



“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材

通信原理简明教程

(第3版)

学习辅导与习题解答

李兴华 王亚飞 李振松 南利平 编著

清华大学出版社





“十二五”普通高等教育本科

通信原理简明教程

(第3版)

学习辅导与习题解答

李兴华 王亚飞 李振松 南利平 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书是清华大学出版社出版的《通信原理简明教程》(第3版)教材的配套教学参考书。全书分为两部分:第一部分为学习辅导和习题解答,包括《通信原理简明教程》(第3版)教材中第1~9章内容的归纳总结与重点、难点分析,以及所有习题的解答;第二部分为自测题及参考答案,共5套,每套包括水平相当的A、B两份试题。

本书从物理概念出发,深入浅出地对知识进行归纳总结,通过系统的知识梳理和习题分析,可以帮助读者巩固理论知识,掌握通信系统的计算和分析方法。

本书可作为高等院校通信工程、信息工程、电子工程和其他相近专业本科生教学参考书,也可作为非通信工程专业本科生第二学位辅助教材、成人教育专升本辅助教材以及相关专业研究生入学考试参考书。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

通信原理简明教程(第3版)学习辅导与习题解答/李学华等编著.
--北京:清华大学出版社,2014
ISBN 978-7-302-38250-8

I. ①通… II. ①李… 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(2014)第 235241 号

责任编辑:文 怡

封面设计:傅瑞学

责任校对:李建庄

责任印制:沈 露

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:140mm×203mm 印 张:9.875 字 数:257千字

版 次:2014年12月第1版 印 次:2014年12月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:25.00元

前 言

通信技术和通信产业是 20 世纪 80 年代以来世界科技发展最快的领域之一,通信技术的发展形势促进了人们学习相关知识的需求。“通信原理”是通信工程专业、电子信息工程专业的重要主干课程,也是一门重要的专业基础课程和报考研究生的考试课程。“通信原理”课程理论性强,概念繁多,对先修课程的基础有一定的要求。因此,许多读者希望有一本辅导书帮助学习、巩固和提高。本书的配套教材《通信原理简明教程》第 1 版和第 2 版印刷共计 25 次,销售 10 余万册,为了帮助广大读者进一步提高学习效率,我们编写了这本教学参考书,以期对“通信原理”课程的学习起到积极的帮助作用。

本书从物理概念出发,用通俗易懂的方式对《通信原理简明教程(第 3 版)》教材中的知识进行归纳总结,剖析重难点知识,梳理各章节之间的关系,帮助形成知识体系。通过习题解答分析疑点、强化重点,帮助读者加深对基本概念和基本理论的理解,帮助读者掌握科学的分析问题和解决问题的方法,达到融会贯通的效果。本书是帮助读者提高学习效率、改善学习效果的有力助手。

本书给出了《通信原理简明教程(第 3 版)》教材中第 1~9 章全部内容的归纳总结与重难点分析,以及所有习题的解答,并对教材中的个别习题进行了补充说明。本书还编撰了 5 套共 10 份自测题并给出了参考答案,可以帮助读者对学习效果进行测评。

习题解答部分由本书 4 位作者共同编写和核对,学习辅导

和自测题部分由南利平和李学华编写,全书由李学华统稿。

编者感谢杨曙辉、汪毓铎等老师在本书编撰过程中给予的帮助与支持。本书的编写获得了北京市及北京信息科技大学2014年人才培养专项的支持。对本书所列参考文献作者,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,欢迎读者批评指正。

编 者

2014年7月

E-mail: tongxinyuanli@sina.com

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 学习辅导	1
1.1.1 教学背景	1
1.1.2 学习目标	1
1.1.3 学习要点	2
1.1.4 学习难点	3
1.1.5 学习后记	4
1.2 习题解答	5
第 2 章 基础知识	9
2.1 学习辅导	9
2.1.1 教学背景	9
2.1.2 学习目标	9
2.1.3 学习要点	10
2.1.4 学习难点	11
2.1.5 学习后记	13
2.2 习题解答	14
第 3 章 模拟调制系统	21
3.1 学习辅导	21
3.1.1 教学背景	21
3.1.2 学习目标	22

