

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R RA.1237-2 建议书
(01/2010)

**保护无线电射电天文业务
不受宽带数字调制应用
产生的无用发射的干扰**

**RA 系列
射电天文**

前言

无线电通信部门的职责是确保卫星业务等所有无线电通信业务合理、平等、有效、经济地使用无线电频谱，不受频率范围限制地开展研究并在此基础上通过建议书。

无线电通信部门的规则和政策职能由世界或区域无线电通信大会以及无线电通信全会在研究组的支持下履行。

知识产权政策 (IPR)

ITU-R的IPR政策述于ITU-R第1号决议的附件1中所参引的《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策》。专利持有人用于提交专利声明和许可声明的表格可从<http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>获得，在此处也可获取《ITU-T/ITU-R/ISO/IEC的通用专利政策实施指南》和ITU-R专利信息数据库。

ITU-R 系列建议书

(也可在线查询 <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

系列	标题
BO	卫星传送
BR	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
BS	广播业务（声音）
BT	广播业务（电视）
F	固定业务
M	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
P	无线电波传播
RA	射电天文
RS	遥感系统
S	卫星固定业务
SA	空间应用和气象
SF	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
SM	频谱管理
SNG	卫星新闻采集
TF	时间信号和频率标准发射
V	词汇和相关问题

说明： 该ITU-R建议书的英文版本根据ITU-R第1号决议详述的程序予以批准。

电子出版
2017年，日内瓦

© ITU 2017

版权所有。未经国际电联书面许可，不得以任何手段复制本出版物的任何部分。

ITU-R RA.1237-2* 建议书

保护无线电射电天文业务不受宽带数字调制应用
产生的无用发射的干扰

(ITU-R 145/7号课题)

(1997-2003-2010年)

范围

本建议书涉及保护无线电射电天文业务不受宽带数字调制应用产生的无用发射的干扰问题。技术信息见附件1，重点涉及卫星系统对射电天文的干扰电平。建议书提出，应对采用宽带数字调制技术的系统采取一切可行措施，以减少无用发射。

国际电联无线电通信全会，

考虑到

- a) 射电天文业务及其它无源业务依然对科学有着重大实质性贡献；
- b) 射电天文方面的进展严重依赖于灵敏度达到最高极限的观测；
- c) 所有业务都能受益于降低或消除频谱中无用发射的措施；
- d) 第739号决议（WRC-15，修订版）确定了一个磋商程序，当一些在特定频段运行的业务的下行链路的无用发射超过某些射电天文学频段中的有害干扰电平时，应遵循该程序；
- e) 发射机，特别是空间站的发射机，越来越多地采用直接序列扩频（DSSS）和其它宽带数字调制技术，它们产生的无用发射边带可能会波及远离附件1提及的载频的频率；
- f) 过滤无用发射边带的技术手段已开发完成并成功投用；
- g) 节约频谱的数字调制技术是众所周知的，它自身产生的无用发射电平很低，而且这类技术已得到论证；
- h) 从处于划分给产生无用发射频段之外的划分频段的受害业务角度看，杂散域和带外域的干扰之间没有实际差别，

注意到

- a) 有关采用可能对射电天文台造成干扰的DSSS调制方式的卫星系统的实例，见ITU-R SM.2091号报告，

建议

- 1 对于采用宽带数字调制技术的系统，应采取一切可行的措施，以降低划分给业务的频段以外的边带的电平，同时考虑到附件1提供的指导原则。

* 无线电通信第7研究组于2017年根据ITU-R第1号决议对此建议书进行了编辑性修正。

附件 1

宽带数字调制应用的无用（杂散或带外）发射 对射电天文的干扰

1 引言

经验表明，对射电天文造成严重破坏的干扰多源于卫星发射机。大多数这类干扰产生于无用发射，即互调及其它非线性效应和数字传输扩展边带，有时扩展至卫星发射机指配带宽以外的分配带宽的许多倍。得到稳妥地面发射屏蔽保护的天文台站，未能针对卫星发射提供保护，而且也无法对卫星加装过滤器或采用其它缓解技术。鉴于卫星的使用向多用途扩展，卫星的无用发射对射电天文业务构成了最严重的威胁。

2 数字调制的杂散或带外发射

包括DSSS调制的数字调制扩频的使用，可能导致边带扩展。《无线电规则》（RR）第1.144和1.146款从杂散发射或带外发射角度对这些边带作了说明。带外发射和扩频边带都来自于调制过程，但认定它处于“紧邻”必要带宽的位置。根据通常的理解，这意味着带外发射的频率范围是必要带宽的数倍。杂散发射处于距必要带宽更远一些的位置，并可在不影响相应信息传输的情况下被压缩，而扩频边带同样具有这两种特性。这类边带可在相邻频段引起严重干扰或大幅扩大其频率间隔。形成无用发射域概念的主要目的在于澄清定义（见《无线电规则》第1.146A和1.146B款）。

