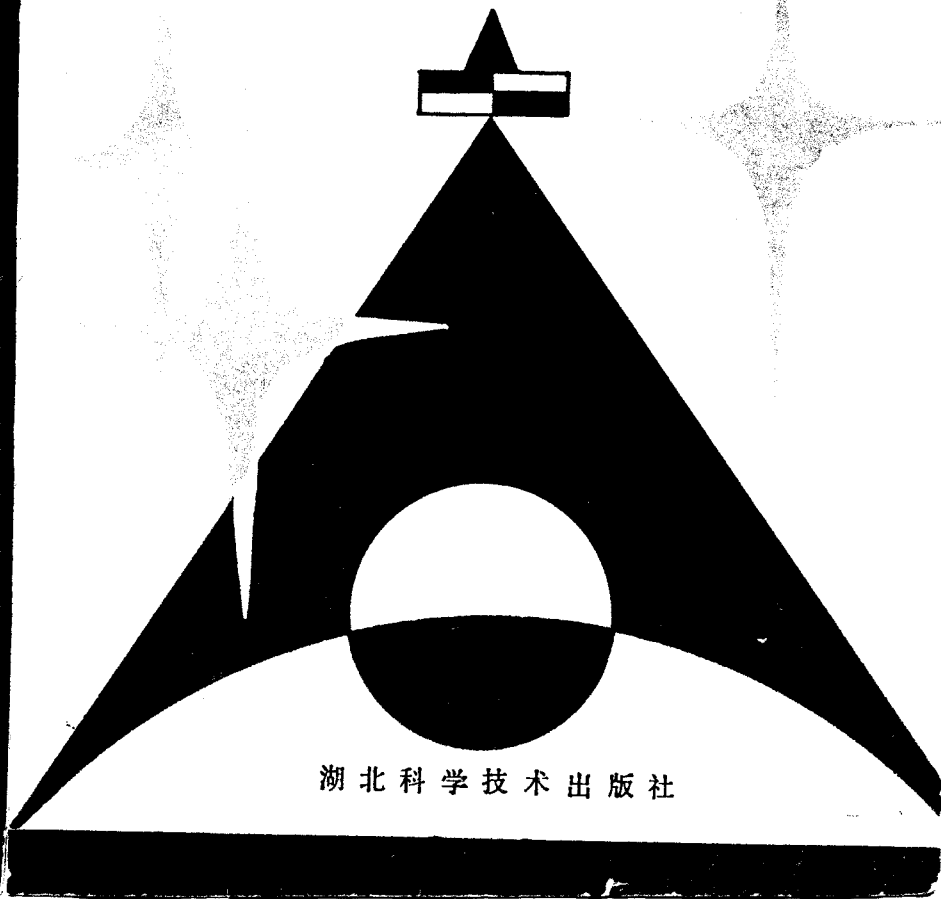


孟繁定

卫星直播电视接收机原理与设计



湖北科学技术出版社

内 容 提 要

本书是一本论述卫星直播电视接收机原理、设计和调测制作的技术书籍。全书分四章，第一章概述了卫星直播电视的特点、组成、频段和发展状况；第二章进行了直播系统性能分析，这是接收机设计的理论基础；第三章详细论述了L波段卫星直播接收机的设计原理、计算方法和调测制作技术，并有设计实例；第四章借助BS卫星的有关数据，针对我国待发的直播卫星，阐述了K波段卫星直播机的设计方法和具体电路的工作原理。

