

国 际 电 信 联 盟

ITU-R

国际电联无线电通信部门

ITU-R SM.2125-1 报告

(06/2011)

**高频/甚高频/特高频监测接收机
和电台的参数和测量程序**

**SM 系列
频谱管理**



国际电信联盟

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 系列报告

(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

说明： ITU-R该报告英文版是有关研究组按照ITU-R第1号决议所述程序批准的。

电子出版
2011年，日内瓦

© ITU 2011

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 SM.2125-1 报告*

高频/甚高频/特高频监测接收机
和电台的参数和测量程序

(2007-2011年)

执行摘要

本报告阐述了用于确定监测接收机和监测系统技术参数的测量程序。本报告并未阐述所有可能的方案，亦并非总是确定参数的最佳方案。

本报告在一节中阐述了监测接收机关键参数的验证，在另外一节中阐述了监测电台及测向仪等其它集成系统的技术参数验证。两节在内容上会出现重叠，甚至名称也相同。但这项应被视作不同参数。

将规范分为关键参数和电台参数的原因是，监测接收机既可作为单独的设备购买，亦可作为集成的系统采购，而独立接收机的参数有时无法确定。

目录

	页码
1 引言	2
2 关键接收机参数	2
2.1 IP_2/IP_3	2
2.2 灵敏度	3
2.3 接收机噪声系数	3
2.4 IF滤波器的特性	4
2.5 接收机的扫描速度	5
2.6 DF接收机的关键参数	5
3 监测和DF电台参数测量程序	6
3.1 监测和DF电台的 IP_2/IP_3 测量	6
3.2 监测和DF电台的灵敏度测量	8
3.3 DF电台的关键参数	17

* 无线电通信第1研究组于2012年对本报告做了编辑性修正。

1 引言

《国际电联频谱监测手册》（2011年版）中包含监测接收机和测向仪（DF）/监测电台的典型规范，但并未规定用于确定这些规范的测量程序。该《手册》并未考虑到复杂系统的规范，例如，在监测接收机周边建立的完整监测/DF电台。

注1 – 《国际电联频谱监测手册》并非要设定一种标准，而是力求为频谱监测给予全方位的指导。

此报告阐述了相关的关键接收机参数和电台参数。经讨论的参数可由制造商或最终用户来确定。

2 关键接收机参数

2.1 IP_2/IP_3

监测接收机运行的环境中同时存在着强信号和弱信号。因此，接收机的一项重要特性就是，在不失真的情况下处理这些信号的能力。此特性被称之为接收机的线性特征，而量化线性特征的方式是通过 IP_2 和 IP_3 的值。

尽管接收机的前端对 IP_2 和 IP_3 的影响最大，但在数字接收机的情况下，中频（IF）放大器的滤波器以及任何其它放大器都会影响 IP_2 和 IP_3 。因此，在进行 IP_2 和 IP_3 测量时应考虑到所有这些因素。 IP_2 和 IP_3 测量是通过在接收机端插入两个信号，并测量接收机的响应。对于非线性的情况，会生成两个插入信号产物，这些产生的电平是衡量接收机非线性程度的方式。此外，接收机组件自身的线性特征以及测量出的 IP_2 和 IP_3 值，还取决于下述参数：

- 两应用信号间的频率与电平差，
- 选择的测试频率。

2.1.1 二阶互调产物的计算原理

在 f_1 和 f_2 （ $f_1 < f_2$ ）处，相同r.m.s.功率（ P_{in} ）的两个测试信号被插入监测接收机的天线输入端。由于非线性的关系，在频率 f_3 和 f_4 处可能会出现两种互调产物：

$$f_3 = f_2 - f_1 \text{ 和 } f_4 = f_2 + f_1$$

这些频率亦可用 Δf 参数书写（频差）。 Δf 取决于测量的类型：

$$f_1 = f_3 + \Delta f \text{ 和 } f_2 = 2 \times f_3 + \Delta f, \text{ 且 } \Delta f = 2 \times f_1 - f_2$$

然后，则应计算输入端的二阶互调产物：

$$IP_2 = P_{in} + a$$

其中:

- IP_2 : 被测监测接收机输入端的二阶互调产物
 Pin : 两插入测试信号的r.m.s.功率 (dBm)
 a : 测试信号的电平与输入端最高互调产物电平之间的差 (dB)。

2.1.2 三阶互调产物计算的原理

在 F_1 和 F_2 ($F_1 < F_2$) 处, 相同r.m.s.功率 (Pin) 的两个测试信号被插入监测接收机的天线输入端。由于非线性的关系, 在频率 F_3 和 F_4 处可能会出现两种互调产物:

$$f_3 = [(2 \times f_1) - f_2] \text{ 和 } f_4 = [(2 \times f_2) - f_1].$$

这些频率亦可用 Δf 参数书写 (频差)。 Δf 取决于测量的类型:

$$f_1 = f_3 + \Delta f \text{ 和 } f_2 = f_3 + 2 \times \Delta f, \text{ 且 } \Delta f = f_2 - f_1$$

然后, 则应计算输入端的三阶互调产物:

$$IP_3 = Pin + a/2$$

其中:

- IP_3 : 被测监测接收机输入端的三阶互调产物
 Pin : 两插入测试信号的r.m.s.功率 (dBm)
 a : 测试信号的电平与输入端最高互调产物电平之间的差 (dB)。

2.2 灵敏度

频谱监测接收机的灵敏度被定义为监测接收机输入端的最小信号电压 (μV), 它可进行解调并对接收信号进行耳听。

最小可听信号电平的确定可以使用信号干扰比, 其中包括噪声和干扰 (SINAD) 的测量。

2.3 接收机噪声系数

噪声系数是监测接收机的主要规范内容之一。噪声系数与监测接收机的灵敏度密切相关。通过监测接收机的噪声系数因子, 当应用参考噪声时, 监测接收机产生的噪声功率会上升; 在监测接收机的输入端测量噪声系数。

可使用下述几种方式测量监测接收机的噪声系数:

- 增益法;
- “Y因子”法 (噪声二极管法);
- 灵敏度法

2.4 IF滤波器的特性

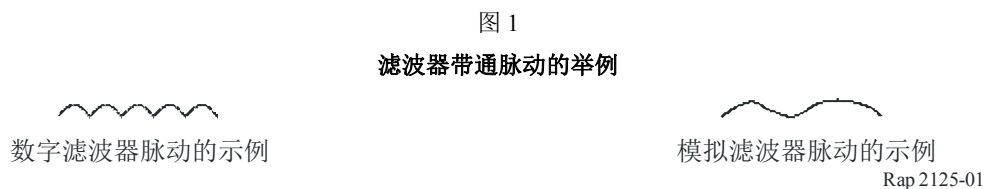
对于大部分监测和测量应用而言，各类IF滤波器的形状、带宽和质量很重要。人们基本使用四种参数来描述IF滤波器的特性。

2.4.1 IF带宽

此带宽被规定为接收机IF滤波器-3 dB至-6 dB点间的距离。

2.4.2 IF滤波器的带通脉动和非对称性

带通中的脉动方式规范取决于制造厂商。主要存在两种方式，对数字和模拟滤波而言，其优势各有千秋。对于模拟滤波器，由于不存在标记且脉动的分布不均匀，因此须使用峰值间的数值。对于数字滤波器，由于存在标记且脉动分布均匀，因此使用峰值与平均值间的数值（见图1）。



