

高校经典教材同步辅导丛书
配套北邮版·庞沁华等主编

教你用更多的自信面对未来！

一书两用
同步辅导+考研复习

通信原理

(第三版)

同步辅导及习题全解

主 编 王颖惠

名师一线经验大汇集，解题步骤超详细，方法技巧最实用

新版



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

高校经典教材同步辅导丛书

通信原理（第三版）同步辅导 及习题全解

主 编 王颖惠



中国水利水电出版社

www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书是与北京邮电大学出版社出版,周炯槃、庞沁华、续大我、吴伟陵、杨鸿文编著的《通信原理》(第三版)一书配套的同步辅导及习题全解辅导书。

《通信原理》(第三版)共有13章,分别介绍绪论、确知信号分析、随机过程、模拟通信系统、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、信源和信源编码、信道、信道编码、扩频通信、正交频分复用多载波调制技术、通信系统的优化、通信网的基本知识。本书按教材内容安排全书结构,各章均包括考试要求、本章知识点归纳、经典例题解析、本章教材习题解答四部分内容。全书按教材内容,针对各章节习题给出详细解答,思路清晰,逻辑性强,循序渐进地帮助读者分析并解决问题,内容详尽,简明易懂。

本书可作为高校学生学习《通信原理》(第三版)的辅导教材,也可作为考研人员复习备考的辅导教材,同时可供教师备课命题时作为参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理(第三版)同步辅导及习题全解 / 王颖惠
主编. — 北京:中国水利水电出版社, 2015.6
(高校经典教材同步辅导丛书)
ISBN 978-7-5170-3235-9

I. ①通… II. ①王… III. ①通信原理—高等学校—
教学参考资料 IV. ①TN911

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第118627号

策划编辑:杨庆川 责任编辑:张玉玲 加工编辑:鲁林林 封面设计:李 佳

书 名	高校经典教材同步辅导丛书
作 者	通信原理(第三版)同步辅导及习题全解
出版发行	主 编 王颖惠 中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: mchannel@263.net (万水) sales@waterpub.com.cn
经 售	电话: (010) 68367658 (发行部)、82562819 (万水) 北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	北京万水电子信息有限公司
印 刷	北京正合鼎业印刷技术有限公司
规 格	170mm×227mm 16开本 13.5印张 320千字
版 次	2015年6月第1版 2015年6月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	23.80元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

周炯槃、庞沁华、续大我、吴伟陵、杨鸿文编著的《通信原理》(第三版)以体系完整、结构严谨、层次清晰、深入浅出的特点成为这门课程的经典教材,被全国许多院校采用。为了帮助读者更好地学习这门课程,掌握更多的知识,我们根据多年的教学经验编写了这本与教材配套的《通信原理(第三版)同步辅导及习题全解》。本书旨在使广大读者理解基本概念,掌握基本知识,学会基本解题方法与解题技巧,进而提高应试能力。

本书作为一种辅助性的教材,具有较强的针对性、启发性、指导性和补充性。考虑到“通信原理”这门课程的特点,我们在内容上作了以下安排:

1. 考试要求。每章前面均对本章的知识要点进行了整理。综合众多参考资料,归纳了本章的考点,便于读者学习与复习。

2. 知识点归纳。对每章知识点作了简练概括,梳理了各知识点之间的脉络联系,突出各章主要定理及重要公式,使读者在各章学习过程中目标明确,有的放矢。

3. 经典例题解析。选取了一些有启发性或综合性较强的经典例题,对例题先进行分析,再给出详细解答,并在最后作出点评,意在抛砖引玉。

4. 教材习题解答。教材中课后习题丰富、层次多样,对许多基础性问题从多个角度帮助学生理解基本概念和基本理论,促其掌握基本解题方法。我们对教材的课后习题给了详细的解答。