本书内容阐述着重物理概念，数学作为工具用到解决问题为止。它可供大专院校无线电专业师生和从事卫星直播电视机研制、生产和维修使用人员阅读参考。

卫星直播电视接收机原理与设计

孟繁定

湖北科学技术出版社出版 湖北省新华书店发行

湖北省新华印刷厂印刷

850×1168毫米32开本 10.5印张 1插页 257,000字

1985年1月第1版 1985年1月第1次印刷

印数：1—25,000

统一书号：15304·42 定价：2.50元

前 言

早在1945年就有人提出了利用同步卫星实现通讯的设想。科学的预见最终会变为现实。今天，地球周围已有成百上千颗卫星在旋转，为人类社会进行着繁忙的工作，其中包括：电话、书写电话、电视电话，电报、数据传输，静态图象和文字的传真，以及活动图象的传真——电视。然而，利用卫星来直接转播电视节目——直播电视，却是最近几年的事情。因为电视卫星必须是同步卫星，即从地球上任何一点看去它都是静止不动的，这种同步卫星只能处于地球赤道上空大约三万六千公里的最佳轨道上，同时卫星上电视发射机的发射功率必须很大（百瓦以上），这些要求只有在空间技术和无线电技术高度发达的今天才有可能实现。电视卫星一旦上天，那么由于它居高临下，又是直播，所以图象质量高，没有重影；复盖面大，地球上每一个角落均能收看；同时为传送高清晰度电视和立体电视提供了可能。因此，自1974年5月30日美国发射了世界上第一颗实验电视卫星以来，加拿大、苏联、日本等许多国家都相继研制和发射了电视卫星。目前，西德、法国、英国、意大利、印度以及许多第三世界的国家，也都规划了自己的卫星电视系统，预计最近两、三年内就会实现卫星直播电视。

我国发射广播电视卫星的时日也不远了，这是我国科学技术上的大事。卫星上天，需要千千万万个接收机收看，为此我国一些高等院校、科研单位、有关工厂以及许多文艺、体育团体，都已开始研制和试用卫星电视接收机，更多的单位和部门也开始了这一工作，甚至不少无线电爱好者也在寻找资料，准备自制。

然而，目前我国还没有一本系统论述卫星电视接收机工作原理、设计方法和制作调试的书籍。作者为促进我国卫星电视的发展，在讲课讲稿的基础上，根据自己近年来从事的卫星电视接收机的科研工作，决定编写这本《卫星直播电视接收机原理与设计》。

本书在编写出版过程中，得到多方面的帮助与支持，特别是本书的审稿人王飞龙副教授，在百忙中审阅了原稿，提出了许多宝贵意见；广播电视部无线电管理局、技术局、情报室、广播科学研究所等单位提供了有关文件和资料；许多朋友和同事帮忙做了大量的抄写、绘图和实验工作，在此一并表示谢意。

但是由于作者水平所限，加之时间仓促，因而书中错误与不妥之处在所难免，望广大读者指正。

作者

目 录

| | | |
|------|---------------------------|----|
| 第一章 | 概述 | 1 |
| 1.1 | 什么是卫星直播电视 | 1 |
| 1.2 | 卫星电视的特点 | 2 |
| 1.3 | 卫星电视系统的组成 | 4 |
| 1.4 | 国际卫星电视广播频段 | 5 |
| 1.5 | 上行发射机和星载转发器的组成 | 7 |
| 1.6 | 下行接收机的组成 | 8 |
| 1.7 | 卫星广播电视的发展与现状 | 10 |
| 第二章 | 卫星电视接收机系统性能分析 | 13 |
| 2.1 | 接收机输入端的载波功率 | 13 |
| 2.2 | 雨致衰减与空气损耗 | 17 |
| 2.3 | 接收机的噪声功率 | 21 |
| 2.4 | 接收机的载噪比 | 30 |
| 2.5 | 调频门限 | 33 |
| 2.6 | 调频改善度 | 38 |
| 2.7 | 视觉加权系数 | 43 |
| 2.8 | 予加重改善度 | 46 |
| 2.9 | 电视接收机输出信噪比与传输参数和系统特性参数的关系 | 50 |
| 2.10 | 电视图象质量与信噪比的关系 | 52 |
| 第三章 | L波段卫星电视直播接收机的设计与调测 | 54 |
| 3.1 | 引言 | 54 |
| 3.2 | 电视卫星、星载转发器及电视制式的技术数据 | 54 |

| | | |
|------------|----------------------|------------|
| 3·3 | 接收系统性能计算 | 56 |
| 3·4 | 接收机总体方案考虑 | 66 |
| 3·5 | 天线 | 77 |
| 3·6 | 低噪声高频谐振放大器 | 96 |
| 3·7 | 微带放大器的设计 | 106 |
| 3·8 | 螺旋滤波器的设计 | 118 |
| 3·9 | 高频放大器的调测 | 127 |
| 3·10 | 混频器与本振 | 136 |
| 3·11 | 中频放大器 | 142 |
| 3·12 | 限幅器 | 154 |
| 3·13 | 鉴频器 | 157 |
| 3·14 | 视频处理电路 | 163 |
| 3·15 | 整机联调 | 171 |
| 3·16 | 整机指标及其测试方法 | 173 |
| 第四章 | K波段卫星电视直播机的设计 | 178 |
| 4·1 | 引言 | 178 |
| 4·2 | 电视卫星、星载转发器及电视制式的技术数据 | 179 |
| 4·3 | 接收机系统的性能计算 | 181 |
| 4·4 | 接收机总体方案考虑 | 186 |
| 4·5 | 抛物面天线 | 192 |
| 4·6 | 低噪声前置放大器 | 195 |
| 4·7 | 场效应晶体管放大器 | 198 |
| 4·8 | 正交场混频器与镜像频率回收 | 229 |
| 4·9 | 立体平面电路混频器 | 249 |
| 4·10 | 12GHz本机振荡器 | 254 |
| 4·11 | 变频器损耗与噪声系数 | 258 |
| 4·12 | 直播接收机通道设计 | 262 |
| 4·13 | 能量扩散与电视信号的恢复 | 268 |

