



陈建设 主编

有线电视

系统工程技术实用手册

地震出版社

有线电视系统工程技术 实用手册

主编 陈建设

(第二卷)

地震出版社

第九章 卫星广播电视系统

第六节 卫星接收机

卫星接收机的作用是将高频头送来的 $-25 \sim -30\text{dBm}$ 的第一中频(频率为 $0.97 \sim 1.47\text{MHz}$)调频信号进行变频、放大,并解调出视频和音频基带信号。

一、主要性能指标要求

1. 输入信号频率范围: $0.97 \sim 1.47\text{GHz}$
2. 输入信号电平: $-30 \sim -60\text{dBm}$
3. 解调门限值 $\leq 8\text{dB}$
4. 输出电平: 视频 $1V_{p-p}$, 75Ω ; 音频 $+6\text{dBm}$, 600Ω 平衡输出
5. 图像信噪比: 当 $C/T = < -143\text{dB} (W/K)$, $B = 20\text{MHz}$; $\Delta F_{p-p} = 16.8\text{GHz}$, $f_v = 6\text{MHz}$ 条件下, $S/N \geq 30\text{dB}$ (不加权); $S/N \geq 45\text{dB}$ (制式加权)
6. 伴音信噪比: $C/T \leq -143\text{dB}$ 时, $S/N \geq 42\text{dB}$ (准峰值仪表测量值) $S/N \geq 47\text{dB}$ (有效值仪表测量值)
7. 能量扩散消除比 $\geq 40\text{dB}$
8. 镜像干扰抑制比 $\geq 40\text{dB}$

二、组成原理

卫星接收机由频率变换与放大部分、解调部分、电源部分组成,如图 9-51 所示。

1. 频率变换与放大部分

频率变换与放大部分包括以卫星接收机输入端开始至限幅器的各级电路。包括第一带通滤波器、后置第一中频放大器、第二本振荡器、第二带通滤波器和第二中频放大器等电路。

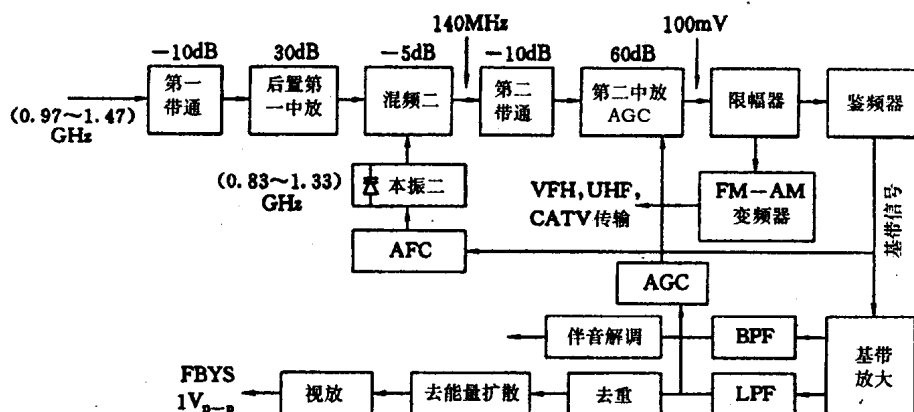


图 9-51 卫星接收机的组成

第一中频带通滤波器有两种组成形式：一种是固定宽带滤波器，由微带电路与电容构成双调谐回路，中心频率为 1.22MHz，宽带为 500MHz，使 0.97 ~ 1.47GHz 第一中频信号通过，并滤除带外的干扰信号。另一种形式为调谐式窄带滤波器，由微带电路和电容及变容二极管构成谐振回路，滤波器的中心频率与二本振频率同步统调，其中心频率为卫星接收机要接收的频道的第一中频频率，滤波器的带宽为 20 ~ 30MHz，它只允许需要接收的那一套节目的信号通过，其他节目的信号和带外噪声一起被抑制掉，带道滤波器对所接收信号的插入损耗为 10dB。

第一中频放大器相对于高频头中的一中放而言，称为后置第一中频放大器，通常采用 GaAs 场效应管和微带电路构成，属于宽带放大器，带宽为 500MHz。其主要作用是对第一中频信号进行放大，抑制三次交扰调制，并对二本振信号进行隔离，防止其反向辐射。这种电路，幅频特性好，增益可达 30dB。

第二本机振荡器，有许多组成方式，目前多采用锁相频率合成器来实现。由单片微机控制的频率合成器，根据接收机面板的操作指令将晶体振荡器产生的高稳定度的固定频率通过锁相频率合成器，变为要求的二本振频率送入第二混频器。同时产生控制第一中频窄带带通滤波器的变容二极管控制电压，使窄带滤波器的中心频率对准需要接收的频率。二本振输出频率为 1.11 ~ 1.61GHz。

第二混频器的作用是将一中放送来的 0.97 ~ 1.47GHz 的信号与二本振提供的 1.11 ~ 1.61GHz 信号进行混频，取出其差频 140MHz 作为第二中频信号。第二混频器通常采用微带环形混频器的形式，产生的无用频率分量较少，有利于提高接收机的 C/N 。

