

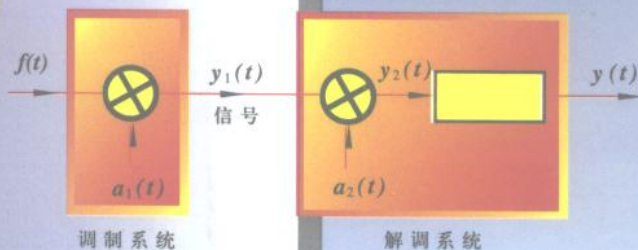
# 信号与系统

## 常见题型解析及模拟题

范世贵 主编

通向研究生之路  
系列丛书

- 考研者  
愿望成真的阶梯
- 大学生  
知识汲取的源泉
- 自学者  
闯关过隘的桥梁



理论提要 · 例题解析 · 模拟题

西北工业大学出版社

TN911.6-44

F13

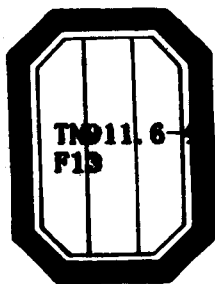
通向研究生之路系列丛书

# 信号与系统

## 常见题型解析及模拟题

范世贵 主编

段哲民 王淑敏 范世贵 编



西北工业大学出版社

1999年9月 西安

(陕)新登字 009 号

3A/E/01

【内容简介】 本书是根据原国家教委(现教育部)教学指导委员会制定的高等工业学校《信号与系统课程教学基本要求》及硕士学位研究生入学考试要求而编写的考研、自学、复习辅导用书。全书内容包括: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,共9章。每章包括重点与难点、例题精选及习题三部分;附录部分提供了6套研究生入学考试模拟题(含参考解答);书后附有各章的习题参考答案。

本书可作为报考硕士学位研究生的考生在考前进行系统复习的参考书,也可作为大学本、专科学生学习信号与系统课程的辅助教材。

#### 图书在版编目(CIP)数据

信号与系统常见题型解析及模拟题/范世贵主编;段哲民,王淑敏,范世贵编. —西安:西北工业大学出版社,1999.9

(通向研究生之路系列丛书)

ISBN 7-5612-1138-4

I. 信… II. ①范…②范…③王…④段… 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(1999)第 46540 号

© 1999 西北工业大学出版社出版发行  
(邮编:710072 西安市友谊西路127号 电话:8491147)  
全国各地新华书店经销  
西安市向阳印刷厂印装

\*

开本:787毫米×1092毫米 1/16 印张:18.625 字数:445千字  
1999年9月第1版 1999年9月第1次印刷  
印数:1—5000册 定价:23.00元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

# 前 言

本书是西北工业大学出版社根据原国家教委(现教育部)教学指导委员会制定的《信号与系统课程教学基本要求》及硕士学位研究生入学考试基本要求而策划和组织编写的“通向研究生之路系列丛书”之一,目的在于为有志攻读硕士学位的考生提供考前进行系统复习的参考书,同时也可供大学本科、专科学生在学习信号与系统课程时作为辅助教材。

全书内容共九章: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。每章内容包括重点与难点、例题精选及习题三部分。重点与难点简要阐述各章的基本内容和要求;例题精选,通过对典型例题的分析,使读者加深对基本概念和内容的理解,提高分析问题解决问题的能力;每章后精选了少量习题,供读者学习和复习后进行自我检测。书中的附录部分提供了6套研究生入学考试模拟题(含参考解答),这些模拟试题都是从近年来国内重点大学的研究生入学考试题中选择拟制的,供读者和考生了解试题的题型、范围、深度和难易程度以及解题和答题的方法。

本书由范世贵主编。王淑敏编写了2,5,6章;段哲民编写了3,4,7,8章,其余各章和附录以及全书的内容安排和统稿,由范世贵完成。在编写中,西北工业大学电子工程系电路与系统教研室的老师给予了大力支持;同时,我们还参阅了大量著作、文献和资料。在此一并谨致诚挚的谢意。

编 者  
1999年4月

## 通向研究生之路系列丛书编委会

- 顾问** 戴冠中（西北工业大学校长，博士生导师，教授）
- 主任委员** 徐德民（西北工业大学副校长，博士生导师，教授）
- 副主任委员** 孙朝（陕西省学位委员会办公室主任）
- 王润孝（西北工业大学教务处处副处长，教授）
- 冯博琴（西安交通大学教务处处副处长，教授）
- 韦全生（西安电子科技大学教务处处副处长，副教授）
- 郑永安（西北工业大学出版社副总编，副编审）
- 委员** 史忠科 张畴先 王公望 葛文杰
- 刘达 支希哲 范世贵 武自芳
- 策划** 王璐 张近乐

