

卫星地球站数字通信设备

陈振国 齐怀亮 林莹 等编著

卫星通信地球站设备丛书

人民邮电出版社

TN927
21

卫星通信地球站设备丛书

卫星地球站数字通信设备

陈振国 齐怀亮 林莹 等编著

人民邮电出版社

登记证号(京)143号

图书在版编目 (CIP) 数据

卫星地球站数字通信设备/陈振国等编著. —北京: 人民邮电出版社, 1995. 3

(卫星地球站设备丛书)

ISBN 7-115-05542-4

I. 卫… II. 陈… III. 卫星通信: 数字通信-地面设备-通信设备
IV. TN927

内 容 提 要

本书系统地介绍了卫星通信地球站设备中大量使用的数字通信终端设备, 并阐述了它们的关键技术及工作原理。对近几年来迅速发展的 VSAT 系统和移动卫星通信系统(包括航空和地面移动系统), 本书也作了较深入的讨论。

本书内容丰富, 取材新颖, 力求原理叙述和工程实际并重。本书适合于从事卫星通信的工程技术人员使用, 也可供相关高等院校师生及研究人员参考。

卫星通信地球站设备丛书

卫星地球站数字通信设备

陈振国 齐怀亮 林莹 等编著

责任编辑 刘彬

*

人民邮电出版社出版发行

北京朝内大街南竹杆胡同 111 号

北京密云春雷印刷厂印刷

新华书店总店科技发行所经销

*

开本: 850×1168 1/32 1995 年 3 月 第 一 版

印张: 12.625 1995 年 3 月 北京第 1 次印刷

字数 330 千字 插页: 1 印数: 1—3 000 册

ISBN 7-115-05542-4/TN·850

定价: 16.00 元

出版说明

为了适应卫星地球站维护工作的需要，我们将按卫星地球站设备组成组织出版“卫星通信地球站设备丛书”一套，包括《卫星通信天线、馈源、跟踪系统》、《地球站微波收发信机》、《卫星地球站数字通信设备》、《地球站电源设备》等书。由于地球站种类较多，为兼顾各大、中、小型站，故侧重介绍各类站共性的内容。编写时，注意到既对应用较多的设备加以叙述，也对正在发展中的新技术以及新设备作介绍。希望这套丛书有助于提高设备运行的质量，并能起到开阔地球站工作人员的视野的作用。

前 言

卫星通信覆盖面积大、不受地理条件的限制、通信频带宽、容量大、机动灵活，因而在国际和国内通信领域中，成为不可缺少的通信手段。在各种传输手段的激烈竞争中，卫星通信将仍会具有较强的生命力。80年代以来，小型卫星地球站（VSAT）和卫星移动通信更为卫星通信的发展开辟了广阔的前景。特别是近十余年来，数字卫星通信得到了迅速发展。过去大量使用的模拟通信（如 FM/FDM/FDMA 方式），正在或已经被数字方式所代替（如中速数据速率 IDR/DCME 或 TDMA/DSI 方式）。这样，就为它与综合业务数字网（ISDN）的连接奠定了基础，形成了地面、海底和空中都能传送宽带数字信息的全新通信网络格局。

本书正是在这种客观需要情况下着手编写的。它的核心内容是介绍卫星地球站中的数字通信设备，同时也阐述进入 90 年代以来正在广泛使用和发展的一些新型卫星通信系统。

全书共分七章，第一章简单阐述卫星通信地球站的基本组成和卫星线路的主要性能参数。

第二章介绍数字基带信号和它的一些特点，包括语音信号编码和纠错技术。

第三章讨论各种数字调制技术，包括较成熟的二相、四相移相键控（BPSK 和 QPSK），最小移频键控（MSK），以及数字调制技术的一些新进展。

第四章重点阐述 TDMA 终端设备，及其所使用的 Modem 和 DSI 电路。最后介绍近年来研制的第二代小型化、高性能的 TDMA 终端设备。

第五章讨论中速数据业务和数字电路倍增设备（IDR/DCME），

它是 80 年代后期 INTELSAT 极力推荐使用的。IDR/DCME 是卫星通信迅速向数字方向发展的一个重要途径。本章包括 IDR 业务的技术规范, 主要技术参数, 以及所采用的数字调制解调设备和数字电路倍增设备等。

第六章阐述 VSAT 系统。其中包括网络结构、多址方式、系统终端设备、管理及控制等, 最后附上 1993 年 CCIR 提出的有关 VSAT 的技术标准。

第七章介绍移动卫星通信系统, 包括系统组成和主要技术问题, 国际海事卫星系统 (INMARSAT) 的新进展, 以及近几年兴起的航空与地面移动系统。之后还扼要地介绍了正在筹建的低轨道卫星通信系统 (LEO) 的轨道配置和网络结构。