3 对射电天文的干扰电平

干扰信号变得对射电天文有害的阈值电平，见ITU-R RA.769建议书。它们以天线端口接收功率、接收功率谱密度、功率通量密度（pfd）和频谱功率通量密度（spfd）的形式出现，通过对它们的计算得出整个频谱的具有代表性的一些列射电天文频段。本表格所列的干扰电平，广泛适用于可能会干扰射电天文的大量有源业务。

《无线电规则》附录3以进入天线传输线的功率为标准，规定了无用发射限值。然而，规定这些限值时并没有考虑到对无源业务的保护，因此在某些情况下可能不足以对RAS提供保护。此外，为从射电天文干扰的角度理解这类限值，必须了解每一种潜在干扰源的发射天线特性，以及发射天线和所有射电天文天线之间的路径损耗。此外，这种形式的限值不适用于有源天线阵列，因为那里没有单一的发射机输出端口。人们基于这种考虑提出，在射电天文台的方向上，最好利用有效全向辐射功率（EIRP）规定发射限值。

可将对地静止卫星的发射机作为EIRP的使用范例加以考虑。由于从地球许多地区的地平线上都可见这类卫星，它可能对一个或多个射电天文台方向展示其旁瓣。然而，下行链路的脚印可能覆盖较小的地球面积，其中可能没有射电天文台。因此，卫星系统设计人员可以选择减少旁瓣反应，作为避免干扰射电天文的一个措施。如果以天文台方向的e.i.r.p确定限值，就能够做到这一点。但是，如果效仿《无线电规则》附录3的现状，以进入天线传输线的功率确定限值，那么就需假设在最坏的情况下，发射天线的全增益可能指向天文台。达到这种限值可能会更加困难。因此看来，指向射电天文台方向的e.i.r.p.值，可为保护射电天文提供一个确定无用发射限值的更适用形式。这一结论同样适用于所有其它类型的传输，包括地基发射机的传输。只要了解传播损耗，就能从ITU-R RA.769建议书的pfd 或 spfd之中得出e.i.r.p.值。

还应指出的是，必须了解干扰计算当中无用发射的绝对值，而不是相对于主要传输的分贝数。在许多情况下，无用发射的频率距主要传输很远，而且受害业务和主要传输占据不同的分配频段。因此，合理的做法是以绝对的pfd 或 spfd单位，而不是以主要发射的分数确定限值。

4 来自卫星的干扰

RAS站的干扰来自对地球静止或非对地静止轨道卫星业务的下行链路。前一种情况的干扰在两个当中的任何一个位置上都不会出现差异。在第二种情况下，干扰功率会在空中时间和位置上有所不同。

在以连续观测为主的频段，用于计算有害干扰阈值电平的带宽是分配给RAS的带宽（源自ITU-R RA.769建议书表1）。在以谱线观测为主的频段，用于计算干扰阈值电平的信道带宽是假设的RAS接收机信道带宽的频谱线（源自ITU-R RA.769建议书表2）。

4.1 来自对地静止卫星系统（下行链路）的无用发射

可按下列方式估算无用发射的 pfd 值：

$$pfd_{\text{无用发射}} = \int_{f_1}^{f_2} \frac{p(f) \cdot g(f)}{SL \cdot ATM(f)} df \quad (1)$$

设：

$pfd_{\text{无用发射}}$: RAS台站的 pfd 值(W/m²)；

f_1, f_2 : RAS 参考带宽 (Hz) 的上下两个边缘；

$p(f)$: 传输天线边缘的无用发射功率密度 (W/Hz)；

$g(f)$: 射电天文台方向的传输天线增益；

SL : 扩展损耗 (dB)；

$ATM(f)$: 作为频率函数的 $f_1 - f_2$ 频段的大气吸收。

应该指出的是，传输信号的功率密度、系统增益天线子系统和大气吸收随频率变化，因此表示为频率的函数。正如上述通带频率所示，RAS台站所在地的无用发射pfd值是所有这

些函数的积。在无用发射功率密度、天线增益以及大气吸收在整个无源业务接收机的带宽上都保持恒定时，函数可以简化为：

$$pfd_{\text{无用发射}} = \frac{P \cdot g}{SL \cdot ATM} (f_2 - f_1) \quad (2)$$

在有源频段邻近无源频段的情况下，可以假设传输天线的增益在传输频段和无源频段均大致保持恒定。然而，情况往往并非如此，当无源频段低于天线子系统的波导馈送网络的截止频率时尤其不同。