4.14 微分增益与微分相位270

附 录

一、卫星直播机常用晶体管275

二、世界各国电视制式287

三、分贝表301

四、同轴线参数表307

五、国产矩形与扁矩形波导管数据表311

六、微带线的特性阻抗和有效介电常数314

七、阻抗圆图

八、TA7611AP 内部电路图

主要参考书330

第一章 概 述

1.1 什么是卫星直播电视

利用卫星来直接转发电视信号的系统,叫卫星直播电视系统。直接接收卫星电视信号的接收机叫卫星直播电视机,简称直播机。相对而言,我国目前收看的电视叫地面电视。因为它是接收地面电视台发来的信号。直播电视也不同于通讯卫星传来的电视,后者是通过通讯地面站转接出来的。要实现卫星直播电视,对卫星的要求是比较高的。第一,卫星必须在天上“静止不动”,否则地面就不可能长时间地稳定接收。这种“静止不动”的卫星叫同步卫星。“静止”是相对的,实际上是地球在转,卫星也在飞,但卫星围绕地球飞,而且两者速度相同。因而从地球上任何一点看去,卫星就是静止不动的。显然,要实现同步,卫星飞行的轨道就必须有所限制。具体说,根据卫星绕地球做圆周运动的离心力与地球对卫星的引力相等的条件,可以确定同步卫星只可能在地球赤道上空,而且离地球的最佳距离大约是36000公里,相当于武汉到北京的距离的36倍,这个距离是很远的。全世界同步卫星都处于这个最佳轨道圈上,为了互不干扰,彼此之间必须保持一定距离,为此,国际电联规定这个距离为 3° 。因此地球赤道上空能够允许同时存在的同步卫星大约是120个。同步卫星的轨道示意如图1—1示。

第二,卫星电视转发器的功率必须足够大,使地面简易接收机配上小型天线就能接收。据此,同步卫星又分为两类:一类是通讯卫星,一类是电视卫星或叫广播卫星。通讯卫星转发器的功

率较小，只有几瓦至几十瓦，地面场强不过几微伏/米，因而地面站必须采用口径几米至几十米的大型天线，而且接收机灵敏度必须很高，以致要采用致冷参量放大器(绝对温度约十几度)；而电视卫星转发器的功率一般在100瓦以上。例如日本1978年4月发射的BSE电视卫星转发器的功率为100瓦，苏联的“屏幕”卫星转发器的功率为200瓦，这样地面场强可达10—100微伏/米，对地面接收机的要求就不高，以便实现集体和个体接收的目的。当然这种区别不是严格的。通讯卫星主要用于通讯，但也可传送1路或几路电视信号，例如我国目前看到的国际体育比赛节目就是由通讯卫星转发到地面站，地面站对它进行变换和处理后，再用微波中继线路送到各省，省台再对信号进行处理，转变为VHF或UHF频段才能为广大用户收看。同样电视卫星主要用于电视广播，但也可以传送其它信息。