# 序

● 邱关源\*

面向 21 世纪,社会对德才兼备的高素质科技人才的需求更加迫切。通过行之有效的途径和方法培养符合时代要求的优秀人才,是摆在全社会尤其是高等学校、科研院(所)面前一项艰巨而现实的问题。

为了强化素质教育,使大学生学有所长,增强才智,高等教育部门各有关单位对高等学校公共基础课、技术基础课到专业课的整个教学过程做了大量细致的工作。与之相配合,不少出版社也相继出版了指导学生理解、领会教学内容,增强分析、解决问题能力的辅导读物,其中多数是关于外语、数学、政治等公共基础课的,极大地满足了大学生基础课学习阶段相应的要求。但当学习技术基础课时,学生们同样需要合适的参考书来帮助他们掌握课程重点和难点,提高课程学习水平,以及指导解题的思路和技巧,乃至适应研究生入学考试的需求。不过,这类读物目前比较少见。基于此,西北工业大学出版社的同志们深入作者、读者之中,进行市场调查,在广泛听取意见的基础上,组织数十位在重点大学执教多年,具有较高学术造诣的一线教

---

\* 邱关源——西安交通大学教授,博士生导师。曾任第一、二届中国电工技术学会理论电工专业委员会副主任委员,高等教育委员会工科电工课程教学指导委员会委员。

师,经历两年,精心编撰了这套旨在有效指导大学生学习技术基础课,为课程学习、应试考研及以后工作提供帮助的参考书。

该丛书首批推出9种,所有书稿几经修改,并经同行专家审定。内容选材符合课程基本要求,并且重在对基本概念的启发、理解和提高读者分析问题的能力。我热情地向大家推荐这套丛书,希望它能对广大读者的学习有所帮助,更期望它能在强化素质教育、推动教学改革方面起到积极作用。

邱关源

1997年10月

# 出版 说明

近年来，随着经济建设的快速发展和科教兴国战略的实施，社会对高素质专业人才的需求更加迫切。崇尚知识，攻读学位，不仅是一种知识价值的体现，更是社会进步的标志。“考研热”已成为当今中国社会的一道引人注目的风景线，成为莘莘学子乃至社会关注的焦点和热点。

研究生入学考试是通向研究生之路的基石，考试成绩的高低是能否跨入研究生之门的主要依据。为了配合考生进行有效的复习，不少出版社围绕国家教委颁布的考试大纲，相继推出了众多的考研复习辅导书，其中尤以公共基础课（外语、数学、政治）的应考书最多。

事实上，研究生入学考试不仅包括外语、数学等公共基础课，技术基础课（专业基础课）和专业课也是必考科目。片面强调公共基础课，导致技术基础课及专业课考试失分，是众多报考者最终未能如愿的主要原因，此中技术基础课对考生影响尤甚。作为制约人才培养和成长的课程因素，加强技术基础课的学习，拓宽基础知识，已成为广大学生及教师共同的心声。

为了推动教学改革，弥补技术基础课学时短、内容多，学生难以在课堂内准确理解、全面接受教学内容之不足；更为了满足当今社会对基础扎实、专业面宽、动手能力强的人才的需求，促进大学生学有所长，早日成才，西北工业大学出版社策划和组织编写了通向研究生之路系列丛书。本丛书首批推出9种，所对应的9门课程是：自动控制原理、机械原理、材料力学、理论力学、模拟电子技术、数字电子技术、电工技术、电子技术、微型计算机原理。其余课程的指导书将陆续推出，届时将基本涵盖全国工科院校所开设的技术基础课和拟选定的考研要求科目。

本丛书具有如下特点：

## 1. 选题新颖，独树一帜

技术基础课历来不像外语、数学、政治等公共基础课一样受到出版者的重视，因而这方面的指导书凤毛麟角，学生很难找到一套系统的、全面的、富有针对性的参考书。该丛书站在新的视角，有计划地推出整套工科技术基础课学习用书，令人耳目一新，为之一振。

## 2. 紧扣大纲，严把尺度

该丛书紧紧围绕国家教委制定的教学大纲及研究生入学考试大纲，按照提高基础知识与解题技巧的主线，展开论述。丛书既巩固和加深学生对技术基础课重点、难点的理解，又重在为备考研究生提供有力的指导，即既要保证课程学习时开卷有益，又要对复习应考行之有效。