第二带通滤波器的作用是对第二混频器输出的 140MHz 第二中频信号进行带通滤波，滤除混频器泄漏出来的二本振、一中频以及它们的组合频率干扰。第二带通滤波器的中心频率为 14MHz，3dB 带宽为 20MHz。目前大多采用声表面波滤波器(SAWF)来构成。这种滤波器体积小，可靠性高，矩形系数大，无需调整，缺点

是插入损耗大(约 20dB)。因此,其后面应加一级补偿放大器,补偿其损耗。

第二中频放大器的作用有三个:一是把第二中频信号放大 60dB,它是接收机整机增益的主要来源。二是实现 AGC 功能,消除从上行发射站到卫星再到接收天线间的空间电磁波的衰落对信号幅度的影响。三是提供载波幅度的指示。其组成方框图如 9-52 所示。

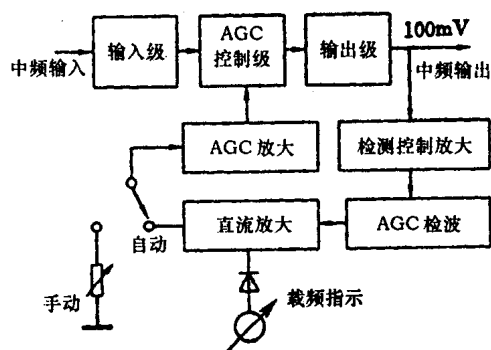


图 9-52 第二中频放大器方框图

目前,第二中频放大器通常由集成放大器组成,输入级电路输入阻抗较高,实现放大器与 SAWF 的阻抗匹配,经输入级放大后输出的信号再经 AGC 控制级和输出级,输出约 100mV 的调频信号。这一信号一路送往后级的限幅器,另一路送往 AGC 检波器,检出代表输出调频信号幅度大小的直流电压,送往直流放大器。经直流放大后,一路送入载波指示,在接收机面板上指示载波的大小;另一路送入 AGC 放大级,对这一直流电压进行放大,而后送入 AGC 控制级改变 AGC 控制级的放大倍数,从而达到自动增益控制(AGC)的目的。

2. 解调部分

解调部分由限幅器、鉴频器、基带放大器构成的调频解调电路和伴音解调与处理电路以及低通滤波、去加重、去能量扩散、视频放大构成的视频处理电路组成。

限幅器的作用是对调频信号的上下包络进行切割,消除由于信号衰落、电源波动和干扰叠加等因素对调频信号所进行的附加调幅,使调频信号真正变为等幅调频信号。由于鉴频器在进行频率解调时,附加调幅会在鉴频器输出端输出,变为对信号的干扰,所以在鉴频之前,必须对调频信号进行限幅,限幅器通常由二极管构成,锗管的限幅电平为 100 ~ 300mV,硅管的限幅电平为 600 ~ 800mV。硅管的限幅特性优于锗管,一般多采用硅二极管构成限幅器。

鉴频器分为常规鉴频器和门限扩展鉴频器两大类。可用于卫星接收机的常规鉴频器有平衡鉴频器、移相鉴频器和桥式鉴频器等几种,这些鉴频器的门限电平约为 10dB,为固定门限。对于信噪比低于 10dB 的信号,鉴频器输出的信号 S/N 急剧恶化,所以这类鉴频器不适合 S/N 较低的情况使用。为了提高卫星接收系

统接收微弱信号的能力,在最近生产的卫星接收机中大多采用门限扩展频率解调器,较好地解决了大信号时的调频制度增益和小信号时的输出信噪比之间的矛盾。门限扩展频率解调器主要有:跟踪滤波器鉴频器、频率负反馈解调器、锁相解调器和注入式振荡器等几种形式。锁相环解调最为常用,其工作原理是利用锁相环中低通滤波器输出的控制电压与输入信号的频偏成正比的特性来实现鉴频的。由于锁相环只有在中心频率附近很窄的范围为才能对信号进行鉴相,锁相环相当于一个窄带滤波器,所以可以降低噪声门限。鉴频器可以从经过限幅处理的调频信号中,恢复出视频信号和窄带调频的伴音调频信号,送入基带放大器进行放大。

基带放大器的作用是对鉴频器输出的微弱的视频信号和 6.5MHz 第二伴音中频信号进行放大,以便供给后级对这两种信号进行处理。为了满足频带要求,大多采用直接耦合放大器或集成电路,并采取直流负反馈方式来稳定工作点。基带放大器增益为 30dB 左右,带宽为 6.5MHz 左右。

