后的两个选作题,都能从押题的相关部分找到答案,这对我特别有用,因为我是一名理科生,对当代部分的内容不熟悉。谢谢双博士!!!
	作者: liutancai 来自: 广东 2003-5-25, 13:37:51 留言内容: 我购买了双博士的书觉得非常不错,现在上到她的网站,看到这么多对我等有用的东西,而且免费,更喜欢双博士了,感谢双博士!
	作者: 小林 来自: 广东 2003-7-13, 22:58:32 留言内容: 贵网页提供的内容非常丰富,对我们广大学生有很大的帮助。我经常浏览你们的网页,对我的帮助极大,可以说我能过六级、并考上研究生少不了你们的功劳。在此,想对你们说:谢谢!!!
	作者: 吴光华 来自: 黑龙江 2002-12-3, 18:07:19 留言内容: 你们的東西对我帮助很大,你们的书也挺出色,希望你们能够再接再厉,办得更好,谢谢!
	作者: kaoyan 来自: 北京 2002-11-30, 10:53:31 留言内容: 以前用你们的大学英语资料考四六级感觉很好,最近买了一套考研数学最后冲刺题,也还不错,希望你们多多努力,做好这个网站! 很感谢你
	作者: 谢军华 来自: 湖北 2002-12-6, 19:06:05 留言内容: 谢谢主编为我们提供这么方便的讲座!!你们能全心为我们着想! 太难得了。
	作者: mmer 来自: 四川 2003-2-9, 17:16:50 留言内容: 双博士教辅真的很不错,我和身边的同学用了都说好! 谢谢胡东华老师和编书老师,谢谢你们!
	作者: 杨杨 来自: 江苏 2002-11-28, 18:18:47 留言内容: 双博士教育网的同志们,你们出版的双博士《四级、六级预测试题》一书很好,押中了好几道题。
	作者: MATTHEW 来自: 四川 2002-12-2, 12:01:37 留言内容: 双博士考研单词记忆法非常棒,这次政治押题讲座上传的内容很不错。还有我想问一下胡老师是否是个基督徒!?

目 录

第一章 信号与系统的基本概念	(1)
1.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(1)
1.2 典型例题、考题分析	(7)
1.3 自测题及模拟训练题	(11)
第二章 连续时间系统的时域分析	(13)
2.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(13)
2.2 典型例题、考题分析	(18)
2.3 自测题及模拟训练题	(26)
第三章 连续时间信号与系统的频域分析	(30)
3.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(30)
3.2 典型例题、考题分析	(40)
3.3 自测题及模拟训练题	(47)
第四章 连续时间系统的复频域分析	(52)
4.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(52)
4.2 典型例题、考题分析	(58)
4.3 自测题及模拟训练题	(66)
第五章 复频域系统函数与系统模拟	(68)
5.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(68)
5.2 典型例题、考题分析	(76)
5.3 自测题及模拟训练题	(80)
第六章 离散时间信号与系统的时域分析	(83)
6.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(83)
6.2 典型例题、考题分析	(90)
6.3 自测题及模拟训练题	(95)
第七章 离散时间信号与系统的 z 域分析	(98)
7.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(98)
7.2 典型例题、考题分析	(107)
7.3 自测题及模拟训练题	(115)
第八章 连续时间系统与离散时间系统的状态变量分析	(118)
8.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要	(118)
8.2 典型例题、考题分析	(125)
8.3 自测题及模拟训练题	(134)
第九章 各章自测题及模拟训练题参考答案	(136)
1.3 自测题及模拟训练题参考答案	(136)
2.3 自测题及模拟训练题参考答案	(138)
3.3 自测题及模拟训练题参考答案	(142)
4.3 自测题及模拟训练题参考答案	(146)
5.3 自测题及模拟训练题参考答案	(150)
6.3 自测题及模拟训练题参考答案	(153)
7.3 自测题及模拟训练题参考答案	(156)

U
M
U
L
目
录

8.3 自测题及模拟训练题参考答案	(161)
第十章 硕士研究生入学考试全真模拟试卷及详解	(164)
模拟试卷一	
(国防科技大学 2000 年)	(164)
模拟试卷二	
(国防科技大学 2001 年)	(171)
模拟试卷三	
(国防科技大学 2002 年)	(177)



第一章 信号与系统的基本概念

1.1 基本概念及重点、热点、考点内容精要

1.1.1 信号的定义与分类

1. 定义

信号,一般指电信号,它的基本形式是随时间变化的电流或电压。信号常可表示为时间的函数或序列,该函数的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:

