

国 际 电 信 联 盟

**ITU-R**

国际电联无线电通信部门

**ITU-R SM.2155号报告**  
(09/2009)

**高频(HF)频段的  
人工噪声测量**

**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
<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>

**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  
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.2155号报告

## HF频段的人工噪声测量

(2009年)

## 1 引言与背景

在接收机的输入阶段，来自不同噪声源的无线电噪声将会产生一定程度的无用背景射频（RF）电平，若要成功，接收就需克服这些无用信号产生的干扰。ITU-R P.372建议书定义了无线电噪声这一术语以及普通的干扰源并分别给出了各干扰源的平均值。在1GHz以下，源于下述一种或多种干扰源的噪声为主要噪声，具体要取决于使用的频率：

- 银河噪声
- 源于雷电的大气噪声
- 人为噪声（MMN）。

在HF频段，通常既有大气噪声又有人为噪声，而在VHF/UHF频段则人为噪声占主导地位。

大气噪声主要源于雷电。大气噪声的平均值比较稳定，且在很长一段时期内都不可能发生大幅变化。但是人为噪声是源于多个电器和电子设备所产生的无用发射之和，其中包括电力线、局域网等有线电信系统产生的发射。人为噪声的电平与这些噪声发射源的密度和特性高度相关。在几年的时间内，有可能发生巨大的变化。本报告为测量30 MHz以下的人为噪声提供了多种方式。

由于传播、频率的高密度占用以及实际工作中缺乏无损天线等原因，30 MHz以下无线电噪声测量远比高频测量困难得多。

无线电噪声的一个重要组成部分是电器和电子装置无用发射所产生的人为噪声，这些装置产生的发射可以归为以下几类：

- 白高斯噪声（WGN）：具有这类噪声振幅分布的发射，其带宽通常要高于测量带宽。
- 脉冲噪声（IN）：仅在某些时间段存在的发射，通常包括有限的短期脉冲队列（猝发串）且有时会按特定的频率重复（脉冲重复频率或PIF）。
- 单载波噪声（SCN）：振幅基本衡定的发射，其带宽小于测量带宽。

ITU-R P.372建议书将人为噪声定义为未知数量干扰源产生的多个发射之和。SCN通常接收自一个单一的干扰源，因此被排除在MMN的定义之外。在测量无线电噪声时，必须通过选择测量位置和频率的方式，来确保此部分MMN无法主导测量结果。尽管发射SCN和WGN的众多干扰源产生的集总信号很快会在接收机中产生类WGN信号，但在许多IN干扰源中并不会产生这种现象：在包含上百不同干扰源的脉冲MMN长期记录中，仍可发现脉冲特性。

ITU-R SM.1753建议书为所有频段的无线电噪声测量与评估提供了指导原则。本报告详细地阐述了噪声测量，特别是在HF频段，包括对脉冲噪声以及MMN与大气噪声的区分进行评估。此类方法与ITU-R SM.1753建议书中的“C类”测量相对应。例如，本报告拟描述了德国采用的HF MMN测量系统及其取得的测量结果。

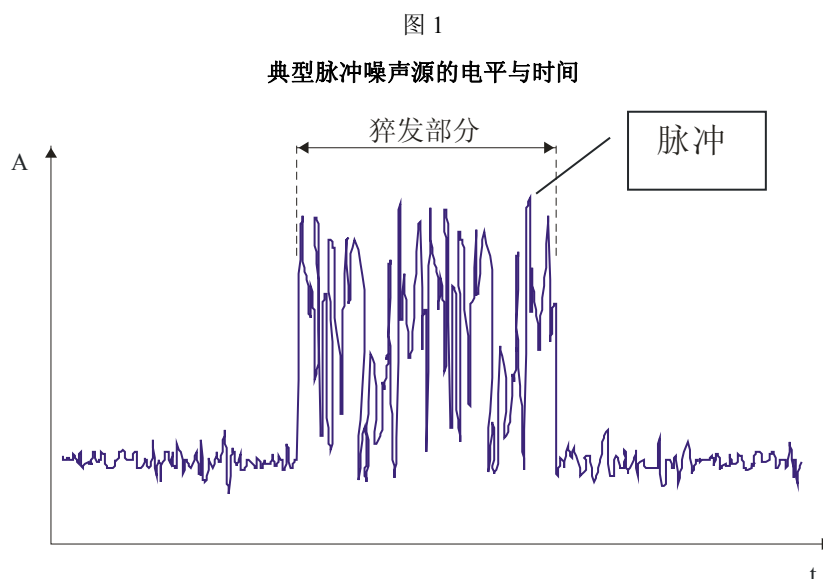
## 2 MMN的特性参数

### 2.1 WGN

对WGN而言，测量在足够长的时间（例如1秒）内集成的MMN平方根（RMS）电平即可。这种方法通常使用测量接收机的RMS检测器记录显示结果，其后可在希望的时间段（例如1小时）内对这些测量结果取平均值。

### 2.2 IN

真实脉冲噪声源的典型振幅时间函数通常并非长方形。相反，这些干扰源发射一系列可被视作猝发串的超短脉冲（见图1）。



为描述IN的特性及其可能对无线电通信接收机产生的干扰，下述参数特别值得关注：

- 脉冲或猝发电平
- 脉冲或猝发串的长度
- 脉冲或猝发重复的时间
- 用百分比表示的总脉冲或猝发时间。

上述参数中的大部分均无法直接测量。相反，测量设备必须高速取样，且无法通过检测器的“原数据抽样”进行加权。IN参数及其统计分布将在其后的评估进程中推导得出。

### 3 问题与解决方案

鉴于我们将面临下述主要问题，特别是在HF频段，特提出以下解决方案：

- a) 鉴于HF频谱内的占用密度很高并会受到远方发射产生的干扰，在整个测量时间段内（通常为24小时）无法找到一个完全不受有用发射或主动发射影响的噪声测量频率。

测量系统必须选择并自动改变测量频率。在实际测量之前，对所需频段进行扫描并将电平最低的频率用于下述测量。

- b) 雷电等大气噪声以及通过天波传播接收到的某些主动发射，可能具有与MMN相同的特性，因此很难区分。但是，如果仅测量MMN，则有必要将大气噪声与本地干扰源产生的人为噪声区分开来。

解决方案：MMN测量在两个位置同时展开（测量位置与参考位置）。两个位置之间的距离在0.5公里至10公里之间。该设备需要精准的时间同步。在两个位置检测到的特征波形假设通过天波接收，并在相关进程中从MMN的测量结果中删除。

- c) 由于传播的因素，特别是来自广播发射机所产生的发射将产生比当前MMN电平高100 dB的接收信号电平。这将使敏感的测量设备超载并产生错误的测量结果。

解决方案：在测量设备进入初次放大阶段之前，会使用带通滤波器。特别是在广播频段，与期望测量范围内的衰减相比至少要有20 dB的抑制。鉴于预放大器将置于滤波器之前，因此总会产生超载问题，这也意味着无法使用装有内置预放大器的有源天线。

- d) 由于传播的原因，各频段的WGN电平与当日的有关。因此，将一整天收集到的WGN测量结果取一个平均值是不够的。

解决方案：测量工作会持续24小时。测量结果均以1小时为单位取平均值；最终每次测量将产生24个WGN测量值。

- e) 鉴于长波长低于30 MHz，ITU-R P.372建议书中假设无法建立自由空间环境或其他无损耗天线的调谐双极。使用的测量天线将无法把所有可用的能量从测量场转至接收机。

解决方案：在计算出外部噪声值之前，先判定平均天线因子并将其用于更正测量值。

### 4 测量设备及设置

在30 MHz 频段以下需将下述设备应用于MMN测量，包括IN。

表1  
基本测量设备和要求

部分设备	重要要求, 备注
HF天线	水平方向图: ND 实例: 地面短单极径向天线 5 MHz处的天线因子: $\leq 35$ dB <sup>(1)</sup> 12 至 30 MHz间的天线因子: $\leq 20$ dB 将有铁氧体的馈电电缆用于抑制护套波
为抑制广播频段提供的HF频段带通	9-5 000 kHz、5 600-12 000 kHz、 13 600-19 000 kHz与21 500-30 000 kHz间的抑制 $\geq 20$ dB 带通衰减 $\leq 4$ dB
低噪声放大器	最小频率范围: 3-30 MHz 增益 $\geq 15$ dB 低于 10 MHz的噪声值: $\leq 6$ dB 高于 10 MHz的噪声值: $\leq 3$ dB
测量接收机	快速傅里叶变换 (FFT) 分析仪或扫描分析仪 抽样速度: $\geq 20$ kHz <sup>(2)</sup> 捕获/扫描时间: $\geq 1$ s <sup>(3)</sup> 与计算机实时数据传输的接口 真实带宽 (RBW): 10 kHz <sup>(2)</sup>
装有控制软件的计算机	设置并控制测量接收机 存储数据 提供设备的时间同步 <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> 天线因子是指一种转换因子, 用于将天线电压转换为场强。

此因子通常以 dB为单位, 其使用方法如下:

$$E = U + AF$$

式中:

$E$  : 电场强 (dB( $\mu$ V/m))

$U$  : 天线输出电压 (dB( $\mu$ V/m))

$AF$ : 天线因子 (dB)

请注意, 方向性天线必须使用各种可能的方位角与仰角之间形成的平均天线因子。在噪声源均匀分布的情况下, 方向性测量天线和理论全向天线接收到的噪声功率相同。在此情况下, 可通过对具体方向上的天线增益进行恰当的修正来取得平均天线因子。

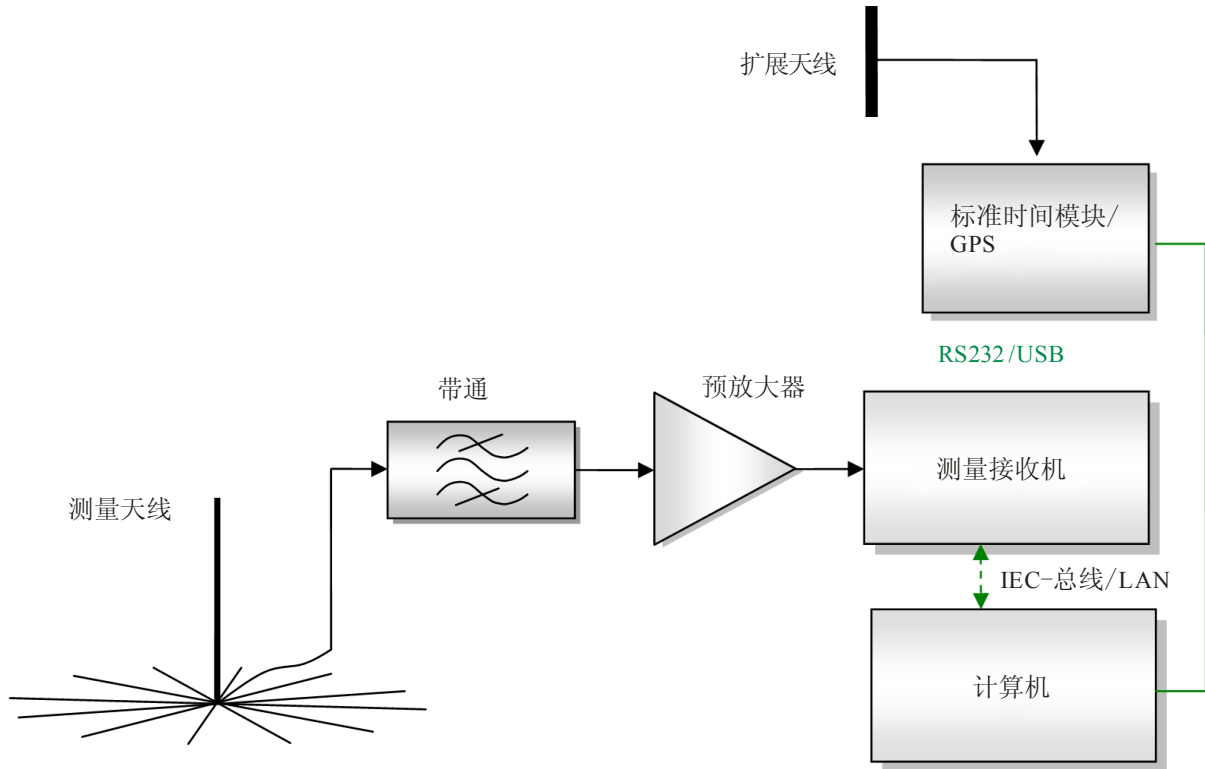
<sup>(2)</sup> 30 MHz以下广播无线电系统的测量带宽具有方向性, 其频道间隔为相距10 kHz的DRM, 最大带宽为20 kHz。使用更宽的RBW会降低找到可用于测量的空闲频率的机率。可用10 kHz RBW完全捕捉的最短脉冲为 $2/20$  kHz = 100  $\mu$ s。为捕捉到每一脉冲, 抽样速度至少为RBW的两倍。

<sup>(3)</sup> 为时1秒的捕获或扫描时间允许将检测脉冲/猝发串的重复频率降至2 Hz。假设低重复频率的定期发射要慢于任何数字传输的最大帧速率。因此这些信号的干扰影响仅与单一脉冲事件相似。

<sup>(4)</sup> 例如, 测量与参考位置的设备同步可能通过与DCF77或 GPS-Modules等外部装置连接来实现。

使用下述测量设置：

图2  
基本测量设置



## 5 测量程序

如前所述，系统在每次获取数据之前必须找到适当的空闲频率。此项工作可通过“预运行”的方式进行，即在滤波器的整个带通范围内进行扫描，最好使用与实际测量相同的RBW和RMS检测器。电平最低的频率可用作下述WGN和IN最终测量的候选频率。