伴音解调与处理电路。卫星电视广播的伴音分为模拟调频和数字调制两种体制。

模拟调频体制的伴音解调电路如图 9-53 所示。

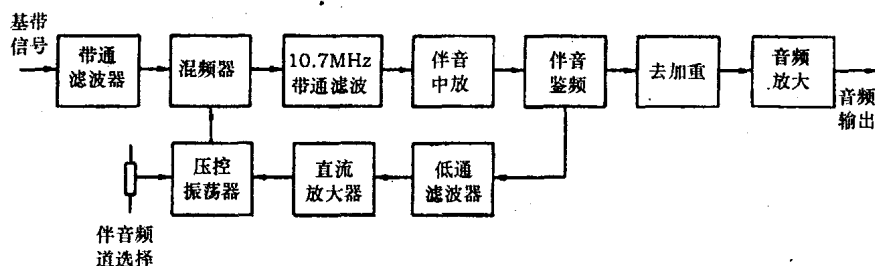


图 9-53 模拟调频体制的伴音解调电路

前级基带放大器输出的基带信号经过带宽为 4.5 ~ 7.5MHz 的带通滤波器滤除图像信号,取出伴音副载波调频信号。经过伴音载频选择电路,选择与接收信号一致的伴音载频,改变 VCO(压控振荡器)的频率,使它与带通滤波器送来的伴音副载波调频信号进行混频,取出其差频 10.7MHz 作为伴音中频信号,经 10.7MHz 滤波器滤波和伴音中放对其进行放大,送入伴音鉴频器,经鉴频后输出音频信号,一路送入去加重电路和音频放大电路,对音频信号进行处理之后输出幅度为 +6dBm 的音频信号。另一路经低通滤波器、直流放大去控制 VCO 的频率,从而实现自动频率微调。

视频信号处理电路由低通滤波器、去加重、去能量扩散和视频放大器构成。

低通滤波器滤除伴音副载波的调频信号,将视频信号取出送入去加重电路。去加重电路由一个 T 型桥式衰减网络构成。如图 9-54 所示。

它可以对高频分量进行压缩,用以抵消发射端预加重时对高频分量的提升,使视频信号中的高低频分量复原到原来的比例。经过去加重处理后的视频信号,

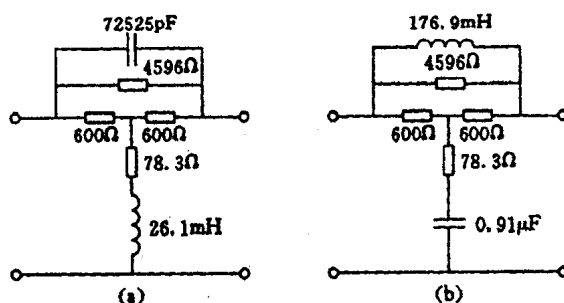


图 9-54 T型桥式衰减网络

再送入去能量扩散电路中。利用高频头作为键控脉冲,对发射端附加的三角波能量扩展信号进行钳位消除。经过过去加重,去能量扩散处理后的视频信号,经过放大,极性开关,输出 $0 \sim 6\text{MHz} 1\text{V p-p}$ 的视频信号。

第七节 卫星数字电视广播系统

DVB(Digital Video Broadcasting)数字视频广播系统标准中有一个 DVB-S 标准,是专门为各种卫星数字电视广播制定的标准。这一标准已在欧洲和全世界很多地区得到广泛应用,并得到了 ITU 的支持。我国目前的卫星数字电视广播便是采用的这种标准。

一、DVB-S 卫星数字电视系统发射端组成原理

图 9-55 为 DVB-S 卫星数字电视系统发射端组成框图。它由 MPEG-2 信源编码与复用、卫星信道适配和射频信道等三大部分构成。

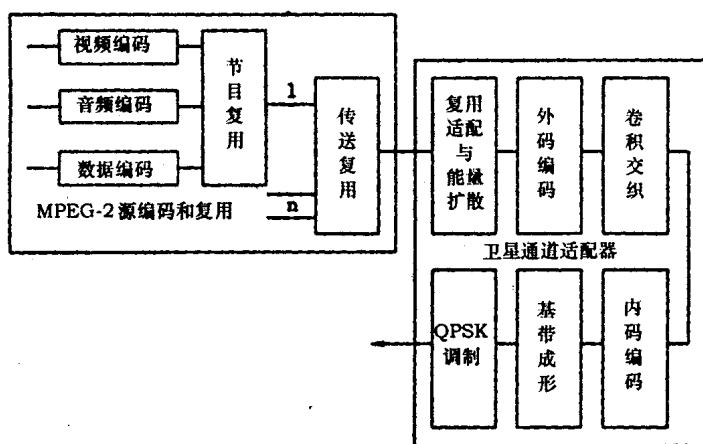


图 9-55 DVB-S 卫星数字电视系统发射端组成

在 MPEG-2 信源编码和复用部分,对由播出录像机或摄像机送来的模拟视、音频信号和控制码进行 PCM 编码,然后对三路数据分别进行打包处理,并通过节

目复用器将三路数据进行复用形成一套节目的数据流。最后将几套不同节目的数据流进行复用,形成一个新的速率更高的数据流,送入卫星信道适配部分。

从 MPEG-2 传送复用器送来的数据码流组成了固定长度的数据包。复用包总长度为 188 个字节,包括一个同步字节 47H 作为收端起始同步信号。这一信号进入卫星信道部分后,首先利用扰码对其进行复用适配和能量扩散,使其符合卫星信道的要求。经过扰码随机化的长度为 188 比特的传送包进入外编码器进行里德—所罗门 RS(204,188,T=8)编码,生成一个误码保护数据包。然后进入卷积交织器,对误码保护数据进行 $i=12$ 的卷积交织处理,生成一个交织帧。在内码编码器内使用约束长度为 $K=7$ 的卷积码进行内码编码,可以根据码速率和信道情况使用不同比率的收缩卷积码来选择相应的误码纠错能力,然后在基带形成电路中形成基带信号,送入 QPSK 调制器进行信道调制,生成中频数字信号。送入射频上变频器经发射机发往卫星转发器。这种信号最匹配的传输方式为多路单载波 SCPC,但可以用于多路多载波 MCPC 系统传输,每一路占用射频带宽 5MHz。

