

国家精品课程“通信原理”配套学习辅导教材



高等院校电子信息科学与工程类

• 通信工程专业教材 •

通信原理学习辅导与习题解答

达新宇 陈树新 付晓 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

国家精品课程“通信原理”配套学习辅导教材

高等院校电子信息科学与工程类 * 通信工程专业教材

通信原理学习辅导 与习题解答

达新宇 陈树新 付 晓 编 著

北京邮电大学出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书是北京邮电大学出版社出版的《通信原理教程》(第2版)的配套学习辅导用书,本书主要参考了其主教材,同时参考了目前国内优秀的通信原理教材,对课程所涉及的10章内容的思考与练习题进行了整理与解答,对各章主要概念、重要内容进行了解读与技巧分析,同时还整理了4套自测试题、5套硕士研究生入学《通信原理》考题及答案。

本书可作为高等院校通信工程、信息工程等电子信息类专业通信原理课程的同步学习指导用书,也可用做考研辅导及相关教学人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

通信原理学习辅导与习题解答/达新宇,陈树新,付晓编著.--北京:北京邮电大学出版社,2010.10
ISBN 978-7-5635-2449-5

I. ①通… II. ①达…②陈…③付… III. ①通信理论—高等学校—教学参考资料 IV. ①TN911

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 194744 号

书 名: 通信原理学习辅导与习题解答
作 者: 达新宇 陈树新 付晓
责任编辑: 刘 颖 崔 珞
出版发行: 北京邮电大学出版社
社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)
发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578
E-mail: publish@bupt.edu.cn
经 销: 各地新华书店
印 刷: 北京忠信诚胶印厂
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16
印 张: 10.75
字 数: 272 千字
印 数: 1—3 000 册
版 次: 2010 年 10 月第 1 版 2010 年 10 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5635-2449-5

定 价: 19.00 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

前 言

通信原理课程是通信工程、信息工程等电子信息类专业一门重要的专业基础课程,对相关专业的重大支撑作用。目前国内许多高等院校开设了此课,但是由于通信原理课程理论性强、系统性强、用到的数学基础及各种电路基础知识多等特点,该课程的习题及详细解答资料也不多,使得教与学两方面都困难重重。基于此,我们编写了此书。本书以北京邮电大学出版社出版的《通信原理教程》(第2版)为主要参考,同时参考了目前国内较流行的通信原理教材,对课程所涉及的10章内容的思考与练习题进行了整理与解答,对各章主要概念、重要内容进行了解读与技巧分析,同时还整理了4套自测试题、5套硕士研究生入学《通信原理》考题及答案。使用此书,学生可以在较短的时间内达到学习掌握和巩固通信原理知识的目的,是广大学生自学复习与应试的好帮手,也是考研辅导和教师教学的参考书。

本书由3部分组成,第1部分学习辅导与习题解答,共分10章,内容有第1章绪论,第2章通信中的信号分析,第3章模拟调制系统,第4章数字基带传输系统,第5章数字频带传输系统,第6章模拟信号的数字传输,第7章同步原理,第8章差错控制编码,第9章数字信号最佳接收,第10章信息论基础;第2部分自测试题与答案,共提供了4套自测试题与答案;第3部分研究生入学考试考题与答案,共有5套。

本书第1部分10章内容中,各章第1节和第2节内容及第1、3、4、5、7、9章的第3节内容由达新宇编写,第1部分第2、6、8、10章由陈树新编写,最后达新宇对全书进行了统稿,付晓对各章习题答案进行了校对,参与本书编写工作或提供习题解答的还有林家薇、杜思深、王轶、朱海峰、吴华新、谢铁城、曾武、邹维等。

该书是国家精品课程、全军百门优质课程《通信原理》课程的专用学习辅导用书。通信原理配套的资料如下:

- (1) 供教师使用的“通信原理课程电子教案”;
- (2) 通信原理网络课程;
- (3) 实践性教材《通信原理实验与课程设计》;
- (4) 《通信原理学习辅导与习题解答》。

