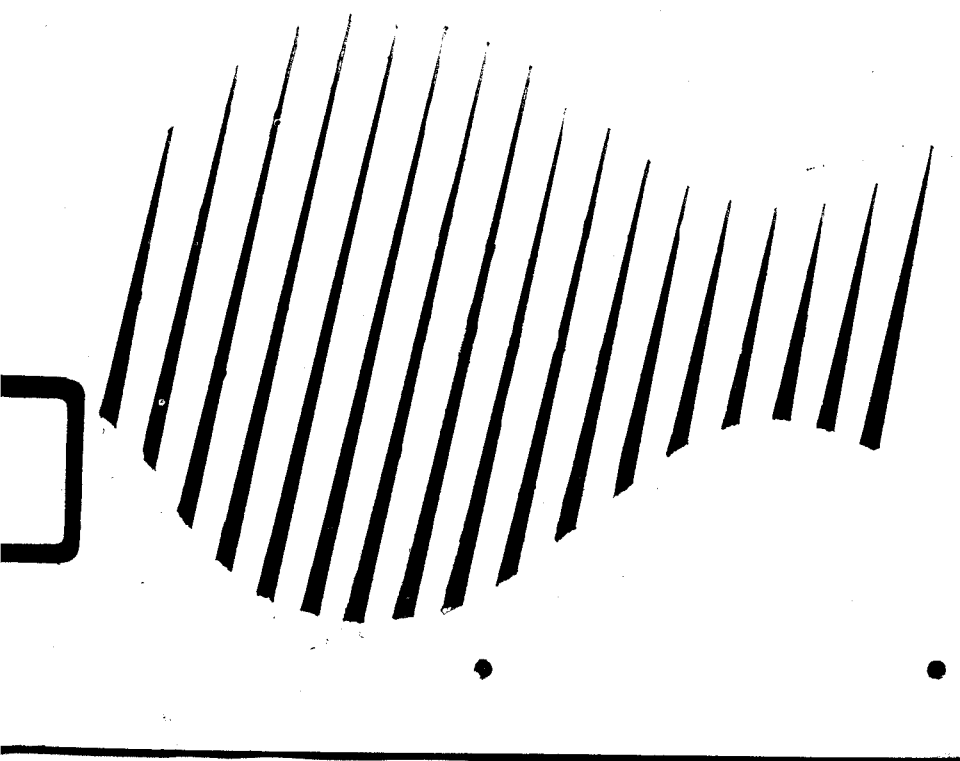


# 抗干扰理论与方法

龙德浩 陈志清 编著



责任编辑: 罗孝昌  
封面设计: 李 勤  
技术设计: 罗孝昌

### **抗干扰理论与方法**

龙德浩 陈志清 编著

---

四川科学技术出版社出版发行  
(成都市盐道街三号)

新华书店重庆发行所经销

四川省内江新华印刷厂印刷

ISBN 7—5364—0904—4/TN·44

---

1989年3月第1版 开本787×1092毫米 1/32

1989年3月第1次印刷 字数405千

印数 1—2500册 印张18.25 插页4

定 价: 6.90 元

---

## 前 言

美国阿波罗登月火箭的总设计师 蒂伯 说过：

“我所用的技术都是已有的、现存的，关键在于综合。”人们欲巧妙地、创造性地综合出各种各样新装置，即组合发明，必须全面地掌握和深刻地理解现有的各种技术与方法。

尽管抗干扰的方法很多，但大部分都零星地分散在有关杂志和书籍的某些章节之中。这对于初学者或使用者来说，欲全面了解并加以比较，往往是相当困难的。为此，本书系统地介绍了各种抗干扰方法的原理、特点、优点、缺点、适用范围及其待研究的问题，以便设计者选择和研究者参考。

本书第三章和第十章是陈志清同志写的，其余各章及全书定稿是龙德浩完成的。本书大部分内容曾对两届硕士研究生讲过；部分内容曾对高年级本科生讲过。

在编著本书时，注意收集了国内外有关专家的科研成果以及自己的研究结果，力求将书的内容写得系统，新颖，重点突出，适用面广。但是，笔者自知，难以如愿，不妥之处，敬祈读者和专家指正。