由于时间较仓促,编者水平有限,难免书中有疏漏之处,敬请各位同行和读者给予批评、指正。

编者
2015年3月

前言

第一章 绪 论	1
考试要求	1
本章知识点归纳	1
经典例题解析	5
第二章 确知信号分析	6
考试要求	6
本章知识点归纳	6
经典例题解析	11
第三章 随机过程	15
考试要求	15
本章知识点归纳	15
经典例题解析	18
本章教材习题解答	20
第四章 模拟通信系统	28
考试要求	28
本章知识点归纳	28
经典例题解析	34
本章教材习题解答	36
第五章 数字信号的基带传输	47
考试要求	47
本章知识点归纳	47
经典例题解析	58
本章教材习题解答	62

目录

contents

第六章 数字信号的频带传输	77
考试要求	77
本章知识点归纳	77
经典例题解析	84
本章教材习题解答	87
第七章 信源和信源编码	106
考试要求	106
本章知识点归纳	106
经典例题解析	110
本章教材习题解答	111
第八章 信道	121
考试要求	121
本章知识点归纳	121
经典例题解析	127
本章教材习题解答	128
第九章 信道编码	132
考试要求	132
本章知识点归纳	132
经典例题解析	141
本章教材习题解答	143

第十章 扩频通信	156
考试要求	156
本章知识点归纳	156
经典例题解析	159
本章教材习题解答	161
第十一章 正交频分复用多载波调制技术	167
考试要求	167
本章知识点归纳	167
经典例题解析	171
本章教材习题解答	172
第十二章 通信系统的优化	173
考试要求	173
本章知识点归纳	173
第十三章 通信网的基本知识	176
考试要求	176
本章知识点归纳	176
北京邮电大学硕士研究生入学考试《通信原理》	179
北京邮电大学 2014 年硕士研究生入学考试试题	180
参考答案	186
北京邮电大学 2013 年硕士研究生入学考试试题	189
参考答案	195
北京邮电大学 2012 年硕士研究生入学考试试题	198
参考答案	204

第一章

绪 论

考试要求

1. 要求了解通信的基本概念、模型、分类以及通信方式
2. 着重掌握信息的定义及度量方法
3. 掌握通信网的主要性能指标

本章知识点归纳

■ 引言

什么是通信？通信是交流，传递消息；信息的传输与交换。信息是要表示和传送的对象。而消息是表示信息的媒体，如语言、文字、图像、符号、声音等。同一条信息可以用不同的消息表示。信息是包含在消息中的不确定性，即有效（有用）的东西。消息的本质和价值取决于它所包含的信息量，即对接收者的不确定性。

信号是消息的承载者，信号常常由消息变换而来，它是与消息对应的某种物理量，通常是时间的函数，例如随着时间变化的电压（电流）。通信系统中传送的是信号。综上所述，通信就是以语言、图像、数据为媒体，通过电（光）信号将信息由一方传输到另一方。而且通信也是一种产业，它生产的是一种信息在空间转移的效应。

通信发展简史和展望

18 世纪,提出用电流进行通信的设想

1838 年, F. B. Morse 发明有线电报

1864 年, J. C. Maxwell 提出电磁辐射方程

1876 年, A. G. Bell 发明电话

1896 年, G. Marconi 发明无线电报

1901 年, 横跨大西洋的无线通信成功

1906 年, Lee deForst 发明真空管

1918 年, E. H. Armstrong 发明 AM 广播, 超外差接收机

1925 年, 开始采用三路明线载波电话, 多路通信

1936 年, E. H. Armstrong 发明 FM 广播

1937 年, A. Reeves 发明 PCM 调制原理

1938 年, 电视广播开始

1940—1945 年, 二次大战刺激了雷达和微波通信系统的发展

1948 年, 发明了晶体三极管; 统计理论建立; Shannon 发表《通信的数学理论》

1950 年, 时分多路通信应用于电话

1953 年, 敷设了第一条越洋电话电缆(36 话路)