在第二次运行中测量WGN电平使用RMS检测器、窄带RBW（例如100 Hz）、零跨度或窄跨度（例如100 kHz）以及1秒以上的集成时间。

在第三次运行中测量IN电平，使用抽样检测器、零跨度并在1秒或1秒以上的捕获时间内使用10 kHz的RBW。在每秒中内，至少要提取并存储10 000份样本。

在各个频段每5分钟重复这些测量则可。

时间同步进程必须确保总是在测量位置与参考位置同时实施第三次运行，其最大偏置值约为100 ms。这样能够确保在两个位置的IN捕获能有充分的时间交叉（90%）。

为了描述MMN的特性，建议至少在3至30 MHz整个HF频段内均匀分布的3个不同频段进行测量。鉴于广播频段被高功率发射机密集使用，从而产生了高接收信号电平，应避免使用这些频段。倾向使用仅被短时占用的移动频段（例如4-5，12-13和19-20 MHz）。

## 6 测量评估

### 6.1 WGN

ITU-R P.372建议书建议将WGN 测量结果表述为外部噪声值 $F_a$ 。通过将其归一至1 Hz带宽并在热噪声之上以dB为单位表述（kTB，通常设置为-174 dBm/Hz），可从对应的无损耗全向天线接收到的噪声电平推导出这一数值。

实例：如果在100 Hz RBW情况下测量出的（经修正）的MMN电平为 -120 dBm，则其与1 Hz RBW（比kTB高34 dB）情况下的-140 dBm相对应。

如果，与大多数情况下类似，测量天线不能假设为无损耗，则必须对其进行修正。ITU-R SM.1753建议书对此做出了详细的阐述。

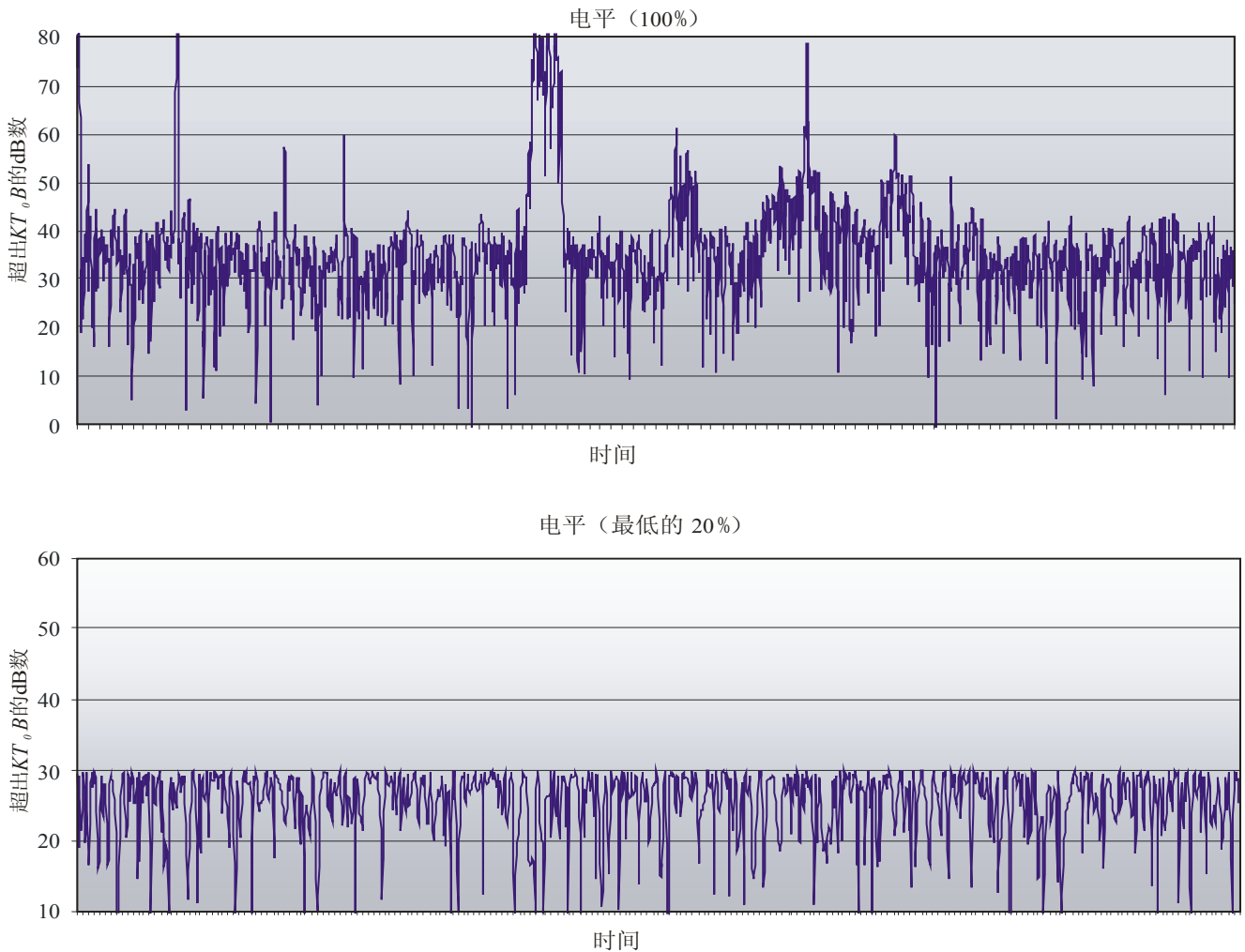
如果无法做出在整个测量频段内没有主动发射的假设，则应使用ITU-R SM.1753建议书中阐述的“20% - 方法”，利用所有RMS抽样对WGN电平做出判定：在所有测量值中，取消80%代表较高电平的抽样，仅留下20%代表较低电平的抽样（参见图3）。此做法将删除测量结果中的主动发射。对其余数值进行线性平均。但是，由于删除了所有测量抽样中的80%，WGN中部分较高的电平已被删除。因此，必须对平均测量结果做出修正。修正的判定是通过将纯WGN应用于测量系统（例如来自某噪声源）并做一段时间的记录，其设置与实际MMN测量使用的设置相同。应用的修正为所有抽样（100%）的线性平均值与测量中电平最低的20%抽样（存在噪声源）之差。

注1 - 此方法还将消除所有脉冲式大气噪声，例如 $F_a$  测量结果中雷电产生的噪声，仅剩下MMN的合理估算值。



图 3

一次捕获中的电平与时间



实例：包括部分主动发射的MMN测量使用100 Hz 的解析带宽（RBW）。所有抽样的平均值，对所用天线做出更正后，为 $-100$  dBm。所有抽样最低20%部分的平均值为 $-120$  dBm。噪声源的真WGN测量结果为所有抽样的平均值， $-60$  dBm以及最低20%部分的平均值及 $-70$  dBm。修正的应用值为10 dB，须将其加入实际MMN测量（ $-120$  dBm）中20%的部分。因此在100 Hz RBW情况下测量出的WGN 更正电平为 $-110$  dBm。降至1 Hz RBW时，此值将变为 $-130$  dBm。假设热噪声电平为 $-174$  dBm/Hz，WGN最终的结果将比 $kTB$ 高44 dB。

## 6.2 IN

除WGN之外，测量出的IN电平并不随带宽呈线性比例变化。这是因为超短脉冲发射的带宽必须高于测量带宽，从而引发测量电平的下降。为了获得不依赖于带宽的测量结果，测量值被表述为电平密度并以（dB（ $\mu$ V/MHz））为单位。为得到IN的最终展示结果，必须采取4项评估步骤：

- a) 将IN抽样与WGN 抽样区分开来；
- b) 猝发串检测；

- c) 测量与参考位置间的对比（仅针对测量类型3）；
- d) 计算电平/密度、长度、重复时间和总猝发时间。

### 6.2.1 IN 与 WGN 的分离

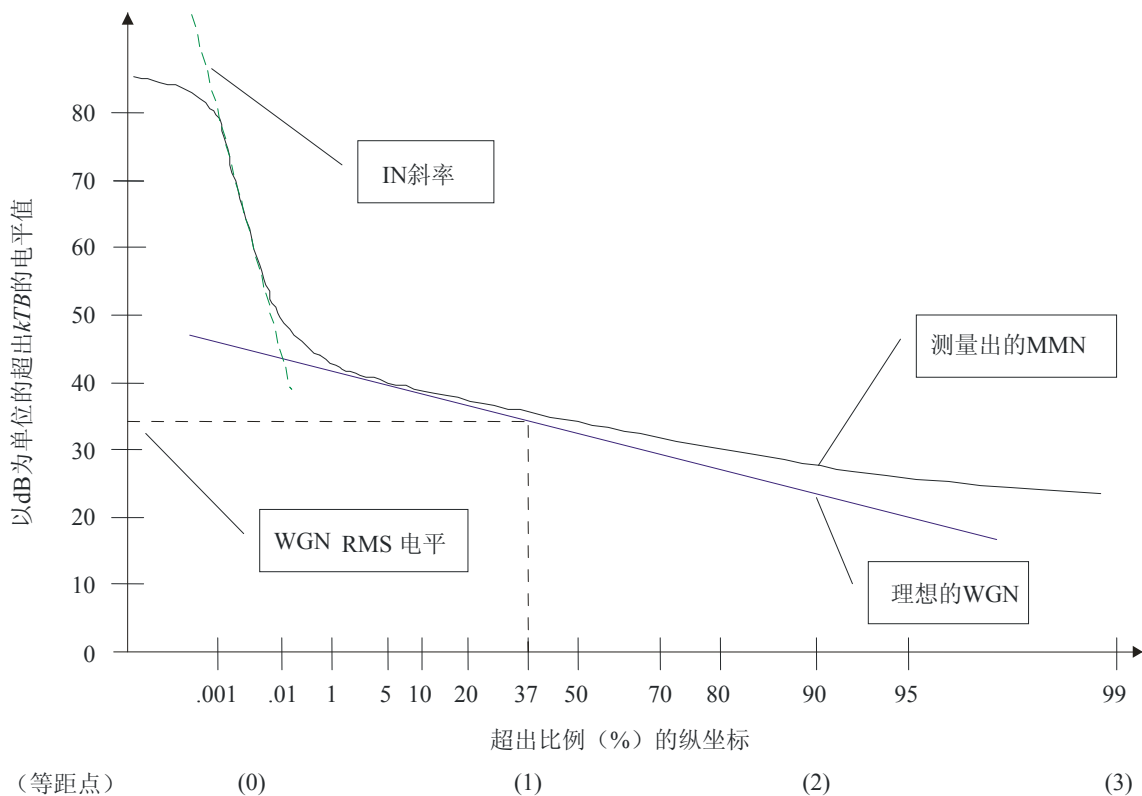
鉴于下述原因，有必要将IN抽样从WGN抽样中分离出来：

- 脉冲仅在非常短的时间段内出现。如果不将IN 与 WGN分离，测量结果将主要受一直存在的WGN的控制，因此无法观测到少数脉冲的特性。
- 严格来讲WGN亦可被视作一系列非常短的脉冲，但IN统计数据的表述仅适用于源自IN发射源的那些峰值。

在缺乏以数学基础理论方法的前提下，建议设置足够高的电平门限值来抑制WGN的所有峰值（或几乎为所有峰值），将IN抽样从WGN抽样中分离出来。超出门限值的所有抽样均被定义为IN。该门限值的一种实用数值为纯WGN的CREST因子（峰值与平均功率电平之差），即13 dB（在峰值与RMS检测器之间切换时亦可见到这一实用值）。因此，在每次捕获之前，有必要确定WGN抽样的平均功率电平（RMS）。IN电平值使用抽样检测器提取。鉴于我们使用快速数据抽样，WGN电平可采用所谓APD-方法计算。

首先，所有测量抽样均按升序分类。然后，针对表中每一测量电平，计算有多少样本超出该电平。接下来，通过制表的方式显示超出某电平值的样本数量（参见图4）。此图被称作振幅概率分布（APD）

图 4  
典型振幅概率分布（APD）

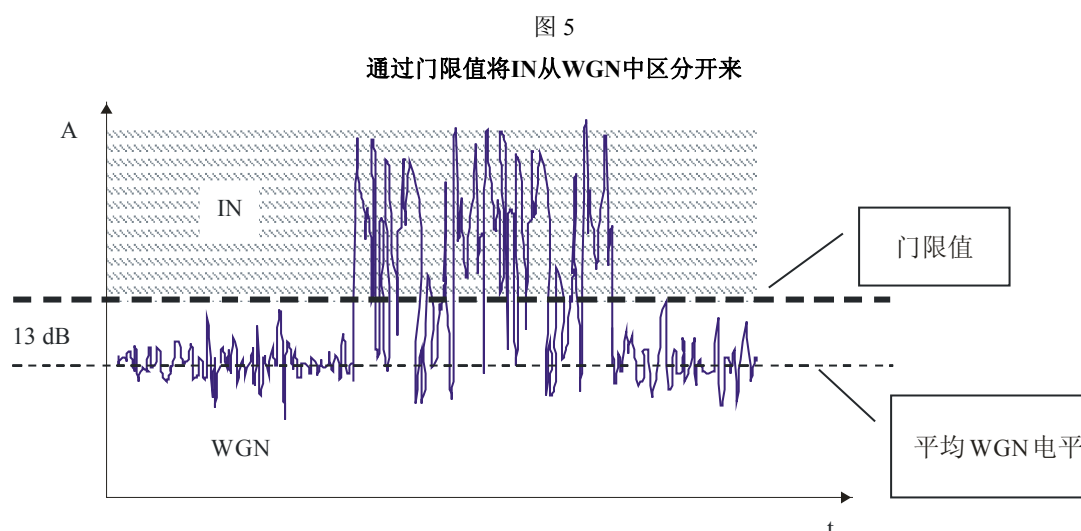


APD的中心部分描述了WGN的特性，下述事实可用数学的方法进行验证（但是验证工作不在本报告的范围之内）：

- a) 当x-轴为瑞利衰落时，纯WGN的APD是斜率为1/10的一条直线。
- b) 1/10的WGN线数字斜率适用于Rayleigh定标的线性对等物。x轴上等距点的实例分别为0.0045%、36.5%、90.5%和99%，其分别于线性值0、1、2和3相对应（参见下图4）。这些数值可用于在APD图形中绘制WGN线：在99%至90.5%、90.5%至36.8%以及36.8%至0.0045%的情况下，电平均上升10 dB。
- c) WGN的RMS值为此线与37%的概率点相交时的电平值。

