

高等学校通信教材

gaodeng xuexiao tongxin jiaocai

© 孙学康 张政 编

WEIBO YU  
WEIXING TONGXIN

# 微波与 卫星通信

人民邮电出版社  
POSTS & TELECOMMUNICATIONS PRESS

高等学校通信教材

# 微波与卫星通信

孙学康 张政 编

人民邮电出版社

## 图书在版编目(CIP)数据

微波与卫星通信/孙学康,张政编. —北京:人民邮电出版社,2003.6

高等学校通信教材

ISBN 7-115-11298-3

I. 微... II. ①孙... ②张... III. ①微波技术—高等学校—教材 ②卫星通信—高等学校—教材 IV. TN015②TN927

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 040217 号

## 内 容 提 要

本书包括了数字微波和卫星通信两方面的内容,共分七章。内容包括微波与卫星通信概述、信号的调制与解调、卫星通信中的多址技术、电波传播、编码与信号处理、微波与卫星线路噪声分析及线路参数计算。除此之外,还根据国际上以及我国在微波和卫星通信方面的现状与最新技术发展,介绍了 SDH 微波通信系统、卫星移动通信网和宽带 IP 卫星通信网。

本书为高等院校通信工程、无线电技术及计算机通信网专业本科生的专业教材,也可供从事通信、计算机方面工作的工程技术人员参考。

高等学校通信教材

微波与卫星通信

◆ 编 孙学康 张 政

策划编辑 滑 玉

责任编辑 郭 玲

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

邮编 100061 电子函件 315@ptpress.com.cn

网址 <http://www.ptpress.com.cn>

读者热线 010-67129260

北京汉魂图文设计有限公司制作

北京隆昌伟业印刷有限公司印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本: 787×1092 1/16

印张: 16

字数: 387 千字

2003 年 6 月第 1 版

印数: 1-5 000 册

2003 年 6 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-115-11298-3/TN · 2085

定价: 22.00 元

本书如有印装质量问题,请与本社联系 电话:(010)67129223

## 编者的话

21 世纪是通信信息时代,信息传输技术将在人类社会发展起着重要的作用。

本书着重介绍无线通信领域的传输技术,是一本用于通信专业本科学习的教材,也可供从事通信方面工作的工程技术人员参考。

本书共分七章,具体内容如下:

第 1 章主要介绍微波与卫星通信的基本概念、特点、系统组成及频率配置等。

第 2 章着重介绍微波与卫星通信中的调制、解调技术原理、特点和应用种类。

第 3 章主要讨论了卫星通信的多址技术与信道分配技术的概念。

第 4 章主要针对微波与卫星通信中的电波传播的特性进行了分析。

第 5 章介绍微波与卫星通信中常用编码和处理技术的原理及特点。

第 6 章分别就微波与卫星通信中的主要链路参数进行介绍。

第 7 章是根据国际上以及我国在微波和卫星通信方面的现状与最新技术发展,具体地介绍了 SDH 微波通信系统、卫星移动通信网和宽带 IP 卫星通信网。

本书第 1,4 章由张政编写,第 3,6,7 章由孙学康编写,第 2,5 章由李文海教授提供主要素材,由张政、孙学康共同整理,全书由张政教授统编和审稿。

由于时间紧迫,学识有限,书中难免有不足之处,请不吝指正。

编者  
2003 年 6 月

# 目 录

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>第 1 章 微波与卫星通信概述</b> .....       | 1  |
| 1.1 微波与卫星通信的基本概念与特点 .....          | 1  |
| 1.2 微波通信系统的组成 .....                | 3  |
| 1.2.1 系统组成 .....                   | 3  |
| 1.2.2 微波收发信设备的组成 .....             | 4  |
| 1.3 卫星通信系统的组成 .....                | 8  |
| 1.3.1 系统组成 .....                   | 8  |
| 1.3.2 地球站的组成及其工作原理.....            | 12 |
| 1.3.3 静止卫星的运行轨道与观察参数.....          | 18 |
| 1.3.4 通信卫星的组成及其工作原理.....           | 22 |
| 1.4 微波与卫星通信的天线馈线系统.....            | 25 |
| 1.4.1 微波通信的天线馈线系统.....             | 25 |
| 1.4.2 通信卫星的天线系统.....               | 28 |
| 1.4.3 地球站的天线馈线系统.....              | 29 |
| 1.5 微波与卫星通信的频率配置.....              | 31 |
| 1.5.1 微波通信的射频频率配置.....             | 31 |
| 1.5.2 卫星通信频段的选取.....               | 32 |
| 小 结 .....                          | 33 |
| 习 题 .....                          | 34 |
| <b>第 2 章 数字信号的调制与解调</b> .....      | 35 |
| 2.1 微波与卫星通信中的调制、解调技术的特点和应用种类 ..... | 35 |
| 2.1.1 微波通信中的调制、解调技术的特点和种类 .....    | 35 |
| 2.1.2 卫星通信中的调制、解调技术的特点和运用种类 .....  | 36 |
| 2.2 频分复用与模拟信号的调制.....              | 36 |
| 2.2.1 频分复用原理.....                  | 36 |
| 2.2.2 模拟信号的调制.....                 | 37 |
| 2.3 时分复用与数字信号的调制与解调.....           | 40 |
| 2.3.1 时分复用与数字调制.....               | 40 |
| 2.3.2 PSK .....                    | 41 |
| 2.3.3 QAM .....                    | 50 |
| 2.3.4 MSK,GMSK .....               | 54 |
| 2.3.5 调制信号的传输特性.....               | 58 |
| 2.4 相干解调的载波跟踪技术.....               | 60 |
| 小 结 .....                          | 61 |
| 习 题 .....                          | 63 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| <b>第3章 卫星通信的多址方式</b>        | 65  |
| 3.1 多址技术与信道分配技术的概念          | 65  |
| 3.1.1 信道分配方式                | 65  |
| 3.1.2 多址技术                  | 67  |
| 3.2 频分多址技术                  | 68  |
| 3.2.1 频分多址技术原理与应用特点         | 68  |
| 3.2.2 FDMA 的分类              | 69  |
| 3.2.3 SCPC 系统               | 72  |
| 3.3 时分多址技术                  | 81  |
| 3.3.1 时分多址的概念及其应用特点         | 81  |
| 3.3.2 TDMA 地球站设备            | 83  |
| 3.3.3 SDMA-SS-TDMA 方式       | 91  |
| 3.3.4 多载波 TDMA              | 97  |
| 3.4 随机多址和可控多址访问方式           | 98  |
| 3.4.1 随机多址访问方式              | 99  |
| 3.4.2 可控多址访问方式              | 102 |
| 小 结                         | 104 |
| 习 题                         | 106 |
| <b>第4章 微波传播</b>             | 108 |
| 4.1 自由空间的电波传播               | 108 |
| 4.2 地面反射对电波传播的影响            | 109 |
| 4.2.1 费涅耳区的概念               | 110 |
| 4.2.2 地面反射对收信电平的影响          | 112 |
| 4.3 对流层对电波传播的影响             | 116 |
| 4.3.1 大气折射                  | 117 |
| 4.3.2 大气折射引起的余隙变化           | 121 |
| 4.3.3 复杂球形地面引起电波衰落的计算       | 122 |
| 4.4 几种大气和地面效应造成的衰落          | 125 |
| 4.4.1 概述                    | 125 |
| 4.4.2 衰落的种类                 | 126 |
| 4.4.3 衰落的统计特性               | 128 |
| 4.5 频率选择性衰落                 | 130 |
| 4.5.1 电波的多径传播现象             | 130 |
| 4.5.2 频率选择性衰落对微波通信系统传输质量的影响 | 132 |
| 4.6 抗衰落技术                   | 133 |
| 4.6.1 概述                    | 133 |
| 4.6.2 微波通信常用的空间分集接收方式       | 135 |
| 4.6.3 自适应均衡技术               | 138 |
| 4.7 卫星通信电波传播的特点             | 140 |

|                              |     |
|------------------------------|-----|
| 小 结                          | 145 |
| 习 题                          | 147 |
| 第 5 章 编码与信号处理技术              | 148 |
| 5.1 信源编码技术                   | 148 |
| 5.1.1 微波与卫星通信系统对信源编码的要求      | 148 |
| 5.1.2 微波与卫星通信采用的信源编码方式及特点    | 149 |
| 5.2 信道编码技术                   | 149 |
| 5.2.1 信道编码的目的                | 150 |
| 5.2.2 分组编码与交织技术              | 151 |
| 5.2.3 循环码与 BCH 码             | 154 |
| 5.2.4 卷积码与维特比译码              | 159 |
| 5.2.5 纠错编码与调制——格型编码调制        | 163 |
| 5.3 信号处理技术                   | 164 |
| 5.3.1 数字语音内插技术               | 164 |
| 5.3.2 回波控制                   | 168 |
| 小 结                          | 169 |
| 习 题                          | 171 |
| 第 6 章 微波与卫星通信的线路噪声及线路参数计算    | 172 |
| 6.1 数字微波通信的假想参考通道与误码性能指标     | 172 |
| 6.1.1 SDH 体制下的数字微波通信         | 172 |
| 6.1.2 误码性能规范                 | 174 |
| 6.2 数字微波的信道噪声与噪声指标分配         | 176 |
| 6.2.1 噪声的分类                  | 176 |
| 6.2.2 噪声指标的分配                | 178 |
| 6.3 数字微波信道线路参数计算             | 179 |
| 6.3.1 信道的基本性能和主要线路参数计算       | 179 |
| 6.3.2 改善误码性能的措施              | 182 |
| 6.4 卫星接收机载噪比与 $G/T$ 值的计算     | 185 |
| 6.4.1 卫星系统中存在的噪声与干扰类型        | 185 |
| 6.4.2 接收机载噪比与地球站性能因数 $G/T$ 值 | 188 |
| 6.5 卫星通信线路的 $C/T$ 值          | 189 |
| 6.5.1 热噪声影响下的上下行链路中的 $C/T$ 值 | 189 |
| 6.5.2 交调噪声影响条件下的 $C/T$ 值     | 190 |
| 6.5.3 卫星链路的总 $C/T$ 值         | 191 |
| 6.5.4 卫星链路的 $C/T$ 门限余量       | 191 |
| 6.6 FDM/FM/FDMA 系统中的卫星线路参数设计 | 192 |
| 6.7 TDMA 系统中的卫星线路参数设计及容量计算   | 193 |
| 小 结                          | 195 |
| 习 题                          | 196 |