1957 年, 前苏联发射第一颗人造地球通信卫星

1958 年, 发明第一块集成电路

1961 年, FM 立体声广播开播

1964 年, 第一台全电子电话系统问世

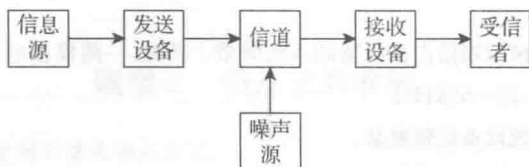
1972 年, Motorola 发明蜂窝电话

1976 年, 个人 PC 问世

1989 年, “便携式”蜂窝电话问世

1990 年至今, 超大规模集成电路的大量使用, 计算机和通信正向着兼容互补的方向发展

1. 通信系统模型



信息源(信源):把各种消息转换成原始电信号,如麦克风。

发送设备:产生适合于在信道中传输的信号。

信道:将来自发送设备的信号传送到接收端的物理媒介。

接收设备:从受到减损的接收信号中正确恢复出原始电信号。

受信者(信宿):把原始电信号还原成相应的消息,如扬声器等。

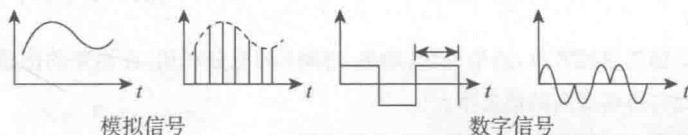
噪声源:集中表示分布于通信系统中各处的噪声。

2. 模拟通信和数字通信

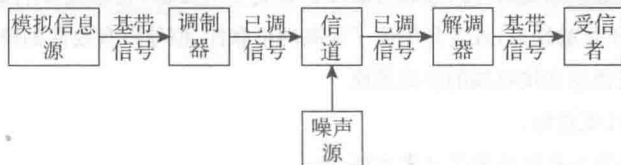
模拟(连续)消息:状态连续变化,例如语音,图像;数字(离散)消息:状态可数或离散,如符号,文字,数据。

模拟信号:载荷消息的电参量连续取值;数字信号:载荷消息的电参量离散取值。

模拟通信系统:信道中传输模拟信号,例如传统广播和电视;数字通信系统:信道中传输数字信号,例如 2G, 3G。



模拟通信系统模型:



其中包括两种变换:

模拟消息 $\longleftrightarrow$ 原始电信号(基带信号)

基带信号 $\longleftrightarrow$ 已调信号(带通信号)

数字通信的优点:

- (1) 抗干扰能力强,可消除噪声积累;差错可控,传输性能好。
- (2) 便于处理和管理,便于传输和交换。

(3)便于与各种数字终端接口,用现代计算技术对信号进行处理、加工、变换、存储,形成智能网。

(4)便于集成化,从而使通信设备微型化。

(5)便于加密处理,且保密程度高。

数字通信的缺点:

(1)频带利用率低:比模拟通信占据更宽的系统频带。例如,一路模拟电话:4 kHz,接近同样话音质量的一路数字电话:20~60kHz。

(2)对同步要求高,系统设备比较复杂。

3. 信息及其度量

信息:消息中包含的有意义的内容;信息的度量:信息量。消息 x 中所含信息量 I 与消息出现概率 $P(x)$:

$$I(x) = I[P(x)]$$

$$P(x) = 1, I = 0; P(x) = 0, I = \infty$$

若干互相独立事件构成的消息,所含信息量等于各独立事件信息量之和,即:

$$I(x_1, x_2, \dots, x_n) = I(x_1) + I(x_2) + \dots + I(x_n)$$

信息量 I 的定义:

$$I(x) = \log_2 \frac{1}{P(x)} = -\log_2 P(x)$$

离散消息的度量——熵 $H(x)$:

$$H(x) = - \sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) (\text{bit/})$$

4. 主要性能指标

有效性:系统传输消息的效率;通信资源(频率、时间)的充分利用,在给定的信道内能够容纳多大的信息量,或允许传输多高的信息率。

可靠性:信息传输的准确程度,传送消息的准确还原。

根据信息论观点,通信系统的有效性和可靠性常常是一对矛盾。也就是说有效性很高的通信系统往往带来可靠性不足的缺点;或者是保证了很高的可靠性,但导致有效性的降低。可靠性是矛盾的主要方面,即发送消息在接收端的准确还原。