那么就需要将这一pfd电平与ITU-R RA.769建议书列出的阈值电平进行比较。

4.2 来自非对地静止卫星系统（下行链路）的无用发射

为了评估来自非对地静止卫星固定业务（FSS）系统对RAS站的干扰，除了上述提供了一特定卫星的pfd值的计算方法之外，还应采用ITU-R S.1586建议书提出的方法。同样，为了评估非对地静止轨道卫星移动业务（MSS）和卫星无线电导航服务（RNSS）对RAS台站的干扰，应采用ITU-R S.1583建议书提出的方法。

5 重点涉及射电天文业务的卫星无用发射

5.1 直接序列扩频

在没有脉冲整形的情况下，这种调制会导致频率为sinc方函数形式并具有极其广泛边带的功率谱。如果 f 是从载波频率测得的频率，而 T 为扩频函数的基本阶段，频谱的形式为：

$$(\sin(\pi f T) / (\pi f T))^2 \quad (3)$$

边带的峰值电平下降为 f^{-2} ，即在 f 中只有6分贝/倍频程。在最坏的情况下，辐射谱在广泛的频率范围内遵循方程式(3)的方式，并可能在远离载波的频率上对射电天文造成严重干扰。然而在采用这种技术的系统中，通常只有发射频谱的中央极大值能够为接收机的IF过滤器所接受，因此额外的边带为无用发射。RNSS信号可能不是这种情况，这种信号可能还需要考虑到相关过程中的旁瓣，以获得足够精确的系统定位（见ITU-R SM.2091号报告）。

如果扩频载波邻近射电天文频段，通过载波频率滤波器消除载波附近的无用扩频边带未必可行。减少无用边带的另一种方法是修改调制程序，使它们出现衰减。可以通过在扩频信号的基带一级发挥作用的现代数字处理技术（例如高斯滤波最小频移键控）实现准确的频谱整形。

为避免达到有损于射电天文业务的阈值，采用DSSS的系统需要利用滤波和频谱整形的综合方式，降低边带电平。这些技术已为所有在用的RNSS系统所采用，不过未来可能需要进一步改进其中的一些系统。

对137-138 MHz、387-390 MHz和400.15-401 MHz频段的空对地卫星移动传输的划分，也会引起来自扩频的扩展边带或其它无用发射的卫星干扰问题。在这种情况下，150.05-153 MHz、322-328.6 MHz、406.1-410 MHz 和可能的608-614 MHz为射电天文频段。一些相关的射电天文频段被用于中性氢线的高度红移发射观测，对宇宙最遥远的部分进行探索。低于1400 MHz频率的射电天文频段，为这类研究提供了具有最伟大科学价值且其它频段的观测无法替代的独特能力。

5.2 数字信号的相位调制

采用二进制相移键控（BPSK）或正交相移键控（QPSK）调制的数字数据传输，可形成类似DS扩频等sinc方形式的频谱。在这种情况下，方程式(3)中的 T 在使用BPSK时代表一个比特周期，在使用QPSK时代表两个比特周期。高数据速率边带可能会与扩频边带一样引起麻烦。可以采用在调制过程中过滤或衰减边带等相同的解决方案。

另外一种可能对射电天文造成麻烦的宽带数字调制方式的例子，源于将地面和卫星传输共用的1452-1492 MHz频段划分给数字音频广播（DAB）。1400-1427 MHz射电天文频段内的传输的边带如不得到足够的衰减，就可能超过射电天文的干扰门限。采用的一种名叫“编码正交频分复用”（COFDM）调制方式，是由1536个载波组成的，每个都经过QPSK调制，并具有方程式(3)所描述的那种形式的功率谱，即 $T = 1.25$ ms。每个都是一个窄带数字调制信道。载波的间隔为1 kHz。由此产生的复合功率谱在1.54 MHz频段上是平坦的，但在频段边缘陡然下降了45 dB。远端边带电平下降约为 f^{-2} ，其中 f 是从复合频带中央测得的。可能需要附加过滤，以避免超过射电天文干扰门限的集总无用边带spfd。这类过滤不得有损于专门设计了可承受附加过滤的COFDM系统的运行。如果这一频段的DAB采用某种替代形式的调制方式，可能产生的干扰问题应通过地面DAB和射电天文之间的协调加以解决。

6 来自地面发射机的杂散和带外发射

地面发射机的杂散和带外发射给射电天文造成的麻烦，通常小于卫星或飞机的发射，因为射电天文观测台往往处于其地形可用作屏蔽的远程站点。然而有实例说明，地面电台的1610-1626.5 MHz频段的上行链路发射，可能与射电天文使用的1610.6-1613.8 MHz频段发生冲突。由于射电天文业务在1610.6-1613.8 MHz频段具有一个主要业务划分，而且《无线电规则》第5.364和5.372款也保护它免受在1610-1626.5 MHz频段运行的MSS无用发射的干扰，因此可能需要进行协调。一些系统的上行链路可能采用DSSS传输，但如果不进行协调，即使在发射谱的主瓣处于射电天文频段之外，这些系统的边带也会造成干扰。