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>第7章 微波与卫星通信新技术及其通信网</b> .....  | 197 |
| 7.1 SDH 微波通信系统 .....              | 197 |
| 7.1.1 运用于微波通信中的 SDH 技术的应用特点 ..... | 197 |
| 7.1.2 主要应用技术 .....                | 198 |
| 7.1.3 SDH 微波通信设备 .....            | 203 |
| 7.1.4 SDH 微波通信系统 .....            | 207 |
| 7.2 卫星移动通信系统 .....                | 211 |
| 7.2.1 卫星移动通信系统的基本概念及其分类 .....     | 211 |
| 7.2.2 卫星移动通信的特点和面对的技术问题 .....     | 213 |
| 7.2.3 卫星移动通信技术 .....              | 214 |
| 7.2.4 卫星移动通信原理 .....              | 216 |
| 7.2.5 卫星移动通信系统中的交换方式 .....        | 225 |
| 7.2.6 卫星移动通信系统与地面网的互联 .....       | 227 |
| 7.3 宽带 IP 卫星通信技术.....             | 233 |
| 7.3.1 宽带 IP 卫星通信及其特点.....         | 233 |
| 7.3.2 现有宽带 IP 卫星通信系统.....         | 234 |
| 7.4 微波与卫星通信技术的发展展望 .....          | 243 |
| 小 结.....                          | 245 |
| 习 题.....                          | 246 |
| 参考文献.....                         | 247 |



# 第 1 章 微波与卫星通信概述

微波与卫星通信的工作频率都属于微波频率，所以它们既有共同的特点，又各自具有本身的特点，且组成单独的通信系统。

本章的主要内容有：微波与卫星通信的基本概念与特点；微波通信系统的组成；卫星通信系统的组成；微波与卫星通信的天线馈线系统；微波与卫星通信的频率配置。

## 1.1 微波与卫星通信的基本概念与特点

### 1. 微波与卫星通信

微波是指频率为 300MHz 至 300GHz 的电磁波。

微波通信是指用微波频率作载波携带信息，通过无线电波空间进行中继（接力）通信的方式。

卫星通信是指利用人造地球卫星作为中继站，转发或反射无线电波，在两个或多个地球站之间进行的通信。这里所指的地球站是指设在地球表面，包括地面、海洋和大气中的通信站。实际上，卫星通信可以看作是利用微波频率，把通信卫星作为中继站而进行的一种特殊的微波中继通信。

卫星通信又是宇宙无线电通信形式之一，而宇宙通信是指以宇宙飞行体为对象的无线电通信，它有三种形式：

- (1) 宇宙站与地球站之间的通信；
- (2) 宇宙站之间的通信；
- (3) 通过宇宙站转发或反射而进行的地球站间的通信。

上面所指的宇宙站是指设在地球大气层以外的宇宙飞行体（如人造卫星、宇宙飞船等）或其他天体上的通信站。

卫星通信属于宇宙无线电通信的第三种形式。

### 2. 微波通信的特点

根据所传输基带信号的不同，微波通信又分为两种制式。

用于传输频分多路-调频制（FDM-FM）基带信号的系统叫作模拟制微波通信系统；用于传输数字基带信号的系统叫作数字微波通信系统。后者又进一步分为 PDH 微波和 SDH 微波通信两种体制。

不管是模拟制微波通信还是数字微波通信，其微波通信最基本的特点可以概括为 6 个

字：“微波、多路、接力”。

“微波”是指微波工作频段宽，它包括了分米波、厘米波和毫米波三个频段。这个频段宽度几乎是长波、中波、短波及特高频各频段总和的 1000 倍，所以它可容纳较其他频段多得多的话路。

由于微波频率高，故其波长短。微波通信一般使用面式天线，当面式天线的口面积给定时，其增益与波长的平方成反比，故微波通信很容易制成高增益天线。

此外，在微波频段，天电干扰和工业干扰及太阳黑子的变化基本上不起作用，所以微波通信的可靠性和稳定性可以做得很高。

“多路”是指微波通信的通信容量大，即微波通信设备的通频带可以做得很宽。例如对 4GHz 的设备而言，其通频带按 1% 计算，可达 40MHz，其所提供的带宽正符合 ISDN 所要求的宽带传输链路。

“接力”是目前广泛使用于视距微波的通信方式。由于地球是圆的，加之地面上的地貌（山川）所限，使得地球上两点（两个微波站）间不被阻挡的距离有限，为了可靠通信，一条长的微波通信线路就要在线路中间设若干个中继站，采用接力的方式传输发端的信息。

近些年来，由于通信技术的发展及通信设备的数字化，数字微波设备与模拟制微波设备相比，占了绝对多的比重。而数字微波除了具有上面所说的微波通信的普遍特点外，还具有数字通信的特点：