如果，与其他情况类似，得出的测量结果也包括IN和SCN，则APD将从直线变为图4所示的典型形状。此为仅用于判定WGN部分RMS电平的一种更为精确的方式。沿着纯WGN斜率将该直线从底部上移，直至其与测量出的APD曲线相交。此后，通过读取此线与37%概率点的相交处的电平便可得出WGN的RMS值（虚线）。

将IN从WGN中区别开来的门限值为此RMS值加13 dB（见图5）。



后续的评估步骤仅适用于那些超出门限值的测量抽样。

与纯数学方法相比这一区分方式的重要缺陷在于会在一定程度上损失敏感度：仅在其电平比平均WGN电平至少高13 dB的情况下才能检测出此脉冲。较弱的脉冲全部丢失。但是，基于下述原因这一缺陷可以接受：

- 当代的数字无线电通信系统相对不受IN干扰的影响。为了屏蔽接收，需要使用很强的电平。
- MMN的WGN电平还被作为单独的数据给出。为能够正常工作，无线电通信系统必须在任何时刻都能处理这一恒定的MMN电平。这其中已经包括了WGN的短期“峰值”，其最大值可超过平均值13 dB。

### 6.2.2 猝发串检测

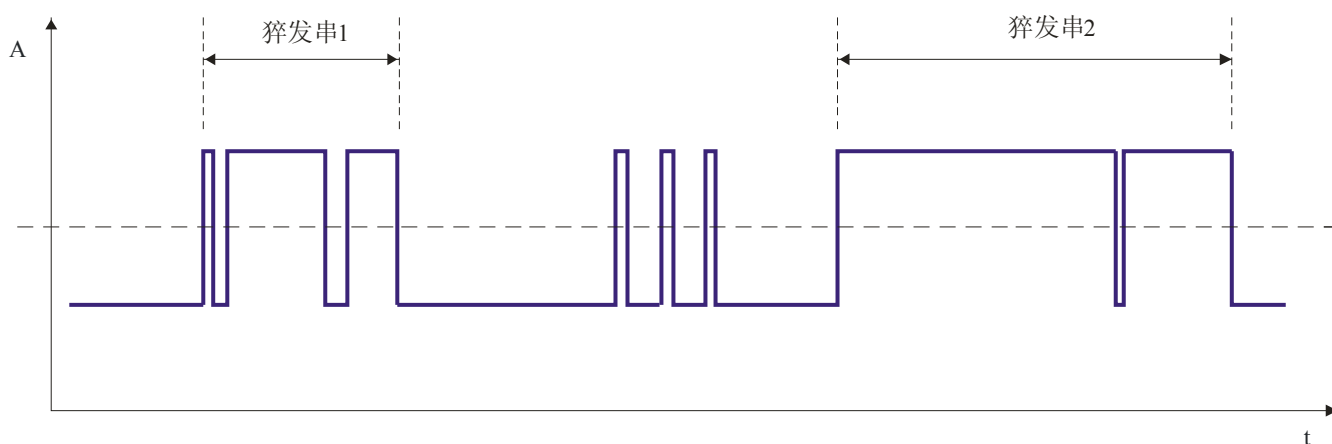
在大多数情况下，平均干扰射频能量将对无线电通信接收机产生干扰，当噪声源发射高射频带宽的超短脉冲时，受干扰的接收机会将其并入猝发时间之内。在评估IN对及其对无线电通信系统潜在干扰时，采用相同的做法似乎顺理成章。

因此，建议采用下述方法将短IN抽样并入猝发串，即每次捕获中的猝发串均可满足下述所有条件：

- a) 猝发串的所有抽样值中至少有50%超出该门限值。
- b) 在开始前25%的总猝发时间内没有抽样超出该门限值，在猝发结束后不超过总猝发时间25%的时间段内，没有抽样超过该门限值。

第一个条件能够确保在猝发串内大部分抽样均在此门限值之上。第二项条件是在每个猝发串周围建立了一个最小“隔离区”，其总长度为猝发长度的一半，平均分布在猝发部分的两侧。下图提供了一些经简化的长方形脉冲的实例。

图6  
猝发检测的原理



第一段的三个脉冲与第三段的两个脉冲形成猝发串。中间部分的脉冲无法合并，这是因为它们产生的猝发串中高于门限值的抽样低于50%。出于同样的原因，不得对第一猝发串进行扩展，使其涵盖中间的两个短脉冲。同样，也不得将其并入第二个猝发串，因为这样会造成第二个猝发串较长，从而无法与第一个猝发串保持足够的间隔。相反，应将他们做为独立的脉冲保留。

图7所示为应用于实际MMN测量捕获过程中的猝发串检测测量结果。

图 7  
猝发串检测的实例

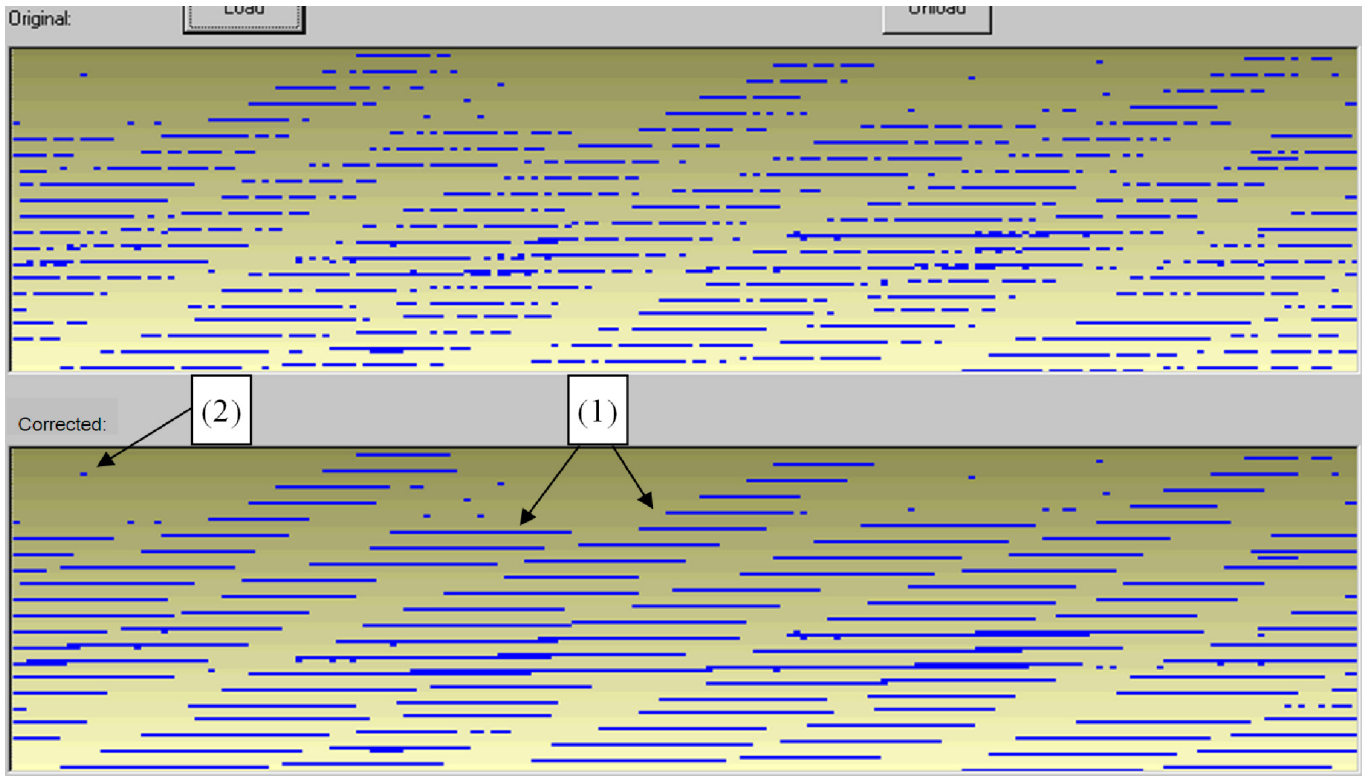


图7所示为时长为1秒的整个捕获块内的电平与时间之比。为提供足够的解析度，以分层的方式绘制多条直线，这与模拟电视机电子波束成帧相似，均采用逐行屏幕扫描。蓝色像素指出的是超出门限值的电平。上一窗口显示的是原始数据，下一窗口显示的是猝发检测进程的结果。可以清晰的看到主要噪声源，即一种具有特定猝发串长度和恒定重复频率的装置（1）。但是，他们之间的一些额外的短脉冲将采用全时解析度的方式予以保留（2）。

### 6.2.3 IN参数的计算

本文描述的电平、时长和重复时间判定程序适用于按第 6.2.2 段的方式成形的猝发串，同时亦可用于不属于某猝发串的剩余脉冲。为了简化，下文对两种情况均使用“猝发串”一词。

无论猝发串电平是高于还是低于门限值，其均是猝发串开始与猝发串结束之间所有抽样的线性平均值。这一方法揭示了整个猝发串期间存在的平均集成 RF 电平（RMS），因为该值能够判定对无线电通信接收机产生的干扰影响。

如上文所述，测量出的猝发串电平并不与带宽呈线性变化。因此已应将其表示为密度而非绝对电平。建议使用的单位为（dB(μV/MHz)）。可通过下述公式从测量结果中得出这一数据：

$$W_g = U + 20 * \log(1 \text{ MHz}/B_w)$$

式中：

$W_g$ : 频谱密度（dB(μV/MHz)）

- $U$ : 接收机输入端测出的电压 (dB( $\mu$ V))
- $Bw$ : 测量带宽 (MHz)。

与猝发电平相关的另一参数是一个函数，通过该函数猝发电平将升至测量出的猝发串的最高电平。这种情况可用角度或斜率来描述，通过这种方式，APD 图像中的 IN 驼峰将升至左侧（参见图 4）。脉冲斜率是 APD 脉冲“驼峰”最陡峭部分内所插入辅助线的斜率。其计算是相对于线性 x 轴，与 WGN 线的斜率相似（参见图 4）。所有描述的 IN 斜率值在整个注册时间段内进行平均。

猝发串时长是指超出门限值的猝发串的一与最后一个抽样的时间差。

猝发串的重复频率是指在一次捕获/描述过程中任意两脉冲间中心（或中央）抽样的反向时间差。其结果为到达时间差的直方图。在一次捕获中捕获了多个猝发串的情况下，必须判定各种可能组合的时间，从而得出多次重复的频率（参见图 8）。

图 8

## 判定猝发重复时间的原则

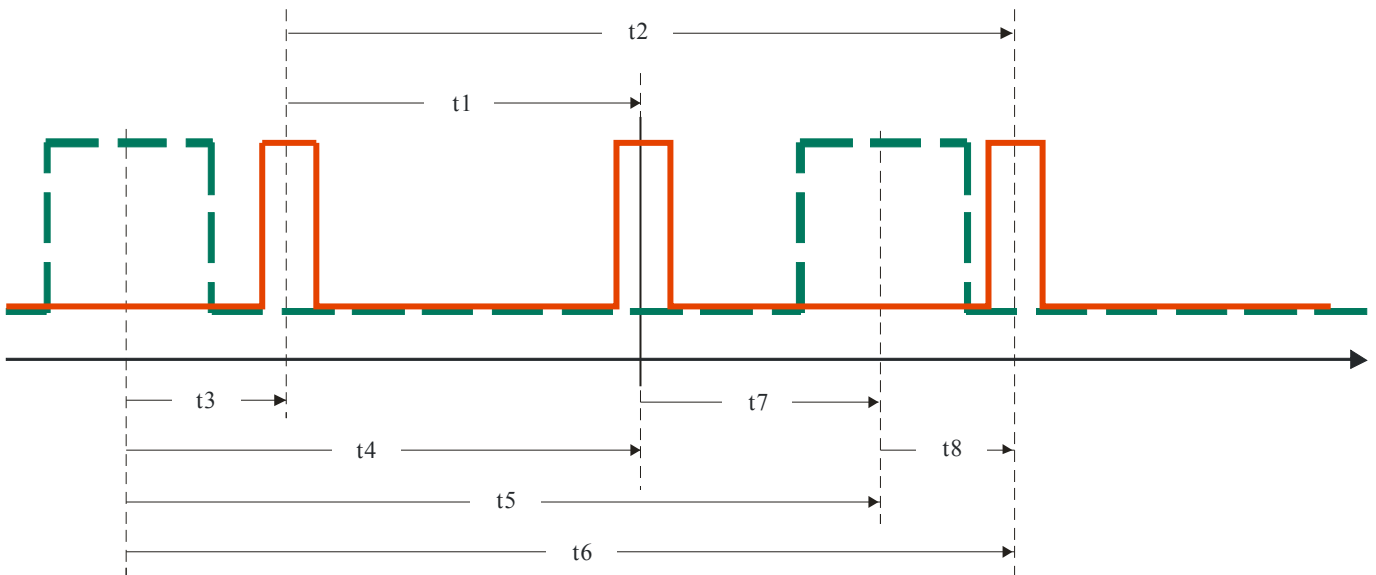


图 8 所示为两个噪声源以特定重复速率发射脉冲序列所产生的信号。红色（实体部分）信号产生的是 t1 和 t2 重复时间段。在结果展示中同时给出两种重复时间段的原因在于，根据数字无线电通信业务的典型表现：此项业务仅会受到以某种脉冲重复频率发生的脉冲噪声的影响，通常这种频率与帧速率相对应。当帧时长碰巧为 t2 时，鉴于总是帧内的相同比特受到干扰，该系统也会受到干扰。在 IN 结果展示中必须显示此时间出现（t2）（参见图 31）。