## 3. 重视能力，提高技巧

该丛书时刻牢记不管是学习还是考试其最终目的都是为了提高学生分析问题、解决问题的能力这一主旨，重在通过阐明基本要点及设定典型例题解析来引导学生识题、解题。丛书中所选例题均是历届课程结业考试及考研中出现过的试题，经精选、精编后，既避免了让学生陷入“茫茫题海”的窘境，又使学生在有限的时间内掌握大纲所规定的基本内容，提高自己的解题潜能，从而在课程考试及研究生考试中立于不败之地。

## 4. 选材得当，重点突出

参加本套丛书编写的均为从事教学工作多年的资深教师，他们既能把握住课程要求的脉搏，又最了解学生的学习的状况和需求心态，因而在丛书内容的取舍，材料的选编及文字表达方面能更胜一筹。正因为如此，该丛书内容得当，材料全而不滥，精而易懂，注释简明，解析扼要，使学生乐于阅读，易于接受。

本丛书的出版得到了多方面的支持和关心，陕西省学位委员会办公室、西安交通大学、西安电子科技大学、西北工业大学等单位的有关人士为本丛书的出版出谋划策，提出了许多建设性的意见。西安交通大学邱关源教授献身教育事业 50 余年，德高望重，学识渊博，他在百忙中为本丛书写了序，充分肯定了本丛书的价值。在此，我们一并表示衷心的感谢。

“通向研究生之路系列丛书”的出版不论是对大学生的课程学习还是对有关考研人员以及广大自学者来说无疑都是一个福音，我们衷心希望本丛书能帮助广大读者闯关过隘，获得课程考试或研究生入学考试的好成绩，我们也祝愿天下莘莘学子早日如愿以偿，大展鸿图！

丛 书 编 委 会

1999 年 3 月

# 目 录

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. 信号与系统的基本概念 .....                   | 1  |
| 1.1 重点与难点 .....                       | 1  |
| 1.1.1 信号的定义与分类 .....                  | 1  |
| 1.1.2 基本的连续信号 .....                   | 1  |
| 1.1.3 信号的时域分解 .....                   | 4  |
| 1.1.4 信号的时域变换 .....                   | 4  |
| 1.1.5 信号的时域运算 .....                   | 5  |
| 1.1.6 系统的定义与分类 .....                  | 6  |
| 1.1.7 线性时不变因果系统的性质 .....              | 6  |
| 1.1.8 研究系统的方法 .....                   | 6  |
| 1.2 例题精选 .....                        | 6  |
| 1.3 习题 .....                          | 19 |
| 2. 连续系统时域分析 .....                     | 21 |
| 2.1 重点与难点 .....                       | 21 |
| 2.1.1 系统的数学模型——微分方程与转移算子 $H(p)$ ..... | 21 |
| 2.1.2 系统自然频率的求法 .....                 | 22 |
| 2.1.3 卷积积分 .....                      | 22 |
| 2.1.4 微分方程的解——系统的全响应 .....            | 23 |
| 2.2 例题精选 .....                        | 25 |
| 2.3 习题 .....                          | 38 |
| 3. 连续信号频域分析 .....                     | 40 |
| 3.1 重点与难点 .....                       | 40 |
| 3.1.1 任意信号表示为完备的正交函数集 .....           | 40 |
| 3.1.2 周期信号的频域分析 .....                 | 41 |
| 3.1.3 非周期信号的频域分析 .....                | 42 |
| 3.1.4 功率信号与能量信号 .....                 | 45 |
| 3.1.5 抽样信号与抽样定理 .....                 | 46 |
| 3.2 例题精选 .....                        | 46 |
| 3.3 习题 .....                          | 69 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| 4. 连续系统频域分析 .....                  | 71  |
| 4.1 重点与难点 .....                    | 71  |
| 4.1.1 非正弦周期信号激励下系统的稳态响应 .....      | 71  |
| 4.1.2 频域系统函数 $H(j\omega)$ .....    | 72  |
| 4.1.3 非周期信号激励下系统的零状态响应 .....       | 73  |
| 4.1.4 理想低通滤波器及其传输特性 .....          | 73  |
| 4.1.5 信号传输的不失真条件 .....             | 73  |
| 4.2 例题精选 .....                     | 74  |
| 4.3 习题 .....                       | 92  |
| 5. 连续系统复频域分析 .....                 | 95  |
| 5.1 重点与难点 .....                    | 95  |
| 5.1.1 拉普拉斯变换 .....                 | 95  |
| 5.1.2 电路的复频域模型与复频域中的电路定律 .....     | 98  |
| 5.1.3 线性系统的复频域分析法 .....            | 99  |
| 5.2 例题精选 .....                     | 99  |
| 5.3 习题 .....                       | 113 |
| 6. 复频域系统函数与系统模拟 .....              | 115 |
| 6.1 重点与难点 .....                    | 115 |
| 6.1.1 复频域系统函数 .....                | 115 |
| 6.1.2 复频域系统函数与系统时域响应和频率特性的关系 ..... | 117 |
| 6.1.3 系统函数与系统稳定性的关系 .....          | 119 |
| 6.1.4 系统的框图、信号流图与模拟 .....          | 120 |
| 6.2 例题精选 .....                     | 122 |
| 6.3 习题 .....                       | 141 |
| 7. 离散信号与系统时域分析 .....               | 144 |
| 7.1 重点与难点 .....                    | 144 |
| 7.1.1 离散信号及其时域特性分析 .....           | 144 |
| 7.1.2 离散系统时域描述与时域模拟 .....          | 148 |
| 7.1.3 线性时不变离散系统的性质 .....           | 149 |
| 7.1.4 离散系统全响应的三种分解方式 .....         | 150 |
| 7.1.5 离散系统零输入响应的求解 .....           | 150 |
| 7.1.6 离散系统的单位响应与阶跃响应 .....         | 150 |
| 7.1.7 离散系统零状态响应的卷积和分析 .....        | 151 |
| 7.1.8 离散系统全响应的求解方法 .....           | 152 |
| 7.2 例题精选 .....                     | 153 |