2.4.3 IF滤波器带通曲线和带外压缩

带外压缩是指压缩远离滤波器边缘的信号，其距滤波器的中心有一段距离。根据滤波器的建造及其安装与终接的情况，不同类别接收机使用不同的数值。对于使用数字滤波器，带外压缩取决于所用A-D变频器的接收机，所以此参数尤其重要。由于滤波器不恰当终接造成的异常，此压缩可能取决于与滤波器中心频率间的实际测量距离。

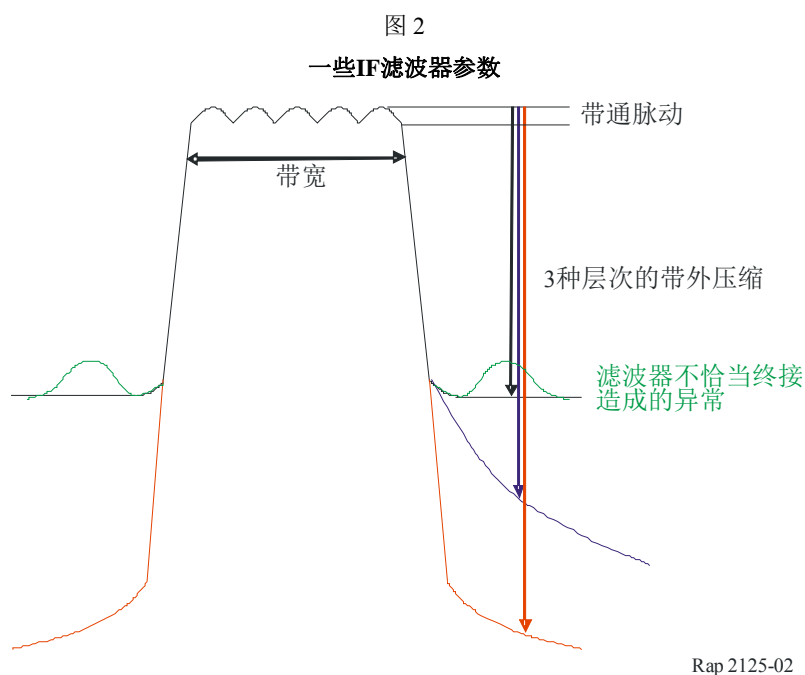
2.4.4 IF滤波器的整形因子

整形因子被定义为 n dB带宽与-6 dB之比。必须定义因子 n ，例如 $n = 60$ dB或 $n = 50$ dB。应对每个滤波器作出规定（见图 2）。

2.4.5 IF滤波器组延迟

组延迟是指一批信号在接收机IF滤波器中经过时产生的共同时间差。

在理想的滤波器中，IF滤波器内不同频率位置处应用的所有信号传输的延迟相同，因此输入端的相位差与滤波器输出端信号间的相位差是相同的。组延迟亦可被称为滤波器的相位线性。



长时间的组延迟主要出现在滤波器带通的边缘，但在高阶滤波器中，亦会出现在带通之内。作为首要原则，我们可以认为窄带滤波器和低整形因子（滤波器的边缘陡峭）的滤波器，组延迟更长，性能较低。在此方面，数字和模拟滤波器基本没有差别。

这对监测接收机的用户意味着什么？接收机将这些边缘陡峭的宽带滤波器用于解调数字信号，如果滤波器的组延迟过高，则特别是相位解调器的性能会受到损害。此外，如果滤波器的组延迟过长，可听音的监测亦是十分繁重的工作。信号的声音会失真且噪声很大。在通用监测接收机中，滤波器的组延迟应在各种IF滤波器的特定限值范围之内。

一种测量滤波器组的延迟方法是使用网络分析仪，在滤波器的带通内进行扫描，并记录相位/频率表现的变化。组延迟用时间表示（毫秒、纳秒）。

2.5 接收机的扫描速度

扫描速度（有时称“sweep（扫描）”速度）是一种测量接收机在给定频带内的一系列频率上，提供信号电平值速度的方法。其测量单位为MHz每秒。

扫描速度应包括，任何频段切换时间、扫描末段的回扫时间、本地振荡器稳定时间和所有计算时间产生的影响。换言之，扫描速度参数可用于计算再访周期。另外，亦可单独列出影响扫描速度的独立元素，这样用户便可确定任意频率范围的再访时间。

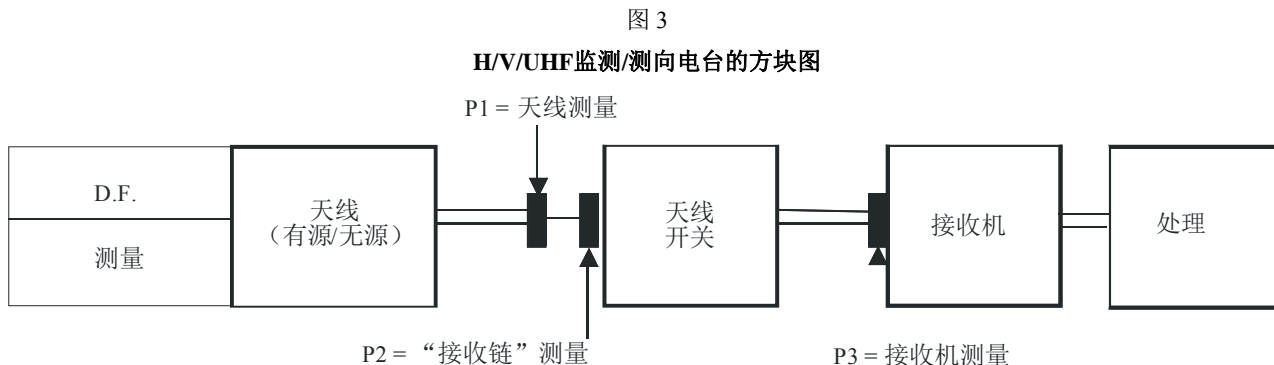
2.6 DF接收机的关键参数

根据需要测量的参数，应认为DF接收机是一种监测接收机或DF电台接收链，且相应的参数测量应适用。

3 监测和DF电台参数测量程序

图3给出了典型的频谱监测电台（和测向电台）的方块图。

可定义一些测量点，来描述天线（P1）、接收链（P2）或接收机（P3）。



Rap 2125-03

该天线通常由一些单元天线（偶极或其它类型）组成。这些单元天线可能包含开关放大器、适配单元等。如果这些组件与一个唯一的单元天线相连，则它们应为该天线不可分割的组成部分。

另一方面，用于选择若干单元天线（测向或监测天线）的天线切换器不应被视作该天线不可分割的一部分，而是作为接收链天线的开关。与此类似，若干单元天线共用的放大器、滤波器，以及频率变更或换位组件，亦不应被视作是该天线的组成部分，而是接收链中的一部分。