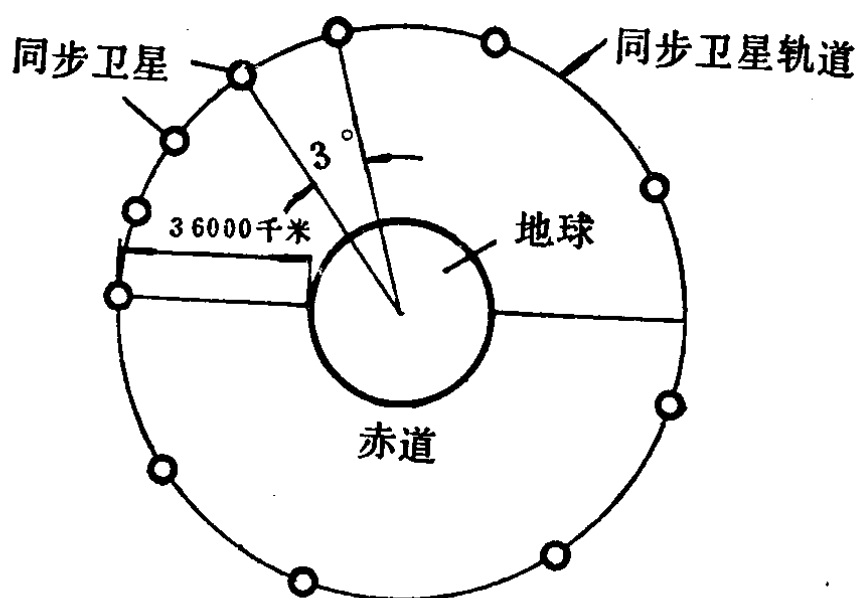


图 1—1 同步卫星轨道示意图

1.2 卫星电视的特点

由于卫星处于赤道上空36,000公里，居高临下，如果天线张角 17° ，能复盖1.7亿平方公里的地面，也就是地球表面积的三分之

一。即使天线波束宽只有1度，(美国第6颗应用技术卫星ATS-F为0.9度)也可复盖地球表面一大片地方。一个国家或地区，只要1颗卫星就可使每一个角落直接收到卫星发来的信号，这就解决了地面电视难以解决的复盖率问题(我国中央电视台的复盖率仅30%)。特别是对于疆域辽阔、多山、多湖泽、多岛屿、多沙漠的地方(这些地区是地面电视到不了的)，卫星电视是最好的解决办法。国土面积在300万平方公里以上的国家利用卫星解决复盖率在经济上也是合算的。卫星电视的出现，好象地面电视插上了翅膀，增加了广播频段，对于发展广播教育，丰富人民生活都是很现实的。

直播电视不象地面电视那样经过多次转接与变换，没有因多次转接与变换带来的失真和干扰，特别是没有地面电视难以避免的重影，因而图象质量高。对于高清晰度电视，扫描线约1300行，视频信号带宽是25MHZ，用调频方式传送需要几十兆赫的带宽；立体电视需要的频带更宽，这都离不开电视卫星。

但是，现行的普通电视机是无法直接接收卫星电视信号的。这有两个原因：地面电视图象是调幅的(残留边带调幅)，而卫星电视图象是调频的。更主要的是，一般电视机的灵敏度对于接收卫星信号来说是太低了。

信号在传播过程中是有损耗的。电波在真空中传播的损耗与传播距离的平方成正比，其数学表达式是：

$$L_f = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2 \quad (1 \cdot 1)$$

式中 λ —信号波长。但注意，不能由此式得出传播损耗与波长的平方成反比的错误概念(道理见后)。

d —卫星到接收点的距离。

由于传播距离太远，到达地面的场强仅约10—100微伏/米，而一般电视机的灵敏度是500微伏/米(VHF)和3000微伏/米

(UHF)，显然它是无法接收卫星信号的。因此，卫星直播电视机与一般电视机的主要区别是灵敏度高。这是设计制作卫星直播机的关键。

1.3 卫星电视系统的组成

我们以日本BSE广播卫星为例说明系统的组成。图1—2是卫星广播电视系统图。主发射站把需要广播的电视信号以14GHz的上行频率发给卫星，卫星收到该信号后，经过变换和放大，以12GHz的下行频率向地球预定区域发射，主发射站同时也要接收这个信号作监视用。有的卫星系统的主发射接收站还要发出和接收各种指令信号，以便对卫星姿态进行遥测遥控，但有的卫星系统，这一任务却是由另一个跟踪和控制站以不同的上下行频率完成。可移动的发射接收站与主发收站情况类似，它主要是为某些特定地点的实况转播服务的，如奥运会的实况转播。以上两种站对图象信号质量要求较高，同时发射、接收机比较复杂，附属设备也多，因而造价高。专门接收机主要是收转站用的（包括地方电视台），对其要求一般也较高。