我国目前使用的系统除了中央 5~8 台采用 digicipher-II 标准通过亚洲 2 号卫星 Ku 波段传输外,大部分省、市、自治区的卫星电视节目都采用这种 MPEG-2/DVB-S 标准传送。

二、卫星数字电视接收系统的组成

卫星数字电视接收系统由三大部分构成:即信道接收部分、解复用部分和 MPEG-2 解码部分(如图 9-56 所示)。

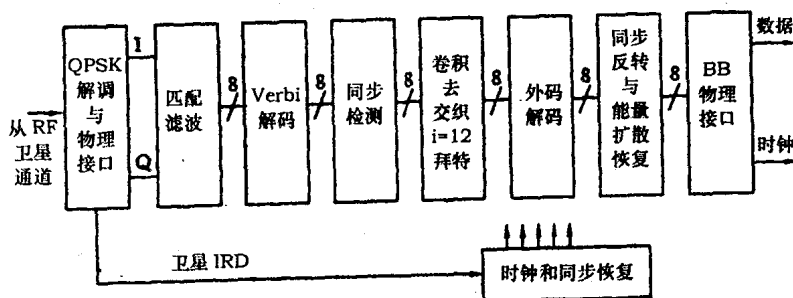


图 9-56 DVB-S 卫星数字电视系统接收端组成

信道接收部分:卫星下行信号经天线接收后,经过放大和两次变频变为 479.5MHz 的第二中频信号,送到 QPSK 解调电路的正交鉴相器分解出 I/Q 两路模拟信号,经过 A/D 变换器变换为数字信号。QPSK 解调器还起到载波恢复寻址、位同步、反混叠、匹配滤波和自动增益控制的作用。

Butterworth 型匹配滤波器,通道带宽可在 3~54MHz 范围内连续可调,用于滤除邻近频道的干扰,完成升余弦滚降形状的脉冲成形滤波变换。

信道纠错译码部分包括维特比(Viterbi)卷积译码(1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 6/7 和 7/

8, $K=7$)和里德—所罗门(Reed-solomon)RS 解码(204, 188)。维特比卷积译码可对误码率为 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ 的数据流进行行纠错,使数据的误码率达到 10^{-4} 。而 R-S 解码主要对突发性片状误码进行纠错,使数据的误码率达到 10^{-10} 。经过信道纠错后,将卫星数字信号在空间传输时混入的干扰和噪声影响降至几乎为 0 的程度,使接收端可以获得发送端演播室质量相同的节目信号。信道纠错码部分输出的信号为符合 MPEG-2 标准的传输流(TS)。每个数据包为 188 字节。

解复用部分。TS 码流是一种多路节目数据包(视音频和数据信息)按 MPEG 协议复接而成的数据流。因此,解码前首先要对 TS 流进行解复用,根据所要接收的节目的包识别 PID 提取相应的视频、音频数据包,恢复出符合 MPEG 标准打包的节目基本数据流。

PMPEG-2 解码部分。节目基本数据流送到 MPEG-2 解码器芯片,首先进行解压缩,恢复出符合 CCIR601 格式的视频数据流和 PCM 音频数据流。分别送到视频解码器和音频数模变换器,按照 PAL 电视制式的格式,生成模拟电视信号。至此便恢复出了视、音频信号。

三、卫星数字电视信号的接收

卫星数字电视的接收方法与原来常用的模拟卫星电视的接收方法基本相同。但是,由于卫星数字电视本身具有其特有的性质,决定了其接收方法与模拟电视有些差异。

(一)不同数字压缩与调制标准的电视节目必须采用相应的接收机进行接收

我国目前的数字卫星电视广播使用了两种标准的体制,即 Digicipher-II 标准和 MPEG-2/DVB-S 标准。中央台第 5~8 套节目是利用亚洲 2 号 Ku 波段转发器采用 Digicipher-II 标准进行广播的;而大多数省、区的卫星电视节目则是通过亚洲卫星 C 波段器采用 DVB-S/MPEG-2 标准进行广播的。两种标准之间没有兼容性。所以,在确定要接收的电视节目之后,选购数字接收机(IRD)时,必须注意选购与节目所使用的标准一致的接收机。其中中央第 5~8 套节目的接收还必须经过中央电视台卫星电视传播中心授权后,才能接收到节目信号。

(二)天线的方位角和仰角的调整

卫星接收天线安装好,各种电缆连接完毕,将天线大致调整到预先计算好的方位角和仰角之后,必须首先给数字接收机加电,参考说明书,用接收机面板的按钮读出显示菜单,设置需要接收节目的下行频率、极化方式、信息速率和前向纠错 FEC 比率、PSD 号后,进入寻找卫星子菜单。如果接收天线已初步对准卫星,信号强度显示应有指示,然后仔细微调方位角、仰角和极化方向,使信号强度指示最大。确认微调成功后,将天线机构锁死,搜寻下载节目表,确认无误后存贮节目表