本节描述了天线（P1）和接收链（P2）的测量结果；第2段描述了监测接收机（P3）的测量结果。

连接电台（和接收链）的电缆，应是工作电台使用的典型电缆：

- 对于移动电台，用于测试的电缆应为10 m；
- 对于固定电台，用于测试的电缆应为20 m。

3.1 监测和DF电台的 IP_2/IP_3 测量

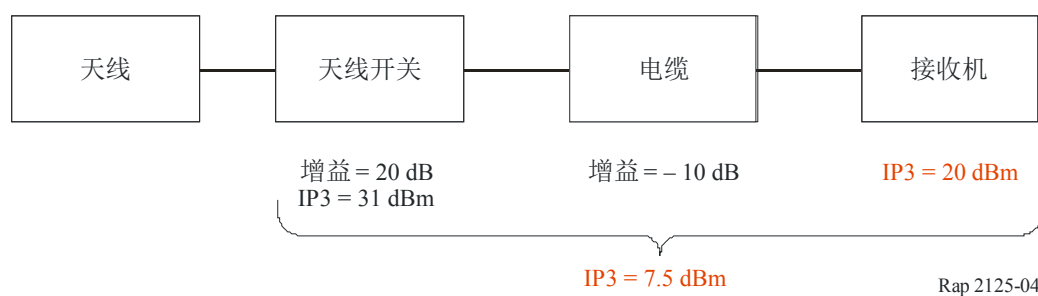
互调的测量取决于其产生的条件。这样，最终用户便可比较监测接收机与频谱监测及DF电台的性能。因此，重要的是为测量二阶（ IP_2 ）和三阶（ IP_3 ）互调产物规定程序。

频谱监测或DF电台所有层面均有二阶和三阶互调产物：天线（测向和/或监听天线）、天线开关及电缆、接收机。

为了了解互调产生的现象，有必要知道完整监测电台产生的互调产物。

在图4给的图形示例中，接收机的 IP_3 为20 dBm，但在天线输出端测出的同一 IP_3 降至了7.5 dBm。此示例显示，接收机的性能并不一定反映出电台的性能。

图 4
电台 IP₃ 测量的示例



必须对天线可能产生的互调产物进行描述。这些非线性特征是针对工作单元和/或对应的变压器产生的。因此，测量将给出天线（P1）输出端的IP₂和IP₃值。

接收链IP₂和IP₃值应在无天线的完整电台处测量，并在接收链（P2）的输出端处给出。监测接收机IP₂和IP₃的测量值在第2.1段中做出了描述。

3.1.1 天线的IP₂和IP₃测量

测试信号由发射天线使用。

接收机程序上存在的主要差别在于，测量参考使用的是天线的输出端，因此公式稍有不同：

接下来，便可计算出天线输出端的二阶互调产物：

$$IP_{2S} = P_{out} + a$$

其中：

- IP_{2S}: 为天线输出端的二阶互调产物
- P_{out}: 天线输出端测出的，两插入测试信号的r.m.s.功率（dBm）
- a: 插入测试信号的电平与输出端最高互调产物电平之间的差（dB）

然后，则应计算天线输出端的三阶互调产物：

$$IP_{3S} = P_{out} + a/2$$

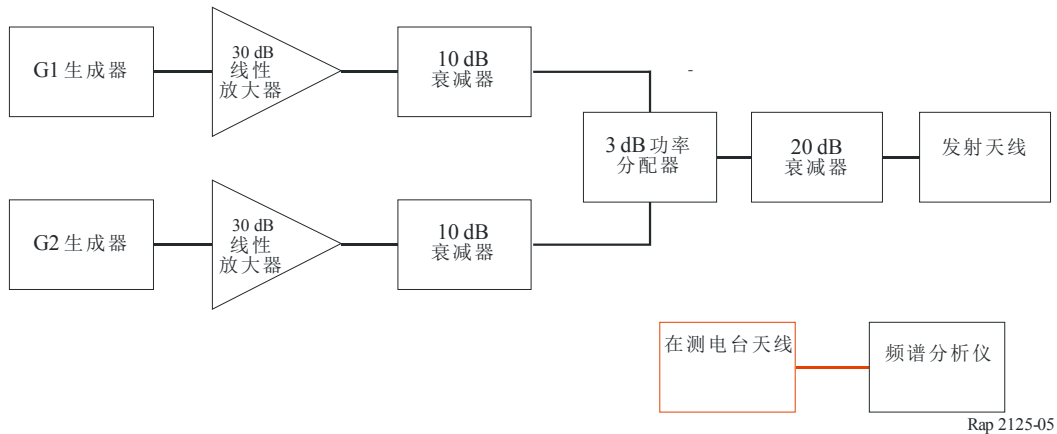
其中：

- IP_{3S}: 为天线输出端的三阶互调产物
- P_{out}: 天线输出端测出的，两插入测试信号的r.m.s.功率（dBm）
- a: 插入测试信号的电平与输出端最高互调产物电平之间的差（dB）

天线输出端的信号应能够测量。如果积分的限制，信号不可用，则应在完全相同的参考天线上测量该天线上可提供输出的信号。

图5（包括发射天线）提出的测量，应比测量监测接收机具有更高的性能。测量设置的互调产物应比被测量的互调产物高10 dB。

图5

天线 IP_2/IP_3 的测量设置

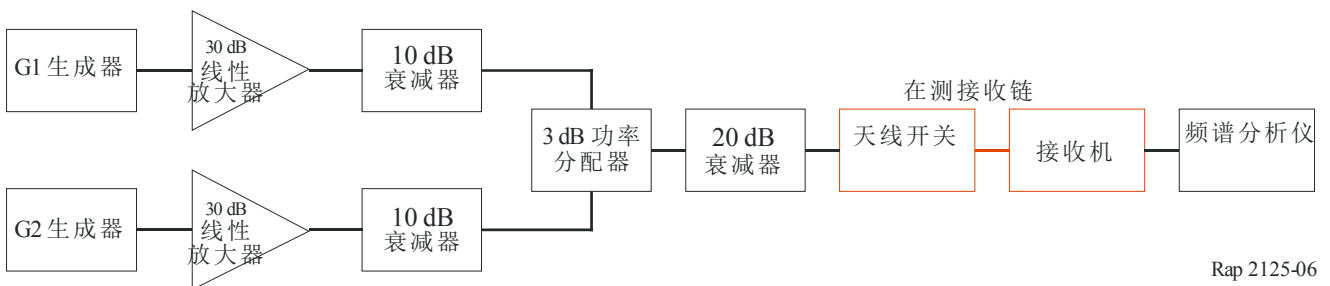
电平测量的精度应高于1 dB。

3.1.2 接收链 IP_2 和 IP_3 的测量

相同的原理适用于第2.1段描述的监测接收机测量值。

此原理适应适用于监测电台或DF电台。如果同时存在多个信道，可将一个用于测试。同时为监测电台和DF电台定义了测量方式。图6给出了建议此测量使用的设置。

图6

接收链 IP_2/IP_3 测量的设置

电平测量的精度应高于1 dB。

3.2 监测和DF电台的灵敏度测量

对监测电台或测向电台电平进行测量时，无线电环境可能会影响测量。当收到弱信号时，接近电台灵敏度限值处存在的，附近障碍物反射、四周的噪声和其它无线电信号可能会对测量产生干扰。

传播媒介、多径效应和干扰产生的误差，不应包括在电台的灵敏度测量之中。因此，很难使用不加控制的站点进行灵敏度测量。

因此，建议使用两种测试环境：

- 在使用确定频率的平台上进行测量。
- 在使用受限频率的开放测试站点（OATS）进行测量，在这些站点测量不会受到附近障碍物反射、四周噪声和其它无线电信号的干扰。