欢迎各位老师通过如下邮箱联系:daxinyu@2008.sina.com 或 daxinyu@vip.sina.com。由于编者水平有限,书中错误在所难免,敬请广大读者不吝赐教。

编 者

目 录

第 1 部分 学习辅导与习题解答

第 1 章 绪论	3
1.1 本章主要概念	3
1.2 关键点解读与技巧分析	3
1.3 习题解答	4
第 2 章 通信中的信号分析	9
2.1 本章主要概念	9
2.2 关键点解读与技巧分析	9
2.3 习题解答	10
第 3 章 模拟调制系统	17
3.1 本章主要概念	17
3.2 关键点解读与技巧分析	17
3.3 习题解答	19
第 4 章 数字基带传输系统	34
4.1 本章主要概念	34
4.2 关键点解读与技巧分析	34
4.3 习题解答	35
第 5 章 数字频带传输系统	45
5.1 本章主要概念	45
5.2 关键点解读与技巧分析	45
5.3 习题解答	46
第 6 章 模拟信号的数字传输	66
6.1 本章主要概念	66

6.2 关键点解读与技巧分析	66
6.3 习题解答	68
第7章 同步原理	77
7.1 本章主要概念	77
7.2 关键点解读与技巧分析	77
7.3 习题解答	78
第8章 差错控制编码	84
8.1 本章主要概念	84
8.2 关键点解读与技巧分析	84
8.3 习题解答	85
第9章 数字信号最佳接收	97
9.1 本章主要概念	97
9.2 关键点解读与技巧分析	97
9.3 习题解答	98
第10章 信息论基础	104
10.1 本章主要概念	104
10.2 关键点解读与技巧分析	104
10.3 习题解答	105

第2部分 自测试题与答案

自测试题 1	113
自测试题 2	114
自测试题 3	116
自测试题 4	119
自测试题答案	120

第3部分 研究生入学考试考题与答案

试题 1 空军工程大学 2010 年硕士研究生入学试题	133
答案 1 空军工程大学 2010 年硕士研究生入学试题答案	135
试题 2 空军工程大学 2009 年硕士研究生入学试题	138
答案 2 空军工程大学 2009 年硕士研究生入学试题答案	140
试题 3 空军工程大学 2008 年硕士研究生入学试题	143

答案 3	空军工程大学 2008 年硕士研究生入学试题答案	146
试题 4	西北工业大学硕士研究生入学《通信原理》考试试题	151
答案 4	西北工业大学硕士研究生入学《通信原理》考试试题答案	153
试题 5	西安电子科技大学硕士研究生《通信原理》考试试题	156
答案 5	西安电子科技大学硕士研究生《通信原理》考试试题答案	159
附录	常用数学公式	163

第 1 部分

学习辅导与习题解答

第 1 章

绪 论

1.1 本章主要概念

通信	有效性
数字通信	可靠性
模拟通信	信息量
单工	码元速率
半双工	信息速率
全双工	误码率
基带信号	信道
基带传输系统	调制信道
频带信号	编码信道
频带传输系统	变参信道
调制	群迟延
解调	多径效应
信源编码	频率弥散(色散)
信道编码	分集接收

1.2 关键点解读与技巧分析

1. 码元速率和信源速率的单位

码元速率(R_B)的单位是波特,记为 Baud 或 B,它的含义是单位时间内(每秒)传送的码元数,其单位不能误写成:波特/秒,B/s,Baud/s 或 bit/s。信息速率(R_b)的单位是比特/秒,记为 bit/s,它的含义是单位时间内(每秒)传送的比特数。信息速率的单位不能误写成:比特,bit,B/s,B。

2. 码元速率与信息速率之间的转换

在二进制数字信号的情况下,码元速率 R_B 与信息速率 R_b 数值相同,单位不同。在多进制情况下,转换时有一个值 $\log_2 N$ 很重要,到底是相乘还是相除,这是常见的一个错误。要牢记在 N 进制时一个码元的信息量为 $\log_2 N$ 比特,因此,信息速率一般比码元速率大,这样就不会错。