图 8 中的绿线（虚线）为重复频率不同的第二噪声源产生的信号。对于此次捕获，计算所有的组合方式将产生 8 种不同的重复时间。

总猝发时间指出了一整天内出现的脉冲或猝发串的数量。其计算方法是用属于猝发串的测量样本数量（包括猝发串内低于门限值的样本数量）除以注册过程中样本的总量。

## 6.2.4 测量与参考位置的对比

如上文所述，特别是通过天波接收的大气噪声（例如雷电）在某种程度上可以从 MMN 样本中删除。它们是在两个位置上同时收到的脉冲与猝发串。在相距许多公里以外的位置将不会收到本地噪声源产生的 MMN。

测量和参考位置的传播与接收条件可以不同。因此，为了确定两个位置接收到的信号，仅对信号电平进行评估还不够。相反，确定算法必须寻找接收电平同时出现突然上升和/或下降的情况，允许在电平和时间方面存在一定的容差。

两位置之间需要的时间同步精度为 100 毫秒，推荐使用 1 秒的扫描时间意味着至少存在 900 毫秒的重叠时间。评估的第一步是准备判定测量位置与参考位置之间的频差。如 ITU-R SM.1753 建议书所述，此项工作通过相关性来实施。下述案文，如图 9 所示，描述了一种实用的计算方法：

步骤1： 计算参考位置和测量位置扫描的中值电平。无论总接收电平有多高，两次描述中必须有50%的样本在此中值电平之上，另有50%的样本在此中值电平之下。

步骤2： 中值以上的每个扫描样本均被指配了一个自动相关指数（+1）。中值以下各样本的指配值为-1。为各扫描指配的所有指数之和应为0。

步骤3： 目前为止，仅对参考位置和测量位置间扫描的指配相关指数进行了对比。如果两相关指数相等，则得出的交叉相关指数为+1，如果它们不相等，则结果为-1（逻辑函数“排它OR”）。所有这些结果之和为交叉相关性的数值。

步骤4： 此时，测量位置的扫描随时间位移一个样本，对交叉相关性数据进行重新计算，在900毫秒的交叉时间内，针对所有可能的时间偏置重复这一程序。最高交叉相关性数值的偏置是固定的，因为假设两扫描之间使用精确同步。

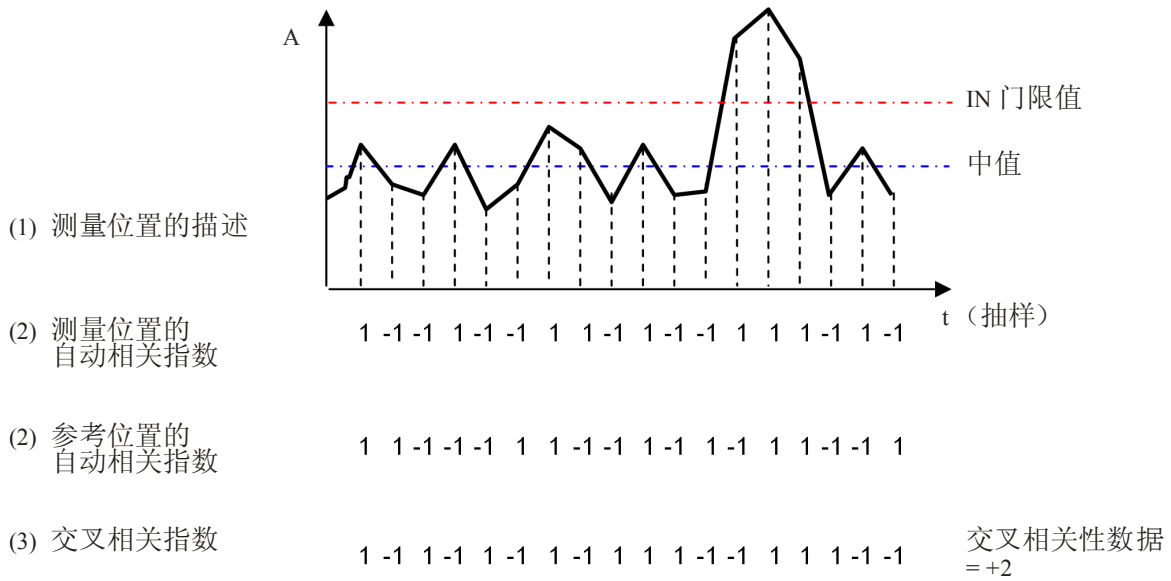
步骤5： 确定测量位置第一猝发串的起始样本与结束样本（在图9的示例中，起始样本为第13号样本终止样本为第16号样本）。此后便可以肯定是否在猝发串长度50%以上的时间内，在参考位置也出现了猝发串。如果是这种情况，则假设该猝发串是通过天波接收并将该猝发串删除。否则，则应假设该猝发串源于本地（人为）并予以保留。

在图 9 的示例中，猝发串的长度为 4 个样本，起点为第 13 号样本。因此，如果在参考位置的 13 至 16 样本之间至少有 3 个样本（大于 50%）超出了猝发串门限值，则应将其删除并不在进一步的评估进程中予以考虑。

扫描中应对每一猝发串重复步骤 5。此后，应对注册中所有其它的扫描重复步骤 1 至 5。

图9

测量位置与参考位置之间的相关性



## 7 结果展示

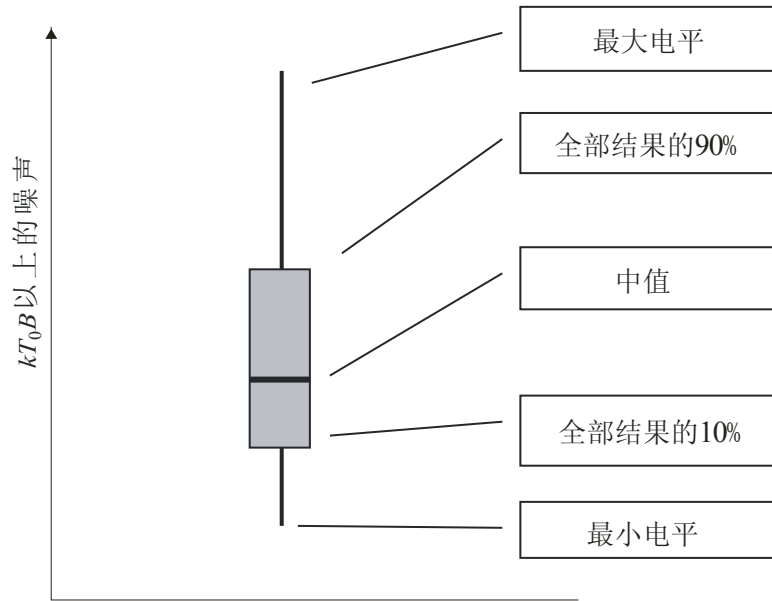
### 7.1 WGN

如上文所述，鉴于传播条件不同，HF 频段的 WGN 数字取决于当天的测量时段。因此，建议以 1 小时为单位计算 WGN 电平的平均值，为  $F_a$  提供 24 个数值（超出  $kT_b$  的 dB 数值）。

但是，同一位置每天的 WGN 数值也不相同，在不同位置得到的测量值，即使属于同一范畴，也会有很大区别。因此，只有在不同时间不同位置取得的众多测量值的基础上计算平均值，该 WGN 数值才具有实用价值。为给出 WGN 的平均值或中值并提供分布可能性方面的信息，建议使用所谓“柱状”曲线来表示测量结果。各柱将一并指出最大值、最小值、上时分值、下时分值及中值（参见图 10）。

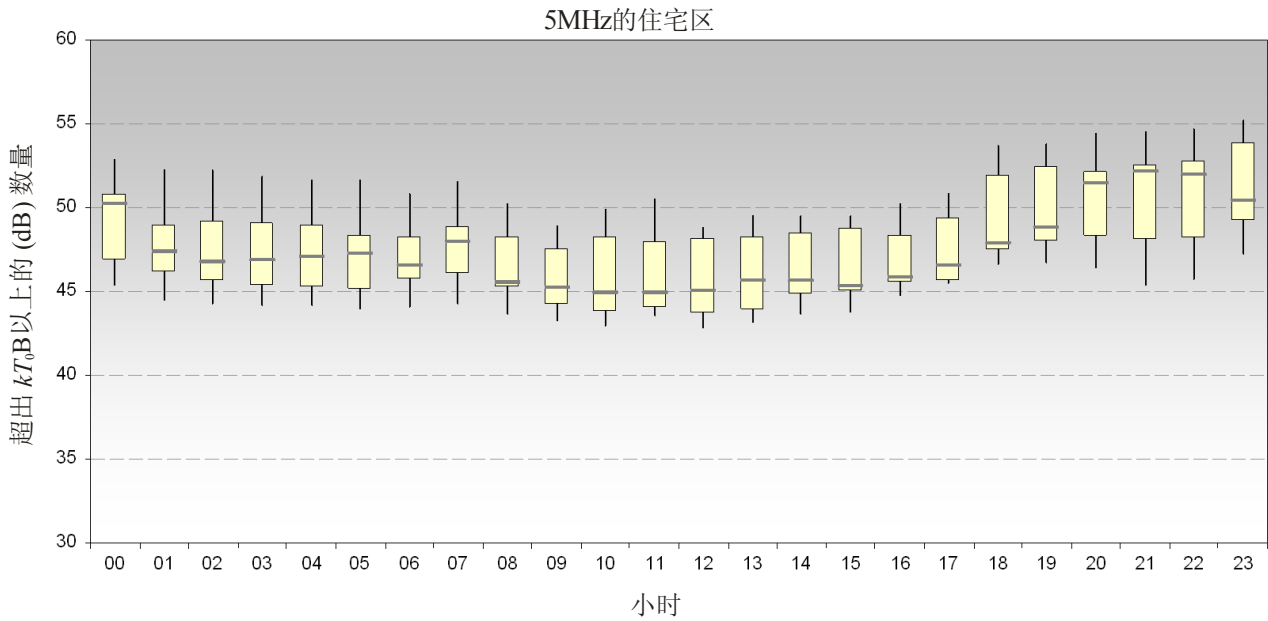


图 10  
柱状图的原理



应当注意，不要在一个柱状图中混淆不同位置范围（例如城市和居民区）的测量结果。此外，鉴于一般 MMN 电平与频率相关，只能将同一频段取得的测量结果并入柱状图。

图 11  
典型柱状图示例



为制定一项广泛的基础，最终修订ITU-R P.372建议书中给出的WGN值，国际电联建立了一个无线电噪声测量结果数据银行并通过下述网址 <http://www.itu.int/ITU-R/index.asp?category=study-groups&mlink=rsg3&lang=en> 供大家使用。根据ITU-R SM. 1753建议书和/或本报告实施MMN测量的主管部门，请提供测量结果并将其纳入数据银行。ITU-R P.311建议书中包含有关所需数据格式的信息。

## 7.2 IN

在真实的环境中，24小时的注册将包括来自许多不同噪声源的脉冲/猝发串，其中包括针对三项主要参数（电平、长度和重复频率）的数值。因此，有必要将测量结果用统计分布表示，而不是给出各参数平均数的单一数值。

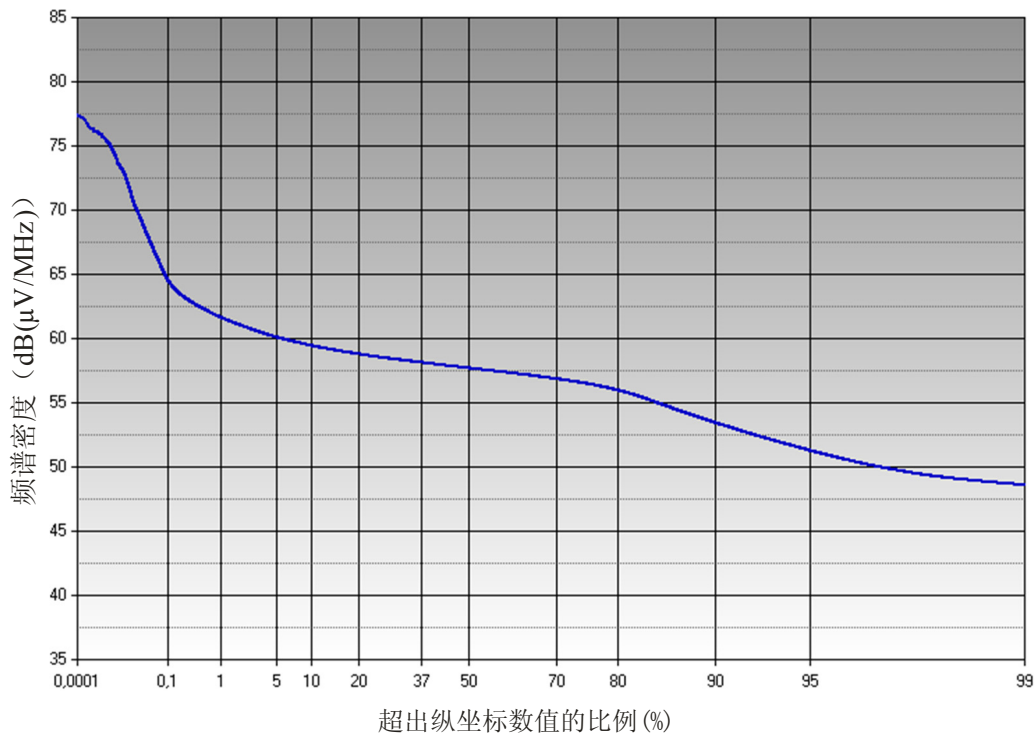
在将测量位置与参考位置的结果进行比较之后，请对附近噪声源的IN加以考虑。鉴于这些噪声源取决于传播条件，没有必要按小时对这些数值进行区分。相反，在整个24小时时间段内取得的这些数值可以进行合并。

为同时提供脉冲噪声出现频率的信息，建议在所有展示中（参见下图13）指出相对猝发时间（=以百分比表示的IN抽样相对数量）

### 7.2.1 猝发电平

根据第6.2.3段计算得出的平均猝发电平和频谱密度可以表示为累计概率与频谱密度之比。图12中给出了一个实例。y轴上的数值指出所有猝发串达到或超过某一特定频谱密度的比例。