制造商应公布该平台的测量结果。OATS处的测量应被用于确认受限频率的平台测量结果。

出于下述原因，不应在OATS处进行VLF/LF/HF电台灵敏度测量：

- VLF/LF/HF信号波长要求有很长的发射机/接收机距离；
- 大气噪声的干扰很难控制（取决于太阳黑子的活动，延时等）。

因此，仅应对VLF/LF/HF电台灵敏度进行平台测量（9 kHz至30 MHz）。V/UHF电台灵敏度应同时进行平台和OATS测量。

3.2.1 平台灵敏度测量原则

为了描述监测电台的灵敏度特性，应进行三种主要测量：

- 天线因子的特征（参见图3 – P1测量点）；
- 天线噪声底值的特征（参见图3 – P1测量点）；
- 接收链灵敏度的特征（参见图3 – P2测量点）；

接下来，平台灵敏度的测量被分为：

- 天线因子的测量，其目的是给出天线作为接收域函数情况下的功率值。第3.2.1.1段描述了这一测量结果。
- 天线噪声底值的测量，描述了天线对电台噪声的影响。第3.2.1.2段中对此测量进行了描述。
- 接收链灵敏度的测量。第3.2.1.3段对监测电台的测量进行了阐述，第3.2.1.4段对测向电台的测量进行了阐述。

为了利用天线因子、天线噪声底值和接收链的灵敏度来计算电台的灵敏度，需采取两个步骤。

第一步是天线对电台噪声的影响：

$$NFa = 10 \times \log \left[10^{\left(\frac{174 + Nfloor}{10} \right)} + 10^{\left(\frac{NFrc}{10} \right)} - 1 \right] - NFrc$$

式中：

NFa: 天线对电台噪声的影响（dB）

NFrc: 电台接收链的噪声因子（dB）

Nfloor: 以dBm/Hz为单位的天线噪声底值（测量值 – 参见第3.2.1.2段）。

接收链的噪声因子测量程序（图3 – P2 测量点）与接收机噪声因子的测量采取完全相同的方式。

第二步是计算灵敏度：

$$S = AF + Src + NFa$$

式中：

- S : 电台的灵敏度 (dB(μ V/m))
- AF : 天线因子 (dB(μ V/m)) (测量值 – 请参见第3.2.1.1段)
- Src : 电台接收链的灵敏度限值 (dBm) (请参见第3.2.1.3段和3.2.1.4段)
- NFa : 天线对电台噪声的影响 (dB)，计算数值以上所述。

注 1 – 如果天线或子波段天线均为无源，则可认为天线未产生噪声。电台的灵敏度为：

$$S = AF + Src$$

3.2.1.1 天线因子

《国际电联频谱监测手册》(2011年版)中的第4.4.1.1.2段给出了天线因子的定义。接收天线的天线因子的计算采用，平面波电场除以标称负载(通常为50 Ω)的天线电压(V_0)：

$$AF = E - V_0$$

式中：

- AF : 天线因子 (dB/m)
- E : 电场 (dB(μ V/m))
- V_0 : 50 Ω 的输出电压 (dB(μ V))。

天线因子的测量分为两步：

- 参考天线接收场的测量；
- 被测天线电压的测量(监测或测向天线)。

测量的原理是要在测量天线所用电平之上生成一个已知的均匀场，并测量天线的输出电压。图7给出了一种建议用于这种测量的配置方式。

对于相位中心未知的天线(例如对数周期性结构)，在使用段测试距离的情况下(无回声室)，宜使用网络分析仪来确定的准确相位中心。参考天线和被测天线的相位中心应完全一致。

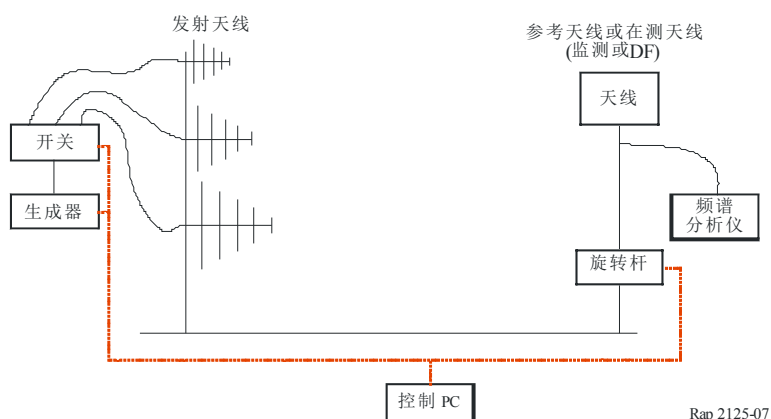
天线因子的计算不取决于天线的类型：

$$AF_{ant} = AF_{ref} - Lev_{ant} + Lev_{ref}$$

式中：

- AF_{ant} : 测向或监测天线的天线因子 (dB/m)
- AF_{ref} : 参考天线的天线因子 (dB/m)
- Lev_{ant} : 50 Ω 时的测向天线输出电压 (dB μ V)
- Lev_{ref} : 参考天线的输出电压 (dB μ V)

图 7
天线因子测量配置



Rap 2125-07

参考天线的选择标准如下：

- 天线的数量应取决于覆盖的频率范围。该天线应完全涵盖被测天线的频率范围；
- “参考”天线应具备具有相应精度的已知天线因子。应能够根据国家或国际标准对天线因子或增益类型追踪。

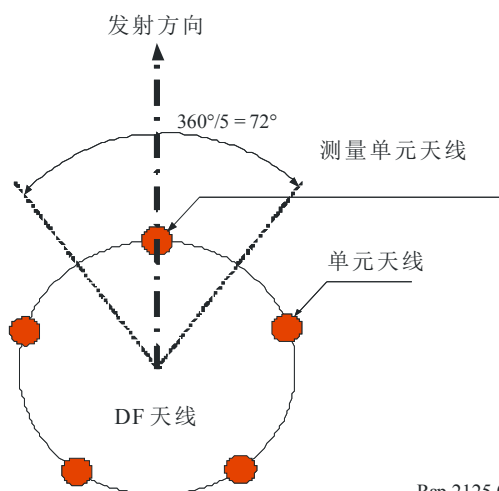
电缆的损耗未被包括在计算之内，但对于参考天线的测量和被测天线的测量而言，损耗值必须相同。