本书第二、三章由齐怀亮编写; 第五、六章由杨鸿文、林莹、陈振国编写; 第一、四、七章由陈振国编写。李本玉、庞翠珠、赵冬梅同志也为本书的出版做了很多工作。

由于水平和时间的限制, 书中内容不当之处, 敬请读者批评指正。

编 者

一九九四年五月

目 录

第一章 基本地球站系统

1.1 系统定义	1
1.1.1 噪声输入功率	2
1.1.2 卫星上的载波功率	3
1.1.3 地球站载波功率	4
1.1.4 自由空间损耗	4
1.1.5 卫星载噪比	5
1.1.6 地球站载噪比	5
1.1.7 下行载噪比	5
1.2 地球站高频部件	5
1.2.1 天线	5
1.2.2 低噪声放大器 (LNA)	12
1.2.3 高功率放大器 (HPA) 系统	17
1.3 地球站通用设备	23
1.3.1 地面通信设备 (GCE)	23
1.3.2 地球站控制系统	29
1.3.3 地面接口	31
1.3.4 回声抵消器	33

第二章 数字基带信号

2.1 语音信号编码	35
2.1.1 脉冲编码调制 (PCM)	36
2.1.2 自适应差分脉冲编码调制 (ADPCM)	43
2.1.3 连续可变斜率增量调制 (CVSD)	50

2.1.4	参量编码器	52
2.2	信道编码——纠错编码技术	56
2.2.1	信道容量、带宽利用率和编码增益	56
2.2.2	差错控制方式	61
2.2.3	分组码	62
2.2.4	卷积码	67
2.3	基带数字信号的基本概念	70

第三章 数字调制技术

3.1	数字调制方式的基本类型和已调信号的分析	75
3.2	二相移相键控 (BPSK)	78
3.2.1	BPSK 信号的表示式及其产生原理	78
3.2.2	BPSK 信号的功率谱	79
3.2.3	BPSK 信号的解调和误码性能	81
3.2.4	差分编码及 DBPSK	82
3.3	四相移相键控 (QPSK)	86
3.3.1	QPSK 信号的表示式及其产生原理	86
3.3.2	QPSK 信号的功率谱	88
3.3.3	QPSK 信号的相位逻辑	89
3.3.4	QPSK 信号的解调及误码性能	90
3.3.5	DQPSK 方式	92
3.3.6	参差四相移相键控 (OQPSK)	94
3.4	最小移频键控 (MSK)	95
3.4.1	2FSK 的一般表达式	95
3.4.2	MSK 信号的表示式和基本特点	97
3.4.3	MSK 的构成原理	99
3.4.4	MSK 信号的功率谱	100
3.5	数字调制技术的发展	102
3.5.1	频谱有效调制技术——MQAM	103

3.5.2	平滑调频 (TFM)	107
3.5.3	无符号间干扰无抖动——OQPSK (IJF-OQPSK)	110
3.6	数字调制中的载波恢复技术	114
3.6.1	非线性变换——滤波法	115
3.6.2	同相——正交环	116
3.6.3	基带数字处理环	118
3.6.4	MSK 所用的载波恢复电路	120
3.7	数字调制中位同步信号的提取	121
3.7.1	位同步信号提取原理	121
3.7.2	位同步信号的产生	123

第四章 时分多址终端设备

4.1	概述	127
4.1.1	TDMA 通信原理	127
4.1.2	与其它多址方式的比较	132
4.1.3	INTELSAT 的 TDMA/DSI 系统	135
4.1.4	我国邮电部的 60Mbit/s TDMA 试验网	137
4.2	通用 TDMA 业务终端设备	138
4.2.1	CTTE 控制器	142
4.2.2	数据传输处理器	142
4.2.3	控制处理器	144
4.3	QPSK Modem 和 DSI 设备	146
4.3.1	QPSK 调制解调器	146
4.3.2	数字话音插空 (DSI) 设备	149
4.3.3	操作和维护中心 (OMC)	152
4.4	小型化高性能 TDMA 终端	155
4.4.1	用 LSI 电路实现的同步单元	158
4.4.2	采用 LSI 和 IC 的调制解调器	164

4.4.3	地面接口模块使用的 LSI	167
4.4.4	采用 LSI 和 MIC 的 TDMA 终端性能	167

第五章 中速数据业务 (IDR)