作者谨识

1988年3月

## 内 容 提 要

本书综述了大量散见在有关杂志和书籍中的抗干扰资料和学术论文, 包含国内外有关专家的最新研究成果。系统地介绍了抑制白噪声、抑制邻频干扰、抑制乘性干扰、抑制脉冲干扰、克服大信号阻塞、克服衰落和多径效应以及压缩动态范围的方法, 平均值自适应门限检测, 多种传输体制的抗干扰能力; 着重介绍了新近发展起来的、战略科学家和企业家十分重视的多功能抗干扰理论与方法或多功能电路。本书可供通讯、遥测遥控、雷达、导航、声纳、自动控制等有关工程技术人员和大专院校师生参考。

---

# 目 录

|                             |        |
|-----------------------------|--------|
| <b>第一章 基础知识</b> .....       | ( 1 )  |
| 1.1 信号的频谱分析.....            | ( 1 )  |
| 1.1-1 频谱分析的定义及基本公式.....     | ( 1 )  |
| 1.1-2 几个重要函数的频谱.....        | ( 4 )  |
| 1.2 频谱的特性.....              | ( 8 )  |
| 1.3 带通信号与带通系统.....          | ( 17 ) |
| 1.3-1 低通信号.....             | ( 17 ) |
| 1.3-2 理想低通滤波器.....          | ( 18 ) |
| 1.3-3 带通信号.....             | ( 20 ) |
| 1.3-4 窄带系统.....             | ( 24 ) |
| 1.3-5 带通系统计算举例.....         | ( 27 ) |
| 1.4 周期信号.....               | ( 30 ) |
| 1.5 功率密度谱.....              | ( 34 ) |
| 1.6 周期信号的相关函数.....          | ( 37 ) |
| 1.6-1 周期信号的自相关函数.....       | ( 37 ) |
| 1.6-2 周期信号的互相关函数.....       | ( 40 ) |
| 1.7 非周期信号的相关函数.....         | ( 43 ) |
| 1.7-1 非周期信号的自相关函数.....      | ( 43 ) |
| 1.7-2 非周期实信号的互相关函数.....     | ( 46 ) |
| 1.8 线性系统与相关函数.....          | ( 47 ) |
| 1.9 带通信号的相关函数.....          | ( 49 ) |
| 1.10 希尔伯特变换.....            | ( 53 ) |
| <b>第二章 关于抗干扰的某些问题</b> ..... | ( 60 ) |
| 2.1 干扰及其干扰信号概述.....         | ( 60 ) |

|            |                                 |               |
|------------|---------------------------------|---------------|
| 2.1-1      | 内部噪声 .....                      | ( 60 )        |
| 2.1-2      | 外部干扰信号 .....                    | ( 68 )        |
| 2.1-3      | 对抗干扰方法的基本要求 .....               | ( 70 )        |
| 2.1-4      | 噪声系数 .....                      | ( 72 )        |
| 2.2        | 邻频窄带干扰 .....                    | ( 77 )        |
| 2.3        | 干扰脉冲的频谱 .....                   | ( 79 )        |
| 2.3-1      | 视频干扰脉冲的频谱 .....                 | ( 79 )        |
| 2.3-2      | 射频干扰脉冲的频谱 .....                 | ( 81 )        |
| 2.4        | 调谐回路对视频干扰脉冲的影响 .....            | ( 82 )        |
| 2.4-1      | RLC串联谐振回路对阶跃信号的<br>影响 .....     | ( 82 )        |
| 2.4-2      | RLC串联谐振回路对视频矩形干<br>扰脉冲的影响 ..... | ( 84 )        |
| 2.4-3      | 耦合谐振回路对阶跃信号的影响 .....            | ( 86 )        |
| 2.4-4      | 耦合谐振回路对视频矩形干扰脉冲的<br>影响 .....    | ( 90 )        |
| 2.5        | 谐振回路对高频干扰脉冲的影响 .....            | ( 90 )        |
| 2.5-1      | RLC串联谐振回路对阶跃正弦信号的<br>影响 .....   | ( 90 )        |
| 2.5-2      | RLC串联谐振回路对高频干扰脉冲的<br>影响 .....   | ( 93 )        |
| <b>第三章</b> | <b>随机信号的处理方法 .....</b>          | <b>( 96 )</b> |
| 3.1        | 随机过程及其统计特性 .....                | ( 96 )        |
| 3.1-1      | 概率分布 .....                      | ( 97 )        |
| 3.1-2      | 随机过程的某些统计量 .....                | ( 99 )        |
| 3.1-3      | $r.v.$ 的函数的概率分布 .....           | ( 105 )       |
| 3.2        | 随机过程的相关函数和功率密度谱 .....           | ( 106 )       |

