

卫星接收天线带负载能力的理论分析

高彤鼎

（山东电视台地球站 250062）

摘要：卫星接收天线通常要带多台接收机，所带接收机的数量则受许多因素的限制，本文从卫星接收机的工作条件入手，建立了一个接收模型，通过对接收电平和系统噪声温度的分析，推算出天线的带负载能力。

关键词：卫星接收天线 负载 接收电平 系统噪声温度

一颗卫星可以转发多套广播电视节目，要想同时收听收看或是转播这些节目，1面接收天线必须连接多台接收机。那么1面天线到底能带几台接收机呢？这个问题最终要归结到接收机的正常工作条件上来。

不管是模拟接收机还是数字综合解码器（IRD），要维持正常工作，首先要求输入信号的载噪比（模拟机为 C/N ，数字机为 E_b/N_0 ）高于解调（码）门限，其次，接收机入口处的信号电平需在一定范围内（一般说来该范围在 $-65\text{dBm} \sim -25\text{dBm}$ 之间），这2个条件须同时具备。

整个接收系统的载噪比取决于两个方面，一是天线接收的卫星信号的强弱，二是整个接收系统噪声温度的大小。天线所能接收的信号的强弱要看接收地的 EIRP 值和接收天线的口径，一般在设计时应留有足够的储备量。接收系统的噪声温度则与天线的噪声温度、高频头（LNB）的噪声温度以及接收机的噪声温度有关。如果所带接收机的数量不多，则它们的噪声温度对整个接收系统噪声温度的影响很小，甚至可以忽略；而当接收机数量较多时，它们的噪声温度对整个系统的噪声温度会有显著的影响，从而限制了接收机数量的增加。

下面简要分析一下接收机对整个系统噪声温度产生什么样的影响。图1示出了1个简化的接收系统模型。天线接收的信号进入高频头 LNB，变频放大之后经连接电缆进入 m 功分器，再经过 n 功分器进行第二次分配，这样总共可带 $m \times n$ 个接收机。

根据多个网络级连时总的噪声温度公式：

$$T_e = T_{e1} + T_{e2}/G_1 + T_{e3}/G_1 G_2 + \dots \quad (1)$$

再考虑到 n 功分器实际上是 n 个独立的支路汇至 q 点的，可以得出从 q 点处向右看过去的噪声温度：

$$T_q = n \times (T_{pn} + T_R \times L_{pn}) \quad (2)$$

其中 L_{pn} 为 n 功分器每一支路的插入衰减， T_R 为接收机的噪声温度， T_{pn} 为 n 功分器自身每一支路的噪声温度。由于无源网络的噪声系数就是其衰减量，所以 T_{pn} 和 L_{pn} 之间有如下关系：

$$T_{pn} = (L_{pn} - 1) \times T_0 \quad (3)$$

其中 T_0 为标准室温（290K），则（2）式可变成：

$$T_q = n \times [L_{pn} \times (T_0 + T_R) - T_0] \quad (4)$$

类似地可得出从 p 点向右看过去的噪声温度：

$$T_p = m \times (T_{pm} + T_q \times L_{pm}) \quad (5)$$

其中 L_{pm} 为 m 功分器每1支路的插入衰减， T_{pm} 为 m 功分器自身每1支路的噪声温度。

将（4）式代入（5）式，并考虑到如下关系：

$$T_{pm} = (L_{pm} - 1) \times T_0 \quad (6)$$

则（5）式可以变成：

$$T_p = m \times [n \times T_0 + T_R] L_{pm} L_{pn} - (n - 1)$$

$$T_0 L_{pm} - T_0] \quad (7)$$

由此，可得出从 o 点向右看过去的噪声温度，也就是整个系统的噪声温度为：

$$T_{sys} = T_A + T_{LNB} + T_c/G_{LNB} + T_p \times L_c/G_{LNB} \quad (8)$$

其中 T_A 为天线的噪声温度， T_{LNB} 为高频头的噪声温度， L_c 为连接电缆的衰减， T_c 为连接电缆的

噪声温度， G_{LNB} 为高频头的增益。考虑到 T_C 与 L_C 之间有如下关系：

$$T_C = (L_c - 1) \times T_0 \quad (9)$$

则 (8) 式变成： $T_{SYS} = T_A + T_{LNB} + (L_c - 1) \times T_0 / G_{LNB} + T_p \times L_c / G_{LNB}$ (10)