|                                            |            |
|--------------------------------------------|------------|
| 7.3 习题 .....                               | 175        |
| <b>8. 离散信号与系统 <math>z</math> 域分析</b> ..... | <b>178</b> |
| 8.1 重点与难点 .....                            | 178        |
| 8.1.1 $z$ 变换 .....                         | 178        |
| 8.1.2 离散系统 $z$ 域分析 .....                   | 181        |
| 8.1.3 离散系统的系统函数 $H(z)$ .....               | 181        |
| 8.1.4 离散系统的模拟与信号流图 .....                   | 184        |
| 8.1.5 离散系统的频率特性 .....                      | 184        |
| 8.1.6 离散系统的正弦稳态响应 .....                    | 185        |
| 8.2 例题精选 .....                             | 185        |
| 8.3 习题 .....                               | 203        |
| <b>9. 状态变量法</b> .....                      | <b>205</b> |
| 9.1 重点与难点 .....                            | 205        |
| 9.1.1 基本概念与定义 .....                        | 205        |
| 9.1.2 连续系统状态方程与输出方程的列写 .....               | 206        |
| 9.1.3 连续系统状态方程与输出方程的 $s$ 域解法 .....         | 207        |
| 9.1.4 连续系统状态方程与输出方程的时域解法 .....             | 209        |
| 9.1.5 离散系统的状态变量分析 .....                    | 210        |
| 9.1.6 状态方程的线性变换与矩阵 $A$ 的对角线化 .....         | 212        |
| 9.1.7 根据状态方程判断系统的稳定性 .....                 | 212        |
| 9.1.8 系统的可控性与可观测性 .....                    | 213        |
| 9.2 例题精选 .....                             | 214        |
| 9.3 习题 .....                               | 244        |
| <b>附录 硕士研究生入学考试模拟题(含参考解答)</b> .....        | <b>247</b> |
| I. 信号与系统(含电路) .....                        | 247        |
| II. 信号与系统(含电路) .....                       | 252        |
| III. 信号与系统 .....                           | 256        |
| IV. 信号与系统 .....                            | 263        |
| V. 信号与系统(含电路) .....                        | 266        |
| VI. 信号与系统(含电路) .....                       | 271        |
| <b>各章习题参考答案</b> .....                      | <b>279</b> |
| <b>参考书目</b> .....                          | <b>285</b> |

# 信号与系统的基本概念

## 1.1 重点与难点

### 1.1.1 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(和空间)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;确定信号与随机信号;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. 几种具体信号的定义

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

(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。因果信号为有始信号的特例。

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

(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,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。它既是有始信号,也是有终信号。

### 1.1.2 基本的连续信号

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  $A, \omega, \varphi$  分别称为振幅、角频率和初相, 均为实常数。

若  $A, \omega, \varphi$  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) 其微分仍然是正弦信号, 即

