

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R SM.1753-1 建议书**  
(04/2010)

**无线电噪声测量方法**

**SM 系列**  
**频谱管理**



## 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
<b>BO</b>	卫星传送
<b>BR</b>	用于制作、存档和播出的录制；电视电影
<b>BS</b>	广播业务（声音）
<b>BT</b>	广播业务（电视）
<b>F</b>	固定业务
<b>M</b>	移动、无线电定位、业余和相关卫星业务
<b>P</b>	无线电波传播
<b>RA</b>	射电天文
<b>RS</b>	遥感系统
<b>S</b>	卫星固定业务
<b>SA</b>	空间应用和气象
<b>SF</b>	卫星固定业务和固定业务系统间的频率共用和协调
<b>SM</b>	<b>频谱管理</b>
<b>SNG</b>	卫星新闻采集
<b>TF</b>	时间信号和频率标准发射
<b>V</b>	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  
2010年，日内瓦

© ITU 2010

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.1753-1 建议书

## 无线电噪声测量方法

(2006-2010年)

**范围**

对于无线电噪声的测量而言，不同测量系统之间有必要存在一种统一的与频率无关的方法，以产生可比的、准确的和可再现的结果。本建议书提出了在形成此类可比结果的测量程序中有必要加以综合的一整套过程或步骤。

国际电联无线通信全会，

**考虑到**

- a) 因为采用了新的（产生无线电噪声的）电气和电子设备以及无线电通信系统（例如超宽带（UWB）、电力线通信（PLC）和计算机），ITU-R P.372建议书中规定的无线电噪声电平可能会提高；
- b) 为了有效地进行频谱管理，主管部门需要知道确切的噪声电平；
- c) 为了获得能够相互比对的可再现结果，有必要统一测量方法；
- d) 对于噪声测量而言，需要某些最小设备规范，

**建议**

- 1 应按照附件1所述的要求开展无线电噪声测量。

## 附件1

## 无线电噪声测量方法

## 1 引言

本附件描述了在实际无线电应用中测量和评估无线电噪声的方法。

## 2 无线电噪声的源头

- 雷电放电引起的辐射（由雷电引起的大气噪声）；
- 来自用机械、电气与电子设备、电力传输线或来自内燃机点火的非欲收辐射的总和(人为噪声)；
- 大气气体和水汽凝结体形成的发射；
- 天线波束内的地面障碍物或其他障碍物；
- 来自宇宙射电源的辐射。

由大自然引起的噪声在长时间内不太可能发生显著变化，而随着新型设备的引入和改善电磁兼容性的措施发生的变化，人为噪声(MMN)则常常在无线电频谱的某些部分占主导地位，且噪声强度也随着越来越多地使用电气电子设备而有所变化。因此在开展无线电噪声测量时，人为噪声成为主要的关注类型。

表1

各频率范围内主要的无线电噪声源

噪声源	主要的频率范围
由雷电引起的大气噪声	9 kHz至30 MHz
宇宙噪声	4 MHz至100 MHz
人为噪声	9 kHz至1 GHz
来自大气气体等的发射	超过10 GHz

## 3 无线电噪声的组成部分

根据ITU-R P.372建议书中的定义，无线电噪声是来自于多个发射源的无线电发射总和，并且这些发射不是来自无线电通信发射机。在给定测量地点，如果没有单一的噪声源占主导，那么无线电噪声在幅值上服从正态分布，此时无线电噪声可以看做高斯白噪声。

但由于城市和居民区的噪声发射设备的密度尤其高，几乎找不到一块地方不是由单一源头的噪声或发射占主导，哪怕是片刻时间。这些源头常常发射脉冲或单载波。由于无线电通信设备必须在这种环境下工作，在无线电噪声测量中把这些组成部分排除在外恐怕不现实。

表2  
无线电噪声的组成部分

噪声组成部分	属性	源头(示例)
高斯白噪声 <sup>(1)</sup> (WGN)	不相关的电磁矢量 带宽等于或大于接收机带宽 频谱功率电平随带宽线性增加	计算机, 电力线通信网, 有线 计算机网, 宇宙噪声
脉冲噪声(IN)	相关的电磁矢量 带宽大于接收机带宽 频谱功率电平随带宽的平方增加	点火火花, 雷电, 汽灯点火 器, 计算机, 超宽带设备
单载波噪声(SCN)	一条或多条不同谱线 带宽小于接收机带宽 频谱功率电平与带宽无关	有线计算机网, 计算机, 开关 电源式供电设备

<sup>(1)</sup> 在ITU-R SM.1753建议书的这一附件内, 高斯白噪声被认为代表了在测量带宽附近的频率范围内具有近平坦功率谱密度的连续噪声信号。

高斯白噪声分量完全可以由均方根值来表征, 但脉冲噪声分量则要难得多。现代数字通信服务几乎总会采用纠错技术, 对脉冲干扰尤其有更强的抵抗力。但在达到某种脉冲时长和重复频率时, 脉冲噪声也会对此类服务的运行产生显著干扰。

因此在测量无线电噪声时, 宜应在给出脉冲噪声电平的同时, 还给出脉冲参数的统计分布信息。

单载波噪声(SCN)只能在噪声来自靠近测量地点的单一源头的情况下才能检测到。发射单载波的多个源头会随着其数目的增多而迅速叠加到一段类噪声频谱。ITU-R P.372建议书将无线电噪声规定为各种来源的非欲收辐射的总和, 且专门排除了来自单一的可识别源头的发射。因此有必要选择未由此类单一源头占主导的测量地点和/或频率, 这样就没有必要在人为噪声测量的背景下再进一步考虑单载波噪声了。

#### 4 关键参数

本文所述的测量程序将给出下列无线电噪声参数的测量结果:

##### 高斯白噪声(WGN):

- 均方根电平, 表示为一天内的单一值或小时均值

##### 脉冲噪声(IN):

- 峰值电平, 表示为某种分布



- 脉冲/突发时长，表示为某种分布
- 脉冲/突发周期，表示为某种分布。

## 5 测量原则

高斯白噪声分量(WGN)可用均方根检波器来测量。下文将该测量方法称为“均方根法”。采用第10.3节所述的20%缩减，就有可能直接从频率测量中得到均方根噪声值，即便其中一些频率被有用信号占用。

但是脉冲噪声(IN)则只能通过对瞬时射频幅值进行快速抽样来测量。将这些值存储下来进行脱机评估，以获得脉冲参数，测量最好在不存在有用信号和连续载波的单一频率上进行。两个连续样本之间的最大时间间隔为：

$$T_s \leq \frac{1}{2 * RBW} \quad (1)$$

其中：

$T_s$ ： 两个连续样本之间的时间间隔

$RBW$ ： 测量所用的滤波器带宽。

下文将该测量方法称为“原始数据抽样法”。

## 6 测量类型

在整个频率范围内确定人为噪声的真实电平和特性，包括脉冲噪声的特性，是一项相当耗时复杂的测量任务。但在只关注高斯白噪声分量或只有某些频率范围需要调研的情况下，测量可以大大简化，而又不丢失重要信息或降低准确度。考虑到这个原因，在开展无线电噪声测量时推荐采用下列3种类型的方法：

**A型：** 仅高斯白噪声。A型方法仅给出高斯白噪声电平，不考虑脉冲噪声。它仅需要测量某一“空闲”频率上余下的均方根电平。均方根法和原始数据抽样法都适用。数据评估也比较简单。

**B型：** 高斯白噪声和脉冲噪声。B型方法给出高斯白噪声电平并给出无线电噪声中主要脉冲噪声参数的特性。它需要快速的数据抽样（原始数据抽样法）。数据评估要复杂得多，需要大量后期处理，其中大部分只能由计算机完成。

**C型：** 高斯白噪声、脉冲噪声和分离人为噪声。除给出高斯白噪声电平和脉冲噪声特性外，C型方法还从大气噪声中分离出人为噪声、脉冲噪声，这种分离在HF频率范围内具有相当程度的重要性。测量过程等同于B型测量，区别在于C型测量必须在两个不同的地点进行，两个地点的设备在时间上必须同步。

恰当的测试类型的选择取决于各项要求、环境类别和频率范围。如果测试结果是通用的，则重点选择推荐的类型。

表3  
推荐的测试类型

频率范围	户外测量	室内测量
9 kHz-300 kHz (LF)	A, B	A, B
300 kHz-3 MHz (MF)	A, B, C	A, B
3 MHz-30 MHz (HF)	A, B, C	A, B
30 MHz-300 MHz (VHF)	A, B	A, B
300 MHz-3 GHz (UHF)	A, B	A, B
> 3 GHz (SHF)	A	A

## 7 设备的规格

### 7.1 接收机和前置放大器

测量接收机应为标准的可搬运测量接收机或频谱分析仪，以及噪声系数低、增益稳定性高的任何附加前置放大部分，例如低噪声放大器(LNA)。

如果采用均方根检波器，为了保证获得可接受的测量准确度，要求设备的本底噪声保持在比被测噪声至少低10 dB。外接低噪声放大器有助于达到这一目标。频率> 20 MHz时低噪声放大器是必不可少的。

应慎重采用带有内置纠错装置的测量接收机，因为在低S/N比情况下测量时将对结果产生影响。如果噪声修正是带开关的，可以把开关打开。不过在这种情况下，第10.2节所述的附加修正不适用。

表4给出了对测量系统的要求。表4并未提出一套新的测量接收机或低噪声放大器的规格，仅指出了噪声测量中所用的某种接收机和低噪声放大器必备的附加或特定要求。频段的叫法以某种实际采用的噪声测量系统为基础，并非指某一具体的接收系统。

表4  
噪声测量系统(接收机/LNA)的要求

功能	频率范围		
	9 kHz-30 MHz	30-500 MHz	0.5-3 GHz
频率范围	9 kHz-30 MHz	30-500 MHz	0.5-3 GHz
输入驻波比 (天线输入端)	50 Ω, 标称值 < 1.5		
三阶交调截取点	≥ 20 dBm (> 3 MHz)	≥ 10 dBm	≥ 0 dBm
二阶交调截取点	≥ 60 dBm (> 3 MHz)	≥ 50 dBm	≥ 40 dBm
预选器	一套亚倍频程带通滤波器 或者跟踪滤波器	跟踪或者固定滤波器 低通/高通滤波器	
总噪声系数	≤ 15 dB (> 2 MHz)	≤ 2 dB <sup>(1)</sup> (> 20 MHz)	≤ 2 dB <sup>(1)</sup>

表4 (续)