进入正常接收状态。

如果接收天线按照预先计算好的方位角和仰角大致调好,数字接收显示的信号强度为零,说明天线还没有对准卫星,需要再在 5° 的范围内对方位角和仰角进行扫描微调。这时要注意一点,由于卫星数字电视接收机接收信号时,要对数据包(如同步码、包识别码等)的状态、标志进行检索、识别、判断和运算处理,需要数秒钟的时间。所以在进行微调扫描时,每调整一个角度,都必须等待几秒钟,再观察指示。如果像安装模拟卫星电视接收站那样快速的扫描,很可能找不到卫星的位置。

可以采取模拟信号引导的办法来用调整天线的方位角和仰角。如果某卫星上既有模拟体制的节目,又有数字标准的节目,那么调整天线时,可先利用一台模拟接收机调整,待大致对准后,再接上数字接收机,进行微调。

(三)门限效应

E_b/N_0 门限值(码元能量/噪声密度)是数字卫星接收系统的一项主要指标。在接收信号 E_b/N_0 大于门限时,接收信号 C/N 的变化对图像质量几乎没有影响。但当 C/N 的下降使接收机判决电路的输入信号的 E_b/N_0 值小于 E_b/N_0 门限时,图像质量会急剧恶化,甚至收不到信号,造成数字卫星接收机图像“死机”。这种现象比模拟传输系统更加严重。因此,在对数字卫星接收系统进行设计时,必须留有充分的 C/N 值余量。特别是 Ku 波段的信号的雨致衰耗较大,设计时必须注意到这一点。

第八节 卫星传输系统的设计计算

对于大多数广播电视工作者而言,卫星传输系统的上行线路的设计很少接触。所以,本节主要讨论下行线路中的接收系统的设计计算。

一、卫星传输系统输出信号的质量要求

卫星传输系统最终的输出信号为接收系统输出的视频信号和音频信号。在实际应用中,对系统输出信号的质量要求,要根据输出信号的应用对象来确定。比如,对于集体接收站,卫星接收系统输出的信号要作为信号源在 CATV 网络中进行传输,所以,对信号的质量要求较高;而个体接收站对输出信号的要求就比较低。

依照国际无线电咨询委员会(CCIR)制订的五级评价标准,通常,个体接收的图像质量只要达到 3~3.5 级即可,而集体接收的系统则应达到 3.5~4.5 级的图像标准。

根据欧广联(EBU)确定的图像等级 Q 与未加权信噪比 S/N 之间的换算关系:

$$\frac{S}{N} = 23 - Q + 1.1Q^2 \quad (9-123)$$

可计算出,集体接收所要求的 3.5 ~ 4.5 级图像等级,对应的视频未加权信噪比为 33 ~ 40.8dB;个体接收所要求的 3 ~ 3.5 级图像等级,对应的视频未加权信噪比为 29.9 ~ 33dB。

CCIR 在 1976 年规定视觉加权系数 M_w 统一按照 11.5dB 计算。即:观众实际感觉到的图像质量比实际的信噪比高 11.5dB,加权视觉信噪比比未加权的信噪比高出 11.5dB。

由于卫星传输系统中采用的调频体制和预加重电路对信号的信噪比都有改善度,所以,输出信号的信噪比与接收机输入端载噪比间存在以下关系。

$$\frac{S}{N} = M_f + M_D + \frac{C}{N} \quad (9-124)$$

式中: M_D 为预、去加重系数,对于 PAL-D 制式 $M_D = 2.5\text{dB}$; M_f 为调频改善度

$$M_f = 10\lg \frac{1.47 \triangle f_{p-p}^2 B}{f_v^3}$$

式中 $\triangle f_{p-p}$ 为调频最大频偏, $\triangle f_{p-p} = 16.8\text{MHz}$; f_v 为调制信号最高频率, $f_v = 6\text{MHz}$; B 为接收机在解调器以前的电路的等效带宽, $B = 24\text{MHz}$ 。

可计算出我国目前所使用的制式的调频改善度 M_f 为 16.6dB。

由式 9-124 可得到接收机输入端载噪比的计算公式

$$\frac{C}{N} = \frac{S}{N} - M_f - M_D \quad (9-125)$$

对于我国的卫星电视广播体制:

$$\frac{C}{N} = \frac{S}{N} - 16.6 - 2.5 = \frac{S}{N} - 19.1$$

由此可计算出集体接收系统获得 3.5 ~ 4.5 级的标准图像,所要求的接收机输入端的载噪比为 13.9 ~ 21.7dB;而个体接收系统获得 3 ~ 3.5 级图像质量,所要求的接收机输入端的载噪比为 10.8 ~ 13.9dB。

同样方法可得 FM-FM 调制体制的伴音信号在接收系统输入端的载噪比为

$$\left(\frac{C}{N}\right)_A = \frac{S}{N} - M_{A1} - M_{A2} - M_{Dr} \quad (9-126)$$

式中: M_{A1} 为伴音副载波对主载波调频所获得的伴音副载波调频改善度

$$M_{A1} = 10\lg \frac{1}{2} \left(\frac{\triangle FA}{F_s} \right)^2 \frac{B_{RB}}{B_{IF}}$$