DF天线的情况

测向天线是由 N 个单元天线组成。每个单元天线的孔径角为 $360^\circ/N$ 。单元天线的测量应通过此孔径角实施。

例如，对于图8所示的使用5个基本偶极的天线而言，测量应在 72° 以上进行。

图 8
测向天线的电平测量



Rap 2125-08

在 $-(360^\circ/N)/2$ 至 $+(360^\circ/N)/2$ 角度的范围内进行十次电平测量。

针对各测量频率的计算接收信号：

$$Lev_{ant} = \frac{\sum(N_{mes})}{10}$$

注 1 – 由于精度取决于总天线阵的尺寸，因此此方法不适用于基于Watson-Watt的DF或基于多普勒的DF。

注 2 – 基准天线的测量与测向天线的测量所用的电缆和测量设备（频谱分析仪与测量电台）必须相同。

3.2.1.2 天线噪声底值

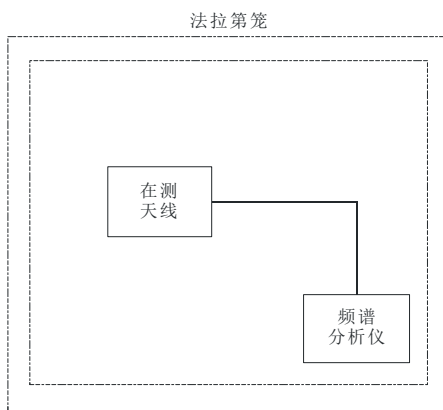
有源天线由直流电压或直流电流的组件构成。它们采用晶体管放大器、开关或相应的元件。有源组件产生的噪声功率密度会降低系统的灵敏度。

如图9所示，噪声底值的测量应在法拉第笼中进行。应使用频谱分析仪，直接在天线的输出端测量噪声底值（dBm/Hz）。

天线应被置于电静默的环境中，远离那些可能会影响阻抗或增益的结构。在实际工作上会使用屏蔽室（例如法拉第笼）。

图 9

天线噪声功率密度测量的设置



频谱分析仪应比被测天线的噪声密度的噪声底值高10 dB。可能需要一台低噪声放大器。

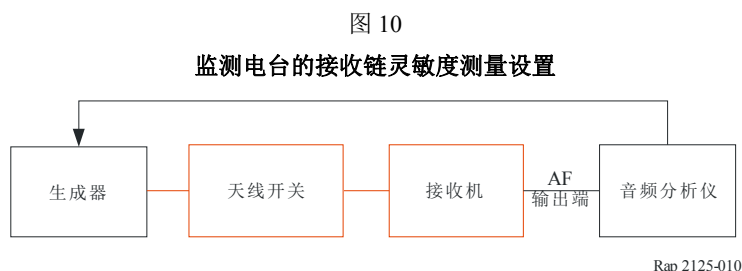
3.2.1.3 监测电台接收链灵敏度的定义

频谱监测接收链（*Src*）的灵敏度被定义为接收链输入端处的最小信号电压（ μV ），它允许对接收信号进行序列解调和可听音的监听。

测量使用的参数与监测接收机的参数相同。图10给出了建议此测量采用的设置方式。

应由SINAD测量来确定最小可听信号电平。

生成器被用于在接收链中应用具有期望振幅的信号。



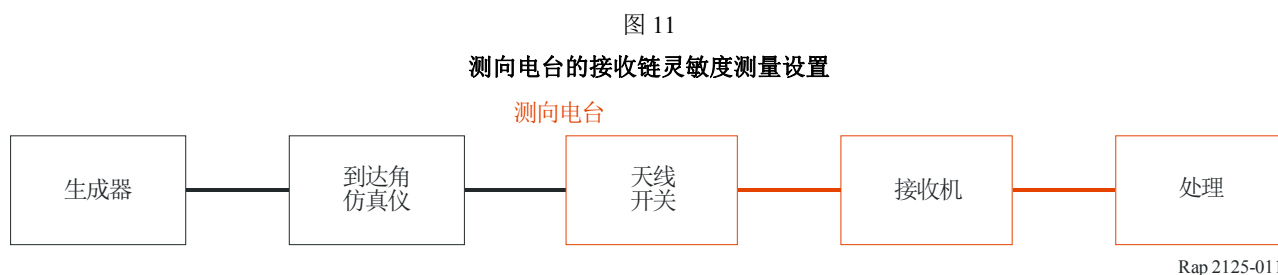
3.2.1.4 测向电台接收链灵敏度定义

改善后的灵敏度会扩大测向仪的覆盖范围，或者在信号很弱的情况下保留必要的精度。

当接收信号的电平下降时，灵敏度的测量是基于测向精度的劣化。图11给出了建议此测量使用的配置方式。

应使用生成器，将具有期望振幅和相位的信号应用于接收链。

为此，到达角仿真器应与接收链相连。



通过与强信号相关的 N 次测量，计算出到达角（必须是稳定的）：

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}$$

降低信号电平以满足方位角误差的要求：

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}}$$

式中：

- δ : 灵敏度限值测量与强信号测量间的RMS误差（度）
- θ_0 : 强信号时测出的方位角（度）
- θ_{mes} : 在各类生成器电平情况下测出的方位角（度）
- N : 在各类生成器电平的情况下，方位角读数的数量。

在下述情况下可达到灵敏度的限值：

- δ 大于+2°的 RMS，
- 或测向仪不再产生读数。

如果在某些子频率范围内，可接受的方位角误差 δ 并非2°RMS，则应将此方位角误差与该灵敏度规范一同上报。

应使用下述参数进行测量：

- 应选择接近1的积分
- 选择的带宽应尽量接近 1 kHz。

3.2.2 OATS的灵敏度测量原理

本段阐述了另一种灵敏度测量的方法。

自由空间站点或OATS是一种专门用于天线测量（增益、辐射方向图）的站点。

在自由空间站点或OATS进行的电台灵敏度测量是针对完整的电台。图12给出了建议此测量使用的设置方式。

发射天线应具有方向性，能够指向接收天线。选择的发射天线应能够发射足够的功率，而不会在测量频率中产生互调或辐射杂散信号。

接收天线必须置于旋转杆之上，允许天线进行精确定位。

对于测向仪灵敏度测量，天线接收到的场应是均匀的，这样才能使整个天线结构内的相位相同。发射天线和接收天线之间的距离至少应与测量信号的波长相等，或采用下述方式来选择距离的长度，即在整个天线结构之内，在DF误差小于0.5°情况下相位差小于5°。

选择站点的环境时，应确保来自附近障碍物的反射、周围的噪声和其它无线电信号不会对测量产生干扰。

选择的站点应：

- 远离建筑物；
- 附近没有金属表面；
- 附近没有公路，不会因车辆而产生干扰；
- 与任何会造成干扰的发射机（广播、移动电话、机场等）之间均保持有充分的距离；
- 与高压线、电话线等噪声源之间保持充分的距离。