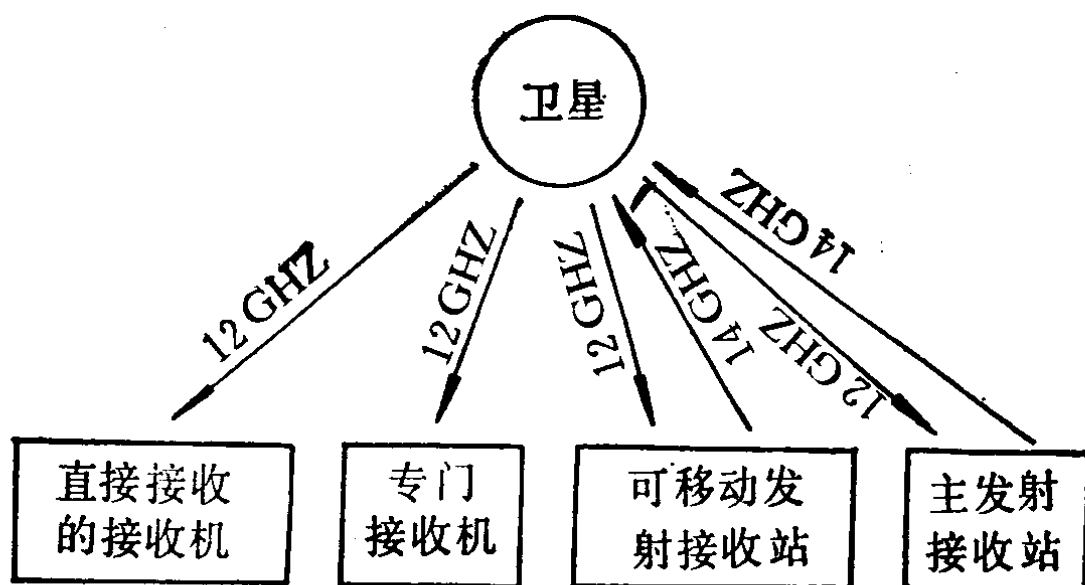


图 1—2 卫星电视系统

直接接收的接收机是指集体接收和个体接收的接收机，对它的要求不高，造价也便宜，故也叫简易接收机。

由此可见，卫星与主发射接收站和可移动的发射接收站之间是点对点的通讯，而卫星与专门接收站和直接接收的接收机之间是点对面的通讯。整个卫星广播系统的主要功能，是通过卫星这个空间转播站，把主发站的电视节目，向地球上的预定服务区域广播。

1.4 国际卫星电视广播频段

一九七九年世界无线电行政大会(WARC)对卫星广播的频段进行了分配；共分六个频段，如表1—1示：

表 1—1

| 波段名称 GHz | 频率范围 GHz | 带 宽 MHz | 使用范围 |
|---------------------|-------------|------------|--------|
| L(0.7) | 0.62—0.79 | 170 | 只供电视 |
| S(2.5) | 2.5—2.69 | 190 | 只供集体接收 |
| K ₁ (12) | 11.7—12.75 | 1050 | 按三个区分配 |
| K ₂ (23) | 22.5—23 | 500 | 仅2.3区用 |
| Q(42) | 40.5—42.5 | 2000 | 全世界 |
| 85 | 84—86 | 2000 | 全世界 |

按规定将全世界的卫星电视广播分为三个区，第一区包括欧洲、非洲、蒙古、土耳其和阿拉伯半岛；第二区是美洲；第三区是亚洲和大洋洲。并具体将 K₁ 波段划分为：

11.7~12.2GHz 带宽500MHz，供第二、第三区使用；

11.7~12.5GHz 带宽800MHz，供第一区使用；

12.5~12.75GHz 带宽250MHz，供第三区集体接收用。

其中又将第一区使用的11.7~12.5GHz 频带划分为 40 个频

道。

第三区使用的11.7~12.2GHz频带划分为24个频道如表1-2所示：

表 1-2 第三区K₁ 波段卫星电视频道划分

| 频 道 | 中心频率 (MHz) | 频 道 | 中心频率 (MHz) | 频 道 | 中心频率 (MHz) |
|-----|---------------|-----|---------------|-----|---------------|
| 1 | 11727.48 | 9 | 11880.92 | 17 | 12034.36 |
| 2 | 11746.66 | 10 | 11900.10 | 18 | 12053.54 |
| 3 | 11765.84 | 11 | 11919.28 | 19 | 12072.72 |
| 4 | 11785.02 | 12 | 11938.46 | 20 | 12091.90 |
| 5 | 11804.20 | 13 | 11957.64 | 21 | 12111.08 |
| 6 | 11823.38 | 14 | 11976.82 | 22 | 12130.26 |
| 7 | 11842.56 | 15 | 11996.00 | 23 | 12149.44 |
| 8 | 11861.74 | 16 | 12015.18 | 24 | 12168.62 |