M_{A2} 为伴音音频信号对伴音副载波调频所获得的音频信号的调频改善度

$$M_{A1} = 10\lg \frac{3}{2} \left(\frac{\Delta f_A}{f_s} \right)^2 \frac{B_{IF}}{f_A}$$

M_{Dr} 为伴音预、去加重系数

$$M_{Dr} = 10\lg \frac{\left(\frac{f_A}{f_D} \right)^2}{3 \left[\frac{f_A}{f_D} - \arctan \left(\frac{f_A}{f_D} \right) \right]}$$

对于我国目前采用的 CCITT.J.17 加重特性,当音频信号最高频率为 15.5kHz 时,

$$M_{Dr} = 8.5\text{dB}$$

以上各式中: ΔF_A 为伴音副载波对主载波调频所产生的最大频偏;

F_s 为伴音副载波频率;

B_{RF} 为射频带宽;

B_{IF} 为副载波的中频带宽;

Δf_A 为伴音音频信号对伴音副载波调频的最大频偏;

f_A 为伴音音频信号的最高频率;

f_D 为伴音音频信号调频去加重下降 3dB 的频率。

对于要求优质声音广播的场合,通常伴音信号的信噪比 $(S/N)_A \geq 60\text{dB}$; 对于优质电视伴音信号 $(S/N)_A \geq 50\text{dB}$ 。

以日本 BS-2 卫星的参数为例, $\Delta F_A = 1\text{MHz}$, $F_s = 4.5\text{MHz}$, $\Delta f_A = 25\text{kHz}$ 为射频带宽,

$$B_{IF} = 200\text{kHz}, f_D = \pi\tau/2, \tau = 75\mu\text{s}, f_A = 15\text{kHz}。$$

$$\text{则 } M_{A1} = 4.5\text{dB} \quad M_{A2} = 17.4\text{dB} \quad M_{Dr} = 13.2\text{dB}$$

优质声音广播所要求的接收机输入端伴音信号的载噪比

$$\left(\frac{C}{N} \right)_A = \frac{S}{N} - M_{A1} - M_{A2} - M_{Dr} = 60 - 4.5 - 17.4 - 13.2 = 24.9\text{dB}$$

电视伴音信号所要求的接收机输入端伴音信号的载噪比

$$\left(\frac{C}{N} \right)_A = \frac{S}{N} - M_{A1} - M_{A2} - M_{Dr} = 50 - 4.5 - 17.4 - 13.2 = 14.9\text{dB}$$

二、卫星接收系统输入端信号电平的计算

设卫星转发器发射功率为 P_T , 发射天线增益为 G_T , 从卫星到接收天线的距离为 d , 假定电磁波的传播空间为自由空间, 则在接收天线处得到的卫星转发器发射信号的功率密度为:

$$\phi = \frac{G_T P_T}{R \pi d^2}$$

我们定义 $P_T G_T$ 为转发器的等效全向辐射功率,用 $EIRP$ 表示,即

$$EIRP = P_T G_T$$

半波天线的等效开口面积为 $A_0 = \frac{\lambda^2}{4\pi}$, 则半波天线的输入功率为

$$P = \phi A_0 = P_T G_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

其中, $L_f = \left(\frac{4\pi d}{\lambda} \right)^2$ 为自由空间传播损耗,将公式 $\lambda = C/f$ 代入可得,自由空间传播损耗 $L_f = \left(\frac{4\pi df}{C} \right)^2$

C 为自由空间的光速 3×10^8 米/秒, f 为射频信号的频率。表示为对数形式,

$$L_f = 32.44 + 20 \lg d + 20 \lg f$$

设接收天线的增益为 G_R , 雨致损耗为 L_R , 氧气、水蒸气引起的空气损耗为 L_A , 则接收机输入端的信号电平为

$$P = \frac{P_T G_T G_R}{L_f L_A L_R} \quad (9-127)$$

化为对数形式 $P_{dB} = P_{TdB} + G_{RdB} + G_{TdB} - L_{TdB} - L_{AdB} - L_{RdB}$ 。

雨致损耗 L_{RdB} 是指电波在雨中传播时由于降雨所引起的损耗。它包括雨粒吸收所引起的损耗和雨粒散射所引起的损耗。雨致损耗的大小取决于雨粒直径与电波波长的比值, 大约正比于雨粒直径的三次方。因此, 电波频率越高, 雨致损耗的数值就越大。同时, 电波穿过雨区的距离越长, 雨致损耗也就越大。所以, 雨致损耗与天线的仰角关系很大, 因为仰角越小, 穿过雨区的距离就越长。但是在设计中, 无法考虑到各种降雨强度下的雨致损耗。1977年, 在日内瓦召开的卫星广播世界无线电行政大会对雨致损耗问题进行了讨论, 根据世界各地降雨分布的情况将全世界划分为五种雨区, 并且规定, 雨量较少地区雨致损耗统一取为 1dB; 雨量较多地区雨致损耗统一取为 2dB。