一般情况下， L_c 总是远远小于 G_{LNB} ，所以等式 (10) 右侧第 3 项可以略去，简化为：

$$T_{SYS} \approx T_A + T_{LNB} + T_p \times L_c / G_{LNB} \quad (11)$$

在接收地点、天线口径确定之后，就可以算出载波电平值 C ，从而得到 C/T_{SYS} 值，再换算出 C/N 值或 E_b/N_0 值。该 C/N 值或 E_b/N_0 值应高于接收机的工作门限，以便正常地解出信号。另外，接收机入口处的电平值：

$$C_R = C + G_{LNB} - L_c - L_{pm} - L_{pr} \quad (12)$$

也应在接收机的正常工作电平范围之内。

下面看一个具体的例子。在济南地区用 2m 口径的天线接收亚太 1A 卫星上的某套模拟节目。采用图 1 所示的接法，两级功分器均为四功分（即 $m = n = 4$ ），插入衰减为 8dB（真值为 6.3），共带了 16 台接收机。已知天线的噪声温度为 40K，高频头的噪声温度为 35K，增益为 62dB（真值为 1.58×10^6 ），连接电缆的衰减为 15dB（真值为 31.6），接收机的噪声温度为 2610K。则由公式 (7) 和 (11) 可算出系统的噪声温度为：

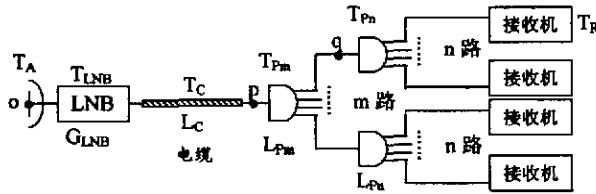


图 1 卫星天线接收系统简化模型

$$T_{SYS} = 40 + 35 + 4 \times [4 \times (290 + 2610) \times 6.3 \times 6.3 - (4 - 1) \times 290 \times 6.3 - 290] \times 31.6 \div 1.58 \div 10^6 = 111.37K$$

已知济南地区的 [EIRP] 值为 36.3dBW，自由空间衰减加上指向性误差和大气闪烁损耗为 196.8dB，天线增益为 36dB，则天线接收到的载波电平为：

$$[C] = 36.3 + 36 - 196.8 = -124.5dBW = -94.5dBm$$

$$\text{从而 } [C/T_{SYS}] = -124.5 - 10\lg(111.37) =$$

$$-144.97dBW/K$$

卫星转发器的带宽为 $B = 36MHz$ ，波尔兹曼常数为 $K = 1.38 \times 10^{-23}$ ，则：

$$[C/N] = [C/T_{SYS}] - [B] - [K] = -144.97 - 75.56 + 228.6 = 8.07dB$$

通常模拟接收机的静态门限为 4dB，动态 (JND) 门限为 7dB，此时的余量为 1dB，从接收门限上看，可满足一般的接收。再利用公式 (12) 计算一下接收机的人口电平：

$$C_R = -94.5 + 62 - 15 - 8 = -63.5dBm$$

该值已接近正常工作电平范围的下限 (-65dBm)。所以此时的使用条件是不合适的，难以保证高质量的、稳定的接收。也就是说，该天线带的接收机太多了。

现在，仍采用图 1 所示的连接方式，但将第一级功分器改为二功分，即 $m = 2$ ，此功分器的插入衰减为 4dB（真值为 2.5），其它条件不变，共可带 8 台接收机。则由公式 (7) 和 (11) 得到：

$$T_{SYS} = 40 + 35 + 2 \times [4 \times (290 + 2610) \times 2.5 \times 6.3 - (4 - 1) \times 290 \times 2.5 - 290] \times 31.6 \div 1.58 \div 10^6 = 82.21K$$