功能	频率范围		
中频抑制	> 80 dB	> 90 dB	> 100 dB
镜频抑制	> 80 dB	> 90 dB	> 100 dB
LNA增益	≤ 18 dB	≤ 25 dB	≤ 25 dB
LNA增益稳定性	20-30°C时 ≤ 0.7 dB		
在所关注的频率范围内 LNA增益的平坦度	< 0.4 dB	< 0.4 dB	< 0.5 dB
AGC(自动增益控制)	测量输出应不使用AGC		
包括计算机和接口 在内的测量设备的 电磁兼容性	测量设备产生和接收到的所有干扰信号应低于待测噪声平均值10 dB以上		

(1) 该噪声系数适用于LNA。

如果使用低噪声放大器，则接收机和低噪声放大器的各种组合均须满足表4中的要求。组合系统的噪声系数主要取决于低噪声放大器的噪声系数。

应谨防接收机或低噪声放大器过载。必须采用外接带通滤波器，以防止过载。在30 MHz以下，输入电平最高的信号是由广播电台产生的。在整个广播频段内，带通滤波器的衰减至少应达到20 dB。

为了计算等效噪声带宽，应准确知道接收机的中频选择性（6至60 dB），这样才能比较不同中频滤波器条件下的测量结果。噪声带宽可按接收机规格选取，如果做了这种规定的话。这一带宽就是与接收机或频谱仪的滤波器通过的噪声功率相同的某种(理论上的)矩形滤波器的带宽。

## 7.2 天线

按照ITU-R P.372建议书，噪声电平用噪声系数(高出热噪声的dB数)表示，不用场强表示。这一噪声系数是以一个“无损”天线为基准来规定的。在噪声源均匀分布在水平面内或在比较小的垂直角度上接收的情况下，与无损天线最接近的天线是垂直调谐偶极子。因此对于30 MHz以上的噪声测量，推荐采用这种偶极子。

低于30 MHz时，垂直偶极子因尺寸变得过大而不再适用。另外，这样的偶极子距地面要有相当高度才能获得理想效果，这也难于实现。因此，对低于30 MHz频率的测量，ITU-R P.372建议书推荐在传导良好的地面上采用一种短垂直单极天线作为基准天线。建议采用高度小于波长十分之一的短垂直单极天线作为测量天线。但这种短单极天线在电性能方面要与接收机的输入阻抗（通常为50 Ω）匹配。这种匹配通常由有源器件完成。重要的是不要在天线中产生额外的放大，因为这会让天线在强广播信号情况下出现过载。



采用从所有角度均匀收到噪声源的模型，就不必修正测量天线有可能出现的方向性。实际上八木天线等方向性极强的天线只在其预定方向获取其增益，其他方向的信号则相应被抑制，因此噪声环境的平均增益为零。这样就有可能在预计噪声均匀分布的环境中采用定向天线进行测量，只要其阻抗匹配。

对于外来噪声的计算而言，有必要了解可用于从被测天线电压计算场强的天线因子。该系数常常由制造商提供，但下列情况仍需仔细考虑：

- 如果天线是定向的，则制造商提供的天线因子只能用于主瓣方向。不过对于噪声场强的计算而言，必须采用来自任何方向各信号的平均<sup>1</sup>天线因子。
- 在频率较低的情况下，尤为重要是要满足制造商提出天线因子时所设的那些条件。天线距地面高度、天线周围的障碍物和接地等因素会显著改变天线因子。

如果不知道天线因子，也可以用已知天线因子的基准天线来测量，但上文的考虑因素总是适用的。确定天线因子的一种实际方法是，对来自随机方向的大量发射，比较测得电平与基准天线的电平，并对每一频段的结果进行平均。

对于ITU-R P.372建议书中的基准天线以及对于与实际接收台的匹配而言，测量天线的馈入点在60 MHz以下应位于地面或接近地面，在更高频率上则应距离地面至少5 m。

## 8 不定性分析

噪声测量的最终结果应反映真实量值，如果使用其他的测量设备，这个真实量值也应该能够再现。除了平均准确度，还需要了解测量值变化的上下限。对于每次噪声测量都要进行不定性余量分析，且这种不定性应包含所有构成因素。以上信息可以在，比如说，国际标准化组织（ISO）的“测量中不定性的表述指南”中找到。

## 9 测量程序

### 9.1 测量地点的选择

即便一个频率上，特别是在人为噪声为主的情况下，无线电噪声电平也会随时间和地点而变化。在低于30 MHz的频段，因传播条件的关系，噪声电平主要随时间而变。因此，一般情况下必须在不同的地点进行多次测量。为了反映人为噪声电平测量结果的差别，ITU-R P.372建议书规定了4种不同的地点类别，应按照这些类别选择测量地点。但为了有益于更详细的评估，建议按照下列类别对噪声测量进行分类：

---

<sup>1</sup> 在噪声源均匀分布的情况下，定向测量天线收到的噪声功率与理论全向天线相同。在这种情况下，对特定方向的天线增益进行适当修正，就可得出平均天线因子。

表5  
户外测量地点的选择标准

类别	定义
偏远农村	5 km内没有没有明显的人类活动迹象，没有建筑，没有交通，没有电力设施
农村	有大规模农业活动的农村开放地带，建筑物密度< 1/公顷，没有主要道路，没有电气化铁路
居民区	乡村或没有工商业活动的纯粹居住区。1 km内没有电气化铁路，没有主要道路，没有架空高压输电线或输电设施
城郊	高密度人居建筑，有少量工商业活动和商店。500 m内没有电气化铁路，没有主要道路，没有架空高压输电线或输电设施
城市	高密度工商业建筑或办公室。会出现主要道路和铁路，但应不占主导地位
工业区	高密度厂区和重工业区
铁路	以电气化铁路为主的地点
道路	以道路交通为主的地点，例如公路

对于每一地点类别，应分别评估测量结果。为了给出合理的无线电噪声电平的统计说明，每个类别应至少测量10个地点。

上述所有测量地点应均在户外。为了估计来自室内多个噪声源的无线电噪声电平，可由户外测量得到的结果减去各自频率上预计的建筑物衰减。

不过经验表明，室内噪声电平有可能比户外测量值还高。这是因为在进行测量的建筑物内以若干单独的噪声源为主。如果要研究的是这种环境，表5中的地点类别就不适用了，因为此时建筑物是在城市、居民区还是在农村环境已经不重要了。这时建议采用表6中的不同建筑物类别。

应注意，室内测量总是对各单一干扰源的噪声和干扰之和进行测量。在大多数情况下，建筑物内以来自单一噪声源的发射为主。按照目前ITU-R P.372建议书中的定义，这些发射不是人为噪声。但无线电电信业务要正常运行，必须应对各种无用信号，不管是噪声还是干扰。因此出于现实原因，最好测量二者之和。

表6  
室内测量地点的选择标准

类别	定义
家庭	单独的建筑物或单一楼层，有典型的家用电子和电气设备
办公室	办公用电子和电气设备、IT和电信设备，例如计算机、打印机、局域网
购物中心	商店和超市所在地点
火车站	位于封顶站台区内的大火车站
机场候机楼	大机场的候机楼内
工厂	以用电机械为主的工厂建筑物内
医院	以医疗设备为主的地点

## 9.2 频率的选择

在进行噪声测量时可以对单个频率(频道)进行测量，也可以对某一频段(例如100 kHz)进行测量。这些观测可以自动进行，数据结果也可以按照预定的协议进行处理。

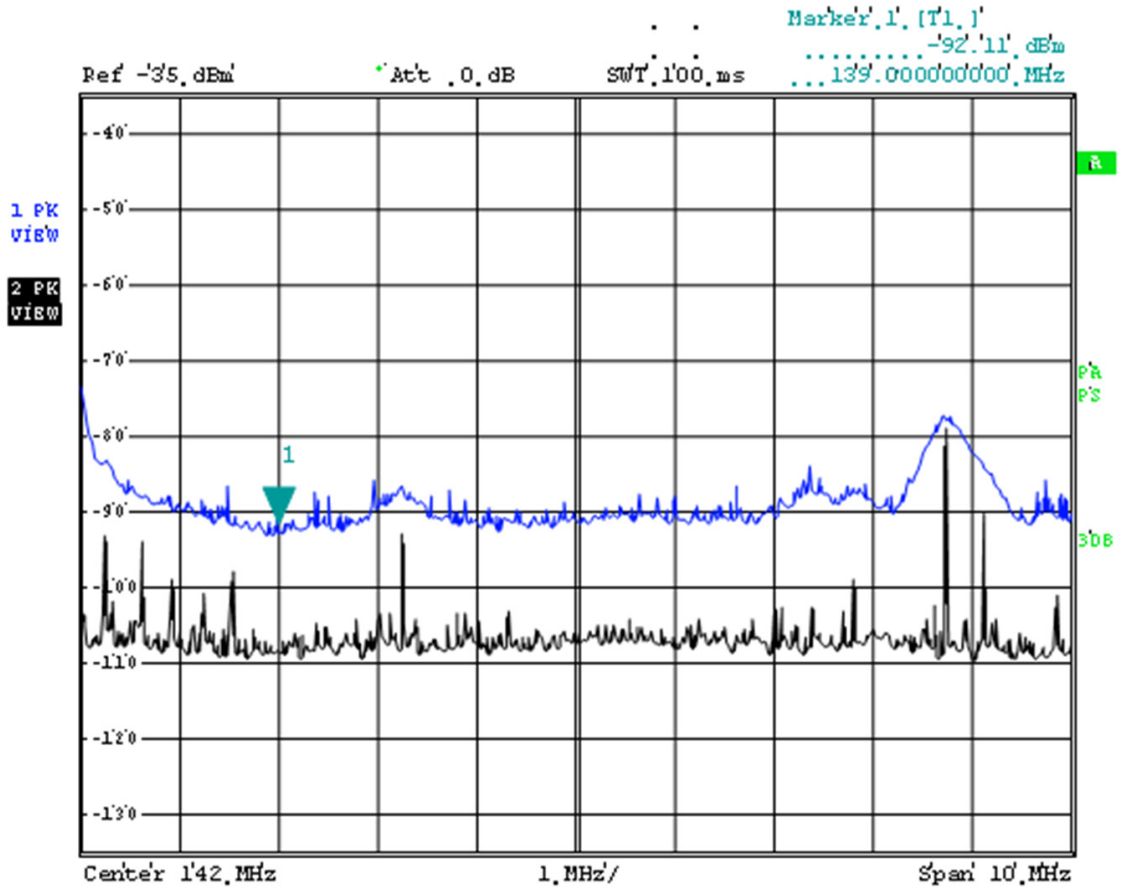
在HF频段，实际上在整个24小时测量周期内都无法找到不存在有用发射的频率。找出合适频率或频段的最简单方式是利用测试测量的信息或利用历史数据。但这样做也无法保证所有测量样本都可用，因为在实际调研过程中可能会出现预料不到的占用。因此最好不选某一固定的频率或频段，而是对所研究的频段进行扫描以确定高斯白噪声电平。然后应在扫描频段内电平最低的频率上按照单频方式测量至少0.5秒，以确定脉冲噪声电平。特别是在一天之内占用情况变来变去的低于30 MHz的频率范围内，建议在每一测量之前重选这一频率。