(1) 连续时间信号和离散时间信号。在连续的时间范围内有定义的信号称为连续时间信号;而在离散的时间点有定义的信号则为离散时间信号。

(2) 周期信号与非周期信号。

(3) 能量信号与功率信号。对于信号的能量 $E = \lim_{T \rightarrow \infty} \int_{-T}^T |f(t)|^2 dt$ 有 $0 < E < \infty$, 则称其为能量信号,其功率为0。若功率 $0 < p < \infty$, 则称为功率信号,其能量为 ∞ 。单个脉冲信号、单边指数信号等是能量信号,而阶跃信号、周期信号称为功率信号。

(4) 确知信号与随机信号。信号可以表示为一个确定的时间函数(序列),则称为确知信号;反之若给定某一时间,函数没有确定的值,只能用概率和统计等方法描述,则为随机信号。

(5) 一维信号与多维信号。

(6) 实信号与复信号。

理解重点:周期信号与非周期信号,能量信号与功率信号,连续信号与离散信号。

3. 几种具体信号的定义

(1) 无限信号 在 $t \in (-\infty, +\infty)$ 区间内,都有 $f(t) \neq 0$ 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,可用 $f(t)u(t)$ 表示。 $u(t)$ 为单位阶跃信号,后面将详细论述。

(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,起始时刻为 t_1 (t_1 为实常数)。其中,因果信号为有始信号的特例。

(4) 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,终止时刻为 t_2 (t_2 为实常数)。

(5) 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。它既是有始信号,也是有终信号。

理解重点:因果信号和无限信号的定义。



1.1.2 连续信号

1. 直流信号

$$f(t) = A \quad (-\infty < t < +\infty)$$

式中 A 为实常数。若 $A = 1$, 则称为单位直流信号。

2. 正弦信号

$$f(t) = A \cos(\omega t + \varphi) \quad (-\infty < t < +\infty)$$

式中 A, ω, φ 分别称为振幅、角频率和初相, 均为实常数。可见正弦信号的定义域 $(-\infty, +\infty)$ 与值域 $[-A, +A]$ 都是连续的。

在通信中, 调幅信号指的是振幅 A 随调制信号变化; 调频信号指的是角频率 ω 随调制信号变化; 调相信号指的是初相 φ 随调制信号变化。

正弦信号有如下性质:

(1) 正弦信号的微分仍是正弦信号

$$\frac{d}{dt}f(t) = \frac{d}{dt}[A \cos(\omega t + \varphi)] = -\omega A \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

(2) 另外正弦信号的二次微分满足:

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

在信号与系统分析中, 这一性质非常有用。

3. 单位阶跃信号

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

在跳变点 $t = 0$ 处, 函数值未定义, 或在 $t = 0$ 处规定函数值 $u(0) = \frac{1}{2}$ 。

4. 单位冲激信号

$$(1) \text{ 定义 } \begin{cases} \delta(t) = 0, t \neq 0 \\ \delta(t) \rightarrow 0, t = 0 \\ \int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1 \end{cases}$$

(2) 性质

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

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

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t) dt = f(0)$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta(t - t_0) dt = f(t_0)$$

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

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

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

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



$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \delta(at) dt = \frac{1}{|a|} f(0)$$

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

$$\delta(t) = \frac{du(t)}{dt}$$

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

式中 a 为大于零的实常数; t_0 为实常数。

5. 冲激偶信号

(1) 定义 冲激函数的微分(阶跃函数的二阶导数)将呈现正、负极性的一对冲激,称之为冲激偶信号,以 $\delta'(t)$ 表示。即

$$\delta'(t) = \frac{d\delta(t)}{dt}$$

(2) 性质

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

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

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

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

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

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

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta^{(n)}(t) dt = (-1)^n f^{(n)}(0)$$

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

式中 t_0 为实常数。

6. 符号函数 $\text{sgn}(t)$

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

或

$$\text{sgn}(t) = u(t) - u(-t) = 2u(t) - 1$$

7. 单位斜坡信号

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

$r(t), u(t), \delta(t)$ 之间存在着积分(微分)关系:

$$r(t) = \int_{-\infty}^t u(\tau) d\tau \quad \frac{dr(t)}{dt} = u(t)$$

$$r(t) = \int_{-\infty}^t \left(\int_{-\infty}^u \delta(\tau) d\tau \right) du \quad \frac{d^2 r(t)}{dt^2} = \delta(t)$$