- (1) 抗干扰性强、整个线路噪声不累积；
- (2) 保密性强，便于加密；
- (3) 器件便于固态化和集成化，设备体积小、耗电少；
- (4) 便于组成综合业务数字网（ISDN）。

数字微波的主要缺点是要求传输信道带宽较宽，因而产生了频率选择性衰落，其抗衰落技术比模拟制微波复杂。

### 3. 卫星通信的特点

#### (1) 静止卫星通信的优点

- ① 通信距离远，且费用与通信距离无关

利用静止卫星，地面上两点最大的通信距离可达 18000km 左右，其建设费用和运行费用不会因通信两点之间的距离和地貌而变化。就这点而论，卫星通信比地面微波通信和电缆、光缆通信有明显的优势。

#### ② 覆盖面积大，可进行多址通信

由于在静止轨道上，三颗卫星即可覆盖全球，因此在一颗卫星大面积覆盖的区域内，任何地方都可设置地球站。这些地球站可共用一颗通信卫星来实现双方或多方通信，即多址通信。与其他只能进行点对点通信的通信手段相比，卫星通信显然具有很大的优越性。

#### ③ 通信频带宽，传输容量大

卫星通信使用的也是微波频段，其提供的带宽和传输容量要比其他频段大得多。一个中频转发器带宽一般为 36MHz，微波射频转发器带宽一般为 500MHz，卫星的总带宽可达 3000MHz 以上，一颗卫星的通信容量已可达到 30000 路电话，并可传输高分辨率照片和其他信息。

### ④ 信号传输质量高, 通信线路稳定可靠

因为卫星通信的电波主要是在大气层以外的宇宙空间传输, 这种宇宙空间可以看作是均匀介质, 故电波传播比较稳定。而且电波传播不受地形、地物等自然条件的影响, 也不易受自然或人为干扰的影响, 所以传输质量高。

### ⑤ 建立通信电路灵活、机动性好

地面微波通信的建站要受到地势条件的严格限制。而卫星通信既能作为大型地球站之间的远距离干线通信, 又可以在车载、船载、地面移动地球站间进行通信, 甚至还可以为个人移动终端提供个人通信业务。

### (2) 静止卫星通信的缺点

① 静止卫星的发射与控制技术比较复杂。

② 地球的两极地区为通信盲区, 而且地球的高纬度地区通信效果不好。

③ 存在星蚀和日凌中断现象。

当卫星、地球和太阳处在一条直线上, 并且卫星进入地球的阴影区时, 会出现星蚀现象。在星蚀期间, 卫星只能靠蓄电池供电。

而当每年春分和秋分前后数日, 当卫星处在太阳和地球之间(仍为一条线上)时, 因卫星在对准地球站天线的同时, 也对准了太阳, 并受到了太阳的辐射干扰, 进而造成了每天有几分钟的通信中断, 这种现象称为日凌中断。

④ 有较大的信号传输时延和回波干扰。

假定地球站与卫星间的通信距离为 40000km, 发端地球站信号经卫星转发到收端地球站(信号一上、一下), 单程传输时间约为 0.27s, 当进行双方通信(一问一答)时, 就是 0.54s。在进行语言通信时, 这种信号的传输时延就会给人带来一种不自然的感觉。

与此同时, 由于收发双方的话音回路都有混合线圈, 若因为不平衡等原因, 就会产生回波干扰。如果不采取回波抵消器等特殊措施, 就会使发话者在 0.54s 后, 又听到了自己讲话反馈回来的回音, 造成干扰。

## 1.2 微波通信系统的组成

### 1.2.1 系统组成

一条微波中继信道是由终端站、中间站和再生中继站、终点站及电波空间组成, 如图 1-1 (a) 所示。

终端站的任务是将复用设备送来的基带信号或由电视台送来的视频及伴音信号, 调制到微波频率上并发射出去; 或者反之, 将收到的微波信号解调出基带信号送往复用设备, 或将解调出的视频信号及伴音信号送往电视台。线路中间的中继站的任务是完成微波信号的转发和分路, 所以中继站又分为中间站(不能上、下话路)、分路站和枢纽站(能上、下话路), 如图 1-1 (b) 所示。