接收与发射天线之间的距离应大于天线的尺寸。

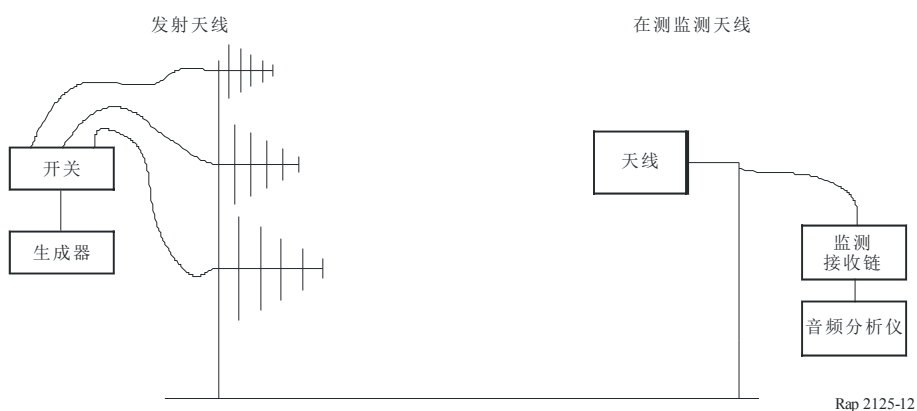
应在无干扰的频段内选择频率。

应对已占用频段展开调查。拒绝使用可能会造成测量出现劣化的频率。图13给出了建议此测量采用的设置方式。

3.2.2.1 监测电台的OATS灵敏度测量

图 12

监测电台的OATS灵敏度测量设置



测量程序：

下述公式给出了灵敏度：

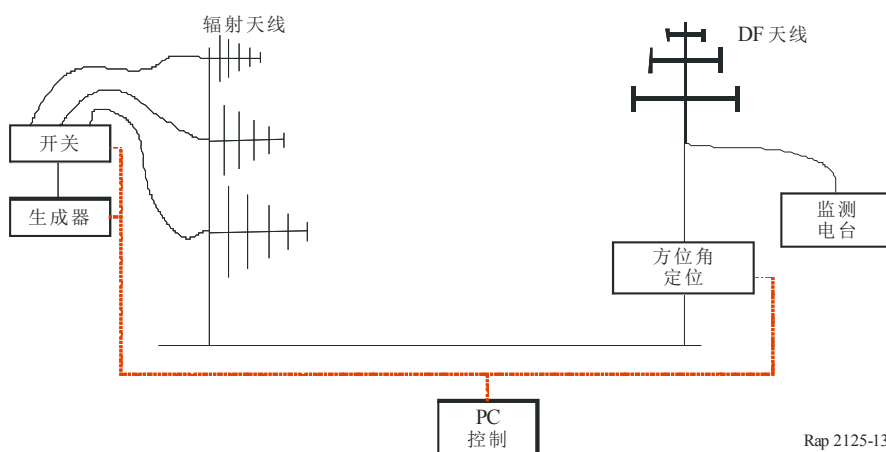
$$S = E_0 + (L_1 - L_0)$$

式中：

- S: 监测电台的场强灵敏度 (dB(μV/m))
- E₀: 测量出的场强值 (dB(μV/m))
- L₀: 具有良好SNR的发射天线电平值 (dB(μV))
- L₁: 达到相应灵敏度时发射天线的电平值 (以dB(μV)为单位)。

图 13

测向电台OATS灵敏度测量的设置



3.2.2.2 测向电台OATS灵敏度测量的设置

通过与强信号相关的 N 次测量，计算出到达角（必须是稳定的）：

$$\theta_0 = \frac{\sum \theta_n}{N}$$

请注意生成器的电平，并在测向天线处进行场测量。

降低信号电平以满足方位角误差的要求：

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (\theta_{mes} - \theta_0)^2}{N}}$$

式中：

- δ : 灵敏度限值测量与高电平测量间的RMS误差（度）
- θ_0 : 高电平时测出的方位角（度）
- θ_{mes} : 在各类生成器电平情况下测出的方位角（度）
- N : 在各类生成器电平的情况下，方位角读数的数量。

在下述情况下可达到灵敏度的限值：

- δ 大于 $+2^\circ$ 的RMS，
- 或测向仪不再产生读数。

当达到灵敏度的限值时，请注意电平生成器 L_1 并计算出该灵敏度值：

$$S = E_0 - L_0 + L_1$$

式中：

- S : 规定的电台场强灵敏度（dB(μ V/m)）
- E_0 : 场强值（dB(μ V/m)）
- L_0 : 强信号发射天线的电平值（dB(μ V)）
- L_1 : 达到相应灵敏度时发射天线的电平值（dB(μ V)）。

在一些子频率范围内如果可接受的方位角误差 δ 并非 2° 的平方根（rms），则应将方位角误差与灵敏度的规范一同上报。

3.2.3 灵敏度测量的电台参数

为能够复制尽量相似的操作条件，应在测量过程中使用下述参数：

- 应关闭接收机的AGC；
- 如果存在天线、天线开关和接收机放大器，则应将所有放大器均设置为最大值；
- 如果存在天线、天线开关和接收机衰减器，则应将所有衰减器均设置为最小值。

3.2.4 显示结果

提供灵敏度值时，应给出第3.2.1.4至3.2.2.2段描述的测量参数。

整个频段或厂商指定的子频段中灵敏度值均需得到保证。厂商可能会给出一个平均或典型值。

应公布计算此平均或典型值的条件。

厂商公布的值应包括：

- 包括下述参数在内的监测电台场灵敏度 ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$) :
 - 调制的类型 (A3E或F3E) ;
 - 分析滤波器的带宽 (kHz) ;
 - 调制指标或频率偏移;
 - 使用的SINAD (dB) 。
- 包括下述参数在内的测向电台场灵敏度 ($\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})$) :
 - 积分时间 (s) ;
 - 分析滤波器的带宽 (kHz) .

3.3 DF电台的关键参数

3.3.1 DF精确度 (角度) : 系统精度

《国际电联频谱监测手册》(2011年版)中并未规定DF精度的测量程序。该《手册》仅描述了涉及ITU-R SM.854建议书的方位类别(类别A、B、C和D),而并不包括DF接收机的特性。

DF系统精度是指真方位角与显示方位之差的有效值或rms值。

DF精度测量可采用三种方法:

- 最终操作环境下的真实环境测试;
- 使用受限频率在OATS进行的测量,在该环境下可不受附近障碍物、周围噪声和其它无线电信号的干扰;
- 平台测量:无天线的DF电台与仿真器或生成器相连。

第一项测试主要用于确定系统精度或典型系统应用时的实际精度。另外两种方法用于确定仪器的精度,并可用作计算的示例。

3.3.1.1 真实环境的DF精度测试

介绍真实环境测试

无线电测向系统的精度,包括独立的无线电测向仪,以及集成或作为频谱监测系统一部分的测向功能,可用多种方式来测量。在实验室中可进行无天线系统测试,其方式是通过将信号生成器连接到仿真天线电压及相位变化事件的装置(例如,功率分频器和长度适当的RF电缆),并将此仿真器与无天线的DF系统相连。系统可被放在无回声室内,生成的测试信号被用于测量系统的精度。也可将系统置于测试床或测试场,即一种洁净的电磁环境(无反射或无散射、无谐振或再辐射的结构)内,与强信号一起测试。在这种洁净的环境中,大

部分测向系统表现优异，且此类测试可用于确定系统的“仪器精度”。此类条件下的性能测量无法对测向系统进行区分，但由于它们并非实际的“真实世界”，因此高性能系统能够处理的条件，低性能的系统不一定能够处理。主管部门在采购了一个能在实验室中很好工作的系统之后，可能会发现真正部署之后，它无法工作。

为了给出测向系统的精确性能测量值，必须在真实操作条件下进行测试。这些条件与系统实际部署的条件相似，且此类测量用于确定该系统的“系统精度”。本节的其余部分概述了推荐用于确定“系统精度”的程序；即用于在存在各类调制的、真实操作条件下测试测向系统，同时使用系统制造商规定的信噪比最小的信号。第 3.3.1.3 和 3.3.1.4 节描述了确定“仪器精度”的程序，即在实验室或测试场中使用强信号进行定向系统测试的程序。

测量程序的定义

DF 系统应在实际操作条件下进行测试，最好是在采购主管部门使用该系统的典型位置。“工厂操作测试”也是一种可接受的方案，但前提是其条件应尽量与系统部署地的条件相近。