模拟通信系统的性能指标:

有效性:用所传信号的有效传输带宽来表征。

可靠性:均方误差。

经典例题解析

题型1 信息量的求解

题型分析 考查对信息量的计算及相关定义。

例 一信息源由四个符号0,1,2,3组成,它们出现的概率分别为 $\frac{3}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{8}$,且每个符号的出现都是独立的。试求某个消息201020130……(57个符号:0~23,1~14,2~13,3~7)的信息量。

解题过程 方法一
$$I = -23 \log_2 \frac{3}{8} - 14 \log_2 \frac{1}{4} - 13 \log_2 \frac{1}{4} - 7 \log_2 \frac{1}{8}$$

$$= 108(\text{bit})$$

$$\bar{I} = \frac{108}{57} = 1.89(\text{bit/})$$

方法二
$$H = -\frac{3}{8} \log_2 \frac{3}{8} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8}$$

$$= 1.906(\text{bit/})$$

$$I = 57 * H = 108.64(\text{bit})$$

温馨提示 信息公式为:

$$I(x) = \log_a \frac{1}{P(x)} = -\log_a P(x)$$

熵的求解公式为:

$$H(x) = -\sum_{i=1}^n P(x_i) \log_2 P(x_i) (\text{bit/})$$

第二章

确知信号分析

考试要求

通过讨论确知信号的特性来掌握其确定信号在频域和时域两方面的性质。

本章知识点归纳

引言

通信系统中利用信号来传送信息。一般信号是时间的函数。

确定信号的分类

- (1) 按周期性分类:周期信号、非周期信号。
- (2) 按能量有限性划分:能量信号、功率信号。

周期信号的傅里叶级数分析

一个周期为 T 、波形为 $g(t)$ 的信号 $f(t)$, 可以展开为傅里叶级数, 其特点是各有一定幅度值, 包括直流、基波和各次谐波之和。

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} [a_n \cos(n\omega_0 t) + b_n \sin(n\omega_0 t)] && \text{三角形式} \\
 &= \frac{c_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n \cos(n\omega_0 t - \varphi_n) && \text{三角形式} \\
 &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{jn\omega_0 t} \quad (-\infty < t < \infty) && \text{指数形式}
 \end{aligned}$$

傅里叶变换

$$F(f) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) e^{-j2\pi ft} dt \Leftrightarrow f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(f) e^{j2\pi ft} df$$

傅氏变换的性质如下:

1. parseval 定理 $\int_{-\infty}^{\infty} s_1^*(t) s_2(t) dt = \int_{-\infty}^{\infty} S_1^*(f) S_2(f) df$

$$\begin{aligned}
 \int_{-\infty}^{\infty} s_1^*(t) s_2(t) dt &= \int_{-\infty}^{\infty} \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_1(f) e^{j2\pi ft} df \right] \left[\int_{-\infty}^{\infty} S_2(u) e^{j2\pi ut} du \right] dt \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S_2(u) S_1^*(f) e^{-j2\pi ft} e^{j2\pi ft} df du dt \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S_2(u) S_1^*(f) \left[\int_{-\infty}^{\infty} e^{j2\pi t(u-f)} dt \right] du df \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} S_2(u) S_1^*(f) \delta(u-f) du df = \int_{-\infty}^{\infty} S_1^*(f) S_2(f) df
 \end{aligned}$$

2. 卷积 $\int_{-\infty}^{\infty} s_1(\tau) s_2(t-\tau) d\tau \leftrightarrow S_1(f) S_2(f)$

$$\begin{aligned}
 \int_{-\infty}^{\infty} s_1(\tau) s_2(t-\tau) d\tau &= \int_{-\infty}^{\infty} s_1(-\tau) s_2(t+\tau) d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} [s_1^*(-\tau)]^* s_2(t+\tau) d\tau \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} [S_1^*(f)] [S_2(f) e^{j2\pi f t}] d\tau = \int_{-\infty}^{\infty} [S_1(f) S_2(f)] e^{j2\pi f t} df
 \end{aligned}$$