3. 误码率的计算

在进行误码率的计算时,有时告诉的是信息传输速率,首先要把信息速率转换成码元速率,然后再计算。

4. 信源编码与信道编码

通信中有信源编码与信道编码之分。信源编码通常是为了提高系统的有效性,即降低信号冗余度的一种编码,对于模拟信号源,对其进行模数转换,也属信源编码范围;信道编码是为了提高系统的可靠性而采取的一种纠错编码,也叫抗干扰编码。这两种编码的目的明显不同。

5. 信道

信道的概念有大有小,狭义信道仅仅指的是传输的媒质;而广义信道通常把收发设备中的部分功能电路与系统也包含在信道之中。

6. 干扰与噪声

干扰与噪声严格地讲,这两者是有区别的。干扰是指对有用信号有害的各种波形的总称;而噪声通常是指可用随机过程来描述的各种干扰,主要是指起伏噪声。在通信中,有时这两词也常混用。

1.3 习题解答

1-1 什么是通信? 通信中常见的通信方式有哪些?

答 利用电子等技术手段,借助电信号(含光信号)实现从一地向另一地(多地)进行消息的有效传递和交换。

常见的通信方式如下:

(1) 按消息传送的方向与时间不同,通信方式可分为单工通信、半双工通信及全双工通信。

(2) 在数字通信中,按照数字信号排列顺序不同,可将通信方式分为串序传输和并序传输。

1-2 通信系统是如何分类的?

答 通信系统按要传输的信号形式不同,分为模拟通信系统和数字通信系统;按传输媒介不同分为有线通信和无线通信;按工作频率分为中波、短波、超短波、微波通信等。

1-3 何谓数字通信？数字通信的优缺点是什么？

答 信道中传输数字信号的通信称为数字通信。

(1) 数字通信的主要优点如下：

- ① 抗干扰能力强；
- ② 差错可控；
- ③ 易加密；
- ④ 易与现代技术相结合。

(2) 数字通信的缺点如下：

- ① 占用频带宽；
- ② 需要严格的同步系统。

1-4 试画出数字基带传输系统和频带传输系统的模型，并简要说明各部分的作用。

答 (1) 数字基带传输系统(如图 1-1-1 所示)：

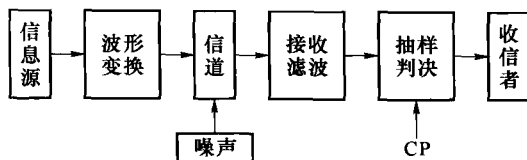


图 1-1-1

(2) 数字频带传输系统(如图 1-1-2 所示)：

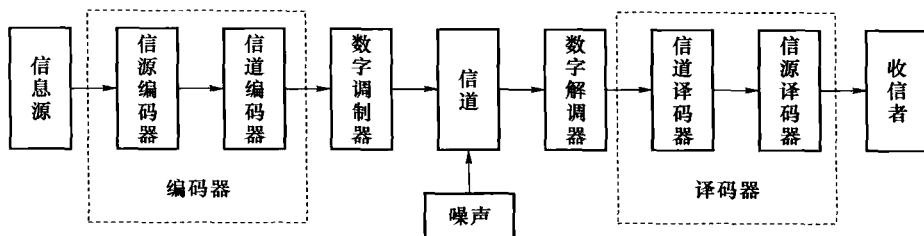


图 1-1-2

1-5 衡量通信系统的主要性能指标是什么？对于数字通信具体用什么来表述？

答 衡量通信系统的主要性能指标是有效性和可靠性，数字通信有效性具体用传输速率来衡量，可靠性用误码率来衡量。

1-6 设英文字母 E 出现的概率为 0.105, X 出现的概率为 0.002, 试求 E 和 X 的信息量各为多少？

解 由计算信息量公式 $I = \log_a \frac{1}{p(x)} = -\log_a p(x)$ 得

$$I_E = -\log_2 0.105 = 3.252 \text{ bit}$$

$$I_X = -\log_2 0.002 = 8.966 \text{ bit}$$

1-7 某信源的符号集由 A、B、C、D、E、F 组成，设每个符号独立出现，其概率分别为 1/4、

1/4、1/16、1/8、1/16、1/4, 试求信息源输出符号的平均信息量。

解 由计算平均信息量公式 $\bar{I} = - \sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i)$ 得

$$\bar{I} = (3/4) \log_2 4 + (2/16) \log_2 16 + (1/8) \log_2 8 = 2.325 \text{ bit}$$