在 DF 精度测试之前，首先要进行分析，以确定为测试目的部署的、测试发射机的覆盖区，以及现有已知广播电台和其它发射机的覆盖区（称为“机会目标”）。此分析将有助于定位测试发射机以及机会目标的选择，而测向仪将接收这些目标，且其信号强度将至少具备系统制造商规定的最小信噪比。

应为测试准备测试设备。这些设备包括测试发射机和调制生成器，它们可使用包括模拟和数字调制在内的所有调制类型，以及涵盖窄带和宽带信号的各类带宽。对于数字调制，脉冲的随机长度应窄至 0.5 ms。此设备应放置在配有全球定位系统，并有适当电源的车辆内；在计算出的覆盖区内，该车应沿道路随机驶往选定位置，以获取至少 36 个随机分布的方位角值。

测试发射机的信号电平应进行调整，使在 DF 系统产生的信号能够满足被测系统制造商规定的信噪比值。应当选择那些能够满足规定信噪比的机会目标，同时避开那些信噪比高于规定值 20 dB 的信号。

对于每次测量，计处出的方位误差，便是真方位角（发射机测试天线的角度）与 DF 设备上显示方位之间的差值。

在测试期间，至少应记录在 360° 内分布的 36 个方位角值。具体而言，在整个 360° 的范围之内应有大量的测试点，且各类（随机）方位角的间隔产生的测量结果的最小解析度为 10°，但既非绝对是 10°，也未必一定是每隔 10°。测量点的最小间隔为 6° 且最大间隔为 14°，其平均间隔为 10°，从而可为在场内选择适当的测量位置提供灵活性。

例如，在与DF天线相应的下述方位上，“恰当”的测试集合可能包含36个测试点：

1°、8°、14°、27°、39°、46°、60°、72°、85°、92°、104°、118°、131°、144°、
156°、165°、172°、179°、189°，

198°、206°、215°、222°、235°、247°、258°、268°、276°、286°、299°、310°、
319°、327°、334°、346°、354°

此集合的最小增量为6°（8°至14°），最大增量为14°（46°至60°；104°至118°），并且36个测量的“平均”增量为10°。

在测向仪频率范围内，每十个随机分布的频率中至少要测量九个的方位误差，其中包括这一范围的起点与终点，如果没有十个，则应至少测量操作范围内的五个频率。

应针对各种方位角和频率收集数据，在许多情况下还应收集各方位角和频率的调制数据，其中包括模拟和数字、窄带和宽带的情况。可对独立的DF测量值进行平均，为各种类型的方位角、频率和调制生成综合的DF结果，且最多可将10%的独立DF测量值作为“非正规数据”予以放弃。然后，将得出的DF结果与已知的到达角进行对比，再计算出误差或 Δ 值后，将其输入测试数据表。

由于水平极化的接收天线增加了DF系统的成本和复杂性，有用信号通常使用垂直极化，且不完美的极化或传播效应可使用垂直极化的天线接收，因此大部分DF系统使用垂直天线进行接收。具体而言：

- a) HF天波在电离层会产生极化旋转，因此一种极化的天线（通常是垂直极化），足以接收原来为垂直或水平极化的HF信号。由于极化信息无法作为地波传播，HF地波以垂直极化信号的形式传播。
- b) 大部分VHF/UHF信号（一些TV信号除外）通常使用垂直极化（或至少使用两种极化，例如许多FM广播信号），因此，垂直测量是最为重要的测量。仅使用垂直极化的少数几类信号（例如一些TV广播信号）通常是在众所周知的位置，因此没有必要使用这些信号的精确DF。由于安装垂直VHF/UHF天线十分简单，特别是针对移动平台，大部分发射机都使用垂直天线，对DF而言这是一项十分重要的需求。
- c) 一些UHF技术可能会使用水平极化的信号，或其极化方式可能会根据发射天线（例如移动蜂窝）顺时的方向而变化，这种技术可用于描述使用水平极化方式发射信号的DF系统的性能。

因此，大部分DF测试通常会使用垂直极化。但是，DF测试除使用垂直极化发射的信号之外，亦可使用水平极化发射的信号。测试信号的极化应在测试数据表中列出。

表1便是此类测试数据表的一个示例；分别为测试中的模拟调制和数字调制绘制了此类表格。

表1
测试数据表示例

信号调制 _____ 信号极化 _____

编号	真	频率 1		频率 2		频率 3		频率 4		频率 M	
	方位角	DF	Δ	DF	Δ	DF	Δ	DF	Δ	DF	Δ
1	1°										
2	8°										
3	14°										
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
36	354°										

在上表中，DF是指测量出的方位角，Δ是指测量出的方位角与真方位角之差。

进行测试时，测试车应驶往第一个测试位置。应使用全球定位系统确定精确的位置，从这一位置可以确定DF系统与测试发射机间的方位角。然后，应将此方位角输入所有数据表格，用于不同的调制，并且应针对不同的频率和调制以及数据表中记录的数据进行测试。当第一个位置处的所有测量进行完毕之后，测试车应驶往下一测试地点（其随机增量约比前一方位角大10°），并在此重复该测量程序。在规定要求方位角处的全部测量结束之前，应重复使用这一测量程序。

根据下述公式计算方位误差的有效或RMS（平方根）值：

$$\Delta_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta_i^2}$$

式中：

N： 测量的次数。

在对此项草案进行国际审议时，应当考虑误差RMS计算的其它方案。例如，可以考虑使用误差的累积分布函数，使用这种方法可以确定在某方位角误差范围内的总测量比例。例如，对于一个给定的系统，我们可以确定：

测量的百分比	方位角误差
50%	< 0.1°
67%	< 1.7°
90%	< 5.5°

以90%为基准，规定此系统在这种情况下的误差小于5.5°。

为确保这些结果的可靠性，应当遵守下述要求：

- a) DF电台（真方位角）发射机方位角的精度至少为0.1° RMS或估算DF精度的十分之一，在置信度为95.45%的情况下，选用其中要求更为严格的方案。

- b) 如果为放弃此类数据制定了合适的流程或程序，为处理站点、覆盖和其它运营问题，最多可放弃覆盖区（方位角）内10%的地点。
- c) 公布的DF系统精度应为除已被放弃的数据点之外的所有计算出的数据点RMS。

例如，对于使用两套天线的DF系统，根据这一标准可将下述测试点量定义为测试点数量的最小值：

- a) 80 MHz至1 300 MHz范围内的天线。
 - 36个方位角测试点，在360°范围内随机分布。
 - 13个频率测试点，在该工作范围内的第一个十进制中有2个测试点（80 MHz和90 MHz），在第二个十进制中存在9个测试点（从100 MHz至900 MHz），在该范围内的第三个十进制中还有2个测试点（1 000 MHz和1 300 MHz）。
 - 对若干模拟和数字调制而言，每个调制的总 N 值 = $36 \times 13 = 468$ 各测试点。
- b) 1 300 MHz至3 000 MHz范围内的天线。
 - 36个方位角测试点，在360°范围内随机分布。
 - 由于该范围并未包括所有对数形式的十进制方案（1 300、1 640、1 980、2 320、2 660、3 000 MHz），因此至少需要5个频率测试点。
 - 对若干模拟和数字调制而言，每个调制的总 N 值 = $36 \times 5 = 180$ 各测试点。