|       |                                      |       |
|-------|--------------------------------------|-------|
| 3.2-1 | $r.p.$ 的自相关函数的性质 .....               | (106) |
| 3.2-2 | $r.p.$ 的功率密度谱 .....                  | (108) |
| 3.2-3 | 线性系统输出 $r.p.$ 的自相关函数与功率<br>密度谱 ..... | (110) |
| 3.3   | 高斯噪声与白噪声 .....                       | (111) |
| 3.3-1 | 高斯噪声 .....                           | (111) |
| 3.3-2 | 白噪声 .....                            | (116) |
| 3.3-3 | 低频高斯限带白噪声的 $N$ 维概率密度<br>函数 .....     | (119) |
| 3.4   | 窄带噪声 .....                           | (120) |
| 3.4-1 | 窄带噪声 .....                           | (120) |
| 3.4-2 | 窄带噪声 + 窄带有用信号 .....                  | (123) |
| 3.5   | 维纳滤波器 .....                          | (128) |
| 3.6   | North 匹配滤波器 .....                    | (130) |
| 3.7   | 匹配滤波器与相关器的关系 .....                   | (134) |
| 3.7-1 | 自相关器 .....                           | (134) |
| 3.7-2 | 互相关器 .....                           | (135) |
| 3.7-3 | 相关器与匹配滤波器的关系 .....                   | (138) |
| 3.8   | 时变匹配滤波器 .....                        | (139) |
| 3.9   | 近似匹配滤波器 .....                        | (141) |
| 3.9-1 | 矩形包络射频单脉冲的近似匹配滤波<br>器 .....          | (141) |
| 3.9-2 | 矩形包络线性调频信号的近似匹配滤波<br>器 .....         | (145) |
| 3.9-3 | 有限脉冲串信号的近似匹配滤波器<br>.....             | (151) |
| 四章    | 几种传输体制的抗干扰能力 .....                   | (156) |

|       |                       |       |
|-------|-----------------------|-------|
| 4.1   | 标准调幅 (AM) 系统          | (156) |
| 4.1-1 | AM信号及其频谱              | (156) |
| 4.1-2 | AM信号的包络解调增益           | (159) |
| 4.1-3 | AM信号的相干解调增益           | (162) |
| 4.2   | 双边带抑制载波调幅 (DSB-SC) 系统 | (164) |
| 4.2-1 | DSB-SC 信号及其频谱         | (164) |
| 4.2-2 | DSB-SC 信号的相干解调增益      | (165) |
| 4.3   | 单边带抑制载波调幅 (SSB-SC) 系统 | (167) |
| 4.3-1 | SSB-SC信号及其频谱          | (167) |
| 4.3-2 | SSB-SC信号的相干解调增益       | (169) |
| 4.4   | 残留边带调幅 (VSB) 系统       | (171) |
| 4.5   | 各种幅度调制的比较             | (174) |
| 4.6   | 角调制系统                 | (175) |
| 4.6-1 | PM信号                  | (176) |
| 4.6-2 | FM信号                  | (177) |
| 4.6-3 | PM信号和FM信号的关系          | (177) |
| 4.6-4 | 窄带频率调制 (NBFM)         | (178) |
| 4.6-5 | 宽带频率调制 (WBFM)         | (179) |
| 4.6-6 | FM信号的鉴频解调增益           | (182) |
| 4.6-7 | FM解调器的门限效应            | (186) |
| 4.6-8 | FM与AM的比较              | (187) |
| 4.7   | 频分多路复用                | (190) |
| 4.8   | 脉冲调制概念                | (191) |
| 4.8-1 | 低通限带信号的抽样定理           | (192) |
| 4.8-2 | 频域抽样定理                | (194) |
| 4.8-3 | 抽样值与限带信号均方值的关系        | (194) |
| 4.9   | 脉冲调幅 (PAM)            | (195) |