3. 乘积 $s_1(t) s_2(t) \leftrightarrow \int_{-\infty}^{\infty} S_1(u) S_2(f-u) du$

$$\begin{aligned}
 \int_{-\infty}^{\infty} s_1(t) s_2(t) e^{-j2\pi ft} dt &= \int_{-\infty}^{\infty} [s_1^*(t)]^* [s_2(t) e^{-j2\pi ft}] dt = \int_{-\infty}^{\infty} [S_1^*(-u)]^* S_2(u+f) du \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} S_1(u) S_2(f-u) du
 \end{aligned}$$

4. 抽样 $\sum_{n=-\infty}^{\infty} s(nT_s) \delta(t-nT_s) \leftrightarrow \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S\left(f-\frac{n}{T_s}\right)$

$$\begin{aligned}
 \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(nT_s) \delta(t-nT_s) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(t) \delta(t-nT_s) = s(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t-nT_s) \\
 &= s(t) \times \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} e^{j2\pi \frac{n}{T_s} t} = \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} s(t) e^{j2\pi \frac{n}{T_s} t}
 \end{aligned}$$

因此

$$\sum_{n=-\infty}^n s(nT_s) \delta(t - nT_s) \leftrightarrow \frac{1}{T_s} \sum_{n=-\infty}^{\infty} S(f - \frac{n}{T_s})$$

■ 能量谱密度与功率谱密度

定义

能量 $E_s = \int_{-\infty}^{\infty} s^*(t)s(t)dt = \int_{-\infty}^{\infty} |S(f)|^2 df$, 定义 $E_s(f) \triangleq |S(f)|^2$ 为能量信号 $s(t)$ 的能量谱密度。

功率 $P_s = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |s_T(t)|^2 dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-\infty}^{\infty} |S_T(f)|^2 df = \int_{-\infty}^{\infty} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} |S_T(f)|^2 df$, 其中

$s_T(t) = \begin{cases} s(t) & t \leq T/2 \\ 0 & \text{else} \end{cases}$ 是 $s(t)$ 的短截, $S_T(f)$ 是其傅氏变换。定义 $P_s(f) \triangleq \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} |S_T(f)|^2$ 为

功率信号 $s(t)$ 的功率谱密度。

■ 自相关函数

定义

对能量信号: $R(\tau) \triangleq \int_{-\infty}^{\infty} s^*(t)s(t+\tau)dt$

对功率信号: $R(\tau) \triangleq \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} s^*(t)s(t+\tau)dt$

 **提示** 自相关函数反映了信号和其延迟版本的关联程度。对于直流, 无论延迟多少, 信号都是一样的。对于其他信号, 如果频谱中没有线谱分量, 则有 $\lim_{\tau \rightarrow \infty} R(\tau) = 0$ 。

■ 确定信号的相关函数

性质如下:

(1) $R_{12}(\tau) = R_{21}^*(-\tau)$

(2) $|r_{12}(\tau)| \leq 1$

(3) $R(\tau) = R^*(-\tau)$

(4) $|R(\tau)| \leq R(0)$

(5) 能量信号的能量 $E = R(0)$, 功率信号的平均功率 $P = R(0)$ 。

(6) 周期信号的自相关函数是周期函数, 且周期与信号周期相等。

卷积

1. 卷积的定义

令有函数 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$, 称积分 $\int_{-\infty}^{\infty} f_1(\alpha) f_2(t - \alpha) d\alpha$ 为 $f_1(t)$ 和 $f_2(t)$ 的卷积, 通常以 $f_1(t) * f_2(t)$ 表示, 即

$$f_1(t) * f_2(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f_1(\alpha) f_2(t - \alpha) d\alpha$$