3.3.1.2 HF DF测量的补充考虑

HF DF精度的测量还面临着其它一些限制：

- HF信号波长在发射机与接收机之间加入了重要的距离，
- 各类大气噪声不易控制（取决于太阳的活动、白天还是夜晚及其它变量。）

HF DF精度的测量应与VHF/UHF DF精度测量相同，但下述情况除外：

- 发射机应为特性（方位角、电平）已知的真广播发射机，或
- 在已知位置的HF发射机测向车。

数据单内的规范示例：

DF精度： $\leq 2.5^\circ$ RMS（80 MHz至1 300 MHz，基于操作测试）（见相关ITU-R SM建议书）。

DF精度： $\leq 2.0^\circ$ RMS（1 300 MHz至3 000 MHz，基于操作测试）（见相关ITU-R SM建议书）。

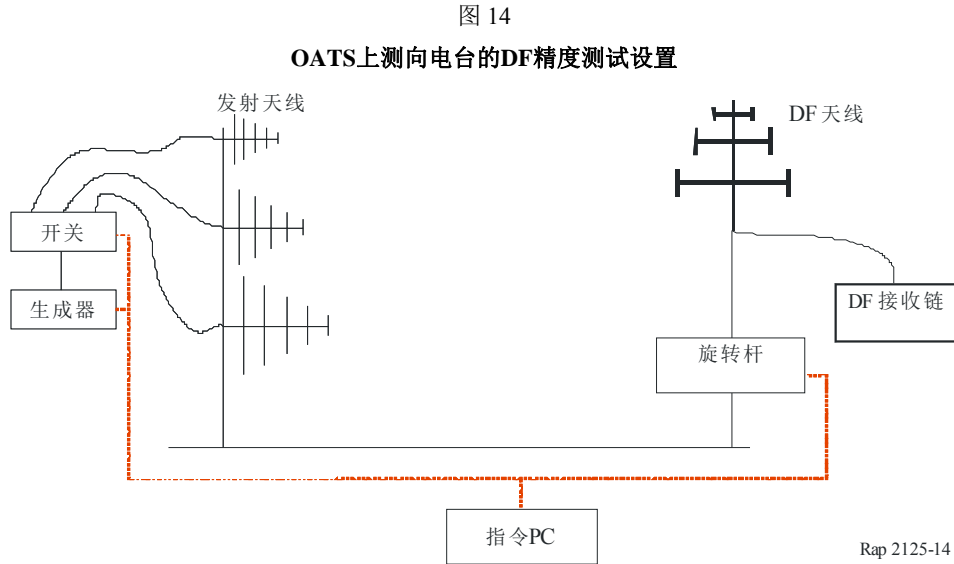
3.3.1.3 定义OATS上的DF精度测试程序

在实验室中可进行无天线系统测试，其方式是通过将信号生成器连接到天线仿真器，并将其连接到无天线的DF系统。可将系统置于OATS内，即一种洁净的电磁环境（无反射或可提供散射、谐振或再辐射的结构）内，与强信号一起测试。请参见图14。此类洁净环境中的

测量用于测定系统的“仪器精度”。由于使用强测试信号的情况下，大部分DF系统在受控的实验室环境下性能良好，因此仪器精度通常不是一种衡量DF系统性能的好方法。

为了这一测试，使用位置DF天线周边的测试发射机，在无反射的环境中，对测向仪的DF精度进行了测量。测试安排必须允许按照设定的步骤，改变发射机测试天线的方位角，以覆盖360°范围内的各个方位角。

应拒绝使用传播媒介或多径效应会导致DF误差的频率。



计算测量出的方位角误差：

$$\theta_{(F,\theta)} = (\theta_{mes} - \theta_{theo})$$

式中：

θ_{mes} ： 在频率和选定方位角处测出的角度（度）

θ_{theo} ： 选定方位角的理论角度（度）

通过计算频率和选定方位角的二次平均值，得出DF精度的结果：

$$\theta = \sqrt{\frac{\sum_{\theta} \sum_{F} \theta_{(F,\theta)}^2}{N}}$$

θ ： 方位角的测量（度rms）

$\theta_{(F,\theta)}$ ： 在频率和选定的方位角处测出的角度（度）

N ： 测量定的数量。

在考虑到所有测量值的平均偏差的情况下，可以补偿因DF天线安装偏差产生的误差：

$$\theta = \theta - \frac{\sum_{\theta} \sum_{F} \theta_{(F,\theta)}}{N}$$

HF DF精度的测量还面临着其它一些限制：

- HF信号波长在发射机与接收机之间加入了重要的距离；
- 各类大气噪声不易控制（取决于太阳的活动、白天还是夜晚...）。

HF DF精度的测量应与VHF/UHF DF精度测量相同，但下述情况除外：

- 发射机应为特性（方位角、电平）已知的真实广播发射机；
- 在已知位置的HF发射机测向车。

测量点的分布

为实现整个频段上频率的均衡分布，应使用下述方式选择频率：

- 分布应为倍频；
- 每个子频段内测量的次数是固定的并且大于等于1；
- 应以随机方式选择测量点。

为在开放空间的站点进行测量，应选用下述方式进行方位角测量：

- 方位角测量的次数是固定的且大于等于2；
- 在360°内，方位角测量将随机进行。

应当确保DF的精度。在数据单中给出的整个额定温度范围内，公布的DF精度均应有效。

3.3.1.4 定义平台DF精度测试程序

使用到达方位角仿真器模拟DF精度。此装置使具有正确振幅和相位的信号能够应用于各个单元天线。参见图15。

图15

平台测向电台的DF精度测量设置



Rap 2125-015

此测量方法与OATS的测量方法相同，只是理论方位角由天线仿真器给出。

3.3.2 DF测量的扫描速度

DF扫描速度描述了DF电台在给定时间内能够分析的发射机数量。此参数取决于两个因素：

- 接收机的速度（本地振荡器、滤波器的位置...）；
- 数字处理速度（快速傅利叶变换（FFT）、测向...）。

扫描速度是指测向仪的一种能力，即在给定频段的Fmin和Fmax范围内，测量有效DF探测速率的能力。扫描速度的性能以MHz/s为单位。

DF扫描速度不取决于所用天线，所有测量时应不使用天线。测量扫描的速度应为图10中定义的测向电台接收链的扫描速度。

通过两项测量，性能可得到保证：

- 猝发器有效方位角的计算（证明扫描该频段的速度）；
- 若干并行猝发串有效方位角计算（对该频段的扫描速度没有影响）。

扫描速度测量仅考虑有效的方位角测量值。

显示结果

应保障DF扫描速度值。

在数据单中所述的整个额定温度范围内，公布的扫描速度均应有效。

3.3.3 DF最小信号时长

测量的原则

最小信号时长描述了测向仪检测并测量信号所需的最短存在时间。

此时间取决于：

- 数字处理速度（FFT、测向...）；
- 选定的IF滤波器。

测量的原理就是要生成一个时间与最短信号时长相等的脉冲，并计算出检测概率。此概率应高于95%。

显示结果

应保证最小信号时长值。

在数据单中所述的整个额定温度范围内，公布的最小信号时长均应有效。