1-8 设数字传输系统传送二进制信号, 码元速率 $R_{B2} = 2400 \text{ Baud}$, 试求该系统的信息速率 R_{b2} ? 若该系统改为十六进制信号, 码元速率不变, 则此时的系统信息速率为多少?

解 由码元速率和信息速率的转化关系式 $R_{bN} = R_{BN} \log_2 N$ 得

二进制信号

$$R_{b2} = R_{B2} = 2400 \text{ bit/s}$$

十六进制信号

$$R_{B16} = R_{B2} = 2400 \text{ Baud}$$

$$R_{b16} = R_{B16} \log_2 16 = 9600 \text{ bit/s}$$

1-9 已知某数字传输系统传输八进制信号, 信息传输速率为 3600 bit/s , 试问码元速率应为多少?

解 由码元速率和信息速率的转化关系式 $R_{bN} = R_{BN} \log_2 N$ 得

$$R_{B8} = R_{b8} / \log_2 8 = 1200 \text{ Baud}$$

1-10 已知二进制信号的传输速率为 4800 bit/s , 试问变换成四进制和八进制数字信号时的传输速率各为多少? (码元速率不变)

解 由于码元速率不变

$$R_{B4} = R_{B16} = R_{B2} = R_{b2} = 4800 \text{ Baud}$$

再由码元速率和信息速率的转化关系式 $R_{bN} = R_{BN} \log_2 N$ 得

四进制信号

$$R_{b4} = R_{B4} \log_2 4 = 9600 \text{ bit/s}$$

十六进制信号

$$R_{b16} = R_{B16} \log_2 16 = 19200 \text{ bit/s}$$

1-11 已知二进制信号的传输速率为 4800 Baud , 如果保持码元速率不变, 试问变换成四进制和八进制数字信号时的传输速率各为多少?

解 (同上题)

1-12 已知某系统的码元速率为 3600 kBaud , 接收端在 1 h 内共收到 296 个错误码元, 试求系统的误码率 P_e ?

解 误码率 $P_e = \frac{\text{单位时间内系统出现的错误码元数}}{\text{单位时间内系统传输的总码元数(正确数+错误数)}}$

$$P_e = \frac{296}{3600 \times 10^3 \times 1 \times 60 \times 60} = 2.28 \times 10^{-8}$$

1-13 已知某四进制数字信号传输系统的信息速率为 2400 bit/s , 接收端在 0.5 h 内, 共收到 216 个错误码元, 试计算该系统 P_e ?

解 误码率 $P_e = \frac{\text{单位时间内系统出现的错误码元数}}{\text{单位时间内系统传输的总码元数(正确数+错误数)}}$

$$R_{B4} = R_{b4} / \log_2 4 = 1200 \text{ bit/s}$$

$$P_e = \frac{216}{1200 \times 0.5 \times 60 \times 60} = 10^{-4}$$

1-14 在强干扰环境下, 某电台在 5 min 内接收到正确信息量为 355 Mbit , 假定系统信息速率为 1200 kbit/s ,

(1) 试问系统误信率 P_b ?

(2) 若具体指出系统所传数字信号为四进制信号, 则 P_b 为多少? 值是否改变, 为什么?

(3) 若假定信号为四进制信号, 系统传输速率为 1 200 kBaud, 则 P_b 为多少?

