

# 监测接收机高速扫描速度检测方法探讨

江岩 詹建 钱时祥

(中国电子科技集团公司第四十一研究所 青岛 266555)

**摘要:**用于无线电监测的监测接收机,其扫描速度是一项重要指标。随着技术的发展,接收机的扫描速度已从几十 MHz/s 发展到数百 GHz/s。当前的检测方法对检测设备要求甚高。本文介绍的检测方法,是用两台通用信号源,产生的信号落在接收机测量范围之内,接收机的中频输出到通用的调制域分析仪,当接收机测量到这两个点频信号时,调制域分析仪就能测量出接收机中频先后出现的时间间隔,通过计算两台信号源的频率差与时间间隔的比值就能得出接收机的扫频速度。此方法能方便地检测高达数百 GHz 扫描速度的监测接收机,且对用于测量的信号源和调制域分析仪没有特殊要求。

**关键词:** 监测接收机;扫描速度;调制域分析仪;信号源

**中图分类号:** TN98      **文献标识码:** B      **国家标准学科分类代码:** 510.8040

## Method for high-speed-scanning detection of monitoring receiver

Jiang Yan Zhan Jian Qian Shixiang

(The 41'st Institute of CETC, Qingdao 266555, China)

**Abstract:** Scanning speed is an important parameter of monitoring receiver, which is designed for radio monitoring. The magnitude of receivers' scanning speed has improved from dozens MHz/s to hundreds GHz/s, due to the advances in technology. The current detecting method is very demanding. Detecting method in this paper is to use two general signal generators, whose signals fall in the range of monitoring receiver. Then the intermediate frequency of receiver output to modulation domain analyzer. When the receiver receives the two CW signals, a modulation domain analyzer can measure the time interval of the receiver's intermediate frequency. The ratio of frequency differences between signal sources and time interval is calculated, and consequently we can infer the receiver frequency sweep speed. This measure method can easily detect scanning speed whose order of magnitude is up to hundreds GHz/s, and has no special constraints to signal sources and the modulation domain analyzers.

**Keywords:** monitoring receiver; scanning speed; modulation domain analyzer; signal generator

### 1 引言

监测接收机是无线电监测、电子侦察等领域的重要测量设备,扫描速度是其一项重要指标,它决定了接收机捕获空间信号频谱的概率。扫描速度的定义是:接收机在规定频率分辨率下,完成自动搜索接收任务时,在单位时间内完成扫频搜索的连续频带宽度。扫描速度描述了在给定时间内监测接收机能够分析的发射机数量,快速扫描有利于接收机更容易地捕获到突发信号或跳变信号。

关于扫描速度的检测,ITU(国际电信联盟)2007年

12月发布了ITU-R SM.1839-1建议书《测量无线电监测接收机扫描速度的测试程序》方法,我国无线电监测界也采用此建议书的检测方法。

此方法发布时,监测接收机的扫描速度大多数是几十 MHz/s,最高不到数 GHz/s。随着软件无线电技术的发展,接收机的中频处理带宽越来越宽,已从 2 MHz 发展到 80 MHz,最宽的达到 500 MHz,与之对应的接收机的扫描速度也得到了快速发展,国产的接收机扫描速度已达到 50 GHz/s,罗德与施瓦茨公司的 ESMD 接收机的扫描速度达到 300 GHz/s。

收稿日期:2016-01

检测数百 GHz/s 的高速扫描速度,ITU 推荐的方法不甚适应,本文探讨的检测方法能测量更高、更快的扫描速度。

## 2 接收机扫描速度 ITU 检测方法

### 2.1 ITU 检测方法简述

ITU 建议书给出的扫描速度检测方法共有 9 个步骤,其测试原理是:在接收机监测的某个频段  $B(\text{MHz}) = f_{\max} - f_{\min}$  内,利用信号源产生不少于 20 个(推荐用 50 个)猝发信号,其时间长度为  $T_0$ ,若监测接收机检测到猝发脉冲载波频率从  $f_{\min}$  到  $f_{\max}$  的范围内的信号强度与规定值的差在 5 dB 范围内,猝发信号的时间  $T_0$  合适,那么扫描速度则可以用公式  $S_s = B/T_0$  来计算。其原理如图 1 所示。

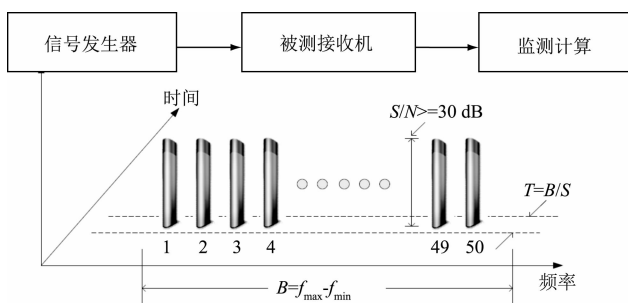


图 1 ITU-R 的扫描速度测量方法原理

### 2.2 检测设备对采用 ITU 检测方法在高速扫描检测时存在的问题

按照 ITU 扫描速度检测方法,对于高速扫描接收机的检测,信号发生器至少要输出 20 个猝发脉冲,且每个脉冲内的频率都不相同。如表 1 所示给出了每个脉冲频率的驻留时间和跳变频率。