由表可见，各频道之间间隔是19.13MHz。

各国在选用卫星广播频率时必须遵守这些规定。在这6个波段中，由(1-1)式可知L波段的传输损耗最小(这是形式上的看法，实际上是波长愈长，天线的有效开口面积愈大，等效于损耗愈小)，复盖面大，地面接收机最简单、便宜。但其缺点是频带窄，不利于传送多路信号，而且该波段正处于地面UHF电视频段内，故容易与地面电视相互干扰。另外国际电联规定我国不使用L波段。S波段天线有效开口截面积要小些(见后面说明)，地面接收机造价也稍贵，同时一些散射通讯，地面中继通讯，雷达等也处于这一波段，为了避免干扰，需要控制地面功率通量密度，使之只能供集体接收。K波段天线有效开口截面积更小，电波传播的损失及雨致衰减都更大，但抛物面天线的增益也更高(抛物面天线的增益与波长的平方成反比)，特别是它频带很宽，能容纳的频道多，

因此许多国家都采用 K 波段作为卫星广播频段。我国已决定将采用 K 波段作为卫星电视广播频段。

1.5 上行发射机和星载转发器的组成

主发送接收站和移动式发送接收站中向卫星发射信号的发射机叫上行发射机，上行发射机的组成和具体电路形式很多，但基本方式如图1—3所示。

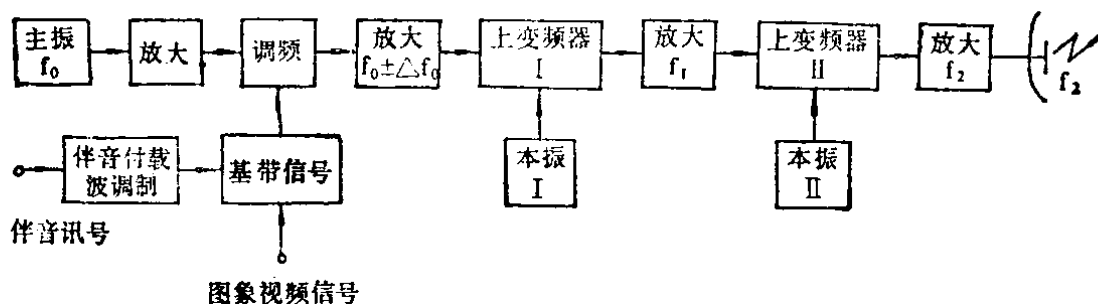


图 1—3 上行发射机方块图

主振频率一般为几十兆赫，经放大后被视频基带信号调制。基带信号由图象视频信号和伴音付载波调频信号混合而成。已调波放大后，经上变频器 I 将频率提高到 f_1 。由于 f_1 的数值与发射机的频率有关，一般在 L、S 波段。 f_1 经放大和上变频后，载波频率提高到发射频率 f_2 。 f_2 的大小是有规定的，对于 12GHz 下行频率的卫星电视广播系统，上行频率指定为 10.7~11.7GHz (对欧洲) 和 14.5~14.8GHz (除欧洲以外的地区)，以及 17.3~18.1GHz (全世界)。对于下行频率为 L、S 频段的卫星直播系统则上行频率为 6GHz。星载转发器的原理方块图如图1—4所示

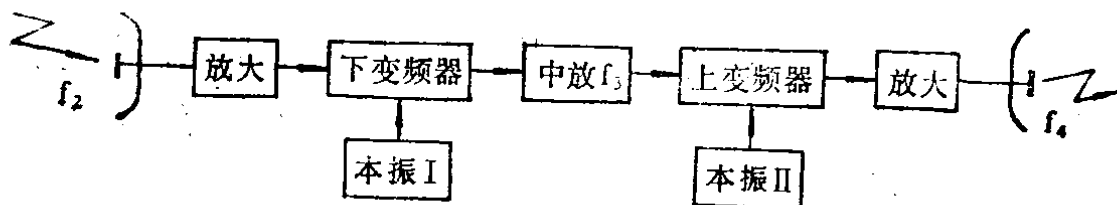


图 1—4 星载转发器的原理方块图

图中 f_2 是上行频率，经放大后由下变频器变为中频 f_3 ，将 f_3 信号放大后再经上变频器变为下行频率 f_4 。由方块原理图可见，星载转发器的转接方式就是地面微波中继站中的中频转接方式。所以电视卫星实际上就是中继站，只是把它搬到了宇宙高空。