|            |                            |              |
|------------|----------------------------|--------------|
| 4.10       | 脉冲调位 (PPM) .....           | (198)        |
| 4.11       | 脉冲编码调制 (PCM) .....         | (202)        |
| 4.12       | 幅度键控 (ASK) 数字通讯系统 .....    | (208)        |
| 4.12-1     | 非相干检测ASK系统 .....           | (211)        |
| 4.12-2     | 相干检测ASK系统 .....            | (216)        |
| 4.13       | 移频键控 (FSK) 数字通讯系统 .....    | (217)        |
| 4.13-1     | 非相干检测FSK系统 .....           | (218)        |
| 4.13-2     | 相干检测FSK系统 .....            | (221)        |
| 4.14       | 移相键控 (PSK) 数字通讯系统 .....    | (226)        |
| 4.15       | 差分相移键控(DPSK) 数字通讯系统 .....  | (230)        |
| <b>第五章</b> | <b>克服大信号阻塞的方法 .....</b>    | <b>(236)</b> |
| 5.1        | 引言 .....                   | (236)        |
| 5.2        | 阻塞干扰的机理 .....              | (237)        |
| 5.2-1      | 线性不良 .....                 | (238)        |
| 5.2-2      | 动态范围不足 .....               | (244)        |
| 5.2-3      | 噪声系数恶化 .....               | (247)        |
| 5.3        | 阻塞干扰对接收机性能的影响 .....        | (251)        |
| 5.3-1      | 降低接收机的灵敏度 .....            | (251)        |
| 5.3-2      | 降低接收机的选择性 .....            | (252)        |
| 5.3-3      | 降低接收机可利用的频道数 .....         | (253)        |
| 5.4        | 提高接收机实际选择性的某些方法 .....      | (254)        |
| 5.4-1      | 提高前端电路的选择性 .....           | (254)        |
| 5.4-2      | 合理安排前端电路的增益和噪声<br>系数 ..... | (256)        |
| 5.4-3      | 设置天线衰减器 .....              | (257)        |
| 5.4-4      | 采用预选器 .....                | (258)        |
| 5.4-5      | 设置输入保护电路 .....             | (258)        |

|       |                                 |         |
|-------|---------------------------------|---------|
| 5.5   | 改善放大器和混频器性能的某些方法.....           | ( 258 ) |
| 5.5-1 | 利用负反馈降低非线性失真.....               | ( 259 ) |
| 5.5-2 | 改善双极型晶体管的非线性特性、并扩大其动态范围的方法..... | ( 260 ) |
| 5.5-3 | 采用动态范围较大的场效应晶体管放大器.....         | ( 267 ) |
| 5.5-4 | 采用场效应管平衡混频器.....                | ( 269 ) |
| 5.5-5 | 采用二极管开关混频器.....                 | ( 271 ) |
| 5.5-6 | 采用参量变频器.....                    | ( 274 ) |
| 5.5-7 | 提高本振纯度.....                     | ( 278 ) |
| 5.6   | 合理分配信道各级的增益.....                | ( 278 ) |
| 5.7   | 某些专用的抗阻塞干扰的方法.....              | ( 280 ) |
| 5.7-1 | 前馈放大技术.....                     | ( 280 ) |
| 5.7-2 | 干扰抵消技术.....                     | ( 281 ) |
| 第六章   | 抑制干扰脉冲的方法 .....                 | ( 286 ) |
| 6.1   | 干扰脉冲限幅法.....                    | ( 287 ) |
| 6.2   | 窄带限幅器抑制高斯噪声的能力.....             | ( 289 ) |
| 6.2-1 | 通用非线性系统输出自相关函数及其功率密度谱.....      | ( 289 ) |
| 6.2-2 | 窄带 $n$ 次方根器 .....               | ( 295 ) |
| 6.2-3 | 理想限幅器.....                      | ( 297 ) |
| 6.2-4 | 窄带-软限幅器 .....                   | ( 300 ) |
| 6.3   | 窄带限幅器抑制邻频窄带干扰的能力.....           | ( 303 ) |
| 6.4   | 干扰脉冲熄灭法.....                    | ( 306 ) |
| 6.5   | 几种典型的熄灭电路.....                  | ( 307 ) |
| 6.5-1 | 射频—低频熄灭接收机.....                 | ( 307 ) |
| 6.5-2 | 低频—低频熄灭接收机( I ).....            | ( 309 ) |