8. 单边衰减指数信号 $f(t) = Ae^{-at}u(t) = Ae^{-\frac{1}{\tau}t}u(t)$



式中 a, τ 均为大于 0 的实常数, $\tau = \frac{1}{a}$, 称为时间常数, 单位为 s。

9. 复指数信号

$$f(t) = Ae^{st} \quad (-\infty < t < +\infty)$$

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

由复指数信号可以得出许多信号形式:

- (1) 当 $s = 0$ 时, $f(t) = A$, 为直流信号;
- (2) 当 $s = \sigma$ 时, $f(t) = Ae^{\sigma t}$, 为实指数信号;
- (3) 当 $s = j\omega$ 时, $f(t) = Ae^{j\omega t} = A\cos(\omega t) + jA\sin(\omega t)$;
- (4) 当 $s = \sigma + j\omega$ 时, $f(t) = Ae^{\sigma t}[\cos(\omega t) + j\sin(\omega t)]$ 。

10. $\text{Sa}(t)$ 函数(抽样函数)

$$f(t) = \frac{\sin t}{t} = \text{Sa}(t) \quad (-\infty < t < +\infty)$$

其性质如下:

- (1) $f(t) = \frac{1}{t} \sin t$ 为实变量 t 的偶函数;
- (2) $\lim_{t \rightarrow 0} f(t) = f(0) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\sin t}{t} = 1$;
- (3) 当 $t = k\pi (k = \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots)$ 时, $f(t) = 0$;
- (4) $\int_0^{\infty} \text{Sa}(t) dt = \frac{\pi}{2}$
- (5) $\int_{-\infty}^{+\infty} \text{Sa}(t) dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin t}{t} dt = \pi$;
- (6) $\lim_{t \rightarrow \pm\infty} \frac{\sin t}{t} = 0$ 。

理解重点: 单位阶跃信号, 单位冲激信号, 抽样函数; 而符号函数、单位斜坡信号及单边衰减指数信号则是在将来的学习中常会用到的。

1.1.3 信号的时域分解

1. 任意信号 $f(t)$ 都可以分解为一系列基本函数的加权和形式

(1) $f(t)$ 可分解为不同时刻具有不同阶跃幅度的无穷多个阶跃信号的和, 即

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

(2) $f(t)$ 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信号的连续和, 即

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

2. 任意信号 $f(t)$ 还可以分解为两个正交分量之和的形式

(1) $f(t)$ 可分解为直流分量 f_D 与交流分量 $f_A(t)$ 之和, 即

$$f(t) = f_D + f_A(t)$$

(2) $f(t)$ 可分解为偶分量 $f_e(t)$ 与奇分量 $f_o(t)$ 之和, 即

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

其中



偶分量定义为 $f_e(t) = \frac{1}{2}[f(t) + f(-t)]$

奇分量定义为 $f_o(t) = \frac{1}{2}[f(t) - f(-t)]$

若 $f(t)$ 为因果信号, 则有

$$f_e(t) = f_o(t) \quad (t > 0)$$

$$f_e(t) = -f_o(t) \quad (t < 0)$$

或写成

$$f_e(t) = f_o(t) \operatorname{sgn}(t)$$

$$f_o(t) = f_e(t) \operatorname{sgn}(t)$$

1.1.4 信号的时域变换

信号的时域变换见表 1-1。

表 1-1 信号的时域变换

信号形式 变换形式		连续信号	离散信号
移位	右移		
	左移		
反折			
尺度变换	$a < 1$		
	$a > 1$		
移位、反折、尺度变换三者相结合的变换			