5.1	中速数据业务概述	170
5.1.1	引言	170
5.1.2	IDR 规范的发展过程	175
5.1.3	性能概要	177
5.1.4	参考线路计算	179
5.2	IDR 的主要技术参数	182
5.2.1	RF/IF 特性	182
5.2.2	信道单元	188
5.2.3	定时与缓冲	199
5.2.4	基带特性	202
5.2.5	波束覆盖范围	205
5.3	IDR 数字调制解调设备 (Modem)	205
5.3.1	引言	206
5.3.2	主要性能	206
5.3.3	机架配置	207
5.3.4	功能叙述	210
5.3.5	公务电路 (ESC)	217
5.3.6	1:N 备份	222
5.4	数字电路倍增设备 (DCME)	228
5.4.1	基本要求	228
5.4.2	DCME 的网络使用	231
5.4.3	DTX-240 DCMS 性能介绍	232
5.4.4	DTX-240D DCMS 基本设计	240
5.4.5	新一代 DTX-240 DCMS	247
5.5	IDR 总体方案和实施范例	250

5.5.1	总体方案	250
5.5.2	地球站设计	254
5.5.3	IDR 实施范例	259

第六章 小型卫星地球站——VSAT 系统

6.1	概述	266
6.1.1	简介	266
6.1.2	网络结构	267
6.2	各种多址方式在 VSAT 网中的应用	269
6.2.1	VSAT 网对多址协议的要求	270
6.2.2	SCPC 方式	270
6.2.3	CDMA 方式	271
6.2.4	TDMA 方式	274
6.2.5	多址方式的发展趋势	282
6.3	VSAT 系统终端设备	283
6.3.1	系统可靠性	283
6.3.2	主站设备	283
6.3.3	VSAT 小站设备	284
6.3.4	用于 SCPC VSAT 网络的终端设备	289
6.3.5	VSAT 终端技术的发展趋势	293
6.4	VSAT 系统的管理和控制	293
6.4.1	管理控制功能简述	293
6.4.2	VSAT 网的数据通信规程	294
6.4.3	差错控制和流量控制	296
6.4.4	管理控制功能的执行设备	297
6.5	VSAT 系统设计	302
6.5.1	概述	302
6.5.2	VSAT 网线路预算实例	304
6.5.3	VSAT 网中设备的设计考虑	306

6.5.4 VSAT 系统设计分析	310
6.6 VSAT 的应用	318

第七章 移动卫星通信系统

7.1 概述	328
7.1.1 卫星轨道	328
7.1.2 业务类型和频率分配	331
7.1.3 应用和发展情况	332
7.1.4 移动卫星通信系统构成	334
7.1.5 主要技术问题	335
7.2 国际海事卫星通信系统 (INMARSAT)	336
7.2.1 岸站 (CES)	338
7.2.2 网络控制站 (NCS)	341
7.2.3 船站 (SES)	342
7.3 航空与地面移动通信	346
7.3.1 航空卫星移动通信	346
7.3.2 陆地移动卫星通信	351
7.3.3 另一种陆地移动卫星通信 (LMSS)	356
7.4 低轨道移动卫星通信 (LEO)	361
7.4.1 LEO 卫星通信系统的性能特征	362
7.4.2 LEO 卫星轨道配置和网络结构	365
7.4.3 卫星多址方式和链路分析	370
7.4.4 两种建议的 LEO 移动卫星通信系统	375

第一章 基本地球站系统

1.1 系统定义

卫星地球站有多种用途，但其基本结构是相同的。卫星通信地球站的基本系统组成如图 1-1 所示，它可以被看作是一个双向的微波通信线路，但因工作在卫星通信的特定环境中，故所采用的一些部件比较特殊，系统的参数要求也不同。本章将详细介绍卫星通信地球站的基本系统参数、地球站的特殊的高频部件及地球站的通用设备，使读者特别是卫星通信系统的设计人员认识并掌握卫星通信的特点和要求。