中继转接方式有三种：高频转接（微波转接），中频转接和群频（视频）转接。高频转接需要足够的微波放大量，这在技术和器件上有一定难度，而且经济代价高；至于群频转接需要将信号进行调制与解调，会引入畸变，线路也复杂。因而中频转接是比较合适的方式。

1.6 下行接收机的组成

由1.3节卫星系统组成可见，四种地面站均有下行接收机，不同地面站对下行接收机的要求及天线尺寸均不一样，但基本工作程式是相同的。本书是以个体家用或集体接收机为讨论目标，所以只介绍三种典型的个体或集体接收机的方块图。图1—5是12GHz直接混频的家用接收机方块图。

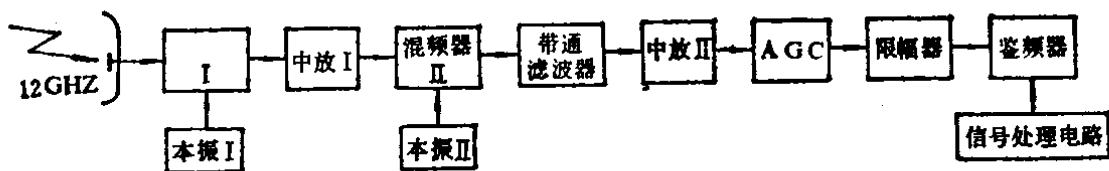


图 1—5 直接混频12GHz 接收机方块图

对12GHz 频段的接收机，信号都经过两次变频，第一中频除提供增益外，主要是提高镜象抗拒比，第二中频则是提高邻近波道选择性和提高整机增益。为了充分利用发射机功率容量，卫星电视广播系统都采用调频制，故用鉴频器解调。