图 12  
猝发电平分布的实例

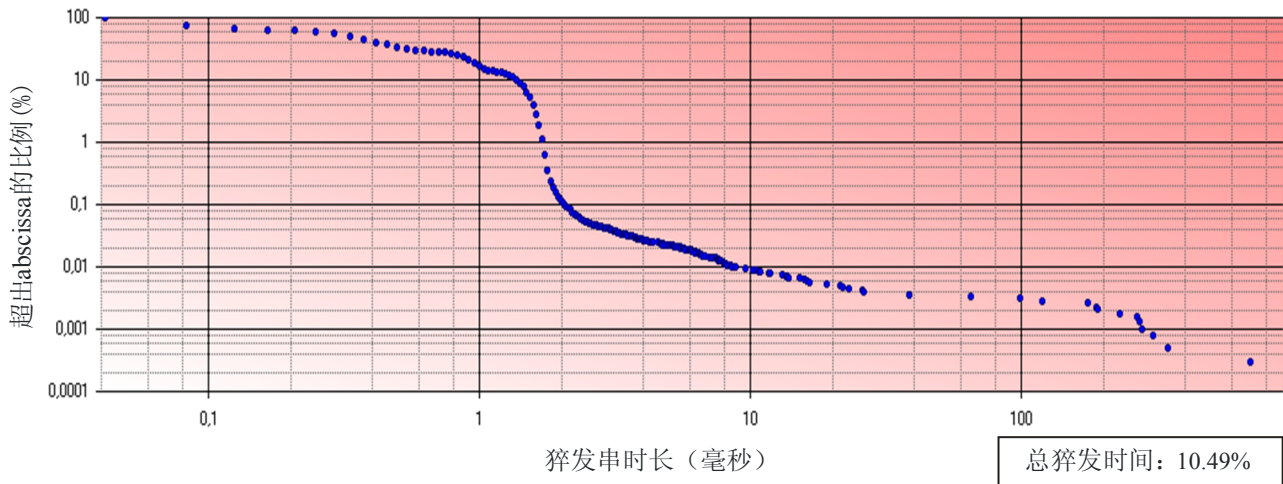


### 7.2.2 猝发串的时长

此根据第6.2.3段计算出的猝发串时长可使用累计概率与时间（长度）之比来表述。y轴的数值指出达到或超过x轴长度的所有猝发串所占的比例。出于实际考虑，建议两轴的标定均使用对数。图13给出了一个实例。

图 13

猝发串时长分布的实例



### 7.2.3 猝发重复时间

根据第6.2.3段计算得出的猝发重复频率可使用概率与频率之比来表述。y轴上的数值是指，在x轴上拥有重复时间的所有可能猝发组合所占的比例。

注1 – 仅计算某些脉冲空间出现的次数不能直接作为本图的依据：例如在一次为时1秒的捕获中，可能会存在间隔1毫秒的500个短猝发串，相应的猝发重复频率为500 Hz。同时，还有可能存在来自其他噪声源的两个猝发串，其间隔为500毫秒，与2 Hz的重复频率相对应。将快速猝发串计为慢速猝发串的500倍是不正确的，因为这将给出一种错误的印象，即500Hz的猝发重复频率比2 Hz猝发串出现的概率要高500倍。为了消除这一影响，某特定间隔的计数必须在绘图之前进行加权。具体做法是用计数的数量除以此次捕获中该空间可能出现的最大数量。

实例：捕获时间为1秒，在此期间共实施了10 000次抽样。因此两次抽样之间时间为100微秒。我们会计算间隔300微秒（2个猝发串之间的三个抽样）的1 500个猝发串，此外我们还将计算间隔为500 毫秒（猝发串之间的5 000次抽样）的两个猝发串。如果重复时间为300  $\mu$ s的第一个噪声源持续存在，则我们将在每次捕获过程中计算3 333个猝发串。图中猝发串重复频率的分布值计算如下：

对于300  $\mu$ s 的重复时间： $A = 1\,500 \text{ 猝发串} / 3\,333 \text{ 猝发串} = 45\%$

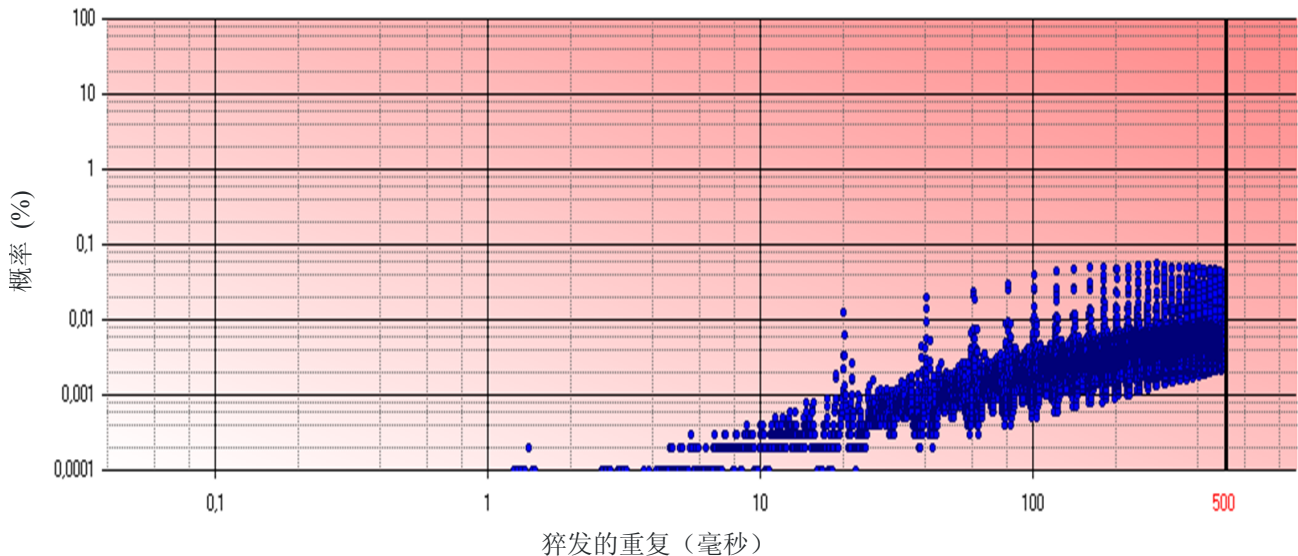
对于500  $\mu$ s 的重复时间： $B = 2 \text{ 猝发串} / 2 \text{ 猝发串} = 100\%$

针对所有检测到的猝发重复时间执行此项操作。所有不同时间段的总和，例如25，其最终结果的对应值为100%。这样，300  $\mu\text{s}$  重复时间的概率（=y轴上的数值）为45%/25 = 1.8%，对于500 ms的情况，为100%/25 = 4%。

图14给出了猝发重复时间分布的实例。

图 14

猝发重复时间分布的实例



x轴的右端通过时长为1秒的捕获来判定，其结果是将产生可检测到的最慢重复时间（500 ms）。图14中的实例给出了主导脉冲噪声源，其重复时间为20 ms。根据第6.2.3节所述的原则，在多个20 ms处（40, 60, 80 ms ...）存在峰值。

#### 7.2.4 总猝发时间

目前，所有的统计数据图仅包含IN参数相对概率。例如在图13中，所有猝发串中有0.1%长于40 ms。但是这种情况在1小时内会出现100或100万次脉冲。因此，另一项非常有用的参数是IN在总测量时间中的比例。所有脉冲和猝发串的总时间与总观测时间之比可以用单一数值（%）来表示，最好将其放置于某一时间图的旁边。例如在图13内，所有测量样本中有10.49%是猝发串或脉冲（参见右下方的文本框）。

## 8 德国实施的 MMN 测量

自2007年起，德国便在不同地点开展了大规模的高频频段 MMN 测量。WGN的测量结果将在国际电联无线电噪声数据银行中公布。

注1 – 由于尚未确定测量系统使用的天线因子，本版报告中给出的测量结果仅可被视作初步结果。预计因这种情况造成的测量不确定性为 $\pm 5$  dB。

## 8.1 测量设备的属性

目前使用了下述测量设备：

表 2  
德国使用的测量设备

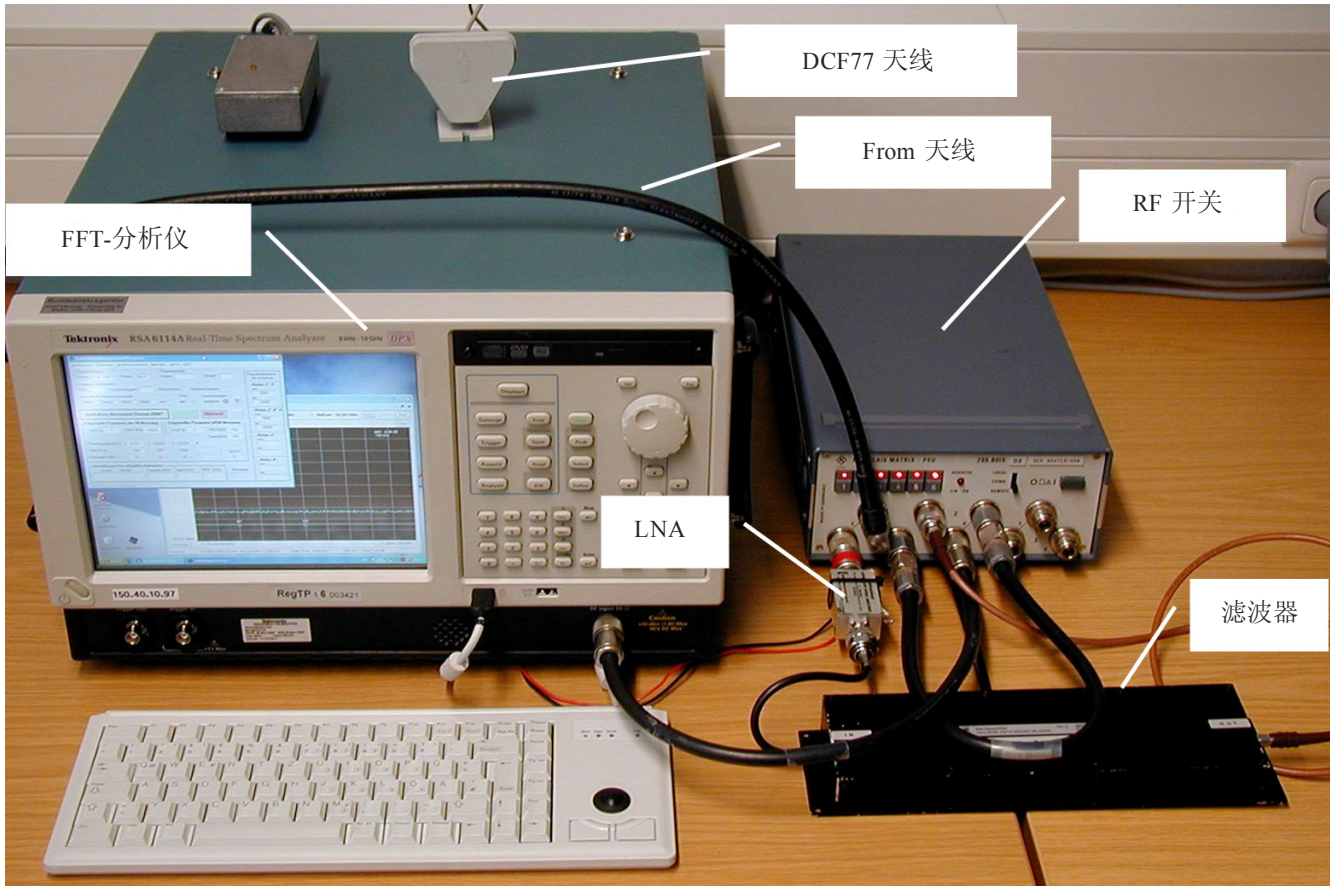
设备的组成部分	重要属性, 备注
无源HF天线	垂直双极 长度: 5 米 地面高度: 8-10 米 (中心) 5 MHz的天线因子: 22 dB 12 MHz的天线因子: 28 dB 20 MHz的天线因子: 15 dB
HF 带通	在9-5 060 kHz、5 600-12 100 kHz、 13 570-19 020 kHz、21 540-30 000 kHz 之间, 经 定制后, 特别是制造商生产的高频带通抑制 ≥ 22 dB 带通衰减≤ 2.5 dB 3 带通: 5 210-5 470 kHz、 12 410-13 240 kHz、19 490-21 070 kHz
低噪声放大器	频率范围: 5-1 500 MHz 增益: 20 dB 噪声值: 1.2 dB
测量接收机	FFT 分析仪 抽样速度: 2 × 24 kHz (I/Q) 捕获时间: 1 s 内置计算机运行控制软件 内部 I/Q 数据存储能力 RBW: 100 Hz (WGN)、20 kHz (IN)
控制和评估软件	自我开发 (Visual Basic、Excel)
时间同步	通过RS232附于分析仪的DCF77模块
RF 交换	2 IEC-总线控制交换电路

测量设备被安装于测量用车。天线被安装于内置可收缩天线之上。在多数情况下, 可提供外部220伏供电。对于遥远的位置, 两辆测量车装有1260 AH的电池容量及正弦d.c/a.c转换器, 使该设备可在无外部电源的情况下运行24小时。

如无外部DCF77天线可用，可通过图15中的RF开关避开滤波器。在这种情况下，该软件还支持使用FFT分析仪和测量天线对DCF77信号进行直接接收与评估。在这种模式下，每隔几分钟就要暂停实际噪声测量，在特定时间段内将分析仪设置为77 kHz并通过软件来评估DCF77发送数据电报，以判定准确的时间。鉴于77 kHz并不在某一带通之内，在时间同步阶段，必须绕开滤波器。