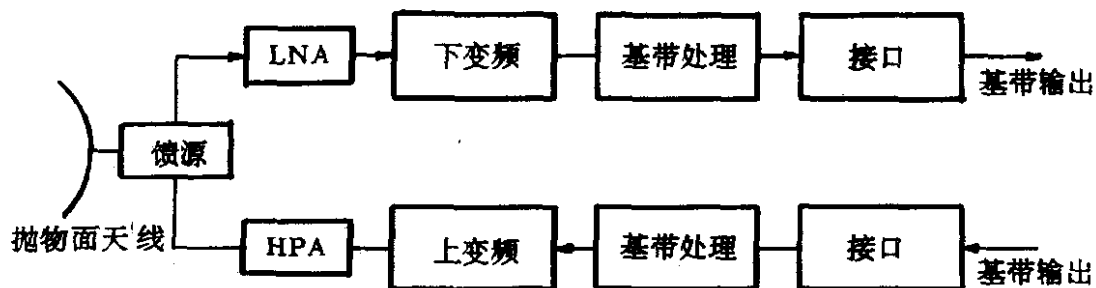


图 1-1 基本地球站系统

在地球站的设计中，一个基本参量为品质因素 G/T 。它是整个系统的增益和噪声温度的比值。这里的系统增益是考虑实际天线增益和馈线损耗后的有效天线增益，而系统噪声温度则是接收机输入的有效噪声和总天线噪声成分的迭加。任何地球站输入端都必须提供足够电平的信号功率，以使恢复的基带信号具有足够的载噪比

(C/N)，用于各种形式的传输，如电话、电视和数据等。

在系统方程中，为了计算地球站的性能指标，必须考虑的两个要素为信号和噪声。

1.1.1 噪声输入功率

在任何通信系统中，噪声的数量可以用两种方式表示：其一是相对绝对零度测得的等效噪声温度，单位为 K；另一个是噪声系数，它被定义为输入信噪比对输出信噪比的比值，用 dB 表示。已知的基本噪声方程为：

$$P_n = \sqrt{4 \times k \times T_0 \times B_w \times R_l} \quad (1.1)$$

式中： P_n ——加到 R_l 上的噪声功率；

R_l ——电阻负载；

B_w ——带宽 (Hz)；

T_0 ——实际环境温度；

k ——波尔兹曼常数。

N_i = 输入噪声
 A = 放大器增益
 T_2 = 放大器噪声温度

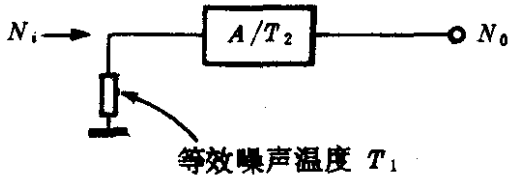


图 1-2 放大器噪声参数

放大器的噪声参数定义如图 1-2 所示。

由多个部件级联所组成接收系统，如图 1-3 所示。其中每个部件都会产生一些噪声，从而导致接收信号恶化。为了定义系统的等效噪声温度，涉及到系统前端的各个部件，因此给出的总有效

输入噪声温度为：

$$T_* = T_1 + \frac{T_2}{A_1} + \frac{T_3}{A_1 \cdot A_2} + \frac{T_4}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3} \quad (1.2)$$

公式中， T_1 、 T_2 、 T_3 、 T_4 等是各部件的噪声温度，而 A_1 、 A_2 、 A_3 等为对应部件的增益。方程 (1.2) 中所示的关系突出了设计低噪声接收系统时必须考虑的两个重要设计因素。首先，输入噪声温度必须

尽可能低，因为它是系统噪声方程中的主要因素；其次，第一个部件的增益必须尽可能高，以使后随各噪声部件的影响最小。

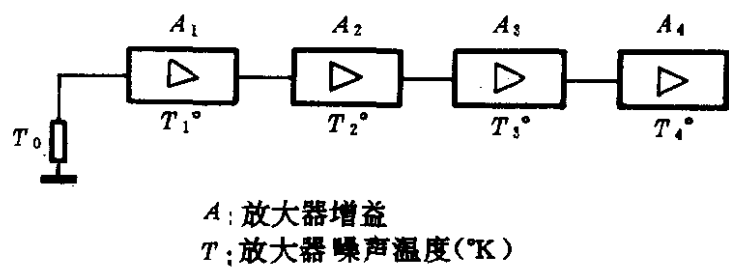


图 1-3 接收链噪声温度

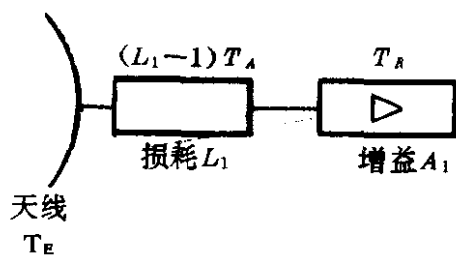


图 1-4 有损部件的影响

实际系统中，不可能使用无损接线连接各个电路部件。损耗的大小与使用接线的类型及长短有关，如电缆或波导。部件间距离增大时损耗也上升。天线和接收机输入端之间的有损部件如图 1-4 所示，它考虑了外部和内部