解 (1) 误信率 $P_b = \frac{\text{单位时间内系统出现的错误比特率}}{\text{单位时间内系统传输的总比特数(正确数+错误数)}}$

$$P_b = \frac{1\,200 \times 10^3 \times 5 \times 60 - 355 \times 10^6}{1\,200 \times 10^3 \times 5 \times 60} = \frac{1}{72}$$

(2) $P_b = \frac{1\,200 \times 10^3 \times 5 \times 60 - 355 \times 10^6}{1\,200 \times 10^3 \times 5 \times 60} = \frac{1}{72}$, P_b 值不变, 因为四进制信息速率也为 1 200 kbit/s。

(3) $R_{b4} = R_{B4} \log_2 4 = 1\,200 \text{ k} \times 2 = 2\,400 \text{ kbit/s}$

$$P_b = \frac{2\,400 \times 10^3 \times 5 \times 60 - 355 \times 10^6}{2\,400 \times 10^3 \times 5 \times 60} = \frac{73}{144}$$

1-15 某系统经长期测定, 它的误码率为 10^{-5} , 系统码元速率为 1 200 Baud, 问在多长时间以内可以收到 360 个错误码元?

解

误码率 $P_e = \frac{\text{单位时间内系统出现的错误码元数}}{\text{单位时间内系统传输的总码元数(正确数+错误数)}}$

$$t = \frac{360}{1\,200 \times 10^{-5}} = 3 \times 10^4 \text{ s}$$

1-16 什么是信道? 列出熟悉的信道形式。

答 信道是指以传输媒介(质)为基础的信号通路。

信道是指信号的传输通路, 它让信号通过, 同时对信号以限制与损耗。可分为狭义信道和广义信道, 其中狭义信道又可分为有线信道和无线信道, 广义信道分为调制信道和编码信道。

1-17 什么是广义信道? 什么是狭义信道?

答 狭义信道通常仅指信号传输媒介的信道, 广义信道则不仅包含传输媒介, 而且包括调制、解调、编码、译码等收发设备部分功能单元在内的一种信道, 从分析问题的角度不同其包含的形式也有所不同。

1-18 什么是调制信道? 什么是编码信道? 它们各自常用在什么通信中?

答 调制信道是从研究调制与解调的基本问题出发而构成的, 它的范围是从调制器输出端到解调器输出端。调制信道通常应用在模拟通信中。

编码信道是着眼于编码和译码问题, 它包括了调制信道及调制器、解调器在内的信道。通常应用于数字通信中。

1-19 什么是恒参信道? 它对传输信号有何影响?

答 恒参信道是指信道参数随时间不变化或缓慢变化的信道, 它可等效为一个非时变的线性网络。

恒参信道对传输信号的影响包括幅度-频率畸变和相位-频率畸变。

1-20 变参信道传输媒介有哪些特点? 它对所传信号有何影响?

答 变参信道传输媒介通具有以下特点:

- (1) 对信号的衰减随时间的变化而变化;
- (2) 传输时延随时间随时间也发生变化;
- (3) 具有多径传播(多径效应)。

变参信道对信号的影响比较大,不仅引起慢衰落,也会由于多径传播造成的快衰落。

1-21 什么是频率弥散(色散)现象?

答 频率弥散(色散)是信号在信道中传输时,由于多径效应的影响,把信号的频谱由单个频率变成了一个窄带频谱的过程。

1-22 通常改善变参信道传输特性的具体方法有哪些?

答 主要采用分集接收技术。

1-23 已知 A 和 B 两个十六进制数字传输系统,它们的码元传输速率相同,在接收端 T_0 时间内, A 系统共收到 M 个错误码元, B 系统共收到 $M+9$ 个错误比特,试分析比较 A、B 系统哪个性能好,为什么?