在高于30 MHz的频率范围内，有用发射通常来自占用情况已知的国家设施。此时，可以使用某一不存在有效指配的频率。

图1显示的是142 MHz周围的频谱，存在几个在用频率的发射，用两种不同的分辨带宽（上面轨迹：300 kHz；下面轨迹：10 kHz）记录MaxHold（最大值保持）。选出做了记号的频率进行噪声测量，因为可以看出该频率不存在发射且远离在用频道。

特别是在进行无人值守的自动调研和频率选择时，并非总能看出选定的频率只含噪声。选择以高斯幅值分布的背景噪声为主的一段频率，提高了噪声功率电平测量的准确度。要确认某一频率（频段）是否只存在高斯白噪声，最可靠的方法是采用奇异值分解(SVD)的数学概念。该方法包括根据接收信号构建一个估计的自相关矩阵，然后对这一估计的自相关矩阵经奇异值分解后所得出的结果进行评估。

图1  
单频选择



SM.1753-01

要选择一个恰当的频率（频段），最实用的方式是首先通过扫描所需的频率范围找出一个候选频段，然后确定电平最低的频率（频段）。可用SVD过程验证该频率的可用性。如果SVD过程显示扫描中主要含有高斯白噪声，则该频率可用于测量。如果情况并非如此，则必须另选频率（频段）。

SVD法的详情在附录1中说明。

### 9.3 频谱仪/接收机设置

表7给出了推荐的设备设置：

表7  
频谱仪/接收机设置

测量时间	每10至30秒产生一次结果是可行的。对于采用均方根检波器的WGN测量，可用的扫描时间为10至20秒。对于原始数据抽样，每10至30秒运行一次至少0.5秒长的扫描是可行的。扫描期间，必须以非常快的速率抽取样本的幅值（抽样频率至少为1/RBW）。
频率范围	观测频率范围完全取决于被选频段的使用情况；该频段甚至可以视频段的具体情况分成若干子频段或者若干频率。

表7(续)

分辨带宽	如果采用频段扫描的方法, 所用滤波器带宽取决于频率跨度除以所需分辨率。原始数据抽样原则决定了分辨带宽应为抽样频率的一半。滤波器的形状因子应根据使不同接收机的测量结果可以比较的原则进行选择。分辨带宽的推荐值见表8。
检波器	对于WGN测量, 必须采用真正的均方根检波器, 其他类型的检波器都不适用。有些制造商还标明这种检波器是平均值(均方根)检波器。重要的是, 检波器要对功率而不是电压进行平均。这类检波器通常以一个抽样器为基础, 其抽样频率由滤波器带宽决定。采用在规定的时间内获得的这些样本算出均方根功率。该时间周期即测量周期。在采用非抽样器型均方根检波器时, 若要到达1%的不定性, 该检波器的积分时间只能是 $10/2B_N$ (kHz)。因此, 如果噪声带宽 $B_N$ 为500 Hz, 最小积分时间须为10秒。使用旧型接收机时这一点尤其要注意。当测量值高于设备本底噪声不足10 dB时, 检波器通常需要自行校准。原始数据抽样原则要求使用抽样检波器, 因为这种方法在后期处理过程中会使用均方根计算。
衰减器	<b>3 dB</b> 建议将接收机与低噪声放大器之间所接的附加衰减器设置为接收机/低噪声放大器的规定输入阻抗, 以减小测量的不定性。如果能确认天线与低噪声放大器的输入阻抗完全匹配, 就不需要附加衰减器了。
预选器	打开(如果是可开关的话)

表8

## 测量带宽

频率范围	A型测量的分辨带宽 (仅高斯白噪声)	B型和C型测量的分辨带宽 (高斯白噪声和脉冲噪声)
300 kHz – 30 MHz	100 Hz	10 kHz
30 MHz – 450 MHz	1 kHz	100 kHz
450 MHz – 1 GHz	1 kHz	300 kHz
1 GHz – 3 GHz	10 kHz	5 MHz
> 3 GHz	10 kHz	10 MHz

在本附件范围内, 分辨带宽就是标称3 dB带宽的等效噪声带宽。

采用表8示出的更宽的分辨带宽会产生数量更大的数据, 因为需要的抽样速度也更高。但脉冲噪声也会看得更清楚。如果进行的是B型和C型测量, 建议对高斯白噪声测量仍采用窄带, 而仅对脉冲噪声测量采用更宽的带宽。

## 9.4 测量周期

测量周期应当选择那些预计被测噪声不会发生显著变化的时间段。例如，为了能反映HF传播和临时使用的设备在白天和晚上的差别，标准测量周期应为24小时。为了能反映不同季节之间的差异，HF测量每年都会重复做好几次。对于30 MHz以上频率，建议在白天工作时间内采用最短10小时的调研周期。

## 9.5 人为噪声和大气噪声的分离（仅对C型测量）

在30 MHz以下，脉冲噪声成分的主要部分可能来自大气噪声，比如雷电。如果测量仅是为确定人为噪声，则要从测量结果中扣除大气噪声。不过这只对脉冲噪声才能做到。要确定脉冲噪声的来源，至少要同时在两个不同的地点测量：

- 测量地点；和
- 基准地点。

在采用同样天波传播条件的情况下，两个地点之间的距离应大于但非常接近典型的人为噪声发射的范围（建议：500 m至10 km）。

两个地点的测量设备在时间上必须严格同步（最大偏移：100 ms）。举例来说，严格达到时间同步的做法包括：

- 定期将测量接收机切换到标准时间信号（例如DCF77）；
- 采用来自外接GPS接收机的时间信号。

可以采用发射的时间信号来调整内部处理器的时钟，或者可以算出处理器时钟与发射的实际时间信号之间的偏差以便用于校正时戳，该时戳是每次测量扫描必须存储的。

借助于这种时戳，每次扫描都可以在日后与其他地点的相应扫描相比较。一个信号如果在两个测量地点都出现，就可以假定是大气噪声或是通过天波收到的无用发射，因此在进一步处理前要从结果中去除。仅在测量地点才收到的信号可假定是来自附近源头的人为噪声。

## 9.6 数据的收集和后期处理

### 9.6.1 用均方根检测器进行高斯白噪声测量（A型测量）

频谱分析仪分若干步骤（频率步长）对频段进行扫描。现代频谱仪的频率步长数目通常在500到10 000之间。以10秒的扫描时间为例，测量结果将会是一个每天 $500 \times 8\,600$ 到 $10\,000 \times 8\,600$ 个测量样本的数据库（矩阵）。为了能去除某些部分的测量结果和采用不同的统计方法，该数据库事后应采用专用软件进行处理。

### 9.6.2 采用原始数据抽样的高斯白噪声 + 脉冲噪声测量（A型、B型和C型测量）

为了完整地评估脉冲，有必要进行快速抽样，速度要达到每个脉冲至少被捕获一次。不过这样做的结果是要存储的数据量相当大。对于统计评估而言，没必要对频率范围连续观测。可将（一个频率或一个频段的）调查分为个别的扫描。每次扫描至少延续0.5秒，其间尽快（ $T_s \leq 1/RBW$ ）捕获瞬时信号电平。然后在下一次扫描之前可以引入几秒的停顿，其间不做任何测量。这一方法仍然会产生每次调查几百万个样本的数据量，必须用专用软件进行统计评估。



## 10 数据处理

### 10.1 概述

表9给出了不同测量原则的不同处理步骤。

表9  
处理步骤

处理步骤	均方根高斯白噪声测量	原始数据抽样
设备噪声的修正	x	x
采用“20%法”确定高斯白噪声电平	x	
20%截止值的验证	x	
绘制原始样本的幅值概率分布 (APD)		x
计算 $F_a$	x	x
从高斯白噪声中分离出脉冲样本		可选
将脉冲串组合成突发		可选
从大气噪声中分离出人为噪声脉冲		可选
计算脉冲参数分布		可选

### 10.2 设备噪声的修正

所测量的信号实际上是叠加在设备噪声之上的信号。为了确定外来噪声与设备噪声之间的差值，可按下面步骤进行人工测量，决定修正量：

- 在当时“空闲”的某一频率上采用均方根检波器测量高斯白噪声电平；
- 用50 Ω负载代替天线，采用跟以前一样的设置测量系统噪声与负载热噪声之和。

如果上述a)与b)测量的结果相差 $K$  dB或更高，则设备噪声无需进一步修正。若小于该值，则要从所有外部噪声值中线性减去由b)的测量得到的设备噪声：

$$p_{WGN} = p_a - \frac{f-1}{f} p_b \quad (2)$$

其中：

- $p_a$ : 测量a)得到的线性单位的噪声电平
- $p_b$ : 测量b)得到的线性单位的噪声电平
- $f$ : 设备噪声因子。

系数 $K$ 可由下式计算得出：

$$K(\text{dB}) = 10 \log \frac{11(f-1)}{f} \quad (3)$$

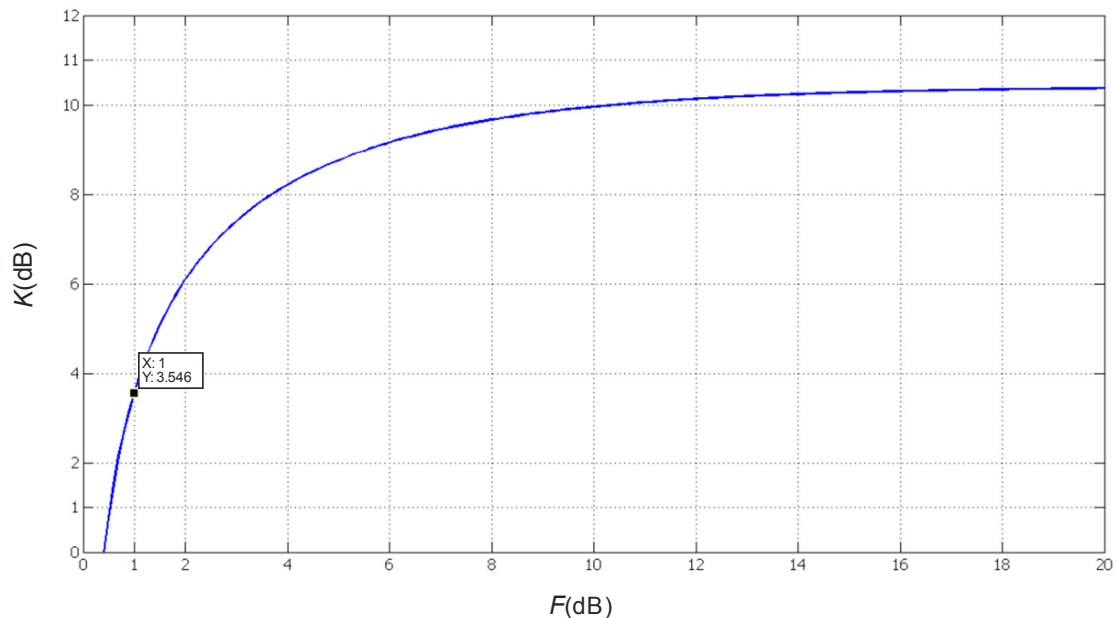
设备规范通常会给出噪声系数 $F$ 。由于该噪声系数是以分贝为单位的，所以可用下式算出噪声因子 $f$ ：