直接混频式接收机要求混频器噪声要小，为此一般都采用低

噪声混频器。在廉价的低噪声场效应晶体管大量供应以前，这种电路就是典型方案了。

图1—6是12GHz 带有高放的方案，它与直接混频式接收机不同的就是多了一级低噪声高频放大器。

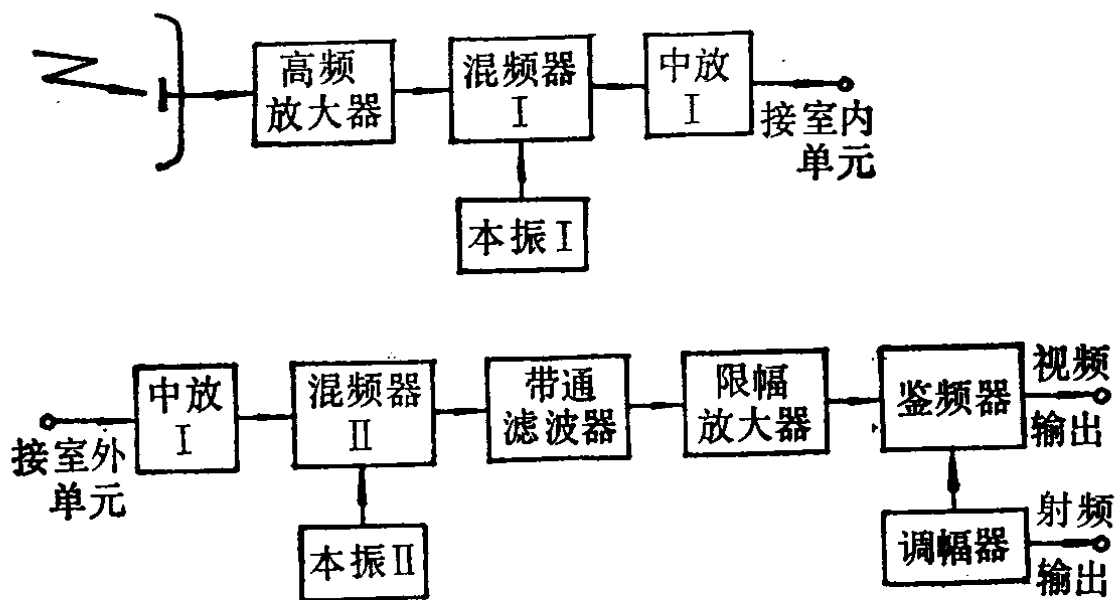


图 1—6 具有高放的12GHz 接收机方块图

对于个体接收机来说，高频放大器都是采用砷化镓场效应晶体管。

对于 L 波段的接收机，具体电路方案有好几种形式，但基本

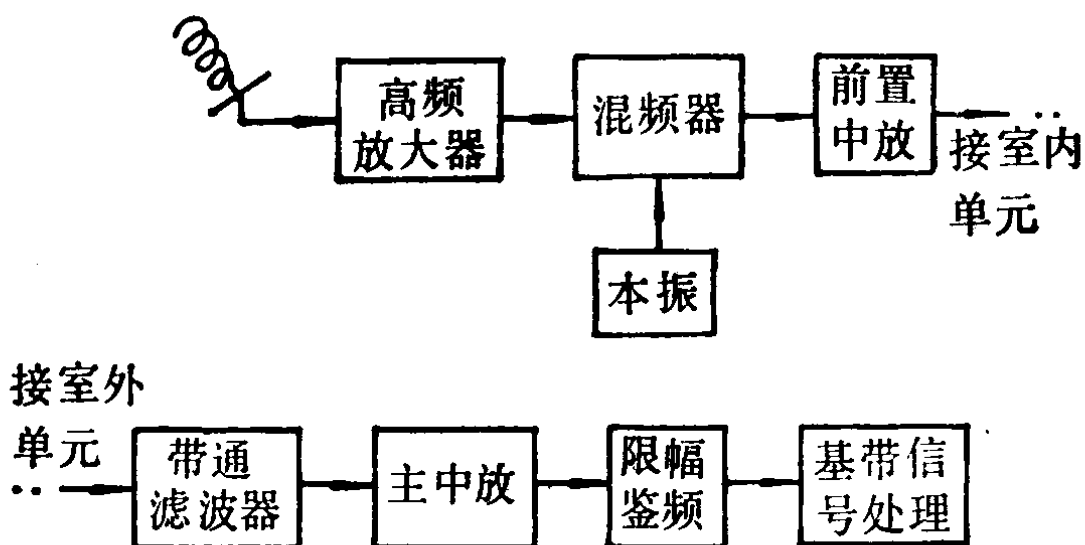


图 1—7 L 波段接收机方块图

原理方块是一样的。图1—7是L波段接收机的原理方块图。

L波段一般都采用一次变频。

1.7 卫星广播电视的发展与现状

早在1945年就有人提出利用同步卫星实现卫星通讯的设想。随着空间技术的发展和电视技术的日益完善，现在不仅能用通讯卫星传送电视讯号，而且世界各国已经或正在利用同步卫星直接广播电视信号。这是近代电视发展的重大变革。

1974年5月30日美国发射了第6颗应用技术卫星ATS—F作直播电视的实验。卫星转发器发射2.6GHz调频双信道信号，每信道功率15瓦，天线波束宽度0.9度，在地面用直径为2.9米的天线与噪声系数为4分贝的接收机组成接收系统，取得了较好的效果。该卫星第一年放置在美国上空(西径94度，赤道上空)，然后移至东径35度与印度一起进行卫星电视教育实验，一年后再移回西径94度继续进行试验。该卫星采用了9米大口径抛物面天线，但它只在进入轨道时才展开。卫星电源为太阳能电池，初始功率500瓦，卫星重量1275公斤。这颗星在印度作试验时，上行频率为6GHz，下行频率为4GHz和860MHz，功率为20W和80W。

1975年加拿大发射了CTS电视卫星，上行频率14GHz，下行频率12GHz，行波管输出功率200W，天线波束2.5度，最大有效辐射功率59dbW*，太阳能电池功率1.3千瓦。

1976年10月，苏联发射了“荧光屏”电视卫星，上行频率6.2GHz，下行频率714MHz，发射功率200W，有效全向辐射功率56.5dbW，位于东径99度，服务范围是西伯利亚、北极和远东地区约1千万平方公里。1978年4月8日，日本发射了广播实验

*：dbw是以1w为零分贝的分贝数。