3.1.3	学习要点	23
3.1.4	学习难点	25
3.1.5	学习后记	27
3.2	习题解答	28
第4章	模拟信号的数字化	85
4.1	学习辅导	85
4.1.1	教学背景	85
4.1.2	学习目标	85
4.1.3	学习要点	86
4.1.4	学习难点	87
4.1.5	学习后记	89
4.2	习题解答	89
第5章	数字信号的基带传输	120
5.1	学习辅导	120
5.1.1	教学背景	120
5.1.2	学习目标	120
5.1.3	学习要点	121
5.1.4	学习难点	122
5.1.5	学习后记	124
5.2	习题解答	124
第6章	数字信号的频带传输	153
6.1	学习辅导	153
6.1.1	教学背景	153
6.1.2	学习目标	153
6.1.3	学习要点	154

6.1.4	学习难点	155
6.1.5	学习后记	157
6.2	习题解答	158
第 7 章	现代数字调制技术	194
7.1	学习辅导	194
7.1.1	教学背景	194
7.1.2	学习目标	194
7.1.3	学习要点	195
7.1.4	学习难点	196
7.1.5	学习后记	197
7.2	习题解答	197
第 8 章	差错控制编码	202
8.1	学习辅导	202
8.1.1	教学背景	202
8.1.2	学习目标	202
8.1.3	学习要点	203
8.1.4	学习难点	203
8.1.5	学习后记	205
8.2	习题解答	206
第 9 章	同步技术	217
9.1	学习辅导	217
9.1.1	教学背景	217
9.1.2	学习目标	217
9.1.3	学习要点	218
9.1.4	学习难点	218

9.1.5 学习后记	219
9.2 习题解答	219
第10章 自测题	223
10.1 自测题一及参考答案	223
10.2 自测题二及参考答案	241
10.3 自测题三及参考答案	256
10.4 自测题四及参考答案	275
10.5 自测题五及参考答案	290
参考文献	307

第1章 绪 论

1.1 学习辅导

1.1.1 教学背景

“通信原理”课程是电子类专业和信息类专业的专业基础课程,是各种现代通信系统和现代通信技术等专业课的先修课程。

本课程的任务是针对通信系统一般模型分析通信系统的工作原理和通信系统的性能,使读者对通信系统具有初步的设计和计算能力。

本章简要解释通信和通信系统的一般概念;概括介绍通信系统一般模型,其中包括模拟通信系统模型和数字通信系统模型;本章还介绍通信系统的质量指标。

1.1.2 学习目标

(1) 建立通信和通信系统的一般概念,其中包括说明通信的目的;说明按媒质分类的无线通信和有线通信两种通信方式;解释通信系统一般模型的框图。

(2) 说明模拟信号和数字信号的定义。理解模拟通信系统模型的框图,理解数字通信系统模型的框图。

(3) 了解通信发展简史。举出几种日常生活中通信方式的实例,说明是无线通信还是有线通信、是模拟通信还是数字通信。通过网络了解目前国内外通信技术发展的概况。

(4) 列出信息量的定义式,计算离散信源的信息量。列出

平均信息量的定义式,计算离散信源的平均信息量。

(5) 列出通信系统的质量指标,说明有效性和可靠性的定义。列出在模拟通信系统中有效性和可靠性的具体质量指标;列出在数字通信系统中有效性和可靠性的具体质量指标。计算数字通信系统中的码元速率和信息速率。比较二进制和多进制的码元速率和信息速率。分析波特率和比特率的关系。