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

可见仅是幅度增至  $\omega$  倍, 初相增加了  $\frac{\pi}{2}$ 。

(2) 满足如下形式的二阶微分方程, 即

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

在信号与系统分析中, 这一性质非常有用。

### 3. 单位阶跃信号

$$U(t) = \begin{cases} 1 & (t > 0) \\ \frac{1}{2} & (t = 0) \\ 0 & (t < 0) \end{cases}$$

### 4. 单位冲激信号

(1) 定义:

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

(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. 单位冲激偶信号 $\delta'(t)$

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

(2) 性质:  $\delta'(t) = -\delta'(-t)$

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\delta^{(n)}(t - t_0) dt = (-1)^n f^{(n)}(t_0)$$

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

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

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

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

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

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

式中  $a, \tau$  均为  $> 0$  的实常数,  $\tau = \frac{1}{a}$ , 称为时间常数, 单位为 s。当  $t = \tau = \frac{1}{a}$  时有

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

#### 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;  $\sigma, \omega$  均为实常数,  $\sigma$  的单位为  $1/s$ ,  $\omega$  的单位为  $\text{rad/s}$ 。

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

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)  $\int_{-\infty}^{+\infty} f(t)dt = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\sin t}{t}dt = \pi$ ; (5)  $\lim_{t \rightarrow \pm\infty} \frac{\sin t}{t} = 0$ 。

### 1.1.3 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

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

(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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### 1.1.4 信号的时域变换

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

(2) 时移:将信号  $f(t)$  沿  $t$  轴平移  $\tau$  即得时移信号  $f(t - \tau)$ 。 $\tau$  为实常数,当  $\tau > 0$  时为右移,当  $\tau < 0$  时为左移。信号时移用时移器(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)为轴翻转  $180^\circ$ ,即得倒相(反相)信号  $[-f(t)]$ ,用倒相器实现,如图 1.2 所示。

(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  $0 < a < 1$ ,则表示  $f(t)$  的波形在时间轴上展宽到原来的  $1/a$  倍,如图 1.3(b) 所示( $a$  取  $\frac{1}{2}$ );若

$a > 1$ ,则表示  $f(t)$  的波形在时间轴上压缩到原来的  $1/a$ ,如图 1.3(c) 所示( $a$  取 2)。

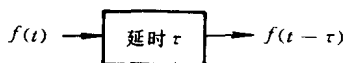


图 1.1 延时器

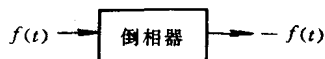


图 1.2 倒(反)相器

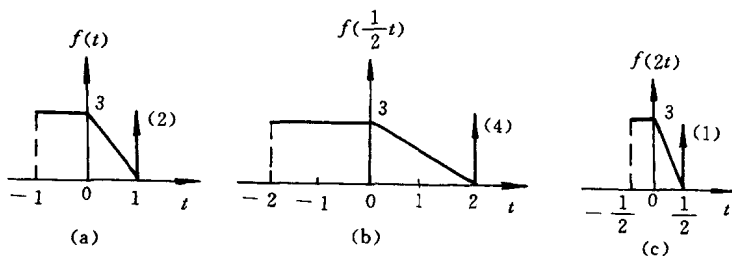


图 1.3 信号的时域展缩

### 1.1.5 信号的时域运算

(1) 相加: $n$  个信号  $f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)$  相加构成一新的信号  $y(t)$ ,即

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

相加运算用加法器实现,如图 1.4 所示

(2) 相乘: $n$  个信号  $f_1(t), f_2(t), \dots, f_n(t)$  相乘构成一新的信号  $y(t)$ ,即

$$y(t) = f_1(t) \times f_2(t) \times \dots \times f_n(t)$$

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。

(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。

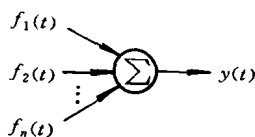


图 1.4 加法器

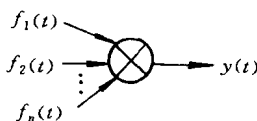


图 1.5 乘法器

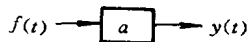


图 1.6 数乘器

(4) 微分:将信号  $f(t)$  求一阶导数即得微分信号  $y(t) = \frac{df(t)}{dt}$ 。信号的微分运算用微分器实现,如图 1.7 所示。

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

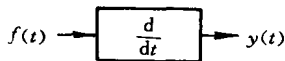


图 1.7 微分器



图 1.8 积分器

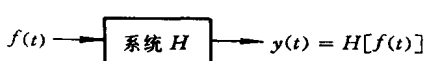


图 1.9 系统的定义