$$f = 10^{\left(\frac{F}{10}\right)} \quad (4)$$

图2为算出的 $K$ 值，是噪声系数的函数。

图2

设备噪声修正值的门限



SM.1753-02

### 10.3 采用“20%法”确定高斯白噪声电平（仅用于均方根高斯白噪声测量）

尤其是在30 MHz以下，不能认为在整个测量周期内测量频率（或频率范围）都是空闲的。因此建议在一个不大的频率范围内扫描，而不仅仅是在单一频率上测量。只采用电平最低的20%的样本而舍弃另外80%的样本，就可从结果中消除无用占用。但这样做也会消除一些含有噪声的样本，因此若不加修正就会导致过低的噪声电平。将一个白噪声源连至接收机，抽取一些测量样本并从所有（100%）样本决定平均均方根电平，即可确定所需的修正量。然后去除上部的80%，从下部的20%样本算出平均均方根电平。所用的修正值为两个平均均方根电平（100%和20%）的差值。

#### 10.4 20%截止值的验证（仅用于均方根高斯白噪声测量）

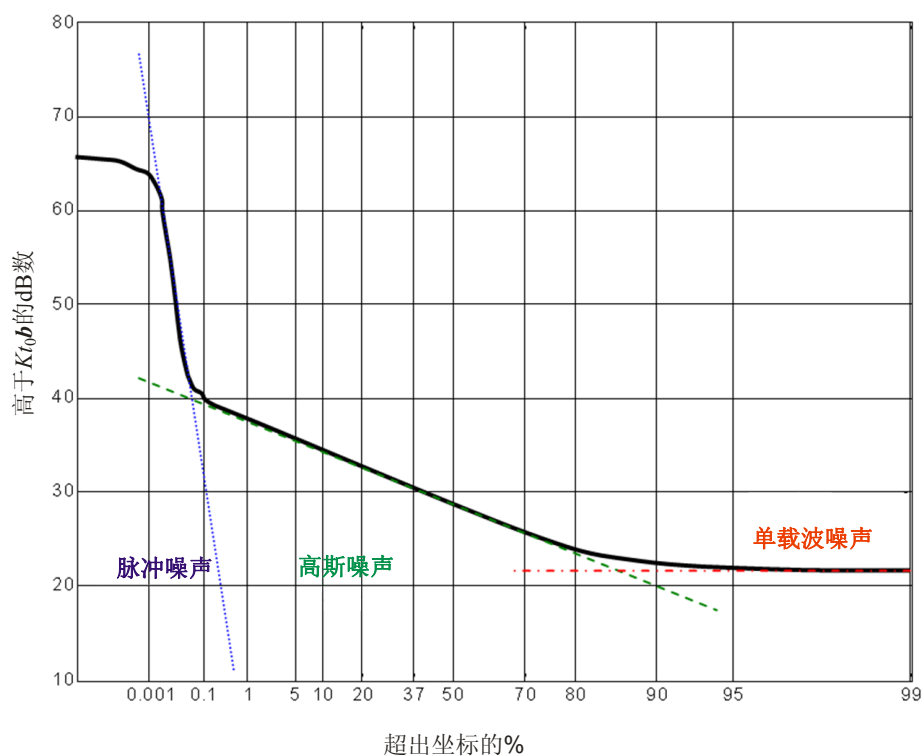
对于HF，20%的最低值是确定噪声电平的实用值。对于其他频率范围，可能要检查这一20%值是否正确或是否应换成另一个值。附录2对验证截止值的一些方法做了说明。

#### 10.5 幅值概率分布的图示（仅用于原始数据抽样）

如果采用原始数据抽样确定高斯白噪声，则均方根电平理论上可由在某段（积分）时间内所有样本功率电平的线性平均确定。不过这一点仅在测试期间只存在高斯白噪声的情况下才正确。特别是对于HF，这一点常常不可用。在这些情况下，高斯白噪声的均方根电平可由绘制原始数据的所谓“幅值概率分布”图得出：该图表示超出某一幅值的测量样本的百分比（见图3）。

图3

典型的幅值概率分布



SM.1753-03

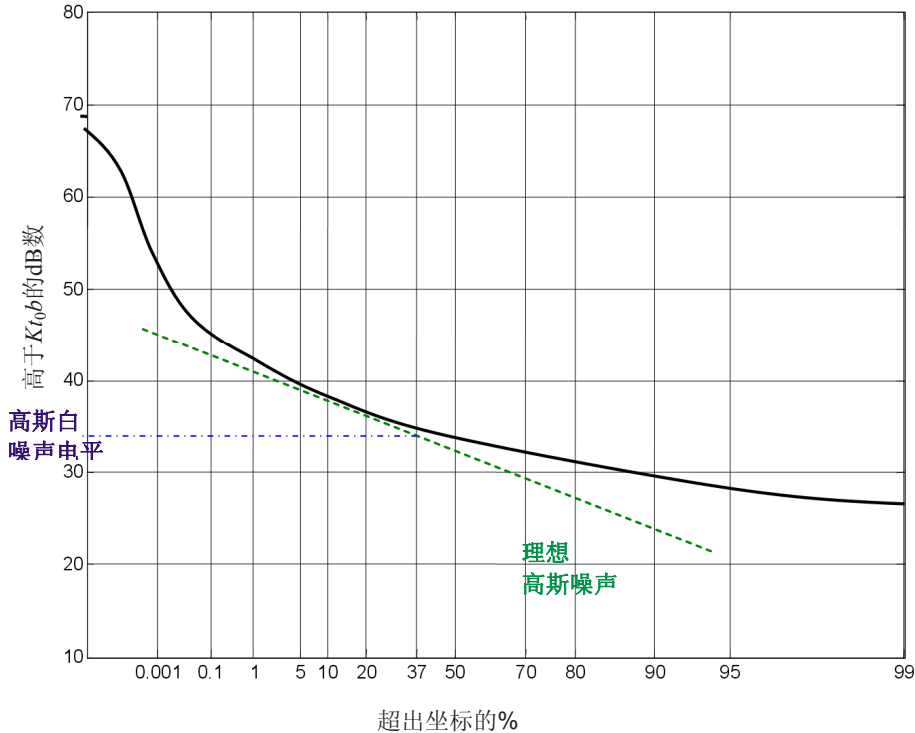
幅值概率分布图的x轴采用瑞利尺度。用这种尺度可很容易地区分各类噪声：白噪声表示为倾斜的直线（图的中段）。从数学上看，如果把两个尺度都换成线性的，则斜率为-10。这意味着直线在0.1%、37%、90%和99%之间会降低10 dB。

左侧边缘上升表明存在脉冲噪声，右侧平行延伸是由于附近存在各单载波，电平低限表明测量接收机的限值。

如果不存在单载波或窄带有用信号，则总的均方根电平为曲线与横轴的37%相交处的值。

然而，载波和有用发射的存在不但会让右侧的曲线提升，也会让整个曲线提升，包括37%的值，并在图的中部形成下凹曲线，而不是直线，如图4所示。

图4  
存在载波和/或有用信号情况下的幅值概率分布图



SM.1753-04

在这个例子中，高斯白噪声电平是由一条与理想高斯白噪声的斜率相同的直线拟合该曲线而确定的。均方根高斯白噪声电平就是该切线穿过横轴的37%处的值。

为提高准确度，可采用傅里叶变换将时域内的测量值变换为频域值。从得出的频域值构建第二个幅值概率分布图，并用一条切线与图的中部部分拟合。均方根高斯白噪声电平同样是频域幅值概率分布的37%处的值。如果在测试期间存在有用信号或单载波，两个幅值概率分布图中只有一个会提升，这取决于信号的性质。总的高斯白噪声的确切值为两个37%值中较小的一个。当在有用信号占用的频段内进行噪声测量时，尤其需要这种评估方法。如果按照不存在占主导的载波和有用发射的方式选择频率，则傅里叶变换通常就不需要了。

### 10.6 $F_a$ 的计算

按照ITU-R P.372建议书，噪声电平表示为比热噪声高出  $F_a$  dB 的外部噪声形成的无损天线的噪声系数。

热噪声可按下式计算：

$$P_0 = 10 \log(K * t * b) \tag{5}$$

其中:

- $K$ : 波尔兹曼常数 $1.38 \times 10^{-23}$  (J/K)  
 $t$ : 环境温度 (K)  
 $b$ : 测量滤波器的等效噪声带宽 (Hz)。

温度 $t_0$ 为290 K (17°C) 的基准温度时,  $P_0$ 变为1 Hz带宽内的-174 dBm。

测得噪声电平是外部噪声与源于测量系统的噪声之和, 测量系统的噪声主要是接收机噪声, 如果使用了低噪声放大器, 还包括低噪声放大器的噪声。外部噪声因子 $f_a$ 可以用ITU-R P.372建议书中的公式计算。在实际测量环境中, 实用的方法是假设测量系统各部分的温度相同。另外, 也可以把温度设置为17°C的基准温度 $t_0$ 而不致引起明显的误差, 除非是出现极端温度的特殊情况。按照这些假设, 可用于计算 $f_a$ 的关键公式为:

$$f_a = f - f_c f_i f_r + 1 \quad (6)$$

其中:

- $f$ : 以线性单位测得的总噪声因子 ( $p_{\text{中值}}/p_0$ )  
 $f_c$ : 与天线有关的噪声因子 (天线输出/可用输入功率)  
 $f_i$ : 与传输线路有关的噪声因子 (线缆输入/输出功率)  
 $f_r$ : 接收系统的噪声系数 (接收机和低噪声放大器, 如果使用了低噪声放大器的话)。

以小写字母表示的参数用线性单位给出, 不是以dB为单位。在用更为常用的对数单位表示时, 应注意所有参数都是功率电平, 所以转换时要用到下列规则:

$$F_a \text{ (dB)} = 10 \log(f_a) \quad (7)$$

在一些实际测量环境中, 可以做出下列假设:

- 天线可视为无损的 ( $f_c = 1$ ), 特别是在采用匹配天线的情况下 (例如对于30 MHz以上频率采用调谐偶极子)。
- 传输线路损耗可以忽略 ( $f_i = 1$ ), 特别是当频率低于30 MHz时。
- 在测得噪声至少比接收机噪声高10 dB的情况下, 接收机噪声可以忽略 ( $f_r = 1$ ) (见第10.2节)。

在这些情况下, 测得噪声功率实际上等于外部无线电噪声功率。

若以dBm为单位进行测量, 以dB为单位表示的噪声系数 $F_a$ 可按下列式计算:

$$F_a = P_n - P_0 \quad (8)$$

其中:

- $P_0$ : 热噪声功率 (dBm)  
 $P_n$ : 外部噪声功率 (dBm)。

对60 MHz以上的频率范围, 如果采用垂直调谐偶极子,  $F_a$ 的确可以按上面所述计算。不过对于更低的频率, 通常不可能采用无损天线。

在这种情况下, 可以在采用平均天线因子的情况下计算外部噪声系数 (见第7.2节):

$$E = U + AF \quad \text{dB } (\mu\text{V/m}) \quad (9)$$

其中:

- $E$ : 场强dB ( $\mu\text{V}/\text{m}$ )  
 $U$ : 天线终端电压dB ( $\mu\text{V}$ )  
 $AF$ : 天线因子 (dB)<sup>2</sup>。

在 $AF$ 已知时,  $F_a$ 可按下式由测得噪声电平算出:

$$F_a = P + AF - 20 \log(f) - 10 \log(b) + 202.5 \quad \text{dB} \quad (10)$$

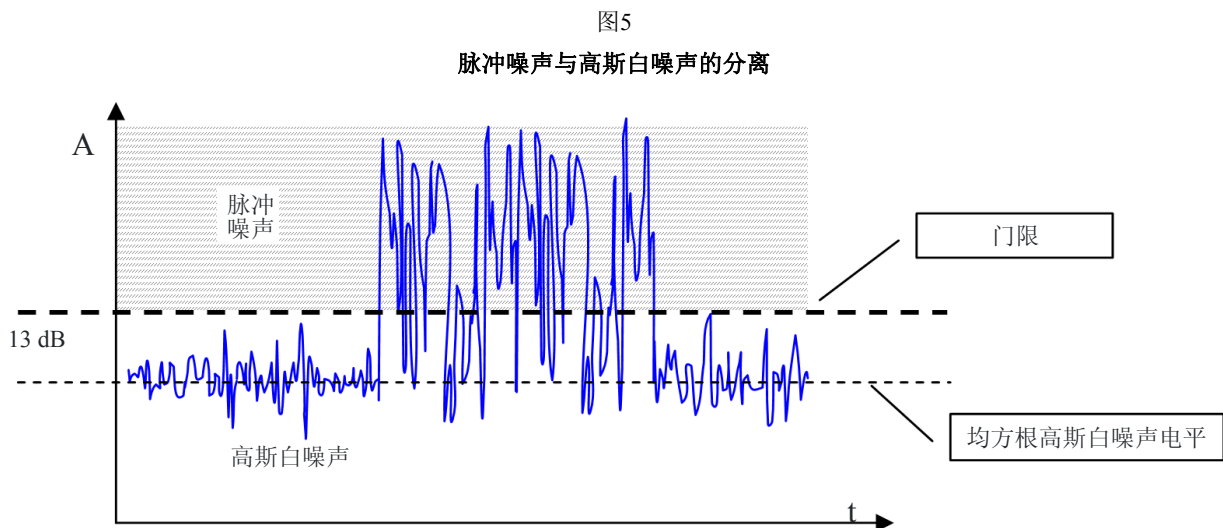
其中:

- $F_a$ : 由外部噪声引起的天线噪声系数 (dB)  
 $P$ : 均方根高斯白噪声电平 (dBm)  
 $AF$ : 天线因子 (dB)  
 $f$ : 测量频率 (MHz)  
 $b$ : 测量带宽 (Hz)。

上述公式由ITU-R P.372建议书中以短垂直单极天线为基准天线的公式(7)和上述公式(9)形成的, 并采用 $P(\text{dBm}) = U(\text{dB}(\mu\text{V})) - 107 \text{ dB}$ 的 $50 \Omega$ 测量系统。

### 10.7 从高斯白噪声中分离出脉冲噪声样本 (仅用于B型和C型测量)

经验表明, 从人为噪声中分离出的脉冲噪声无法与其中的一种数学描述模型正确拟合。在抽样足够快时, 高斯白噪声也会存在远超过平均电平的短峰值。要分离出完全由脉冲噪声产生的样本, 采用的门限必须远超出高斯白噪声峰值。该门限设定为均方根高斯白噪声电平之上13 dB, 因为这是高斯白噪声通常的“波峰”因子(均方根值与峰值之差)。高于门限的所有测量样本都视为脉冲噪声。



SM.1753-05

<sup>2</sup> 天线因子通常简单地用dB数给出, 并通常以dB为单位。人们认识到这种量纲虽然不对, 但反映了实际的工程实践。



### 10.8 将脉冲串组合成突发（仅用于B型和C型测量）

在检查实际脉冲的射频幅值与时间的关系时可以看出，大部分脉冲实际上是一系列短峰值或“脉冲串”。由于测量人为噪声的脉冲电平侧重于某个脉冲的潜在干扰，所以有必要对脉冲串的峰值积分，使之成为一个噪声，称为“突发”。在至少有50%的样本超过门限的情况下就要进行该积分。

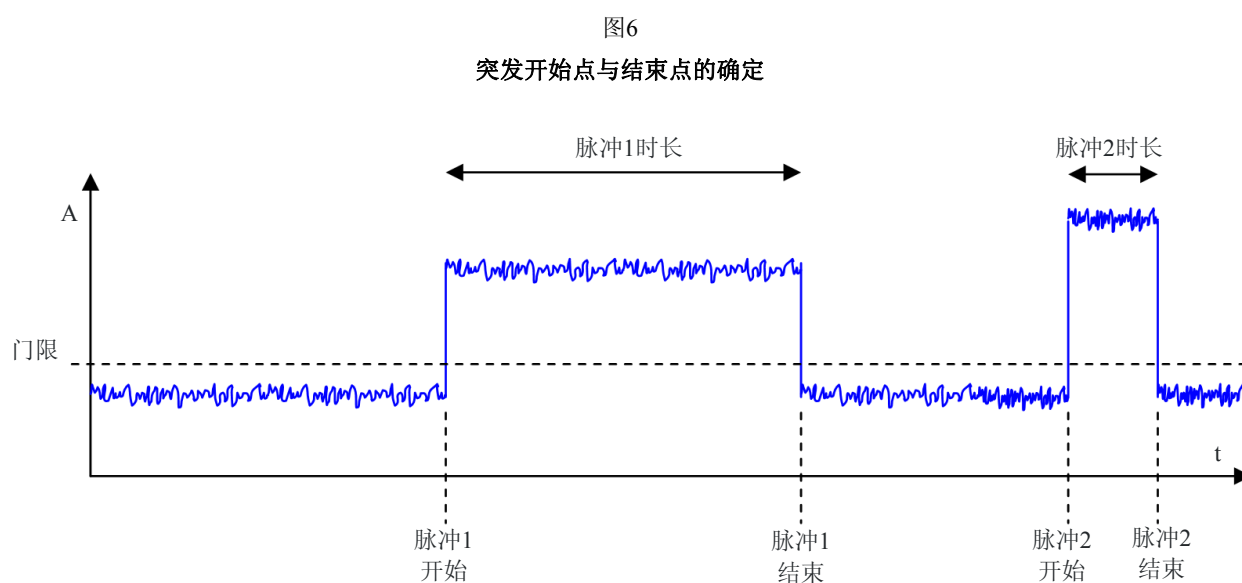
在某项记录中，每一突发的长度按照整个记录中收到的所有脉冲均满足下列条件的方式来计算：

- 1 紧跟在一个突发开始点后的样本总是超过门限，紧跟在一个突发结束点后的样本总是处于门限之下；
- 2 突发开始点与突发结束点之间至少有50%的样本超过门限。

在至少为突发长度的25%的一段时间内，突发开始点之前和突发结束点之后的所有样本均低于门限。

满足这些条件的结果是，不规则脉冲序列中的一些峰值被组合成一个单独的长突发。

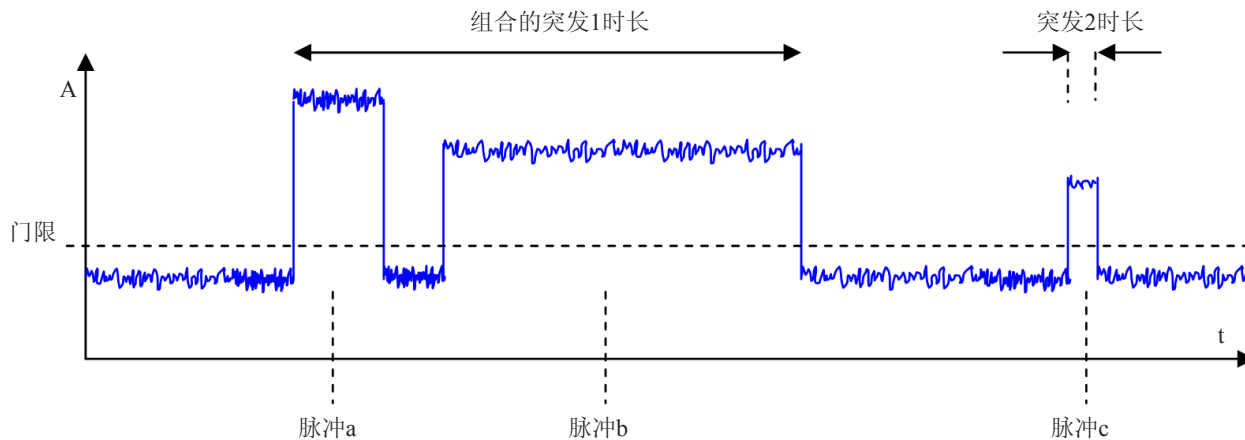
下面几个图给出了一些例子。



SM.1753-06

在图6中，从脉冲1的中心算，脉冲1结束与脉冲2开始之间的“间隔”超过了脉冲1时长的25%，因此第二个峰值被看做一个单独的脉冲。

图7  
脉冲的组合



SM.1753-07

在图7中，要组成一个完整的突发，脉冲a)要满足上文规定的所有3个条件。但对于脉冲b)，子脉冲开始前至少25%的测量样本要比门限低这一条件无法满足，除非把脉冲a)包括在内并形成组合脉冲（突发）。该突发1的结束与第三个脉冲的开始之间的时间超过了突发1时长的25%。因此脉冲c)未包括在内而是作为一个单独的脉冲。