|            |                        |       |
|------------|------------------------|-------|
| 6.5-3      | 低频—低频熄灭调频接收机(Ⅱ).....   | (311) |
| 6.5-4      | 中频—中频熄灭接收机.....        | (311) |
| 6.5-5      | 射频—中频熄灭接收机.....        | (313) |
| 6.5-6      | 射频—射频熄灭接收机.....        | (314) |
| 6.6        | 熄灭门.....               | (314) |
| 6.7        | 干扰脉冲熄灭法的数学分析.....      | (316) |
| 6.7-1      | 数学模型.....              | (316) |
| 6.7-2      | 邻频干扰的影响.....           | (319) |
| 6.7-3      | 熄灭时间的选取.....           | (320) |
| 6.7-4      | 梯形熄灭函数.....            | (321) |
| 6.8        | 干扰脉冲恒幅法.....           | (326) |
| 6.9        | 干扰脉冲频移法.....           | (334) |
| 6.10       | 干扰脉冲对消法.....           | (336) |
| <b>第七章</b> | <b>压缩动态范围的方法</b> ..... | (337) |
| 7.1        | 引言.....                | (337) |
| 7.2        | AGC 的基本原理.....         | (338) |
| 7.2-1      | AGC 的稳态特性.....         | (342) |
| 7.2-2      | AGC 控制信号的过渡特性.....     | (342) |
| 7.2-3      | AGC 输出信号的过渡特性.....     | (343) |
| 7.3        | AGC 压缩动态范围的能力.....     | (345) |
| 7.4        | AGC 抑制干扰脉冲的能力.....     | (346) |
| 7.5        | AGC 的反调制作用.....        | (349) |
| 7.6        | 压控衰减器的某些特性.....        | (353) |
| 7.7        | VCA 的控制电压.....         | (354) |
| 7.8        | VCA 的压控衰减比.....        | (356) |
| 7.9        | VCA 的恒幅特性.....         | (358) |
| 7.10       | VCA 的输出信号.....         | (358) |

|            |                           |         |
|------------|---------------------------|---------|
| 7.11       | VCA抑制干扰脉冲的能力·····         | ( 359 ) |
| 7.12       | VCA降低非线性拍频有害作用的能力·····    | ( 366 ) |
| 7.13       | 对数放大器的基本概念·····           | ( 371 ) |
| 7.13-1     | 对数放大器的转移特性·····           | ( 371 ) |
| 7.13-2     | 对数斜率·····                 | ( 372 ) |
| 7.13-3     | 对数特性的过渡区·····             | ( 374 ) |
| 7.14       | 对数放大器压缩动态范围的能力·····       | ( 376 ) |
| 7.14-1     | 对数放大器输入与输出动态范围的关系·····    | ( 376 ) |
| 7.14-2     | 对数放大器的压缩比CR·····          | ( 377 ) |
| 7.14-3     | 对数放大器将降低输出信噪幅度比·····      | ( 378 ) |
| 7.15       | 对数放大器抑制干扰脉冲的能力·····       | ( 379 ) |
| 7.16       | 对数放大器化积性干扰为加性干扰·····      | ( 380 ) |
| 7.17       | 匹配对数放大器·····              | ( 381 ) |
| 7.18       | 理想对数放大器的基本设计方法·····       | ( 382 ) |
| 7.19       | 近似对数放大器的基本设计方法·····       | ( 385 ) |
| 7.19-1     | 串联相加对数放大器·····            | ( 386 ) |
| 7.19-2     | 并联相加对数放大器·····            | ( 392 ) |
| <b>第八章</b> | <b>克服衰落和多径效应的方法</b> ····· | ( 396 ) |
| 8.1        | 引言·····                   | ( 396 ) |
| 8.2        | 变参信道的特性·····              | ( 396 ) |
| 8.2-1      | 多径效应·····                 | ( 396 ) |
| 8.2-2      | 衰落及其概率分布·····             | ( 399 ) |
| 8.2-3      | 码间干扰·····                 | ( 401 ) |
| 8.3        | 瑞利衰落对误码率的影响·····          | ( 403 ) |
| 8.4        | 分集接收技术·····               | ( 406 ) |
| 8.4-1      | 分集接收技术的分类·····            | ( 406 ) |