图 15

HF MMN 测量设备的设置



如果存在外部DCF77天线系统，则不需要RF开关。

图 16

HF MMN 测量用车



## 8.2 测量程序

对下述三个频段进行测量：

表 3

测量的频段

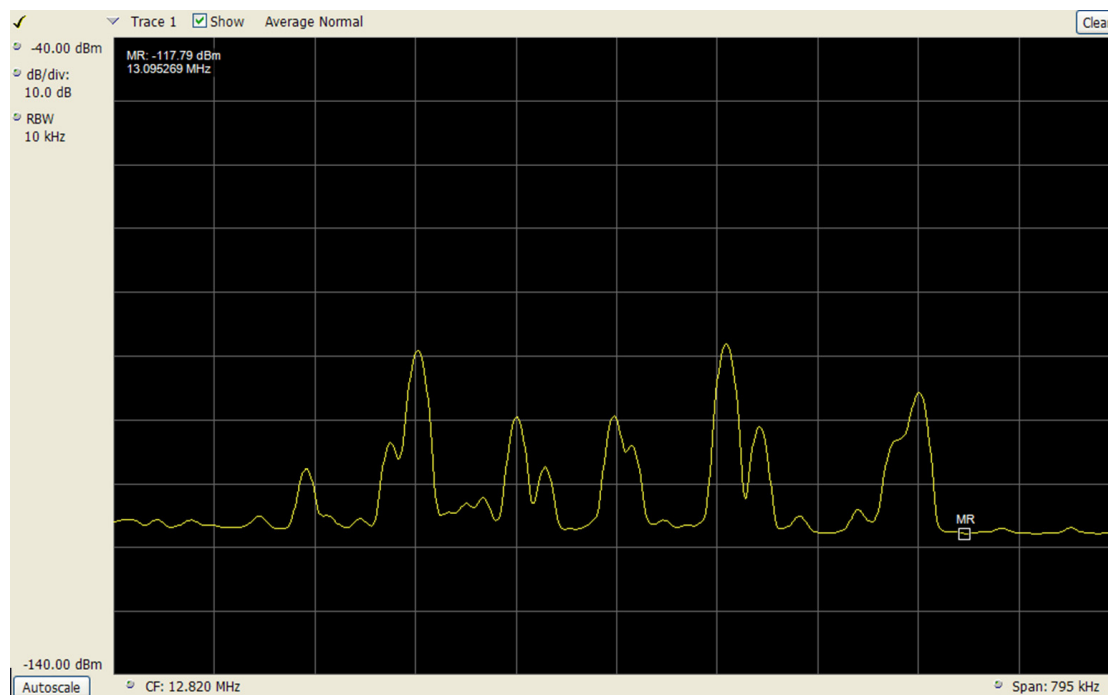
频段 (MHz)	中心频率 (kHz)	跨度 (kHz)
5	5 331	288
12	12 820	795
20	20 220	1 430

接下来继续对上述频段自动进行以下测量，并在24小时内重复该测量：

- 1 通过预运行来判定拥有最低MMN电平的频率：
  - 中心频率：来自表 3；
  - 跨度：来自表 3，RBW：10 kHz；
  - 捕获与集成时间：1 s；
  - 检测器：RMS。

图17中给出了一个实例。标记标出的是具有最低电平（或近似最低电平）的频率，测量将在此基础上继续。

图17  
通过预运行来判定合适的测量频率

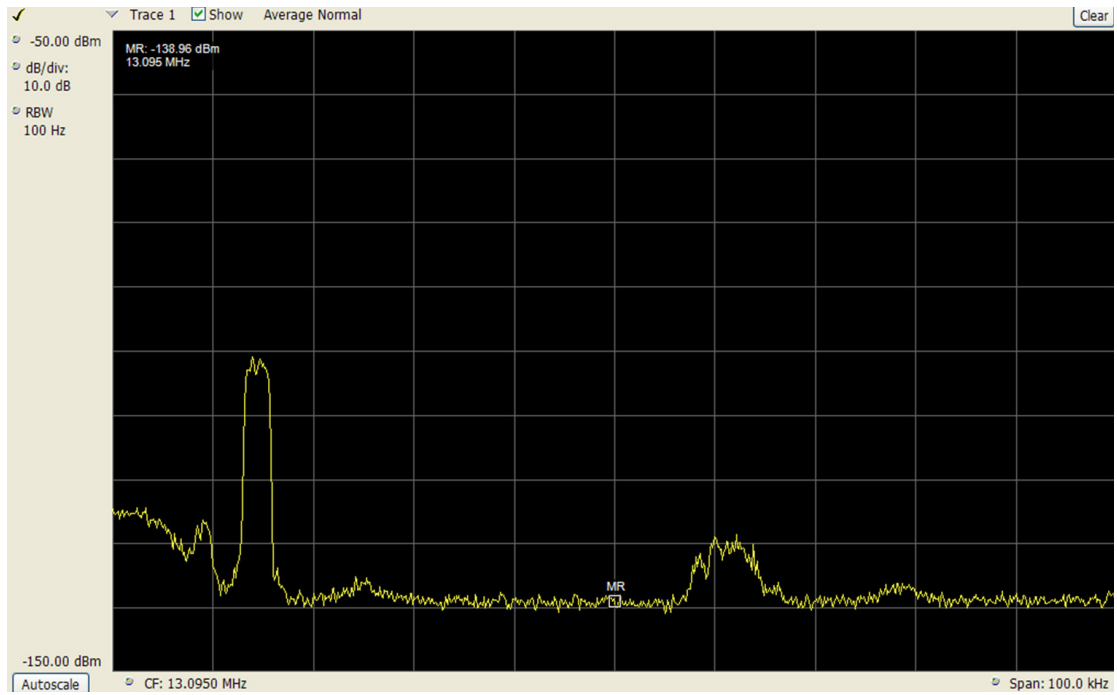


- 2 WGN测量运行。设置：  
中心频率：来自预运行的最低电平频率；  
跨度：100 kHz；  
RBW：100 Hz；  
捕获和集成时间：1 s；  
检测器：RMS。  
图 18给出了一个实例。



图 18

## 通过WGN测量判定RMS MMN

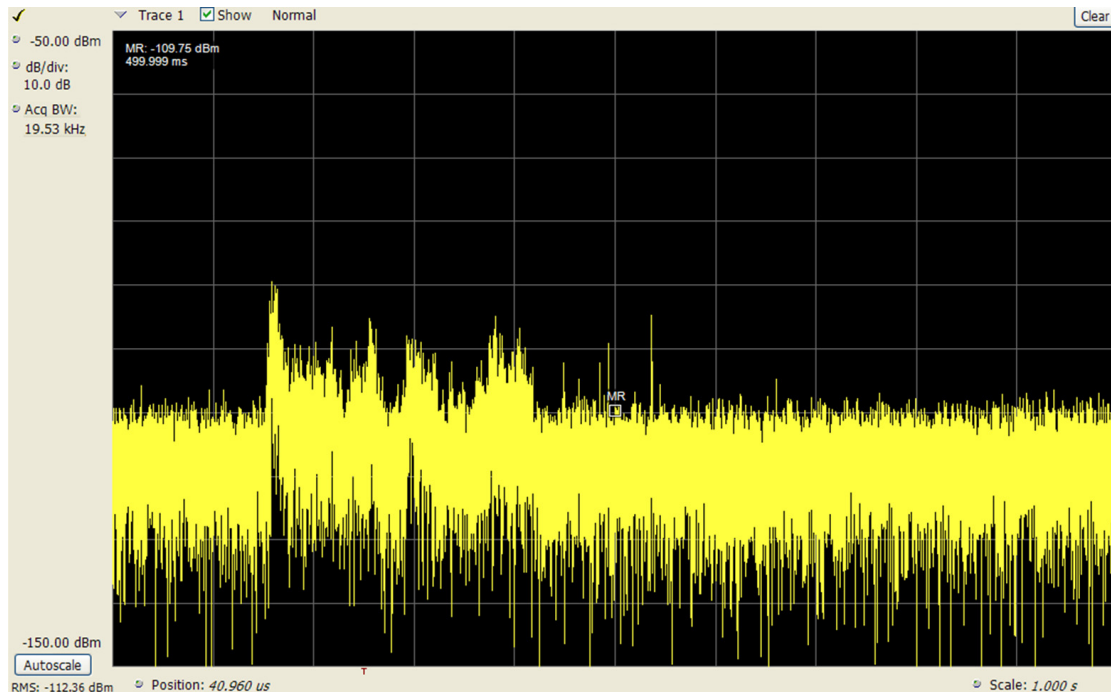


- 3 IN 测量运行。设置：  
中心频率：来自预运行的最低电平频率；  
跨度：零跨度（振幅与时间）；  
RBW：20 kHz；  
捕获时间：1 s；  
检测机：抽样。

图19给出了包含若干猝发串的实例。

图 19

IN 测量运行（振幅与时间）



每7分钟进行一次时间同步，具体方式是通过外部接口解码DCF77信号并将其与计算机的当前系统时钟进行比较。时间差被作为“偏置”存储，用于同步后续的测量运行。测量位置与参考位置之间的同步精度高于100ms。

### 8.3 测量结果

截至2009年，已在德国境内100多个位置进行了测量。下述柱状图总结了目前为止从各类位置取得的WGN 测量结果。

图 20  
5 MHz 情况下的城市WGN (柱状图)

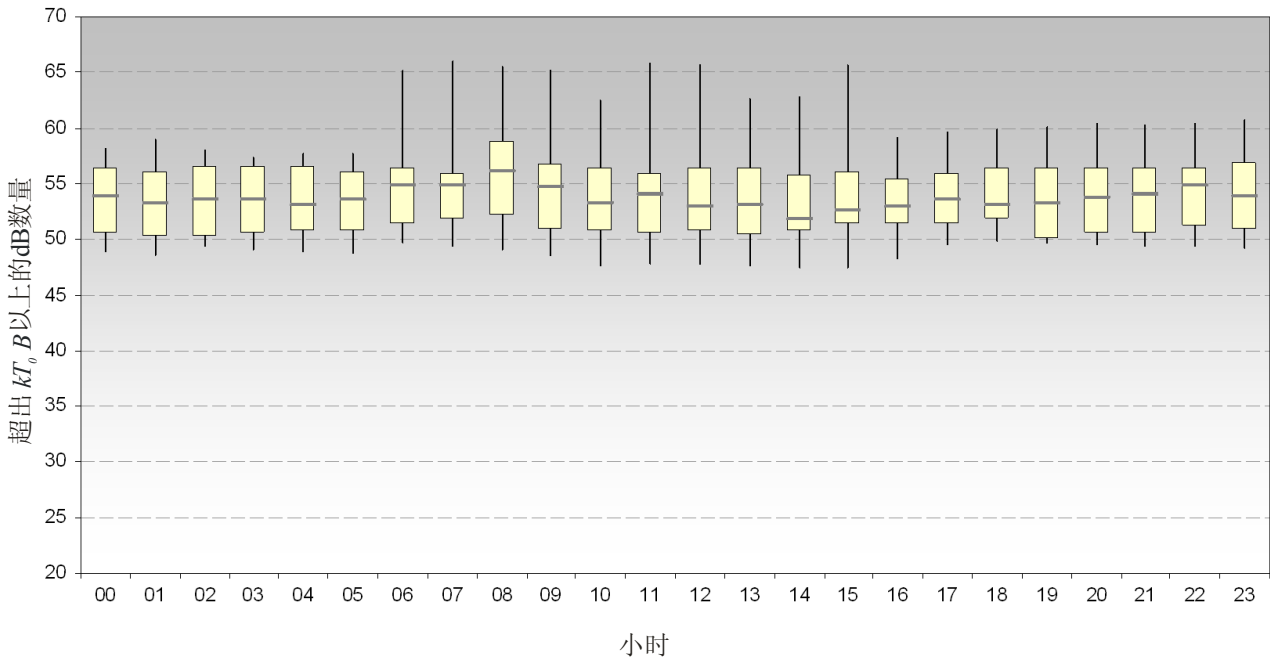


图 21  
12 MHz 情况下的城市WGN (柱状图)

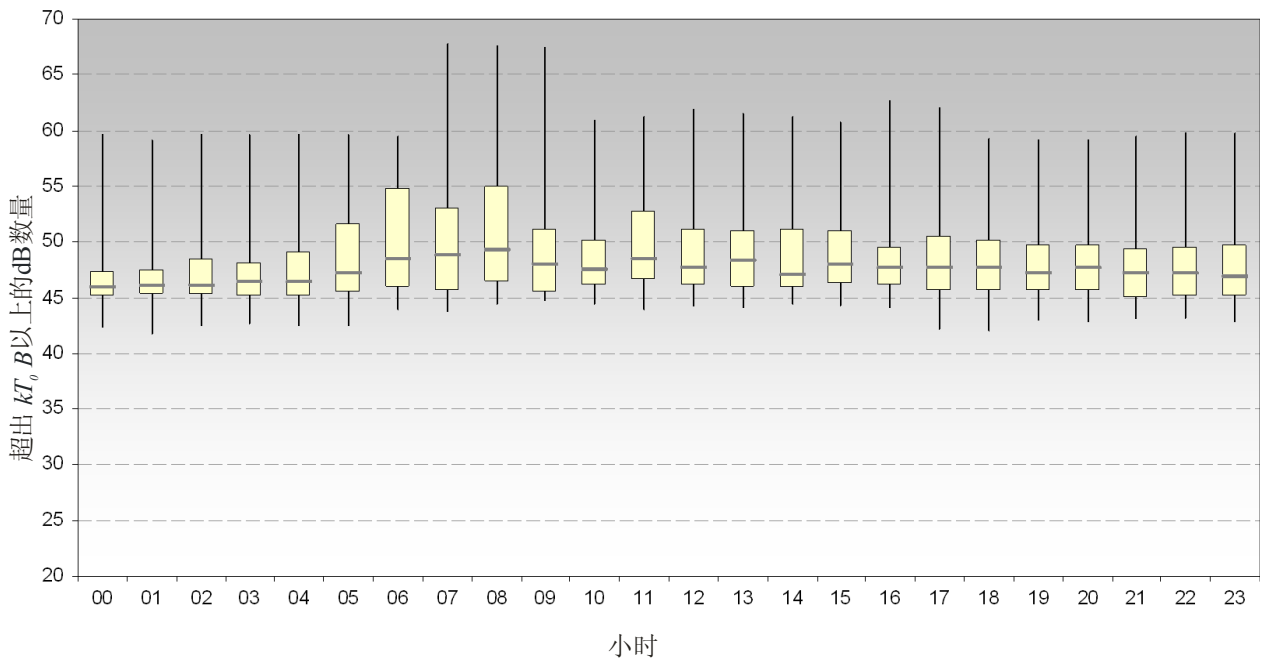


图 22  
20 MHz 情况下的城市WGN (柱状图)