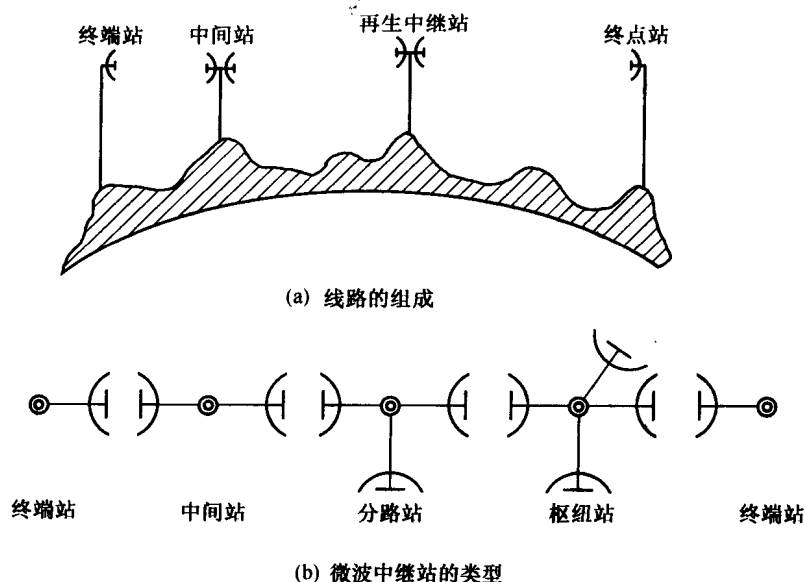


图 1-1 微波通信的信道构成

### 1.2.2 微波收发信设备的组成

#### 1. 发信设备的组成

从目前使用的数字微波通信设备来看，分为直接调制式发信机（使用微波调相器）和变频式发信机。中小容量的数字微波（480 路以下）设备可用前一种方案。而中大容量的数字微波设备大多采用变频式发信机，这是因为这种发信机的数字基带信号调制是在中频上实现的，可得到较好的调制特性和较好的设备兼容性。

下面以一种典型的变频式发信机为例加以说明，如图 1-2 所示。

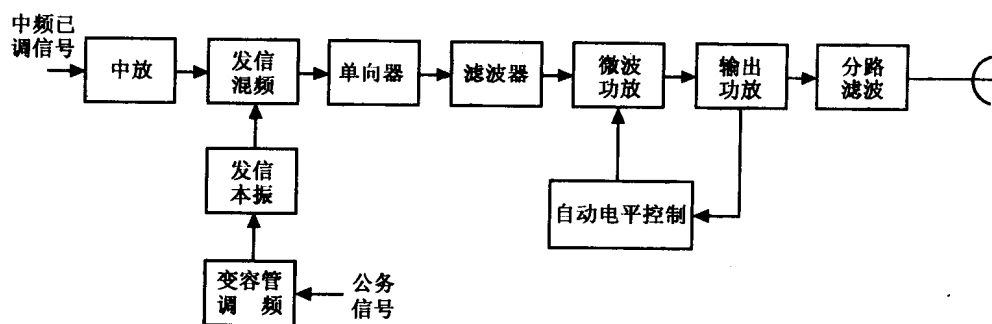


图 1-2 变频式发信机方框图

由调制机或收信机送来的中频已调信号经发信机的中频放大器放大后，送到发信混频器，经发信混频，将中频已调信号变为微波已调信号。由单向器和滤波器取出混频后的一个边带（上边带或下边带）。由功率放大器把微波已调信号放大到额定电平，从分路滤波器送往天线。

微波功放及输出功放多采用场效应晶体管功率放大器。为了保证末级功放的线性工作范围,避免过大的非线性失真,常用自动电平控制电路,使输出维持在一个合适的电平。

图 1-2 中所示的公务信号是采用复合调制方式传送的,这是小容量数字微波通信常采用的一种传送方式。它是把公务信号通过变容管实现对发信本振浅调频的。可见这种调制方式设备简单,在没有复用设备的中继站也可以上、下公务信号。

## 2. 发信设备的主要性能指标

### (1) 工作频段

从无线电频谱的划分来看,我们把频率为  $0.3 \sim 300\text{GHz}$  的射频称为微波频率。目前常用的范围只有  $1 \sim 40\text{GHz}$ 。工作频率越高,越能获得较宽的通频带和较大的通信容量,也可得到更尖锐的天线方向性和天线增益。但是,当频率较高时,雨、雾及水蒸气对电波的散射或吸收衰减增加,造成电波衰减和收信电平下降。这些影响对  $12\text{GHz}$  以上的频段尤为明显,甚至随频率的增加而急剧增加。

目前使用较多的是  $2, 4, 6, 7, 8$  和  $11\text{GHz}$  频段。其中  $2, 4$  和  $6\text{GHz}$  频段因电波传播比较稳定,所以用于干线微波通信,而支线或专用网微波通信常用  $2, 7, 8$  和  $11\text{GHz}$ 。当然,对频率的使用,还要经申请,由上级主管部门和国家无线电管理委员会批准才行。

### (2) 输出功率

输出功率是指发信机输出端口处功率的大小。输出功率的确定与设备的用途、站距、衰落影响及抗衰落方式等因素有关。由于数字微波通信与模拟微波通信相比有较好的抗干扰性能,因此,在要求同样的通信质量时,数字微波的输出功率可以小些。当用场效应晶体管功率放大器作末级输出时,功率一般为几十毫瓦到  $1$  瓦左右。

### (3) 频率稳定度

发信机的每个工作波道都有一个标称的射频中心工作频率,用  $f_0$  表示。工作频率的稳定度取决于发信本振源的频率稳定度。设实际工作频率与标称工作频率的最大偏差值为  $\Delta f$ ,则频率稳定度的定义式为

$$k = \frac{\Delta f}{f_0} \quad (1-1)$$

式中  $K$  为频率稳定度。

对于采用 PSK 调制方式的数字微波通信系统而言,若发信机工作频率不稳,即有频率漂移,将使解调的有效信号幅度下降,误码率增加。对于 PSK 调制方式,要求频率稳定度为  $1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-6}$ 。