|            |                                             |              |
|------------|---------------------------------------------|--------------|
| 8.4-2      | 分集接收技术的合并方式                                 | (408)        |
| 8.5        | 分集接收的性能                                     | (414)        |
| 8.5-1      | 各种合并器输出信噪比的概率分布                             | (414)        |
| 8.5-2      | 几种主要分集接收的误码率                                | (415)        |
| 8.6        | 克服码间干扰的方法                                   | (419)        |
| 8.6-1      | 增大信号的持续时间                                   | (419)        |
| 8.6-2      | 采用动态滤波器                                     | (420)        |
| 8.6-3      | 采用多径分离技术                                    | (421)        |
| 8.6-4      | 采用自动均衡技术                                    | (423)        |
| 8.7        | 小结                                          | (426)        |
| <b>第九章</b> | <b>多功能抗干扰方法</b>                             | <b>(427)</b> |
| 9.1        | 引言                                          | (427)        |
| 9.2        | 恒幅—窄带抗干扰原理                                  | (427)        |
| 9.3        | 同时具有I/D两种功能的 $\tilde{\tau}$ AGC(I/D)抗干扰方法   | (431)        |
| 9.3-1      | 变时间常数低通滤波器                                  | (431)        |
| 9.3-2      | $\tilde{\tau}$ AGC(I/D)抗干扰方法的物理过程           | (432)        |
| 9.3-3      | $\tilde{\tau}$ AGC(I/D)抗干扰方法的数学分析和压缩动态范围的能力 | (432)        |
| 9.3-4      | $\tilde{\tau}$ AGC(I/D)抗干扰方法与各种固定时间常数AGC的关系 | (444)        |
| 9.3-5      | $\tilde{\tau}$ AGC(I/D)抗干扰方法能抑制干扰脉冲         | (446)        |
| 9.3-6      | $\tilde{\tau}$ AGC(I/D)抗干扰方法能降低反调制失真        | (448)        |
| 9.4        | 同时具有I/D两种功能的 $D\tau$ AGC(I/D)抗干扰            |              |

|                                                  |                |
|--------------------------------------------------|----------------|
| 方法.....                                          | ( 450 )        |
| 9.4-1 $D\tau AGC(I/D)$ 的瞬态特性、稳态特性和压缩动态范围的能力..... | ( 452 )        |
| 9.4-2 $D\tau AGC(I/D)$ 抗干扰方法抑制 干扰脉冲的能力.....      | ( 457 )        |
| 9.4-3 $D\tau AGC(I/D)$ 抗干扰方法降低非线性拍频有害作用的能力.....  | ( 464 )        |
| 9.5 一个 $D\tau AGC(I/D)$ 抗干扰电路 .....              | ( 470 )        |
| 9.6 同时具有 $I/D$ 两种功能的 $D\tau VCA(I/D)$ 抗干扰方法..... | ( 483 )        |
| 9.6-1 $D\tau VCA(I/D)$ 抗干扰方法的工作过程.....           | ( 485 )        |
| 9.6-2 $D\tau VCA(I/D)$ 抗干扰方法的稳定性.....            | ( 488 )        |
| 9.6-3 $D\tau VCA(I/D)$ 抗干扰方法压缩动态范围的能力.....       | ( 490 )        |
| 9.6-4 $D\tau VCA(I/D)$ 抗干扰方法抑制干扰脉冲的能力.....       | ( 491 )        |
| 9.6-5 $D\tau VCA(I/D)$ 抗干扰方法的自适应性.....           | ( 496 )        |
| <b>第十章 平均值自适应门限检测 .....</b>                      | <b>( 500 )</b> |
| 10.1 平均值自适应门限检测 .....                            | ( 500 )        |
| 10.1-1 自适应门限电平的概率分布 .....                        | ( 502 )        |
| 10.1-2 起伏目标的发现概率 .....                           | ( 504 )        |
| 10.1-3 非平稳条件下的虚警概率 .....                         | ( 507 )        |
| 10.1-4 性能比较 .....                                | ( 509 )        |
| 10.1-5 设计与技术实现问题 .....                           | ( 512 )        |