1.1.5 信号的时域运算

信号的时域运算见表 1-2。

表 1-2 信号的时域运算

信号类别 运算形式	连续信号 设信号 $f_1(t)$ $f_2(t)$, 运算结果信号为 $y(t)$	离散信号 设信号 $f_1(n)$ $f_2(n)$, 运算结果信号为 $y(n)$
加、减运算	对应时刻两信号相加、减 $y(t) = f_1(t) \pm f_2(t)$	对应时刻两信号相加、减 $y(n) = f_1(n) \pm f_2(n)$
乘运算	对应时刻两信号相乘 $y(t) = f_1(t) \cdot f_2(t)$	对应时刻两信号相乘 $y(n) = f_1(n) \cdot f_2(n)$
微(差)分运算	$y_1(t) = \frac{df_1(t)}{dt}$ $y_2(t) = \frac{df_2(t)}{dt}$	$\nabla y_1(n) = f_1(n) - f_1(n-1)$ (后向一阶差分) $\Delta y_2(n) = f_2(n+1) - f_2(n)$ (前向一阶差分)
积分(累加和)运算	$y_1(t) = \int_{-\infty}^t f_1(\tau) d\tau$ $y_2(t) = \int_{-\infty}^t f_2(\tau) d\tau$	$y_1(n) = \sum_{m=-\infty}^n f_1(m)$ $y_2(n) = \sum_{m=-\infty}^n f_2(m)$
卷积(和)运算	定义 $y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\tau) f_2(t-\tau) d\tau$	$y(n) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} f_1(m) f_2(n-m)$
	运算步骤 换元 $\rightarrow$ 反折 $\rightarrow$ 平移 $\rightarrow$ 相乘积分	换元 $\rightarrow$ 反折 $\rightarrow$ 平移 $\rightarrow$ 相乘求和
	运算规则 (1) 满足交换律、结合律、分配律 (2) $f_1(t) * \delta(t) = f_1(t)$ $f_2(t) * \delta(t-t_0) = f_2(t-t_0)$ (3) $\frac{d[f_1(t) * f_2(t)]}{dt} = \frac{df_1(t)}{dt} * f_2(t) = f_1(t) * \frac{df_2(t)}{dt}$ (4) $\int_{-\infty}^t [f_1(\tau) * f_2(\tau)] d\tau = \left[\int_{-\infty}^t f_1(\tau) d\tau \right] * f_2(t) = f_1(t) * \left[\int_{-\infty}^t f_2(\tau) d\tau \right]$	(1) 满足交换律、结合律、分配律 (2) $f_1(n) * \delta(n) = f_1(n)$ $f_2(n) * \delta(n-n_0) = f_2(n-n_0)$

6

1.1.6 系统的定义与分类

系统是能够处理各种输入的物理实体,而模型是系统基本特性的数学抽象。本课程研究系统,就是研究它的数学模型。

根据系统数学模型的差异,系统可分为

(1) 有记忆系统和无记忆系统。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, 则这种系统称为有记忆系统。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, 则这种系统称为静态系统, 也称无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。随着时间的变化,系统的数学模型保持不变的系统就为时不变系统,否则为时变系统。

(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,现实世界中只有因果系统是可实现的,因此也称可实现系统。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。不能满足因果性质的系统称为非因果系统。

(5) 连续时间系统与离散时间系统。系统的输入和输出是时间的连续函数,则为连续时间系统,反之为离散时间系统。

(6) 集总参数系统与分布参数系统。只由集总参数元件组成的系统称为集总参数系统。含有分布参数元件的系统是分布参数系统。

理解重点:因果系统与非因果系统,线性系统与非线性系统。

1.1.7 线性时不变因果系统的性质

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, 则线性时不变因果系统有如下性质:

(1) 齐次性 $Af(t) \rightarrow Ay(t)$, 即 $Ay(t) = T[Af(t)]$

(2) 叠加性 $f_1(t) + f_2(t) \rightarrow y_1(t) + y_2(t)$, 即 $y_1(t) + y_2(t) = T[f_1(t) + f_2(t)]$

(3) 线性 $A_1f_1(t) + A_2f_2(t) \rightarrow A_1y_1(t) + A_2y_2(t)$, 即 $A_1y_1(t) + A_2y_2(t) = T[A_1f_1(t) + A_2f_2(t)]$

(4) 时不变性(定常性、延迟性) $f(t - \tau) \rightarrow y(t - \tau)$, 即 $y(t - \tau) = T[f(t - \tau)]$

(5) 微分性 $\frac{df(t)}{dt} \rightarrow \frac{dy(t)}{dt}$, 即 $\frac{dy(t)}{dt} = T[\frac{df(t)}{dt}]$

(6) 积分性 $\int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau \rightarrow \int_{-\infty}^t y(\tau) d\tau$, 即 $\int_{-\infty}^t y(\tau) d\tau = T[\int_{-\infty}^t f(\tau) d\tau]$

(7) 因果性 若当 $t < 0$ 时激励 $f(t) = 0$, 则当 $t < 0$ 时响应 $y(t) = 0$ 。或者说当 $t > 0$ 时作用于系统的激励 $f(t)$, 在 $t < 0$ 时不会在系统中产生响应。

1.1.8 研究系统的方法

(1) 输入输出法 只给定输入输出之间的对应关系,而不关心系统内部的情况

(2) 状态变量法 用状态方程和输出方程描述系统,对应关系如:



1.2 典型例题、考题分析

【例题 1-1】(北京航空航天大学 2000 年考研试题)已知系统:(a) $y(n) = 2f(n) + 3$,
(b) $y(t) = f(2t)$, (c) $y(n) = f(-n)$, (d) $y(t) = tf(t)$ 。

试判断上述哪些系统满足下列条件:

(1) 不是线性的系统是:(a) (b) (d)

(2) 不是稳定的系统是:(a) (b) (c) (d)

(3) 不是时不变的系统是:(a) (b) (c) (d)

(4) 不是因果的系统是:(a) (b) (c) (d)



【解析】

(1) 对于(a), 因为 $T[af_1(n) + bf_2(n)] = 2[af_1(n) + bf_2(n)] + 3$, 即

$$ay_1(n) + by_2(n) = 2af_1(n) + 2bf_2(n) + 6$$

所以该系统是一个非线性系统。

(2) (d) 不是稳定系统, 因为随着 $t \rightarrow \infty, y(t) \rightarrow \infty$ 。

(3) (b)、(c)、(d) 不是时不变的系统。

对于 $y(t) = f(2t)$, 有 $T[f(t - t_0)] = f(2t - t_0) \neq f(2t - 2t_0) = y(t - t_0)$

对于 $y(n) = f(-n)$, 有 $T[f(n - n_0)] = f(-n - n_0) \neq f(-n + n_0) = y(n - n_0)$

对于 $y(t) = tf(t)$, 有 $T[f(t - t_0)] = tf(t - t_0) \neq (t - t_0)f(t - t_0) = y(t - t_0)$

(4) (b)、(c) 不是因果的系统。

对于 $y(n) = f(-n)$, 当 $n = -1$ 时, 有 $y(-1) = f(1)$ 。

【小结】 可以总结出来, 一般形如 $y(t) = T[f(t)] + b$ 的系统不是线性系统; 形如 $y(t) = tT[f(t)]$ 的不是稳定系统; 形如 $y(t) = T[f(at)]$ 或 $T[f(b - t)]$ 的不是因果系统; 只要不是形如 $y(t) = T[f(t)]$ 的系统都是时变系统。注意, 这里 $T[f(t)]$ 指的是对 $f(t)$ 的线性变换。

【例题1-2】 (浙江大学1999年考研试题) 对以下系统, 试判断其线性、时不变、因果、稳定、记忆等特性, 并说明理由。

8

$$(1) y(n) = \sum_{k=n-1}^{n+5} f(k)$$

$$(2) y(t) = f(t-1) - f(1-t)$$

$$(3) y(n) = nf(n)$$

【解析】

(1) $y(n) = \sum_{k=n-1}^{n+5} f(k)$ 代表的系统是线性、时不变、非因果、稳定、有记忆的系统。下面我们逐步验证:

$\because f(n)$ 与 $y(n)$ 之间满足齐次性和可加性, $\therefore$ 是线性的;

$\because f(n - n_0) \rightarrow \sum_{k=n-1}^{n+5} f(k - n_0) = y(n - n_0)$, $\therefore$ 是时不变的;

当 $-5 \leq n < 0$ 时, $y(n) \neq 0$; 是非因果的

$\because$ 无论 n 取何值, 只要 $|f(n)| < +\infty$, $|y(n)|$ 总小于 $+\infty$ $\therefore$ 是稳定的;

$\because$ 当 $n = 0$ 时, 有 $y(0) = \sum_{k=-1}^5 f(k)$, 即输出与前一时刻的输入有关, 所以系统是有记忆的。

(2) $y(t) = f(t-1) - f(1-t)$ 代表的系统是线性、时变、非因果、稳定、有记忆的系统。原因同(1)。

$\because T[f(t - t_0)] = f(t - t_0 - 1) - f(1 - t - t_0) \neq f(t - t_0 - 1) - f(1 - t + t_0) = y(t - t_0)$
 $\therefore$ 是时变的。

$\because y(0) = f(-1) - f(1)$, $\therefore$ 是有记忆的。

$y(-0.5) = f(-1.5) - f(1.5) = -f(1.5) \neq 0 \therefore$ 是非因果的。

(3) $y(n) = nf(n)$ 代表的系统是非线性、时变、因果、不稳定、无记忆系统。原因同(1)。

$T[f(n - n_0)] = nf(n - n_0) \neq (n - n_0)f(n - n_0) = y(n - n_0) \therefore$ 是时变的。