发信本振源的频率稳定度与本振源的类型有关。近年来由于微波介质稳频振荡源可以直接产生微波频率,并具有电路简单、杂波干扰及热噪声较小的优点,所以正在被广泛采用,其自身的频率稳定度可达到  $1 \times 10^{-5} \sim 2 \times 10^{-5}$  左右。当用公务信号对介质稳频振荡源进行浅调频时,如图 1-2 所示,其频率稳定度会略有下降。对频率稳定度要求较高或较严格时,例如  $(1 \sim 5) \times 10^{-6}$ ,应采用脉冲抽样锁相振荡源等形式的本振源。

除上述三项主要指标外,对发信机还有其他一些技术要求,这里不再详述。

## 3. 收信设备的组成

数字微波的收信设备和解调设备组成了收信系统,这里所讲的收信设备只包括射频和中

频两个部分。解调设备及原理见第2章。目前收信设备都采用外差式收信方案，如图1-3所示。

图1-3所示的是一个有空间分集接收的收信设备组成方框图。分别来自上天线和下天线的直射波和以各种途径（多径传播）到达接收点的电波，经过两个相同的信道：带通滤波器、低噪声放大器、抑镜滤波器、收信混频器和前置中放，然后进行合成，再经主中频放大器输出中频已调信号。

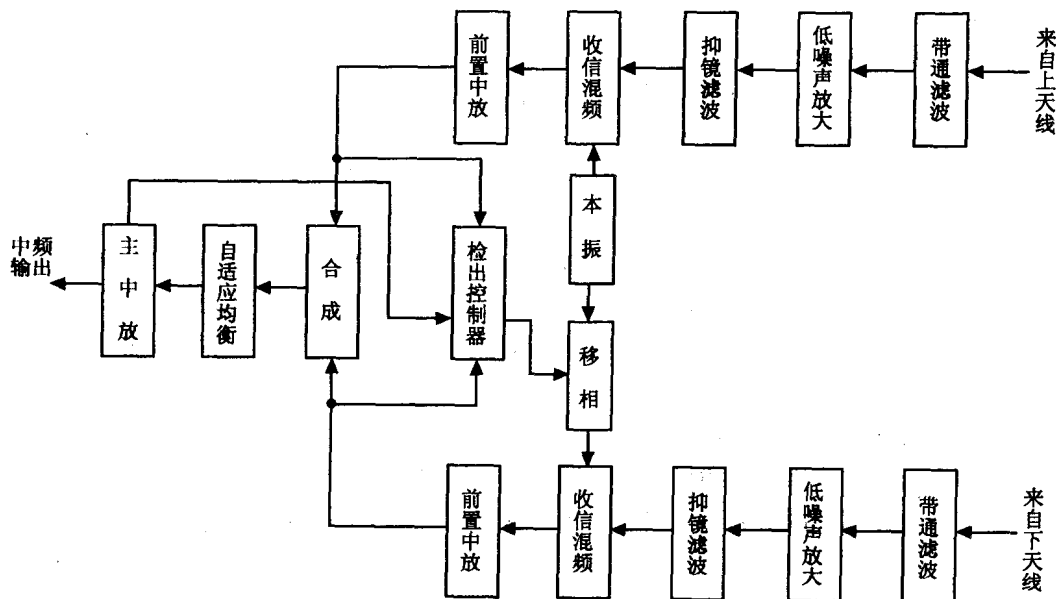


图 1-3 外差式收信机方框图

本方框图中画出的是最小振幅偏差合成分集接收方式。下天线的本机振荡源是由中频检出电路的控制电压对移相器进行相位控制的，以便抵消上、下天线收到多径传播的干涉波（反射波和折射波），改善带内失真，获得最好的抗多径衰落效果（见第4章）。

为了更好地改善因多径衰落造成的带内失真，在性能较好的数字微波收信机中还要加入中频自适应均衡器（见第4章），使它与空间分集技术配合使用，可最大限度地减少通信中断的时间。

图中的低噪声放大是砷化镓场效应晶体管（FET）放大器，这种放大器的低噪声性能很好，并能使整机的噪声系数降低。

由于FET放大器是宽频带工作的，所以其输出信号的频率范围很宽。因此在FET放大器的前面要加带通滤波器，其输出要加装抑制镜像干扰的抑镜滤波器，要求对镜像频率噪声的抑制为13~20dB以上。

#### 4. 收信设备的主要性能指标

##### (1) 工作频段

收信机是与发信机配合工作的。对于一个中继段而言，前一个微波站的发信频率就是本收信机同一波道的收信频率。

##### (2) 收信本振的频率稳定度

接收的微波射频的频率稳定度是由发信机决定的。但是收信机输出的中频是收信本振与

收信微波射频进行混频的结果, 所以若收信本振偏离标称值较多, 就会使混频输出的中频偏离标称值。这样, 就使中频已调信号频谱的一部分不能通过中频放大器, 造成频谱能量的损失, 导致中频输出信噪比下降, 引起信号失真, 使误码率增加。