1.1.3 学习要点

1. 通信和通信系统的一般概念

- 通信的目的
- 通信方式按媒质分类
- 通信系统的一般模型

2. 模拟通信与数字通信

- 模拟信号和数字信号
- 模拟通信系统模型
- 数字通信系统模型

3. 通信发展简史

4. 信息及其度量

- 信息量
- 平均信息量

5. 通信系统的质量指标

(1) 模拟通信系统的质量指标

- 有效性:有效传输带宽
- 可靠性:输出信噪比

(2) 数字通信系统的质量指标

- 有效性:传输速率(码元速率和信息速率),频带利用率
- 可靠性:差错率

1.1.4 学习难点

1. 模拟信号和数字信号的区别

按信号参量的取值方式不同,信号分为模拟信号和数字信号。如果信号参量取值是连续的,则称为模拟信号,如果信号参量取值是离散的,则称为数字信号。

携带消息的信号参量的取值(如幅度、频率、相位)是否连续,是区别模拟信号和数字信号的关键,而信号参量在时间上的分布则不是判断的标准。

例如教材第116页图4-2(a)所示的信号为模拟信号,图4-2(b)所示的信号为抽样信号,抽样信号在时间上是离散的,但是在幅度上是连续的,所以图4-2(b)所示的信号仍然是模拟信号。

又例如教材第212页图6-7(b)所示的2FSK信号,该信号在时间上和幅度上都是连续的,但是信号携带消息的参量是频率,而频率参量只有两种取值,所以2FSK信号是数字信号。

2. 波特率和比特率的关系

码元速率指的是单位时间(秒)传送的码元个数,单位为波特(baud),简记为Bd。码元速率又称波特率,通常用 R_s 表示。波特率与码元进制数无关,只与码元的持续时间(码元宽度)有关。

信息速率指的是单位时间(秒)传送的信息量,单位为比特/秒(bit/s)。信息速率又称比特率,通常用 R_b 表示。比特率与码元进制数有关。二进制时波特率和比特率在数量上相等, M 进制时比特率是波特率的 $\log_2 M$ 倍,即

$$R_b = R_s \log_2 M$$

有人用轿车和轿车内的乘客比喻波特率和比特率的概念。在交通运输中,波特率类似轿车,比特率类似轿车内的乘客。一辆轿车可载运一位或多位乘客。交通情况是由轿车的辆数确定的,而不是由轿车内的乘客数确定的。在轿车的辆数确定的条

件下,载运能力由轿车载运的乘客数确定。与此相类似的是,传输带宽是由波特率确定的,而不是由比特率确定的。在波特率确定的条件下,信息传输速率由进制数确定。这就是说,信息传输能力由信息传输速率确定。

3. 误码率 P_s 、误比特率 P_b 与进制数 M 的关系

二进制时误码率与误比特率相等, $P_s = P_b$ 。多进制时误码率高于误比特率, $P_s > P_b$ 。

以八进制为例,八进制的每个码元要用 3 个二进制码元表示,即八进制的每个码元含有 3bit 码。如果考察在 1 个八进制码元中仅发生 1bit 的错误,这个错误比特可能在第 1 位、第 2 位和第 3 位。也就是说 1bit 的错误对应 3 种情况的码元错误,所以多进制时误码率高于误比特率。

误码率 P_s 和误比特率 P_b 的具体关系要根据码的形式具体分析。例如在采用格雷码的多进制系统中,错误码元中仅发生 1bit 错误的概率最大。经推导后可知有以下近似关系

$$P_b \approx \frac{P_s}{\log_2 M}$$

多进制时误码率高于误比特率是显而易见的。

1.1.5 学习后记

第 1 章简要解释了通信和通信系统的一般概念;概括介绍了通信系统一般模型,其中包括模拟通信系统模型和数字通信系统模型;介绍了通信系统的质量指标。本教材的任务就是针对通信系统一般模型分析通信系统的工作原理和通信系统的性能。第 3 章和第 4 章讨论模拟通信系统,第 5~9 章讨论数字通信系统。

“信号与系统”和“概率与随机过程”是本课程的先修课程,本教材会涉及这两门课程中的一些主要结论。第 2 章对这些主要结论从物理概念出发进行简明扼要的介绍和分析,以期对缺