图 9-57 画出了对于 12GHz 频率, 五种雨区内雨致损耗与接收仰角的关系曲线。设计时可以参考此图, 查得雨致损耗的取值。

我国大部分地区属于第二雨区, 属降雨较多地区, 雨致损耗不能不加以考虑。

空气中的氧气和水蒸气引起的空气损耗 L_A 极小, 只有雨致损耗的百分之几, 一般设计中可以忽略不计。

三、接收系统输入端噪声功率的计算

接收系统输入端的噪声由天线噪声、传输噪声和折合到输入端的接收系统的

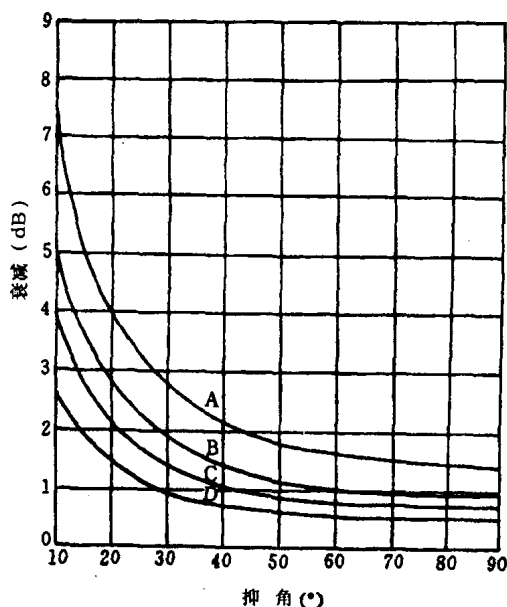


图 9-57 雨致损耗与接收仰角的关系

内部产生的噪声组成。

1. 接收天线的噪声温度

接收天线的噪声分为两类：自然噪声和人为噪声。自然噪声包括宇宙噪声、地球表面热噪声、大气噪声和降雨所产生的噪声。人为噪声包括火花放电、工业干扰等。

天线的噪声与工作频率、天线仰角、主瓣宽度、旁瓣特性都有很大的关系。设进入天线的各种噪声功率为 P_{NA} ，进入天线所有噪声的等效噪声温度为 T_A ，则：

$$P_{NA} = \frac{akBT_A}{L_0} \quad (9-128)$$

$$T_A = \frac{akBR_{NA}}{L_0}$$

其中 L_0 为天线到接收机输入端传输线的损耗； α 为电波进入半透明的介质被吸收的比例。

2. 传输线的热噪声

损耗为 L_0 的传输线路所产生的热噪声功率可表示为：

$$P_{NA} = kT_0 B \left(1 - \frac{1}{L_0}\right) \quad (9-129)$$

3. 接收机内部的噪声

接收机内部的晶体管、电阻和谐振电路都会产生噪声，将其内部产生的噪声

折合到输入端计算得的等效噪声温度为 T_e , 则在接收输入端噪声功率为 $P_{NR} = kT_e B$ 。

4. 接收系统的综合噪声

图 9-57 为接收系统各部分产生噪声的示意图, 我们在接收机输入端 H 点可计算出接收系统的综合噪声为:

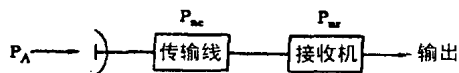


图 9-57 接收系统各部分产生的噪声

$$N_R = P_A + P_{NC} + P_{NR} \quad (9-130)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{\alpha k B P_{NA}}{L_0} + k T_0 B \left(1 - \frac{1}{L_0}\right) + k T_e B \\ &= k B \left(\frac{\alpha T_A B}{L_0} + T_0 - \frac{T_0}{L_0} + T_e \right) \end{aligned}$$

设 $\alpha = 1$ 。由于接收系统高频头直接装在天线上, 所以传输线的损耗可以忽略, 即 $L_0 = 1$, 则接收系统综合噪声为

$$N_R = k_B (T_A + T_e) \quad (9-131)$$

我们定义

$$T = T_A + T_e$$

为接收系统的等效噪声温度, 则接收系统的综合噪声温度可表示为

$$N_R = kTB \quad (9-132)$$

四、接收系统优值的确定

(一) 不考虑上行线路的接收机输入端载噪比的计算

首先假定从转发器发出的信号为没有噪声的信号, 即: 发射部分载噪比 $(C/N)_s = \infty$ 。那么, 接收机输入端的载噪比就是接收部分的载噪比 $(C/N)_R$ 。

$$C/N = (C/N)_R = \frac{\text{接收机输入端信号载波功率 } C}{\text{接收机输入端的综合噪声功率 } N_R}$$

将式(9-130)与式(9-131)的结果代入得:

$$(C/N)_R = \frac{P_T G_T G_R}{L_f L_A L_R} \div kTB = (P_T G_T) \cdot \frac{1}{L_f L_A L_R} \cdot \frac{1}{KB} \cdot \frac{G_R}{T_R}$$

$$= EIRP \cdot \frac{1}{L} \cdot \frac{1}{KB} \cdot Q$$

用对数形式表示:

$$(C/N)_{dB} = (EIRP)_{dB} + Q_{dB} - L_{dB} - (KB)_{dB} \quad (9-133)$$

式中, $EIRP = P_T G_T$ 为转发器等效全向辐射功率;

$Q = \frac{G_R}{T_R}$ 称为接收系统的优值;

$L = L_f \cdot L_A \cdot L_R$ 为下行链路总损耗

对于一个卫星接收端而言,地点确定后, $EMRP$ 和 L 就被确定了。接收机输入端载噪比 $(C/N)_{dB}$ 的大小取决于 Q 值的大小,并且两者成正比例关系。所以,接收天线增益越高,接收机噪声温度越低,接收机输入端的 C/N 就越高。