对收信本振频率稳定度的要求与发信设备基本一致, 通常要求  $(1\sim 2) \times 10^{-5}$ , 要求较高者为  $(1\sim 5) \times 10^{-6}$ 。

收信本振和发信本振常采用同一方案, 是两个独立的振荡源。收信本振的输出功率往往比发信本振小些。

### (3) 噪声系数

数字微波收信机的噪声系数一般为 2.5~7dB, 比模拟微波收信机的噪声系数小 5dB 左右。噪声系数是衡量收信机热噪声性能的一项指标, 它的基本定义为:

在环境温度为标准室温 (17°C)、一个网络 (或收信机) 输入与输出端匹配的条件下, 噪声系数  $N_F$  等于输入端的信噪比与输出端信噪比的比值, 记作:

$$N_F = \frac{P_{si}/P_{ni}}{P_{so}/P_{no}} \quad (1-2)$$

设网络的增益系数为  $G = P_{so}/P_{si}$ , 因输出端的噪声功率是输入端的噪声功率 (被放大  $G$  倍后) 与网络本身产生的噪声功率两部分组成的, 可写为

$$P_{no} = P_{ni}G + P_{n\text{网}}$$

用上面的关系式, 可把公式 (1-2) 改写为

$$N_F = \frac{P_{no}}{P_{ni}G} = \frac{P_{ni}G + P_{n\text{网}}}{P_{ni}G} = 1 + \frac{P_{n\text{网}}}{P_{ni}G} \quad (1-3)$$

由公式 (1-3) 可以看出, 网络 (或收信机) 的噪声系数最小值为 1 (合 0dB)。当  $N_F = 1$ , 说明网络本身不产生热噪声, 即  $P_{n\text{网}} = 0$ , 其输出端的噪声功率仅由输入端的噪声源所决定。

实际的收信机不可能  $N_F = 1$ , 即  $N_F > 1$ 。式 (1-3) 说明, 收信机本身产生的热噪声功率越大,  $N_F$  值就越大。收信机本身的噪声功率要比输入端的噪声功率放大  $G$  倍后的值还要大很多, 根据噪声系数的定义, 可以说  $N_F$  是衡量收信机热噪声性能的一项指标。

在工程上, 微波无源网络 (例如馈线和分路系统的波导器件) 的噪声系数在数值上近似于其正向传输损耗。

### (4) 通频带

收信机接收的已调波是一个频带信号, 即已调波频谱 (的主要成分) 要占有一定的带宽。收信机要使这个频带信号无失真地通过, 就要具有足够的工作频带宽度, 这就是通频带。通频带过宽, 信号的主要频谱成分当然都会无失真地通过, 但也会使收信机收到较多的噪声; 反之, 通频带过窄, 噪声自然会减少下来, 但造成了有用信号频谱成分的损失。所以要合理地选择收信机的通频带和通带的幅频衰减特性等。经过分析可认为, 一般数字微波收信设备的通频带可取传输码元速率数值上的 1~2 倍。例如对于  $f_s = 8.448\text{Mbit/s}$  的二相调制数字微波通信设备, 可取通频带为 13MHz, 这个带宽等于码元速率 (二相调制中与比特率速相等) 的 1.5 倍。通频带的宽度是由中频放大器的集中滤波器保证的。

### (5) 选择性

对某个波道的收信机而言, 要求它只接收本波道的信号, 对邻近波道干扰、镜像频率干

扰及本波道的收、发干扰等要有足够的抑制能力，这就是收信机的选择性。

收信机的选择性是用增益-频率 ( $G-f$ ) 特性表示的。要求在通频带内增益足够大，而且  $G-f$  特性平坦；通频带外的衰减越大越好；通带与阻带之间的过渡区越窄越好。

收信机的选择性是靠收信混频之前的微波滤波器和混频后中频放大器的集中滤波器来保证的。

#### (6) 收信机的最大增益

天线收到的微波信号经馈线和分路系统到达收信机。由于受衰落的影响，收信机的输入电平在随时变动。要维持解调机正常工作，收信机的主中放输出应达到所要求的电平，例如要求主中放在  $75\Omega$  负载上输出  $250\text{mV}$  (相当于  $-0.8\text{dBm}$ )。但是收信机的输入端信号是很微弱的，假设其门限电平为  $-80\text{dBm}$ ，则此时收信机输出与输入的电平差就是收信机的最大增益。对于上面给出的数据，其最大增益为  $79.2\text{dB}$ 。

这个增益值是由 FET 低噪声放大器、前置中放和主中放各级放大器的增益之和得到的。

#### (7) 自动增益控制范围

以自由空间传播条件下的收信电平为基准，当收信电平高于基准电平时，称为上衰落；低于基准电平时，称为下衰落。假定数字微波通信的上衰落为  $+5\text{dB}$ ，下衰落为  $-40\text{dB}$ ，其动态范围 (即收信机输入电平变化范围) 为  $45\text{dB}$ 。当收信电平变化时，若仍要求收信机的额定输出电平不变，就应在收信机的中频放大器内设有自动增益控制 (AGC) 电路，当收信电平下降时，中放增益随之增大；收信电平增大时，中放增益随之减小。根据本节上面假定的数据，本例中 AGC 范围为  $45\text{dB}$ 。