少这方面基础知识的读者有所帮助。如果读者已经学过“信号与系统”和“概率与随机过程”课程,在学习了第1章以后可以直接学习第3章。

1.2 习题解答

1.1 消息源以概率 $P_1=1/2, P_2=1/4, P_3=1/8, P_4=1/16, P_5=1/16$ 发送 5 种消息符号 m_1, m_2, m_3, m_4, m_5 。若每个消息符号出现是独立的,求每个消息符号的信息量。

解 由于每个消息符号出现是独立的,由教材式(1-1)有

$$I(m_1) = -\log_2 P(m_1) = -\log_2 \frac{1}{2} = 1(\text{bit})$$

$$I(m_2) = -\log_2 P(m_2) = -\log_2 \frac{1}{4} = 2(\text{bit})$$

$$I(m_3) = -\log_2 P(m_3) = -\log_2 \frac{1}{8} = 3(\text{bit})$$

$$I(m_4) = -\log_2 P(m_4) = -\log_2 \frac{1}{16} = 4(\text{bit})$$

$$I(m_5) = -\log_2 P(m_5) = -\log_2 \frac{1}{16} = 4(\text{bit})$$

1.2 若信源发出概率各为 $1/2, 1/4, 1/6$ 和 $1/12$ 的 4 个字母序列,求其平均信息量。

解 由教材式(1-3),可知信源的平均信息量为

$$\begin{aligned} H(x) &= -\sum_{i=1}^4 P(x_i) \log_2 P(x_i) \\ &= -\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{6} \log_2 \frac{1}{6} - \frac{1}{12} \log_2 \frac{1}{12} \\ &= 0.5 + 0.5 + 0.4308 + 0.2988 \\ &= 1.730(\text{bit/sym}) \end{aligned}$$

1.3 设有 4 种消息符号,其出现概率分别是 $1/4, 1/8, 1/8, 1/2$ 。各消息符号出现是相对独立的,求该符号集的平均信

息量。

解 由教材式(1-3),可知信源的平均信息量为

$$\begin{aligned}
 H(x) &= - \sum_{i=1}^4 P(x_i) \log_2 P(x_i) \\
 &= - \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{1}{8} \log_2 \frac{1}{8} - \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} \\
 &= 0.5 + \frac{3}{8} + \frac{3}{8} + 0.5 \\
 &= 1.75(\text{bit/sym})
 \end{aligned}$$

1.4 一个离散信号源每毫秒发出4种符号中的一个,各相互独立符号出现的概率分别为0.4,0.3,0.2,0.1。求该信号源的平均信息量与信息速率。

解 由教材式(1-3),可知信源的平均信息量为

$$\begin{aligned}
 H(x) &= - \sum_{i=1}^4 P(x_i) \log_2 P(x_i) \\
 &= -0.4 \log_2 0.4 - 0.3 \log_2 0.3 - 0.2 \log_2 0.2 - 0.1 \log_2 0.1 \\
 &= 0.5288 + 0.5211 + 0.4644 + 0.3322 \\
 &= 1.846(\text{bit/sym})
 \end{aligned}$$

信息速率为单位时间内传输的信息量,可求得信息速率 R_b 为

$$R_b = \frac{1.846}{1 \times 10^{-3}} = 1846(\text{bit/s})$$

1.5 某二元码序列的信息速率是2400bit/s,若改用八元码序列传送该消息,试求码元速率是多少?

解 由教材式(1-7),可知码元速率 R_s 为

$$R_s = \frac{R_b}{\log_2 M} = \frac{2400}{\log_2 8} = \frac{2400}{3} = 800(\text{baud})$$

1.6 某消息用十六元码序列传送时,码元速率是300baud。若改用二元码序列传输该消息,其信息速率是多少?