解 因为衡量通信系统性能好坏主要从有效性和可靠性两方面来考虑。由于都是同速率的十六进制系统,所以主要看系统误码率的大小即可。

$$P_{eA} = M / (T_0 \times R_{B16})$$

$$P_{eB} = \frac{(M+9) / \log_2^{16}}{T_0 \times R_{B16}} = \frac{(M+9) / 4}{T_0 \times R_{B16}}$$

可以看出: $M > 3$ 时, A 系统好于 B 系统; $M = 3$ 时, A 系统和 B 系统一样; $M = 1, 2$ 时, B 系统好于 A 系统。

第 2 章

通信中的信号分析

2.1 本章主要概念

线性系统	概率分布函数
时不变系统	无失真传输
功率信号	平稳随机过程
能量信号	各态历经性
能量谱密度函数	帕塞瓦尔定理
功率谱密度函数	白噪声
谱密度与相关函数之间的关系	高斯噪声
概率密度函数	窄带高斯噪声

2.2 关键点解读与技巧分析

1. 谱密度函数与自相关函数之间的关系

能量信号的能量谱密度函数与能量信号的自相关函数之间的关系互为傅里叶变换对；功率信号(含噪声)的功率谱密度函数与它的自相关函数之间也互为傅里叶变换对。

2. 窄带高斯白噪声

窄带高斯白噪声是通信中常见的一种噪声,其含义是:“窄带”系统通常表示系统的频带宽度 B 远远小于载波频率 f 的一类系统(通信一般都是窄带系统);“高斯”是指噪声的概率密度函数服从正态(高斯)分布;“白”是指噪声的功率谱密度函数为常数(在所有频段内)。这是噪声的 3 个不同方面的反映,并不冲突,应理解掌握好。通常高斯白噪声好理解,但窄带高斯白噪声好像是相互矛盾的,实际上并不矛盾,窄带高斯白噪声实质上是高斯白噪声通过了一个窄带系统之后的噪声。窄带高斯白噪声的特性与窄带随机过程的特性完全一致。

3. 高斯随机过程通过线性系统

高斯随机过程通过线性系统后,它仍然是高斯的,但可能均值与方差发生变化。这里要注意的是,不是所有的噪声通过线性系统后,其分布都不发生变化。高斯随机过程仅仅是一种特例。

2.3 习题解答

2-1 已知信号的波形如图 1-2-1 所示,画出下列函数的波形。

(1) $f(t)$

(2) $f(t-1)u(t-1)$

(3) $f(2-t)u(t)$

(4) $\frac{df(t)}{dt}$

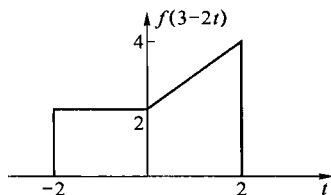


图 1-2-1

解 根据题意可得

(1) 经 $f(3-2t) \rightarrow$ 反转 $\rightarrow f(3+2t) \rightarrow$ 尺度变换 $\rightarrow f(3+t) \rightarrow$ 平移 $\rightarrow f(t)$ 处理可以得到如图 1-2-2(d) 所示的信号波形,变换过程如图 1-2-2 所示。

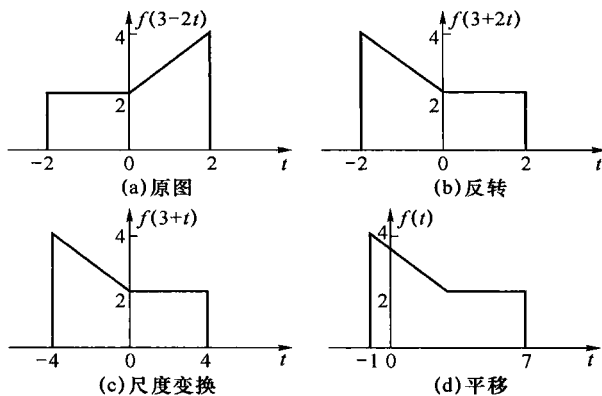


图 1-2-2

(2) 根据(1)得到的 $f(t)$, 平移后可得信号波形如图 1-2-3(b) 所示的信号波形,变换过程如图 1-2-3 所示。

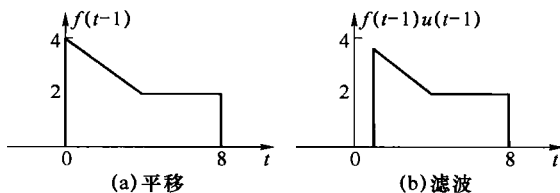


图 1-2-3