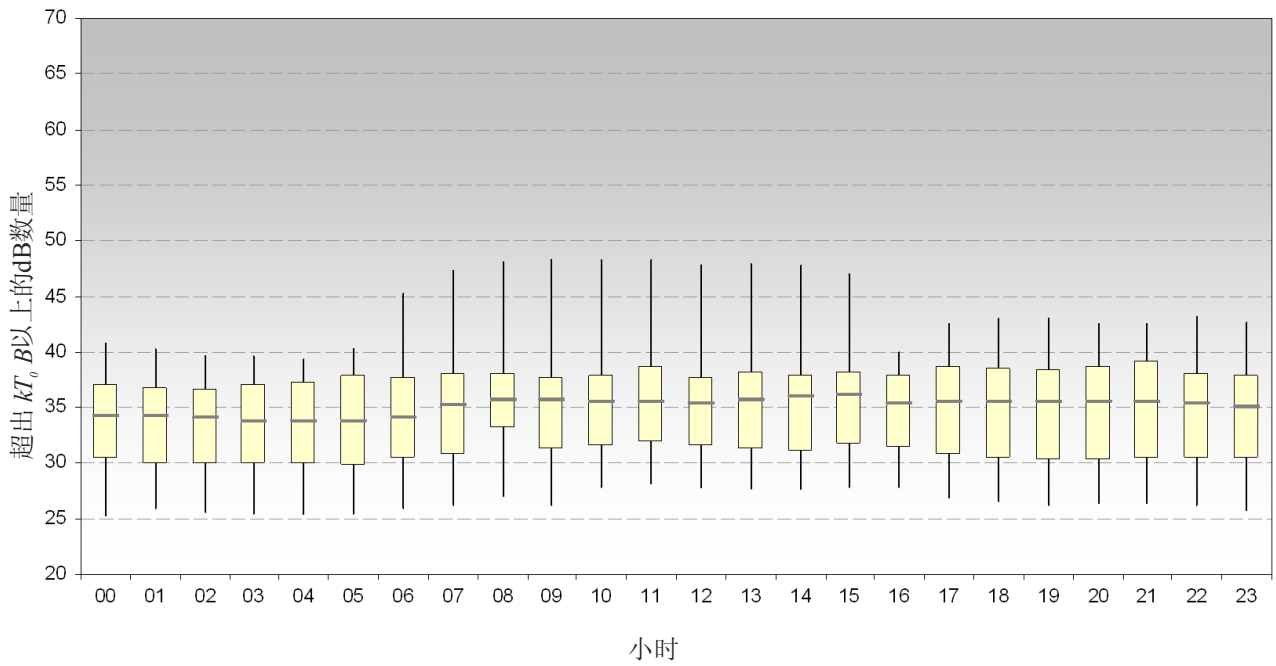


图 23  
5 MHz 情况下的住宅区WGN (柱状图)

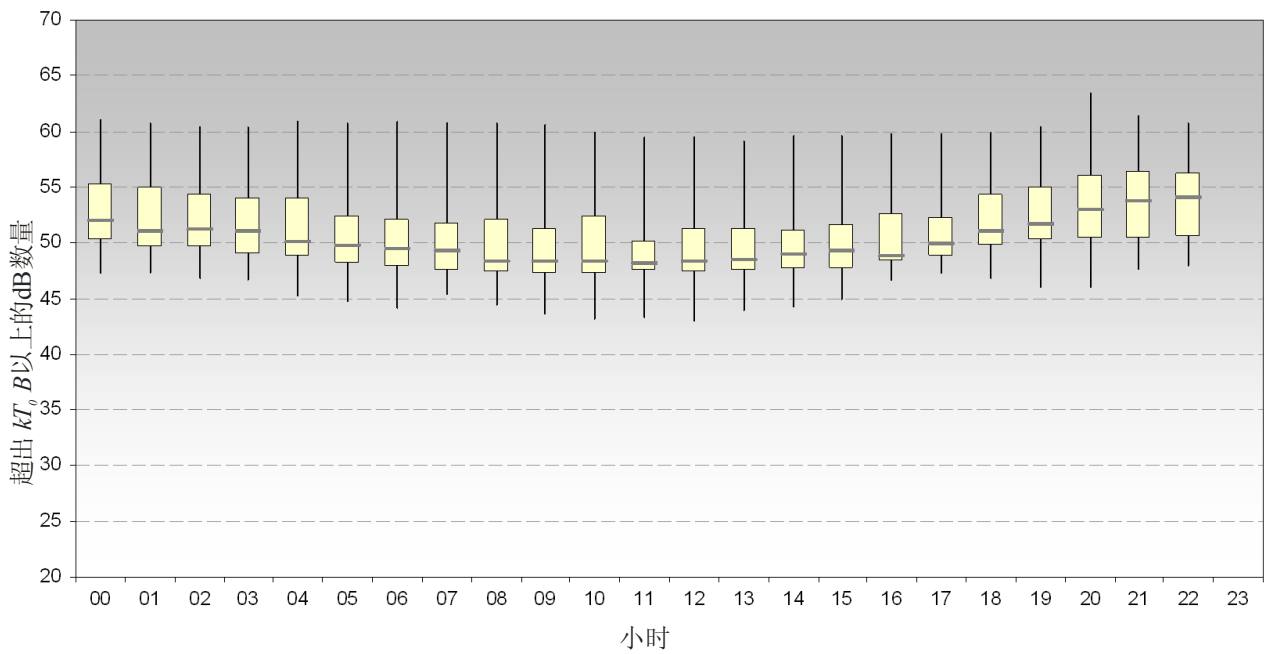


图24  
12 MHz 情况下的住宅区WGN (柱状图)

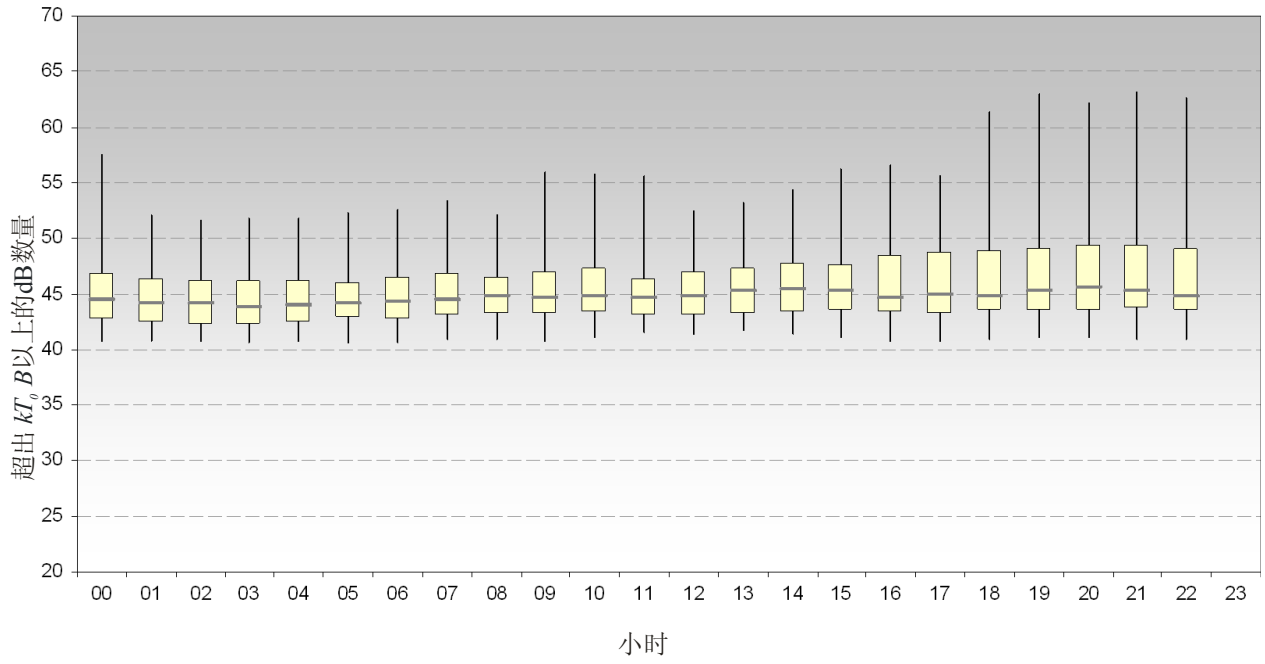


图 25  
20 MHz 情况下的住宅区WGN (柱状图)

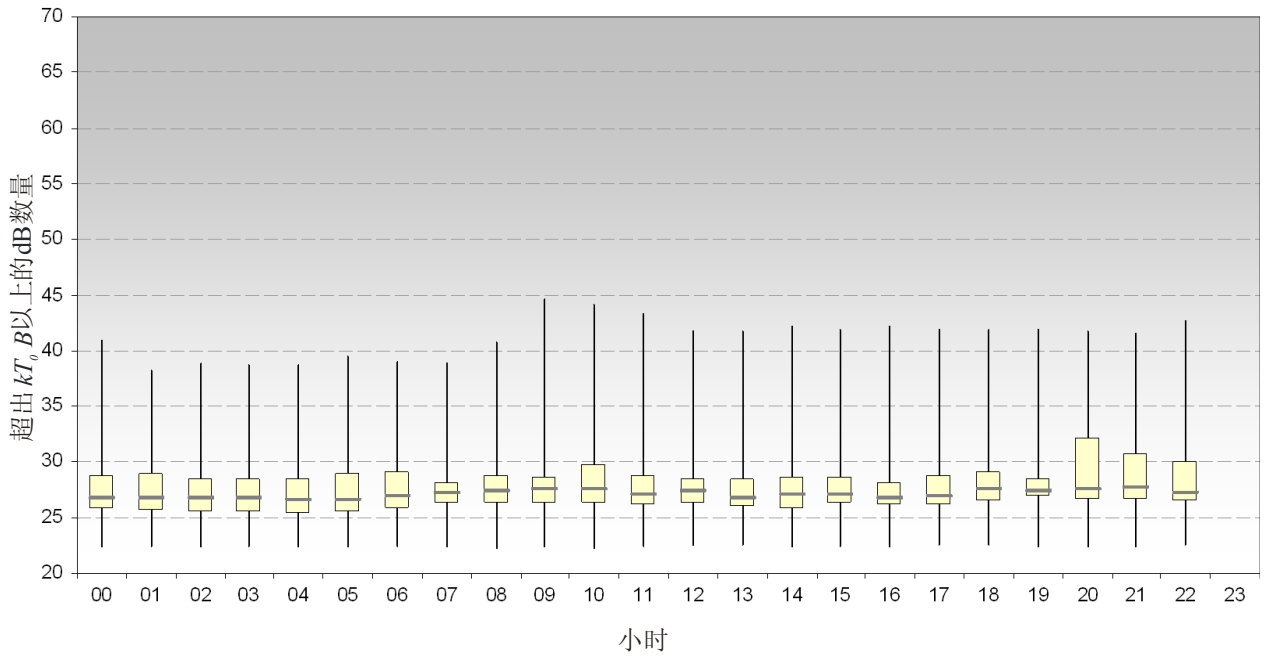


图 26  
5 MHz 情况下的农村 WGN (柱状图)

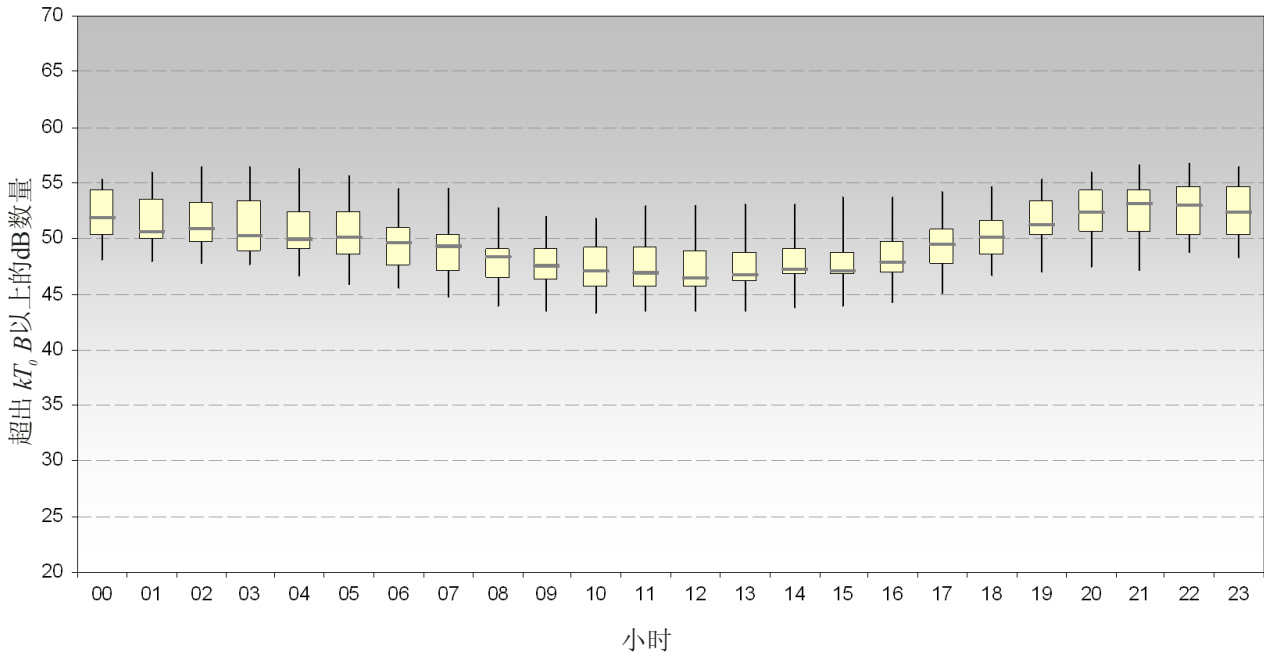


图 27  
12 MHz 情况下的农村 WGN (柱状图)