产生的噪声。

有损部件的等效噪声温度按方程 (1.3) 给出：

$$T_1 = T_0 \left(1 - \frac{1}{L_1} \right) \text{ (K)} \tag{1.3}$$

应该注意，各个部件的输入和输出端都必须良好匹配，因为任何不匹配都将使总系统噪声增大。

1.1.2 卫星上的载波功率

卫星接收机上的信号功率 P_{sr} 用式 (1.4) 确定。

$$P_{sr} = (P_{te} - L_f - A_a - A_{sa} - L_{sf}) \text{ (dBW)} \tag{1.4}$$

式中： P_{te} ——来自地球站的有效发射功率；
 L_{fu} ——上行自由空间损耗；
 A_a ——大气衰减；

A_{sa} ——卫星天线增益；
 L_{sf} ——卫星天线馈线损耗。

1.1.3 地球站载波功率

地球站接收机的信号功率按式 (1.5) 确定。

$$P_{er} = (P_{ts} - L_{fd} - A_a - A_{ea} - L_{ef}) \quad (\text{dBW}) \quad (1.5)$$

式中： P_{ts} ——来自卫星的有效发射功率；

L_{fd} ——下行自由空间损耗；

A_a ——大气衰减；

A_{ea} ——地球站天线增益；

L_{ef} ——地球站馈线损耗。

1.1.4 自由空间损耗

自由空间损耗用式 (1.6) 计算。

$$L_p = 10 \log \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (1.6)$$

式中： d ——卫星到地球站的距离 (m)；
 λ ——波长 (m)。

图 1-5 上表示用不同频率时自由空间损耗与距离的关系。

从地球站到卫星的距离，与地球站在地球表面的位置等有关。地球站天线的仰角最小为 5° ，此时

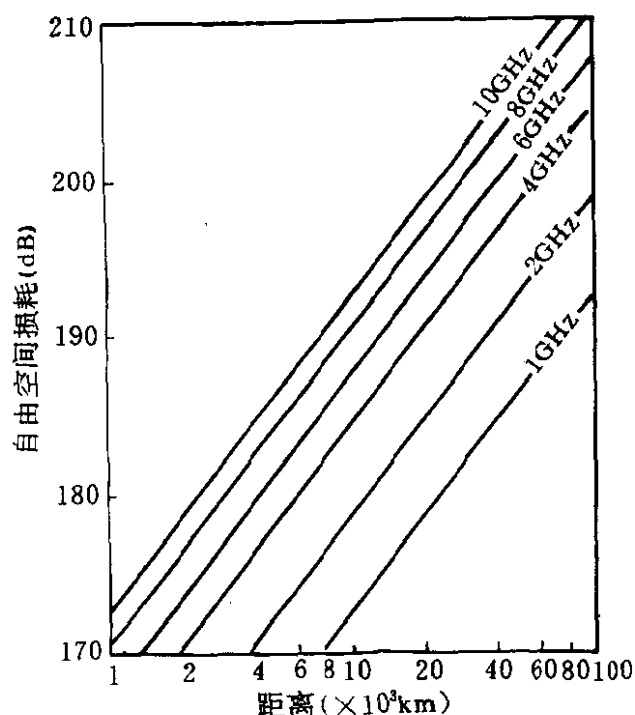


图 1-5 自由空间损耗/距离 (km)
 由地球表面来的干扰和噪声功率也最小。

1.1.5 卫星载噪比

卫星载噪比 C/N 由式 (1.7) 给出。

$$\frac{C}{N_s} = P_{sr} - 10 \log (k \times T_s \times B_{ws}) \quad (1.7)$$

公式中: T_s ——卫星噪声温度;

B_{ws} ——卫星接收机带宽。

1.1.6 地球站载噪比

地球站载噪比由方程 (1.8) 给出。

$$\frac{C}{N_e} = P_{er} - 10 \log (k \times T_e \times B_{we}) \quad (1.8)$$

式中: T_e 为地球站噪声温度;

B_{we} 为地球站接收机带宽。

1.1.7 下行载噪比

下行载噪比由式 (1.9) 给出, 它要考虑上行和下行线路的噪声和交调失真。

$$\frac{C}{N_d} = \frac{C}{N_e} + 10 \log (1+r) \quad (1.9)$$

公式中: $r = T_{up} + \frac{T_{im}}{T_{do}}$;

T_{up} 为上行线噪声温度 (K);

T_{im} 为交调噪声温度 (K);

T_{do} 为下行线噪声温度 (K)。

1.2 地球站高频部件

1.2.1 天线

1. 引言