## 1.3 卫星通信系统的组成

下面以静止卫星通信系统为例介绍本节内容。

### 1.3.1 系统组成

#### 1. 静止卫星通信系统

卫星通信的工作频段与微波通信相同。图 1-4 所示的是卫星通信的示意图。若地球表面上的各地球站都在一颗卫星覆盖的通信范围之内，那么这些地球站就可以通过卫星作中继转发信号，实现相互间通信。可以说，卫星通信是地面微波中继通信的发展，是微波中继通信的一种特殊方式。

静止卫星是指卫星的运行轨道在赤道平面内。轨道离地面高度约为  $35800\text{km}$  (为简单起见，经常称  $36000\text{km}$ )。卫星运行方向与地球自转方向相同，绕地球一周的公转时间为 24 小时，与地球自转一周的时间相同。地球上的地球站与卫星的相对位置如同静止一样，故称静止卫星通信系统，或称同步卫星通信系统。

图 1-5 所示为静止卫星配置的几何关系示意图。

若以  $120^\circ$  的等间隔在同步轨道上配置三颗卫星，则在地球表面上除两极地区未被卫星波束覆盖外，其他区域都在覆盖范围之内。由图可见，部分区域为两颗卫星波束覆盖的重叠



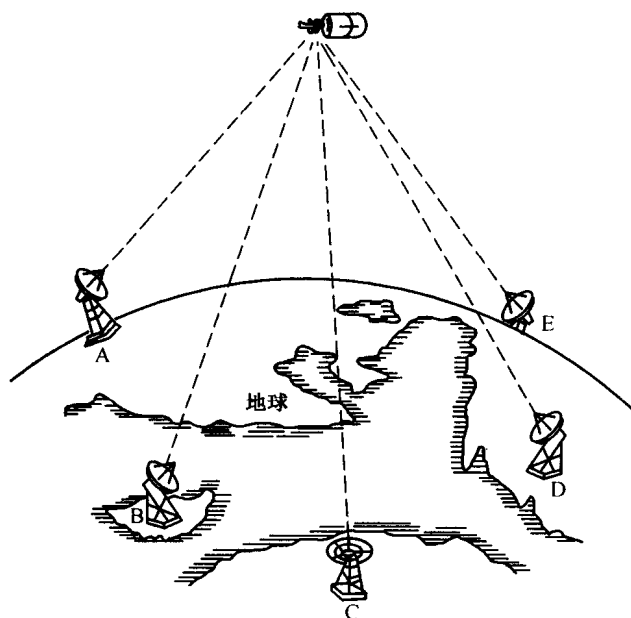


图 1-4 卫星通信示意图

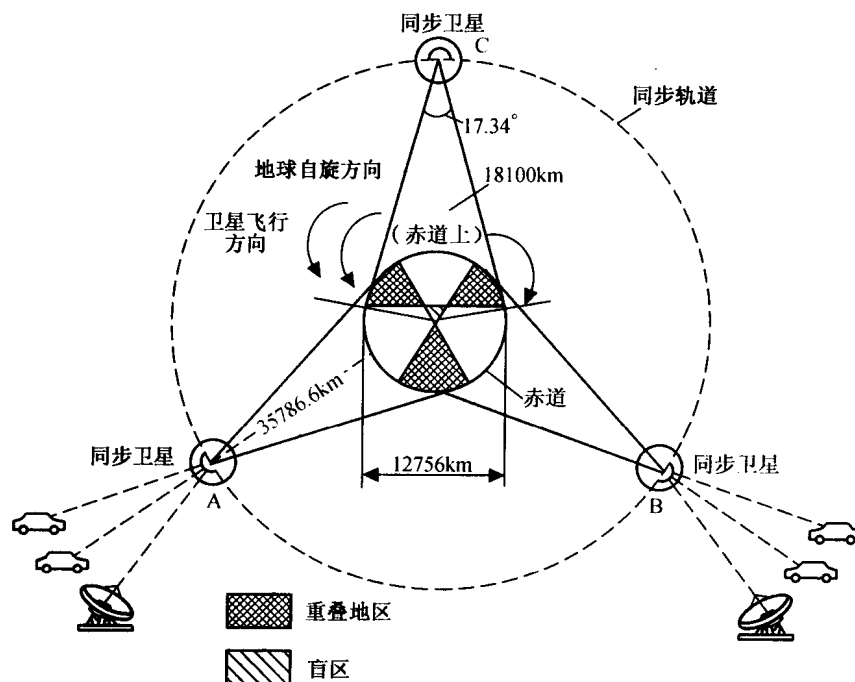


图 1-5 静止卫星的配置

地区。因此，可借助于在重叠区内的地球站作为中继站，实现不同卫星覆盖的地球站之间的通信（靠两跳实现）。由上述可见，只要用三颗等间隔配置的同步卫星，就可以实现全球通信，这一特点是任何其他通信方式所不具备的。

目前国际卫星通信组织负责建立的国际卫星通信系统（INTELSAT），简称 IS，就是利