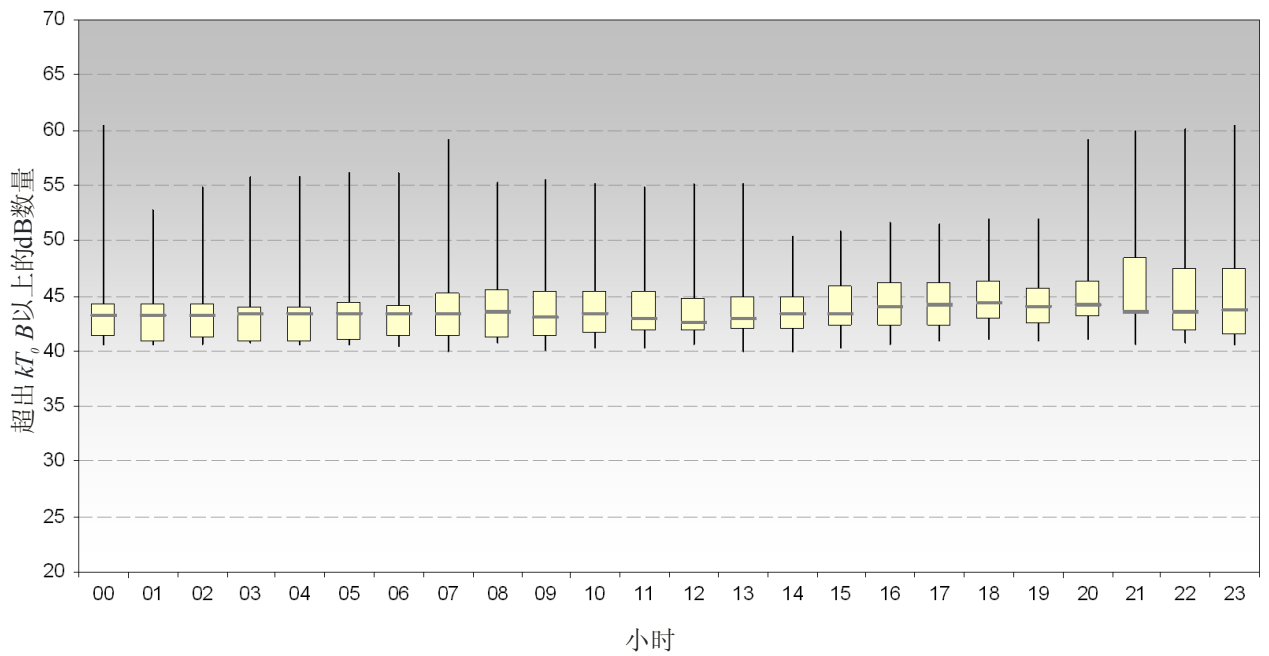
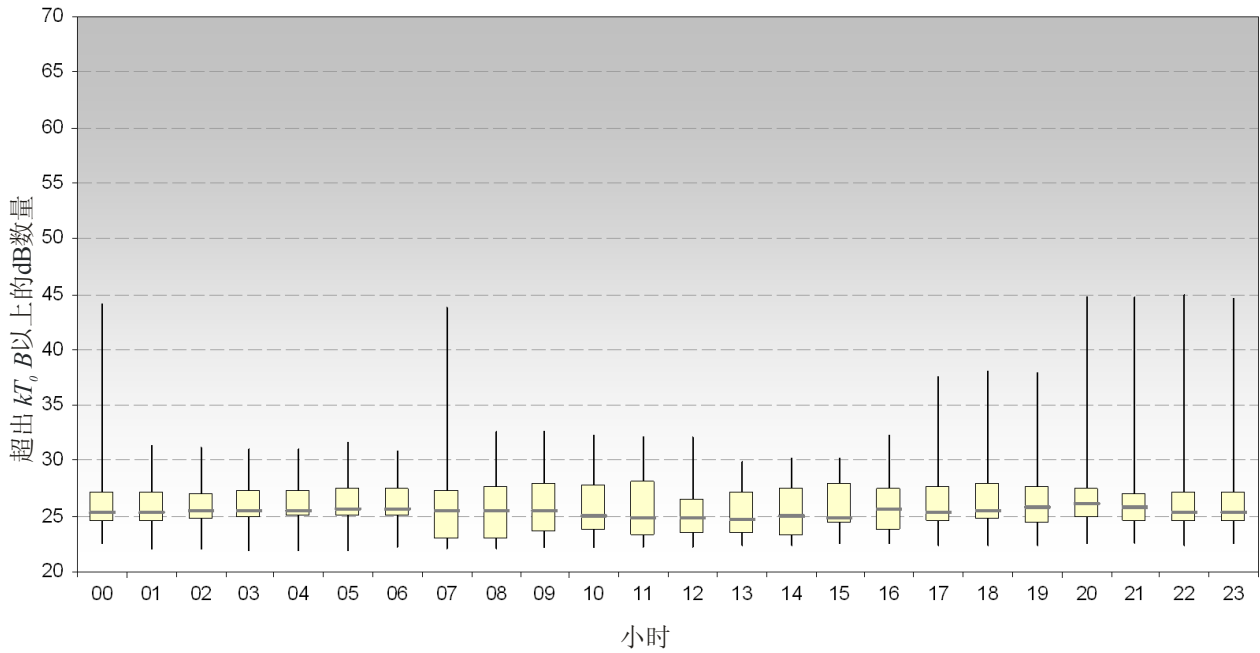


图 28

20 MHz 情况下的农村WGN（柱状图）



测量评估指出，大部分WGN值要低于目前ITU-R P.372建议书中给出的数值。表4将一天内取得的测量结果中值以及德国测量的结果与ITU-R P.372建议书中的数值进行了对比。

表 4

德国（GER）的WGN测量值与ITU-R P.372建议书进行对比

频率 (MHz)	城市		居民区		农村	
	P.372	测量结果 GER (最大值/中值/ 最小值)	P.372	测量结果 GER (最大值/中值/ 最小值)	P.372	测量结果 GER (最大值/中值/ 最小值)
5	56.5 dB	59.6 / <b>53.6</b> / 49.6 dB	52.2 dB	60.5 / <b>49.9</b> / 45.7 dB	46.9 dB	54.3 / <b>49.5</b> / 45.8 dB
12	46.1 dB	59.5 / <b>47.2</b> / 43.2 dB	41.8 dB	52.8 / <b>44.7</b> / 41.0 dB	36.5 dB	55.2 / <b>43.4</b> / 41.0 dB
20	40.5 dB	40.2 / <b>35.2</b> / 26.3 dB	36.2 dB	40.8 / <b>27.1</b> / 22.5 dB	30.9 dB	31.3 / <b>25.3</b> / 22.6 dB

下图给出了IN评估的部分实例。

图 29  
典型的 IN 电平分布

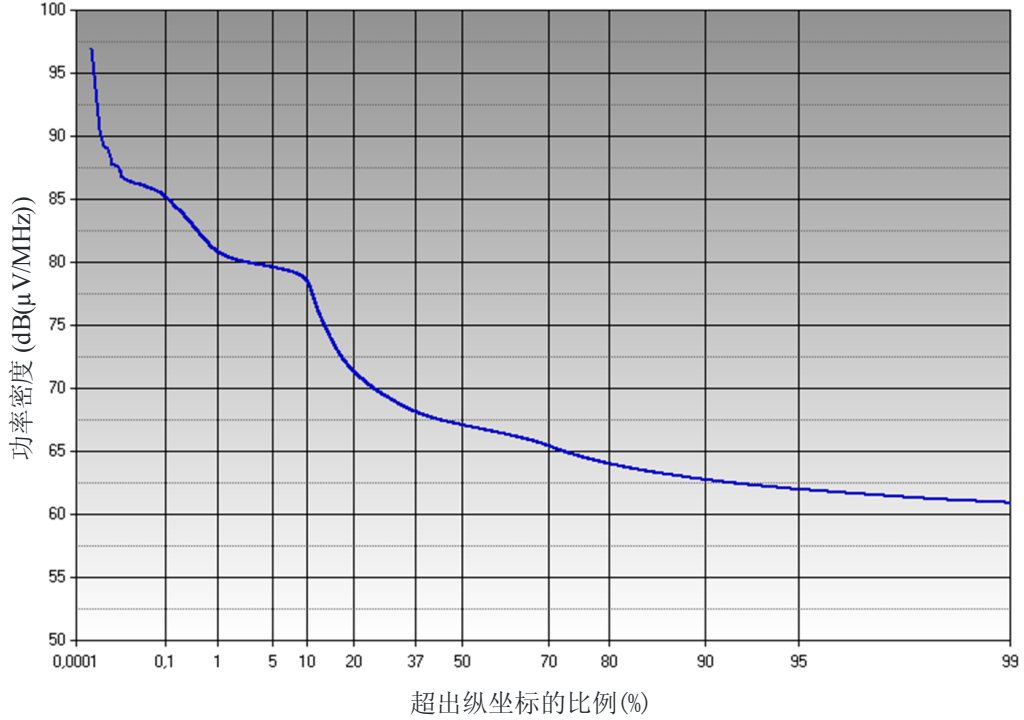


图 30  
典型的 IN 脉冲长度分布

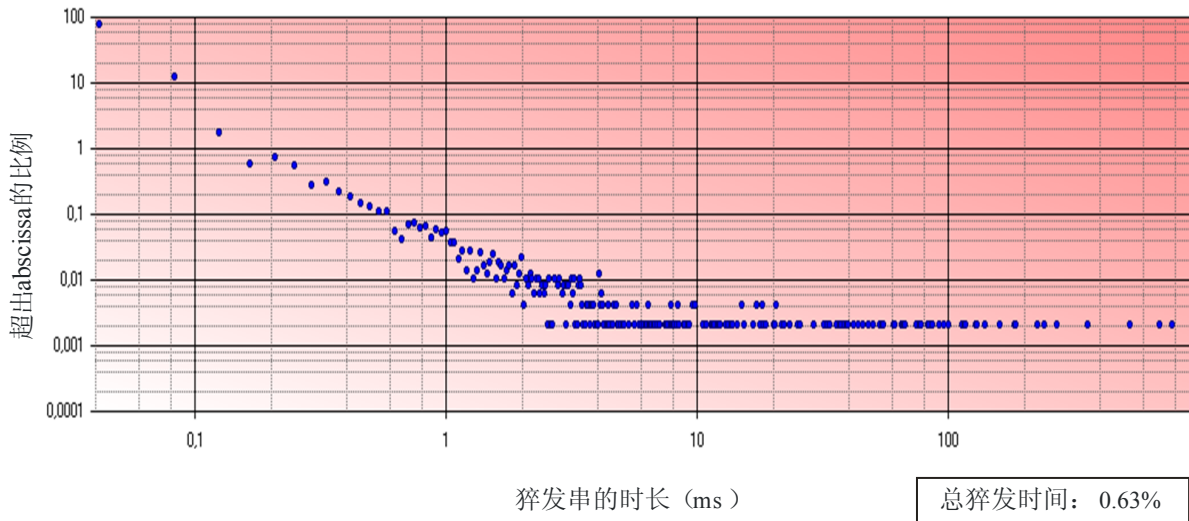
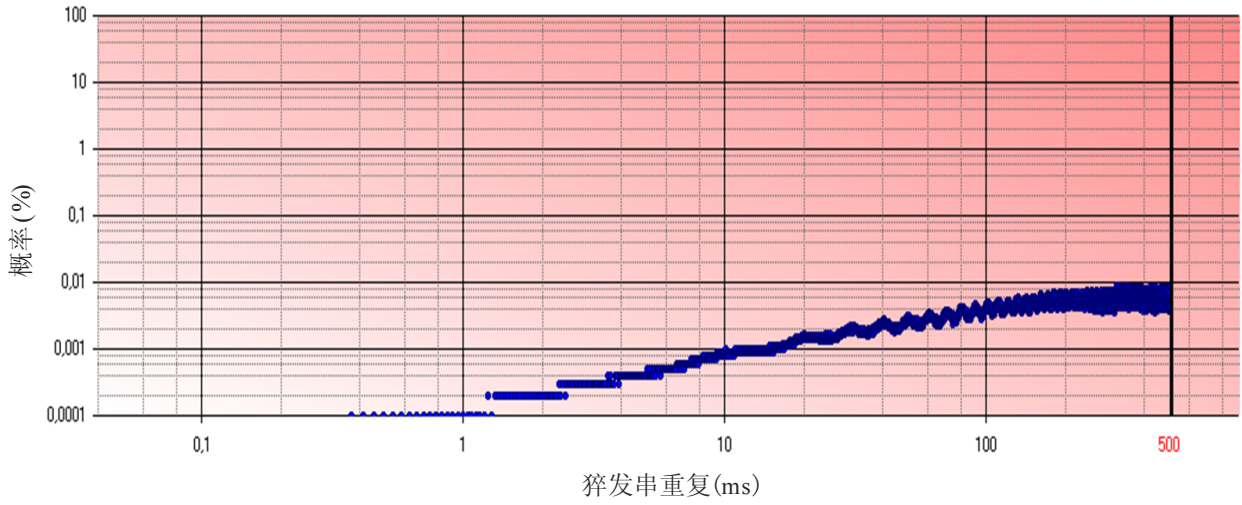




图 31  
典型的 IN 脉冲重复分布



德国的MMN测量活动拟继续进行若干年，其WGN测量结果将继续向国际电联无线电噪声数据银行提供。

---