式中, α 为积分变量, 由于定积分值与积分变量符号无关, 所以式中的积分变量可用任何符号表示, 例如 τ, β, λ 等。

2. 卷积的性质

(1) 交换律

$$f_1(t) * f_2(t) = f_2(t) * f_1(t)$$

(2) 分配律

$$f_1(t) * [f_2(t) + f_3(t)] = f_1(t) * f_2(t) + f_1(t) * f_3(t)$$

(3) 结合律

$$f_1(t) * [f_2(t) * f_3(t)] = [f_1(t) * f_2(t)] * f_3(t)$$

(4) 卷积的微分

$$\frac{d[f_1(t) * f_2(t)]}{dt} = f_1'(t) * f_2(t) = f_1(t) * f_2'(t)$$

确定信号通过线性系统

1. 线性系统

本节研究的线性系统限于具有一个输入端和一个输出端的系统:

$$x(t) \longrightarrow \boxed{\text{线性系统}} \longrightarrow y(t)$$

一个输入信号 $x(t)$, 对应有一个确定的输出信号 $y(t)$ 。将 $x(t)$ 变换为 $y(t)$ 的运算, 数学上称为算子, 用 L 表示。则可表示为

$$y(t) = L[x(t)]$$

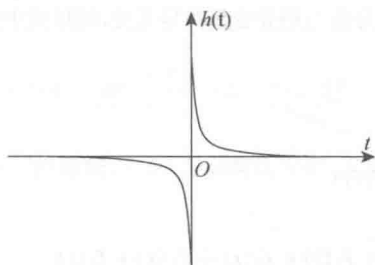
2. 线性时不变系统

(1) 线性: 若 $x_1(t)$ 、 $x_2(t)$ 产生的输出分别是 $y_1(t)$ 、 $y_2(t)$, 则对任意的常数 a 、 b , $ax_1(t) + bx_2(t)$ 产生的输出是 $ay_1(t) + by_2(t)$ 。

(2) 时不变: 若 $x(t)$ 产生的输出是 $y(t)$, 则将 $x(t)$ 任意延迟 τ 后的输出是原来输出的延迟。即 $x(t - \tau)$ 的输出是 $y(t - \tau)$ 。

1. 定义

Hilbert 变换是对实信号 $x(t)$ 定义的一种变换,变换结果记为 $\hat{x}(t)$ 。其实质是实信号移相 90 度,即正频率分量的相位后移 90 度,负频率分量的相位前移 90 度。Hilbert 变换器其实就是一个线性系统,其传递函数为 $H(f) = \begin{cases} -j & f > 0 \\ j & f < 0 \end{cases}$,冲激响应为 $h(t) = \frac{1}{\pi t}$ 。



提示 对一个信号实现了移相 90 度,也就等于实现了 1/4 周期的时延。若频率越低则时延也越大。当频率趋于 0 时,这个时延也趋于无限大。因此,对于 0 频或者极低的频率, Hilbert 变换没有实际意义。

2. 性质

1) 连续两次变换就是反相。

变换一次移相 90 度,两次移相 180 度,即反相。

2) Hilbert 变换后,能量或者功率不变,能量或者功率谱密度不变。

每个频率分量的功率和这个频率分量的相位无关,而 Hilbert 变换只涉及信号的相位,不改变幅度,所以经过变换后该频率分量的功率不变。于是变换后的功率谱密度不变,总的功率不变。

3) 偶函数的变换是奇函数,奇函数的变换是偶函数。

4) 信号和它的 Hilbert 变换正交。

5) 信号和它的 Hilbert 变换之间的互相关函数是自相关函数的 Hilbert 变换,即

$$R_{\hat{x}x}(\tau) = R_x(\tau), R_{x\hat{x}}(\tau) = -\hat{R}_x(\tau)$$

解析信号

1. 定义

给定实信号 $x(t)$,则称 $z(t) = x(t) + j\hat{x}(t)$ 为复信号。