$$\text{从而 } [C/T_{SYS}] = -124.5 - 10\lg(82.21) = -143.64dBW/K$$

$$[C/N] = -143.4 - 75.56 + 228.6 = 9.39dB$$

该值已超过动态门限值近 2.5dB，余量很充足，再看接收机入口端的电平：

$$C_R = -94.5 + 62 - 15 - 4 - 8 = -59.5dBm$$

也在规定范围内，符合正常工作的条件。所以，这面天线带 8 台接收机是合适的。

作为对比，最后看一下图 2 所示的连接方式。与图 1 的方式相比，图 2 仅使用了一级功分器。此时从 p 点向右看过去的噪声温度为：

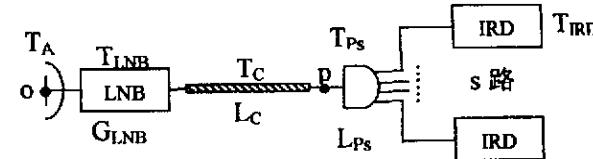


图 2

$$T_p = s \times [L_{ps} \times (T_0 + T_{IRD}) - T_0] \quad (13)$$

在前面所举的例子中，如果采用图 2 所示的连接方式带 8 台接收机，考虑到八功分器的插入衰减

用单片机实现 PSM 发射机功率控制及保护

施泽周 王崇圣 毕金明

(安徽人民广播电台 230065)

摘要：本文叙述的是利用单片机技术，实现 PSM 制式发射机功率控制及保护的硬、软件组成及工作原理。

关键词：PSM 单片机 调制器 功率控制器

我国广播发射系统，近年来引进 PSM (Pulse Step Modulation) 技术，改造了一批中短波发射机。发射机的调制器部分虽然实现了固态化，但由于其使用了大量的门电路、计数器、触发器以及其他分立元件，使得发射机的电路复杂、工作可靠性降低。笔者依据 PSM 制式发射机功率控制器的原理，按照它的基本控制功能，应用单片机技术对功率控制器进行重新设计，可既使其电路简单化，又实现了对发射机的功率控制及保护的智能化。

1 PSM 制式发射机功率控制器功能简介

PSM 制式发射机的功率控制器，是该制式发射机调制器的重要组成部分。通过功率控制器，可以对发射机输出功率进行设置和调整；发射机出现

异态和故障时，功率控制器可自动降低发射机的输出功率或封锁、关断发射机高压，并给出相应的指示。功率控制器的电路组成框图如图 1 所示。

2 硬件组成

由图 1 可见，PSM 制式发射机功率控制器的功能，是可以采用单片机来实现。系统硬件组成如图 2 所示。

来自调制器音频通路板的音频 + 直流信号，经电压跟随器 IC5、IC6 分别加到决定发射机高低两档功率的电子电位器 IC2、IC3 的 V_h 端。电子电位器 IC2、IC3 的 V_w 端输出幅度可调的音频 + 直流信号，并由双向模拟开关 IC4 切换输出，控制发射机输出功率的大小。发射机高低两档功率的输出

为 12dB (真值为 15.85)，则由公式 (11) 和 (13) 可得出系统的噪声温度为：

$$\begin{aligned} T_{\text{SYS}} &\approx T_A + T_{\text{LNB}} + T_p \times L_C / G_{\text{LNB}} = 40 + 35 + \\ &8 \times [15.85 \times (290 + 2610) - 290] \times 31.6 / 1.58 \\ &\times 10^6 = 82.31 \text{K} \end{aligned}$$

从而

$$\begin{aligned} [C/T_{\text{SYS}}] &= -124.5 - 10\lg(82.31) \\ &= -143.65 \text{dBW/K} \end{aligned}$$

$$[C/N] = -143.5 - 75.56 + 228.6 = 9.39 \text{dB}$$

再看接收机的人口电平：

$$C_R = -94.5 + 62 - 15 - 12 = -59.5 \text{dBm}$$

可见，用一级八功分器和用两级功分器分成 8 路时的结果是一样的。这是因为功分器是无源器件，且一级八功分器与两级功分器 (1 只二功分、2 只四功分) 分 8 路时的插入衰减大致相同。所

以，采用何种分配方式并不重要。据此，我们可以按只有一级功分器的情况来推算天线带负载的能力，也就是说，先根据已知的接收电平 C 和满足接收机正常工作的 $[C/T_{\text{SYS}}]$ 确定 T_{SYS} ，再利用以下公式 (由公式 (11) 和 (13) 导出) 来确定可带的接收机的数量 s ：

$$s = (T_{\text{SYS}} - T_A - T_{\text{LNB}}) / L_C [L_{\text{ps}} \times (T_0 + T_{\text{IRD}}) - T_0] \quad (14)$$

有了 s ，再确定需要用几级功分器，最后用公式 (12) 验算接收机人口处的电平。

以上结论和方法是根据一个理想的模型推导出来的，但该模型非常接近实际的连接方式，所以可方便地用于具体场合中卫星接收天线带负载能力的估算。

(收稿日期：2001—09—15)

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>