由于下行链路总损耗 L 和卫星转发器等效全向辐射功率 $EIRP$ 以及 KB 都为确定值,当输入端载噪比 C/N 的要求被确定后,卫星电视接收系统的计算归结为确定接收系统的优值 G_R/T_R 。

(二) 上行线路的噪载比 $(C/N)_s$ 对接收端载噪比 C/N 的影响

以上我们是在上行线路载噪比 $(C/N)_s$ 方为无穷大的条件下,讨论接收机信噪比与接收系统优值 G_R/T 值的关系的。事实上,上行线路中不可能没有噪声, $(C/N)_s$ 的存在将会降低接收机输入端信号的载噪比 C/N ,进而对接收系统的优值 G_R/T 提出更高的要求。

考虑上行系统载噪比 $(C/N)_s$ 时的接收机输入端载噪比

$$N/N = \frac{C}{N_s + N_r} = \frac{1}{\frac{1}{(C/N)_s} + \frac{1}{(C/N)_r}}$$

即:

$$\frac{1}{C/N} = \frac{1}{(C/N)_s} + \frac{1}{(C/N)_r} \quad (9-130)$$

图 9-61 表示出 $(C/N)_s$ 对 $C/N \sim (C/N)_r$ 曲线的影响。由图可知,由于 $(C/N)_s$ 的存在, C/N 随 $(C/N)_r$ 的增加而增加的数量减小。 $(C/N)_s$ 越小,则同样 $(C/N)_r$ 下, C/N 就越小。如:当 $(C/N)_s = 22\text{dB}$ 时,对应于 $(C/N)_r = 16\text{dB}$ 的 $C/N = 15\text{dB}$,下降了 1dB 。如果 $(C/N)_s$ 很低时,即使 $(C/N)_r$ 再大也不会使 C/N 达到 $(C/N)_s$,也就是说上行系统输出信号的载噪比 $(C/N)_s$ 是接收机输入端信号载噪比 C/N 的上限,接收系统只可能降低这一载噪比值,而不可能提升。同样,在最理想情况下,当 $(C/N)_s = \infty$ 时, $C/N = (C/N)_r$,接收机输入端载噪比 C/N 就等于下行线路的载噪比 $(C/N)_r$ 。

在接收系统的设计中,计算 C/N 值时,必须将 $(C/N)_s$ 的影响考虑进去。在上行系统和卫星转发器的设计中, $(C/N)_s$ 就已经被确定了,其典型为 30dB。

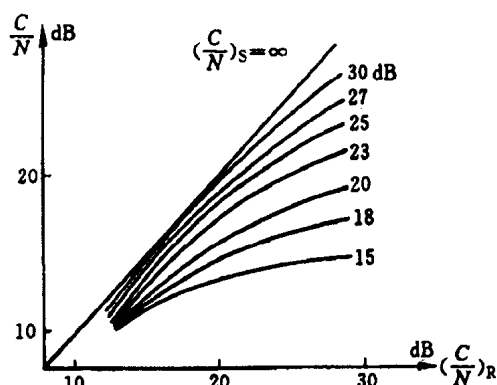


图 9-59 C/N 与 $(C/N)_s$, $(C/N)_r$ 的关系曲线

(三)接收系统优值 G_R/T_R 的计算

接收系统的优值 G_R/T_R 的计算可按照以下步骤进行。

1. 根据接收站对图像等级的要求计算出未加权信噪比 S/N , 并根据式 9-119、9-121 求得接收机输入端载噪比 C/N 。

2. 根据 C/N , $(C/N)_r$, $(C/N)_s$ 之间的关系式(9-130)计算或从图 9-59 中查出当 $(C/N)_s = 30\text{dB}$ 时的 $(C/N)_r$:

$$(C/N)_r = \frac{1}{\frac{1}{C/N} - \frac{1}{(C/N)_s}} = \frac{1}{\frac{1}{C/N} - \frac{1}{10 \lg \frac{30}{10}}} \quad (9-135)$$

3. 求出接收系统优值。

$$(G_R/T_R)_{\text{dB}} = (C/N)_{\text{RdB}} + L_{\text{dB}} + (KB)_{\text{dB}} - (EIRP)_{\text{dB}}$$

五、高频头、接收机与接收天线的选型

接收系统的优值 G_R/T_R 由高频头、接收机与接收天线共同决定,其中卫星接收机对 G_R/T 的影响不大。影响最大的数据是高频头的噪声温度和天线的增益与噪声系数。

$G_R T_R$ 值中, G_R 为天线增益。它与天线的类型、口径、效率有关。根据式 9-121 可知, $T_R = T_A + T_e$, T_A 为天线的噪声温度, T_e 为接收机主要是指高频头的噪声温度, T_A 值和 T_e 值均可在各种天线和高频头的性能指标参数表中查出。

在对高频头和天线的选型中,必须注意到性能价格比低的设计原则,由于微波低噪声器件技术的发展和卫星电视的日益普及,目前高频头的噪声温度已可以制造得很低,而且价格很便宜。而随着增益的提高,天线的造价几乎是呈指数型