### 10.9 人为噪声脉冲与大气噪声的分离（仅用于C型测量）

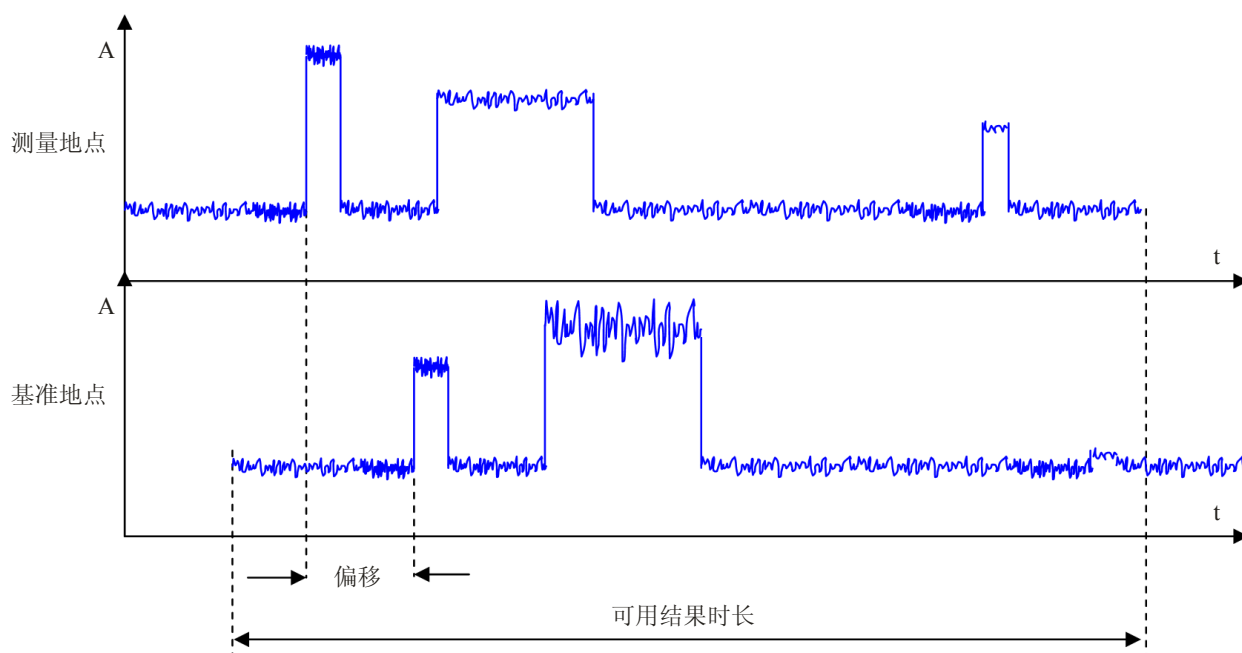
如上文所述，只有采用方法3在两个地点进行的时间同步测量才可能进行这种分离。来自大气噪声（主要是雷暴）的脉冲噪声在测量地点和基准地点都会收到，因此，分离的目的是检测测量结果中的这类信号。

由于测量设备的时间同步不可能准确到一个样本，所以必须先确定两个地点之间确切的时间偏移。这项工作可通过一一比较测量地点和基准地点所有脉冲/突发样本的开始和结束时间，并算出一个相关值来完成。然后将测量地点得到的所有样本移动一个样本的时间，再次计算相关值，依次类推。相关性最强的点决定了两个测量地点之间确切的时间偏移。下文的评估步骤仅适用于在两个地点都测量过的那些样本（可用结果时长）。

示例：在基准地点采用+100 ms的偏移可达到极大相关。测量（扫描）时间为1秒。可用结果时长在基准地点为0.1秒至1.0秒，在测量地点则为0秒至0.9秒（见图8）。

在可用结果长度内，对脉冲/突发开始点样本进行研究：对于每一脉冲/突发，如果它们在基准地点和测量地点都在脉冲/突发长度的50%容限内出现，则从记录中检出脉冲/突发，认为它们是从天波接收的，因此很可能具有大气噪声的性质。如果脉冲/突发开始点只在测量地点出现，则当做脉冲噪声处理。

图8  
测量地点之间时间偏移的确定



SM.1753-08

### 10.10 脉冲参数分布的计算（仅用于B型和C型测量）

如前所述，为了充分表征脉冲噪声，需要下列参数：

- 脉冲/突发电平
- 脉冲/突发时长
- 脉冲/突发重复频率或周期
- 总的脉冲/突发时间。

前三个参数是随机变化的，所以它们的值必须用分布图来表示。

#### 10.10.1 脉冲/突发电平

只有在脉冲/突发时长至少为分辨带宽的倒数（1/RBW）时才能准确测量总的脉冲/突发电平（脉冲噪声电平）。由于一个脉冲/突发只在其时长至少为一个符号的时长时才会干扰现代数字通信系统，所以按照表8选择一个分辨带宽已经能够产生代表真实干扰可能性的测量值。不过脉冲噪声电平仍然取决于分辨带宽。因此，在表示脉冲噪声电平时必须说明所用的分辨带宽。要独立于测量带宽，建议将测得值归一化至所用的分辨带宽，并将脉冲噪声电平表示为电平密度。脉冲噪声幅值概率分布（IN APD）的y轴则用dB（ $\mu\text{V}/\text{MHz}$ ）标明。为了将测得脉冲噪声值转换为脉冲噪声电平密度，采用下列公式：

$$Wg = U + 20 \log(1/b) \quad \text{dB} (\mu\text{V}/\text{MHz}) \quad (11)$$

其中：

- $Wg$ : 谱密度 dB（ $\mu\text{V}/\text{MHz}$ ）
- $U$ : 由无损天线测得的噪声电压 dB（ $\mu\text{V}$ ）
- $b$ : 噪声带宽（MHz）。

如果天线不能看做无损的，则必须按照第10.6节所述对测得噪声电压进行适当修正。

对每一频率和表5、表6中列出的每一地点类别，都将有一个脉冲噪声分布图。

### 10.10.2 脉冲/突发时长和周期

脉冲/突发开始点和结束点样本一旦确定，可按下式计算每一脉冲/突发的时长：

$$N_1/f_s \quad (12)$$

其中：

$N_1$ ： 脉冲/突发开始点与结束点之间的样本数

$f_s$ ： 抽样频率。

脉冲/突发周期按下式计算：

$$N_2/f_s \quad (13)$$

其中：

$N_2$ ： 相连脉冲/突发开始点之间的样本数

$f_s$ ： 抽样频率。

### 10.10.3 总的脉冲/突发时间

总的脉冲/突发时间表示为总的研究时间的百分比：

$$i = (N_i / N) * 100 \quad (14)$$

其中：

$N_i$ ： 高于脉冲噪声门限的样本数

$N$ ： 测量样本的总数。

## 11 结果的表示

### 11.1 高斯白噪声测量

除了用 $F_a$ 表示噪声电平外，用场强表示噪声电平也很常见，特别是在30 MHz以下频率。对于这类表示方法，有必要采用ITU-R P.372建议书中的下列公式对测得噪声功率加以转换：

$$E_n = F_a + 20 \log(f / \text{MHz}) + B + 95.5 \quad (15)$$

其中：

$F_a$ ： 外部噪声引起的噪声系数 ( $F_a = 10 \log (f_a)$ )

$f$ ： 测量频率 (MHz)

$B$ ： 对数形式的等效噪声测量带宽 ( $B = 10 \log (b)$ )。

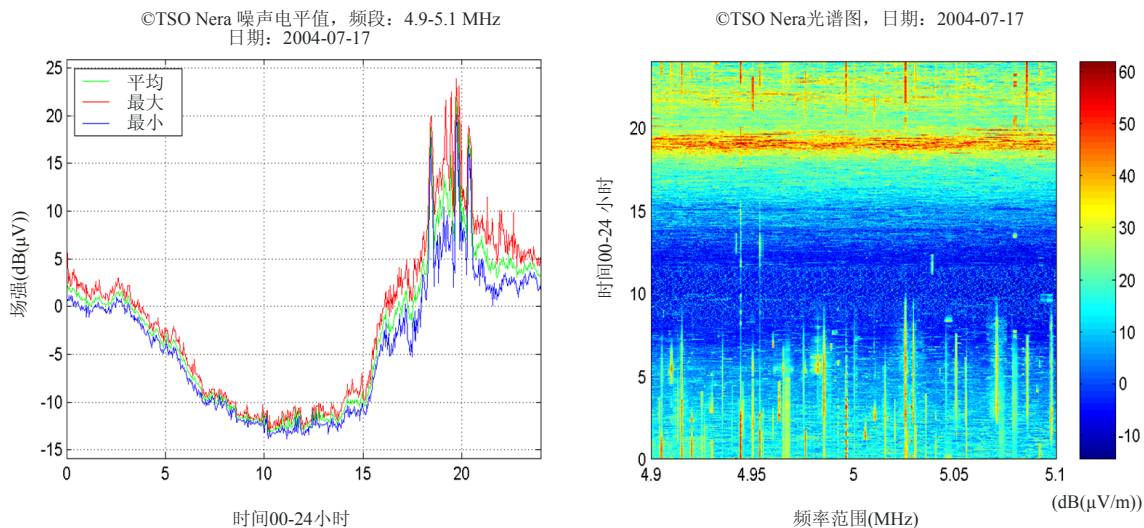
公式(15)对短垂直单极子有效。对于匹配偶极子，必须用99.0一值代替95.5一值。