解 设传输某消息的信息速率为 R_b , 若改用二元码序列传输, 其信息速率 R_b 不变。题目条件给出十六元码的码元速率为 300baud, 由教材式(1-7), 可知信息速 R_b 率为

$$R_b = R_s \log_2 M = 300 \cdot \log_2 16 = 1200(\text{bit/s})$$

1.7 某消息以 2Mbit/s 的信息速率通过有噪声的信道, 在接收机输出端平均每小时出现 72bit 差错。试求误比特率。

解 根据误比特率定义, 可知

$$P_b = \frac{\text{错误比特数}}{\text{传输总比特数}} = \frac{72}{2 \times 10^6 \times 3600} = 10^{-8}$$

1.8 一个二元码序列以 $2 \times 10^6 \text{ bit/s}$ 的信息速率通过信道, 并已知信道的误比特率为 5×10^{-9} 。试求出现 1bit 差错的平均时间间隔。

解 已知信息速率 R_b 为 $2 \times 10^6 \text{ bit/s}$, 信道误比特率 P_b 为 5×10^{-9} , 出现 1bit 差错的平均时间间隔 T 为

$$T = \frac{1}{R_b P_b} = \frac{1}{2 \times 10^6 \times 5 \times 10^{-9}} = 100(\text{s})$$

1.9 设一个码字由 5 位独立的二进制代码组构成。若已知信道的误比特率分别为 10^{-1} 和 10^{-8} , 则错字率 P_w 分别是多少?

解 5 个二进制码组成 1 个码字, 那么只要有 1 个二进制码错了, 这个码字就错了。假设二进制码的错误率为 P_b , 则错字率为

$$P_w = \sum_{i=1}^5 C_5^i P_b^i (1 - P_b)^{5-i}$$

信道的误比特率即二进制码的错误率, 由于二进制代码相互独立, 所以当信道的误比特率为 10^{-1} 时, 码字中有且仅有 1 位二进制码错误引起的错字率为

$$\begin{aligned} P_{w1} &= C_5^1 P_b (1 - P_b)^4 \\ &= 5 \times 10^{-1} \times (1 - 10^{-1})^4 \\ &= 3.28 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

码字中有且仅有 2 位二进制码错误引起的错字率为

$$\begin{aligned} P_{w2} &= C_5^2 P_b^2 (1 - P_b)^3 \\ &= 10 \times 10^{-2} \times (1 - 10^{-1})^3 \\ &= 7.29 \times 10^{-2} \end{aligned}$$

码字中有且仅有 3 位二进制码错误引起的错字率为

$$\begin{aligned} P_{w3} &= C_5^3 P_b^3 (1 - P_b)^2 \\ &= 10 \times 10^{-3} \times (1 - 10^{-1})^2 \\ &= 8.1 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

码字中有 3 位以上二进制码错误引起的错字率远小于码字中有且仅有 1 位二进制码错误引起的错字率,可以略去不计,所以此时错字率 P_w 近似为

$$\begin{aligned} P_w &\approx C_5^1 P_b (1 - P_b)^4 + C_5^2 P_b^2 (1 - P_b)^3 \\ &= 5 \times 10^{-1} \times (1 - 10^{-1})^4 + 10 \times 10^{-2} \times (1 - 10^{-1})^3 \\ &= 4.0 \times 10^{-1} \end{aligned}$$

当信道的误比特率为 10^{-8} 时,码字中有且仅有 1 位二进制码错误引起的错字率为

$$\begin{aligned} P_{w1} &= C_5^1 P_b (1 - P_b)^4 \\ &= 5 \times 10^{-8} \times (1 - 10^{-8})^4 \\ &= 5 \times 10^{-8} \end{aligned}$$

码字中有且仅有 2 位二进制码错误引起的错字率为

$$\begin{aligned} P_{w2} &= C_5^2 P_b^2 (1 - P_b)^3 \\ &= 10 \times 10^{-16} \times (1 - 10^{-8})^3 \\ &= 10^{-15} \end{aligned}$$

码字中有 2 位以上二进制码错误引起的错字率远小于码字中有且仅有 1 位二进制码错误引起的错字率,可以略去不计,所以此时错字率 P_w 近似为

$$P_w \approx C_5^1 P_b (1 - P_b)^4 \approx C_5^1 P_b = 5 \times 10^{-8}$$