|                                                           |         |
|-----------------------------------------------------------|---------|
| 附录 I、门限电平 $\beta$ 的概率密度函数的近似表式 .....                      | ( 514 ) |
| 附录 II、斯威林第 I 种起伏目标的发现概率 .....                             | ( 516 ) |
| 附录 III、斯威林第 II 种起伏目标的发现概率 .....                           | ( 519 ) |
| 附录 IV、虚警概率公式的推导 .....                                     | ( 520 ) |
| 10.2 非相干检波平均值自适应门限检测 .....                                | ( 521 ) |
| 10.2-1 非相干检波平均值自适应门限电平的概率分布 .....                         | ( 523 ) |
| 10.2-2 慢衰落信道上信/噪比 $\alpha$ 的概率分布 .....                    | ( 529 ) |
| 10.2-3 非相干检波平均值自适应门限检测的第 I 类错误概率 .....                    | ( 530 ) |
| 10.2-4 非相干检波平均值自适应门限检测的第 II 类错误概率 .....                   | ( 532 ) |
| 10.2-5 非相干检波平均值自适应门限检测的平均错误概率 .....                       | ( 535 ) |
| 10.2-6 非相干检波平均值自适应门限检测器的设计 .....                          | ( 538 ) |
| 附录 A 关于 $r_1(t_j)$ ( $j=1,2,\dots,N_s$ ) 的平均值和方差的计算 ..... | ( 539 ) |
| 附录 B 关于第 II 类错误概率的精确计算 .....                              | ( 540 ) |
| 附录 C 关于非相干检波平均值自适应门限检测的平均误码率的数字计算 .....                   | ( 546 ) |
| 10.3 相干检波平均值自适应门限检测(CA T) .....                           | ( 547 ) |
| 10.3-1 相干检波平均值自适应门限电平的概率分布 .....                          | ( 547 ) |

- 10.3-2 相干检波平均值自适应门限检测器的第 I  
类错误概率 ..... ( 551 )
- 10.3-3 相干检波平均值自适应门限检测器的第 II  
类错误概率 ..... ( 554 )
- 10.3-4 相干检波平均值自适应门限检测器的平  
均错误概率 ..... ( 556 )



# 第一章 基础知识

## 1.1 信号的频谱分析

信号的表达方式较多，或实域、或频域、或Z变换、或Walsh函数、或 $\delta$ 函数或sinc函数等，视其表达简洁，物理概念清晰而定。通常，信号是用实域表达的。在此，将介绍一下频域表示法，以便后面引用，并沟通时域和频域的关系。

### 1.1-1 频谱分析的定义及基本公式

假定信号 $s(t)$ 在某一时刻 $t_0$ 以前为零，当时间趋于无限大时也趋于零

$$s(t) = \begin{cases} 0 & t < t_0 \\ 0 & t \rightarrow \infty \end{cases}$$

且平方可积，即

$$E = \int_{-\infty}^{\infty} |s(t)|^2 dt < \infty \quad (1.1-1)$$

如果把 $s(t)$ 理解为单位电阻两端的电压或流过其中的电流，那么， $E$ 就是 $s(t)$ 消耗在此电阻上的能量。并把能量有限的信号，称为能量型信号。

若 $s(t)$ 是能量型信号，定义其富氏(Fourier)变换为

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j\omega t} dt \quad (1.1-2a)$$

$$\text{或 } S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t) e^{-j2\pi f t} dt \quad (1.1-2b)$$

富氏反变换为

$$s(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega \quad (1.1-3a)$$