在30 MHz以下频段，无线电噪声随着一天中时间的不同而显著变化，因此计算的结果应表示成24小时的结果。

图9示出了5 MHz频段（4.9-5.1 MHz）测量结果的一个例子。24小时的最大值、平均值和最小值如左图所示，包含24小时内所有扫描结果的光谱图如右图所示。

图9

24小时的平均值、最大值和最小值以及光谱图



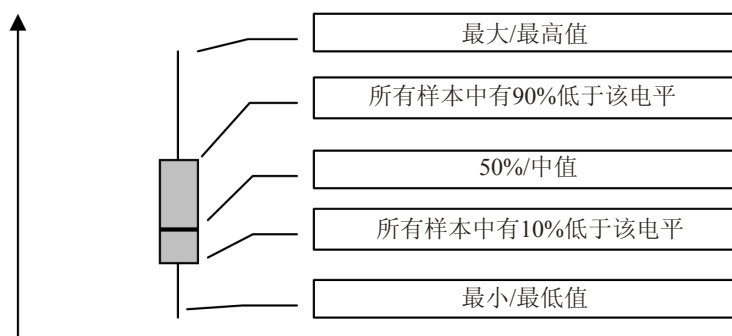
SM.1753-09

也可以对结果进行时长为1小时的积分，并用表格形式表示（每小时一个值）。

还有一种表示高斯白噪声结果的方法，就是所谓的箱线图。算出每小时的最大值、90%以上值、中值、10%以下值和最小值，并在框中表明。

图10

箱线图原理

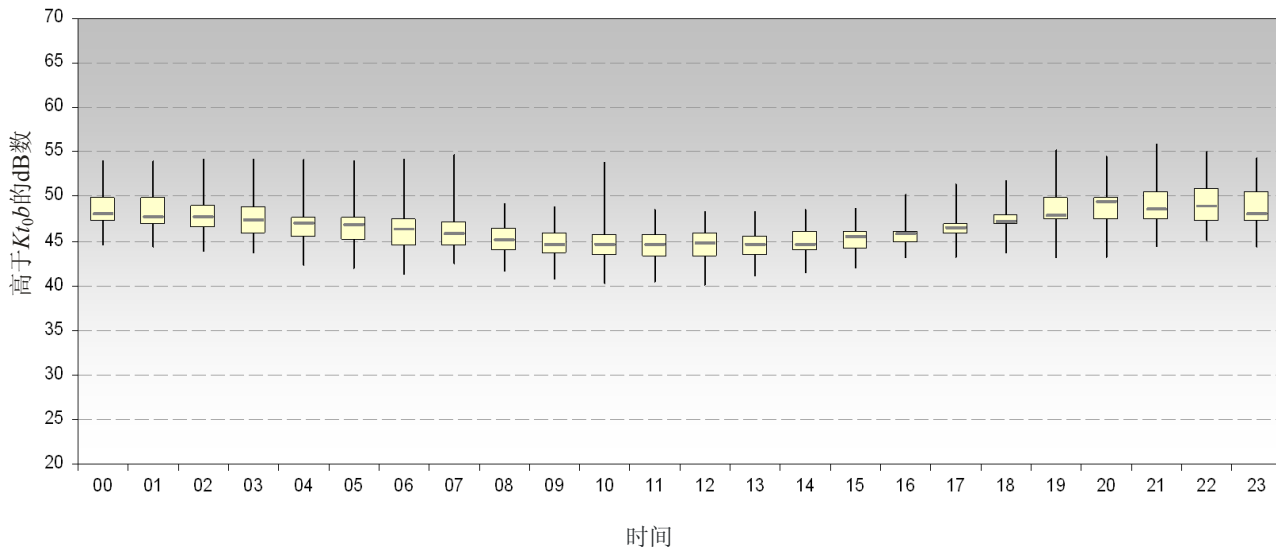


SM.1753-10

在用一幅图表示多次测量所得的结果时，箱线图特别有用。

图11示出的箱线图归纳了在农村地区开展的23次测量。

图11  
用箱线图表示的均方根高斯白噪声结果  
农村地区5 MHz测量的箱线图



SM.1753-11

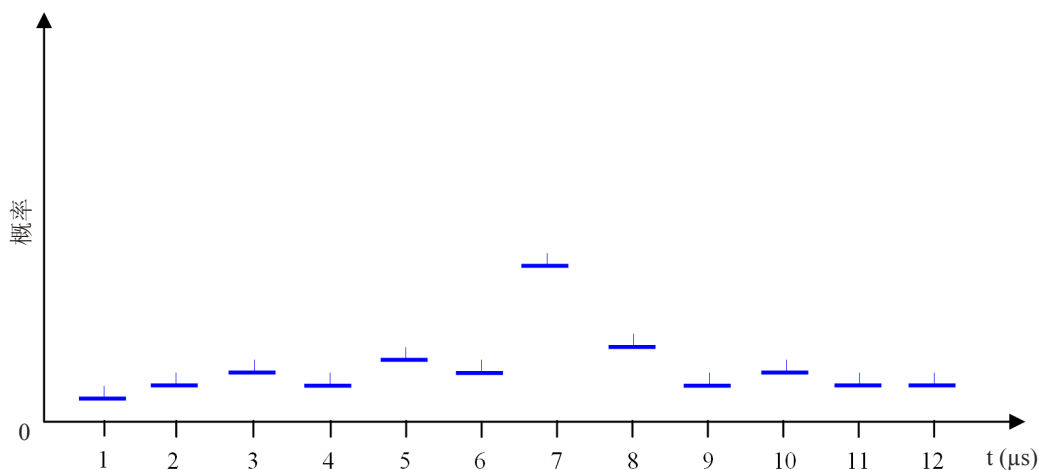
### 11.2 脉冲噪声测量

脉冲/突发电平统计值最好表示为图3那样的幅值概率分布图。如果将所有测量样本（脉冲噪声和高斯白噪声样本）都概括在幅值概率分布中，则脉冲的相对量可从图上推导出，方法是读出图中线条左侧偏离直线处的值。以图3为例，该值为0.1%。

不过，单独由脉冲噪声样本形成的幅值概率分布可给出脉冲电平分布的更详细信息，并可转换为电平密度（见第10.10.1节）。

脉冲/突发时长和周期的分布最好用图12那样表明时长或周期自身相对概率的图来表示。

图12  
脉冲/突发时长分布示例



SM.1753-12



该示例显示，大多数脉冲具有7  $\mu\text{s}$ 的时长。

该图的时间分辨率等于抽样频率。

## 12 限制

上文所述的从高斯白噪声中将脉冲噪声分离并计算其关键值的方式对脉冲噪声参数形成了下列限制：

表10  
可测脉冲噪声的限制

参数	值
最低脉冲噪声电平	比高斯白噪声电平高13 dB
最短脉冲时长	1/抽样频率
最长脉冲时长	用扫频仪进行的测量：扫描时间 连续测量：测量时间
最低PRF（脉冲重复频率）	用扫频仪进行的测量：1/扫描时间 连续测量（例如傅里叶变换）：1/捕获时间
最高PRF	抽样频率/2

## 附录1

### 采用奇异值分解（SVD）法验证高斯白噪声的频率选择

SVD是用于确定所测噪声是否为高斯噪声的一种分析方法。总的来说，SVD是一种矩阵逼近技术，滤除零值并作用于矩阵的各奇异值。将矩阵与信号关联起来，并采用SVD有效地将噪声数据与信号数据分离。

应用SVD来确定高斯噪声是一个分三步的过程：

步骤1：用测得信号的 $I$ 和 $Q$ 值形成时长为 $N$ 的复值 $x(n)$ ，按下述步骤用测得信号值构成一个时长为 $M$ 的自相关序列（ACS）估计和该序列的自相关函数：

首先确定表明自相关矩阵 $R_x$ 大小的阶数 $p$ 。这一大小取决于可用数据样本。如果已由某次扫描中 $N$ 个测得样本计算出了时长为 $M$ 的自相关序列，则自相关矩阵的大小为 $(p+1) * (p+1)$ ，其中 $M=p+1$ 。小到 $p=19$ 的数还是可以使用的，但一般情况下，采用更大的 $p$ 值可以得到更好的分类。

接着构建（一般为复型的）的自相关矩阵估计  $\hat{R}_k$ ：

$$\hat{R}_x = \begin{bmatrix} \hat{r}_x(0) & \hat{r}_x^*(1) & \hat{r}_x^*(2) & \cdots & \hat{r}_x^*(p) \\ \hat{r}_x(1) & \hat{r}_x^*(0) & \hat{r}_x^*(1) & \cdots & \hat{r}_x^*(p-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hat{r}_x(p) & \hat{r}_x^*(p-1) & \hat{r}_x^*(p-2) & \cdots & \hat{r}_x^*(0) \end{bmatrix} \in \mathbf{C}^{(p+1) \times (p+1)} \quad (16)$$

其中：

$$\hat{r}_x(m) = \frac{1}{N-m} \sum_{n=0}^{N-m-1} x(n+m)x^*(n) \quad (17)$$

式中\*表示共轭值。注意，由于  $R_x$  为自相关矩阵，所以要用  $p+1$  个独特的自相关序列值填充到矩阵中。这些独特值按公式（17）构建。这些值中的每一个都可以最多用于  $N$  次测量。

步骤2：在此步骤中，公式（16）矩阵的各奇异值采用奇异值分解（SVD）进行评估。从对  $\hat{R}_k$  的奇异值分解中计算两个辅助单位矩阵  $U$  和  $V$  以及一个同样大小的对角矩阵  $\Sigma$ ：

$$\hat{R}_x = U\Sigma V^H \quad (18)$$

矩阵  $\Sigma$  有  $p+1$  个奇异值  $\sigma_k$ ，非零即正。注意，由于  $\Sigma$  是一个对角矩阵，奇异值其实也就是对角线上的值。

步骤3：根据形成矩阵的奇异值进行量值评估，以确定噪声是否为高斯噪声。具体地说，矩阵  $v(k)$  和它的指数  $k$  按公式（19）计算：

$$v(k) = \frac{\|\hat{R}_k^{(k)}\|_F}{\|\hat{R}_k\|_F} = \left[ \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_k^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_{p+1}^2} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

其中  $\|\hat{R}_k\|_F$  矩阵  $\hat{R}_k$  的弗罗宾尼斯范数。

注意，弗罗宾尼斯范数对应着一个矢量的范数，该矢量是把矩阵的各列上下叠加而形成的。

最后一个步骤是确定满足  $v(k) = 0.95$  的参考指数值  $k$ 。根据所需的置信度，可能要用到 0.95 以外的其他值。该值越接近 1，置信度越高。根据试验，建议把 0.95 作为实际值。

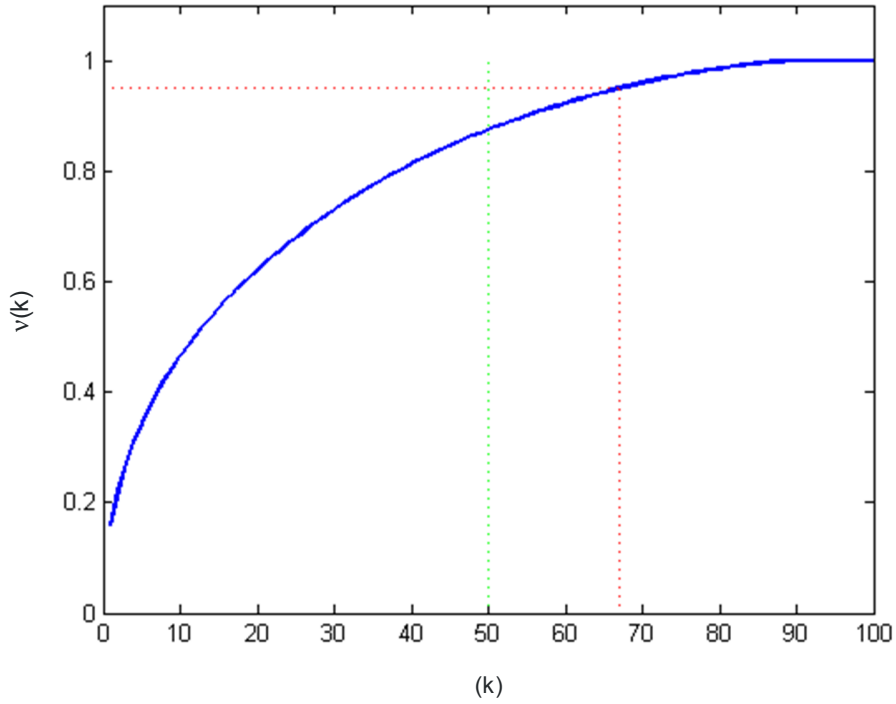
如果  $k > \frac{p+1}{2}$ ，则测量样本中仅存在高斯白噪声，否则噪声中也存在其他信号。

$k$  的最大可能值是  $p+1$ 。注意在公式（19）中随着  $k$  的增加， $v(k)$  收敛至 1。图 13 示出了这种图的一个示例，表示的是信号中只包含噪声样本。

图 14 示出了某次扫描的一个示例，信号中包含混有一些弱载波的噪声。

图13  
 高斯白噪声的 $v(k)$ 图

$(v(k)) p = 99, k(v_{0.99}) = 67$

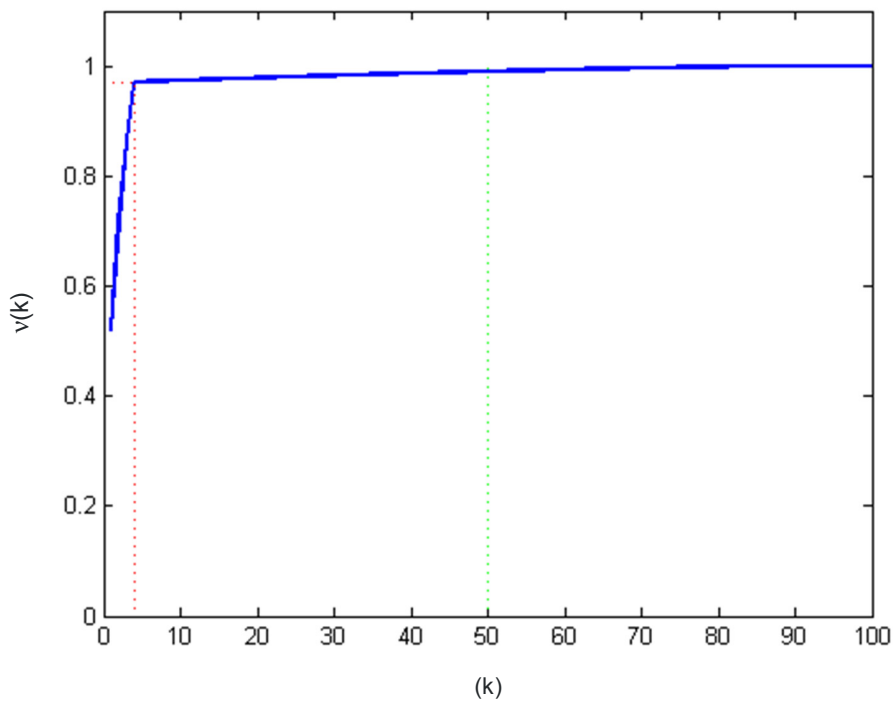


SM.1753-13

图14

4个多载波情况下的 $v(k)$ 图 (信道功率为-97 dBm)

$(v(k)) p = 99, k(v_{0.99}) = 4$



SM.1753-14

可以看出，尽管注入载波的 $S/N$ 非常低（幅值概率分布几乎呈直线）， $v(k)$  曲线还是呈现出与只有噪声时完全不同的特性。因此，SVD方法比单纯评估幅值概率分布要敏感得多。

本方法也适用于实值的测量。

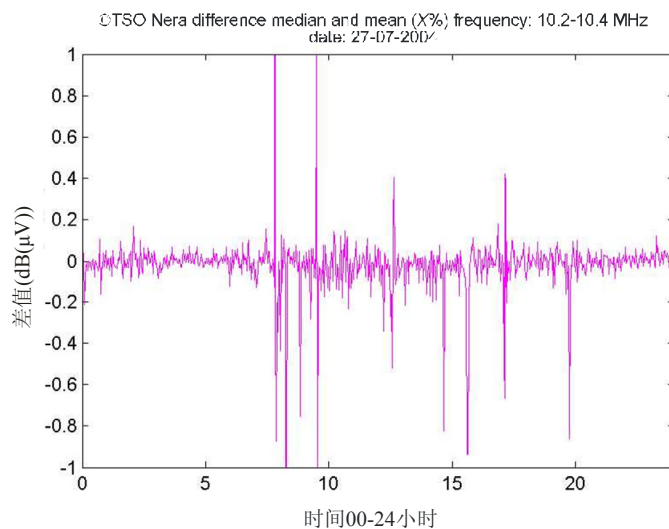
## 附录2

### 验证采用直接均方根测量时的截止值

假设某次扫描产生的测量值中有 $X\%$ 仅含有噪声。如果从评估过程中去除的值占有合适的比例，则剩余噪声样本的中值与均值应相同。一项实际测试绘出了中值与均值之间的差，这一差值显然受到非声信号的影响。

图15

#### 中值与均值之间的差（选择性为20%）



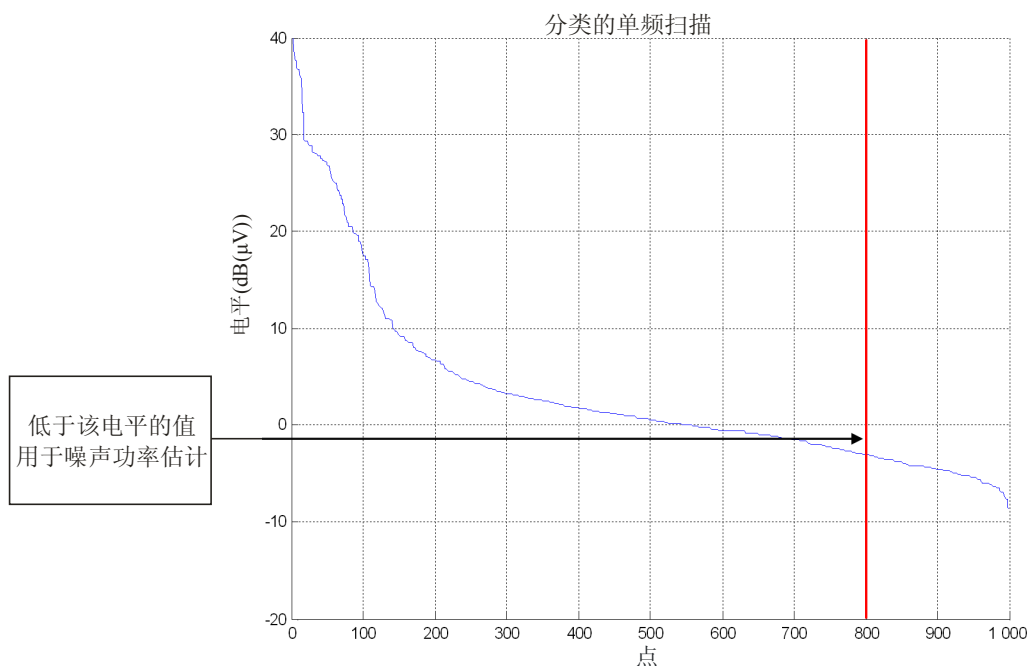
SM.1753-15

图15中的曲线作为一个例子，示出了对于所有扫描的20%这一固定百分比，中值与均值之间的差。观测周期为24小时（00:00至23:59）。在07:00至20:00期间，雷暴令选择性为20%的分布出现了出现了很大的斜率，因此中值与均值出现了很大差别。

另一项测试是要按照某一噪声电平绘制符合该噪声电平的样本的数目，并检查在“ $X\%$ ”截止点右侧的曲线是否平滑且具有较小的斜率。图16给出了一个示例。

图16

按照分类值随机选择的扫描



SM.1753-16

选择的截止值（垂直线）位于1000个测量样本中的800个样本处，与20%相对应。可以看出，在这个示例中截止值的选择并不太严格：70%与10%（300和900个样本）之间的任何值都可能选择，因为在这个区间曲线的斜率是稳定的。

两种测试方法都需要某种事先校准。另外在计算时需要采用数目有意义的样本，比如这类测试就不能只用一个样本。

## 参考文献

ITU-R P.372建议书 — 无线电噪声

ITU-R SM.2055报告 — 无线电噪声测量

ITU-R SM.2155报告 — HF范围内人为噪声测量

ITU-R SM.2157报告 — 高数据速率电力线通信系统的测量方法。