表 1 20 个猝发脉冲对应的跳变频率和驻留时间

| 扫频宽度/<br>GHz | 10 GHz/s     |             | 100 GHz/s    |             | 300 GHz/s    |             |
|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
|              | 跳变频率/<br>MHz | 驻留时间/<br>ms | 跳变频率/<br>MHz | 驻留时间/<br>ms | 跳变频率/<br>MHz | 驻留时间/<br>ms |
| 0.1          | 5            | 0.5         | 5            | 0.05        | 5            | 0.0167      |
| 1.0          | 50           | 5           | 50           | 0.5         | 50           | 0.167       |
| 2.0          | 100          | 10          | 100          | 1           | 100          | 0.333       |
| 4.0          | 200          | 20          | 200          | 2           | 200          | 0.667       |

从表 1 中可以看出,当扫频范围越宽时,输出频率的驻留时间越长,当扫描速度越快时,驻留时间就越短。为了检测 300 GHz/s 快速扫描速度,若扫频范围为 1 GHz,当用 20 个猝发脉冲时每个频率点的驻留时间为 167  $\mu\text{s}$ ,跳频的频率间隔为 50 MHz。目前,通用信号源频率切换的稳定时间都在 ms 级,不能满足测试要求,只有捷变频信号发生器才符合。为此本文探究通用信号源来检测快速扫描速度的检测方法。

## 3 基于通用信号源与调制域分析仪测量高速扫描速度的检测方法

### 3.1 调制域分析仪

人们熟知的有时域、频域,反映信号的时间与频率的关系则被称为调制域,典型测量仪器就是调制域分析仪,它擅长测量跳频信号、线性调频信号等信号频率成分随时间的变化趋势。

### 3.2 基于通用信号源和调制域分析仪测量接收机扫描速度的检测方法

本方法需要两台通用信号源和一台调制域分析仪。信号源输出的连续波信号通过合路器合成一路信号,然后输入到待检测的接收机,接收机的中频接到调制域分析仪,具体的测试连接如图 2 所示。

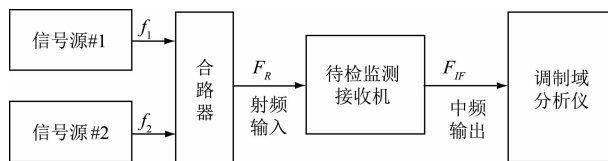


图 2 基于调制域分析仪扫描速度测量设备连接示意

测量原理图示如图 3 所示,检测步骤如下:

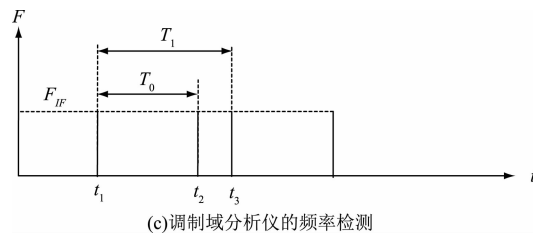
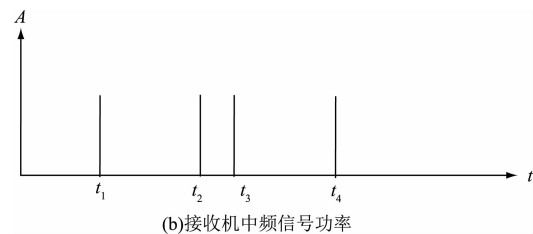
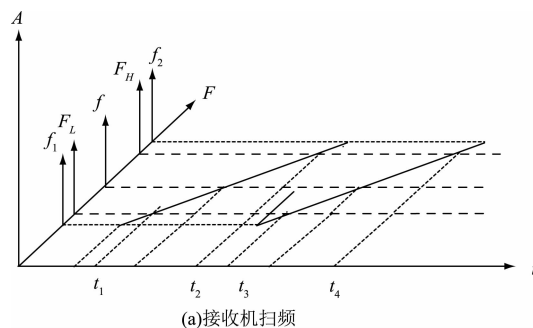


图 3 基于调制域分析仪扫描速度测量方法

步骤1:用两台信号源作为检测的频率产生部分,分别输出接收机测量的低端频率 $F_L$ 和高端频率 $F_H$ ,两台信号源的输出经合路器合成一路信号,记为 $F_R$ 。

步骤2: $F_R$ 信号接到待检接收机的射频输入端,同时将接收机的最后一级模拟中频输出,记为 $F_{IF}$ 。

步骤3: $F_{IF}$ 输出给调制域分析仪,用调制域分析仪测量待检监测接收机在扫频接收时的 $F_{IF}$ ,从而得到 $F_L$ 和 $F_H$ 的时间间隔 $T$ 。

步骤4:设定待检监测接收机的扫频频率从 $f_1$ 扫描到 $f_2$ ( $f_1$ 是测量范围内的最低频率, $f_2$ 是测量范围内的最高频率),接收机的中频带宽为 $BW$ ,由于现代接收机的扫频大多数是数字扫频,扫描步进是按 $BW$ 来进行,因此 $f_1$ 、 $f_2$ 与 $F_L$ 、 $F_H$ 之间的关系是:

$$f_1 = F_L - BW \quad (1)$$

$$f_2 = F_L + BW \quad (2)$$

$$F_H - F_L = N \cdot BW \quad (3)$$

式中: $N$ 为整数, $N > 3$

在接收机扫描过程中,接收机的分辨率带宽为 $RBW$ (现代接收机的 $BW$ 能达到80 MHz,检测时的 $RBW$ 约为25 kHz),接收机检测到的信号幅度比设置的信号幅度不小于5 dB,信号幅度值要高于噪声电平不少于30 dB。

步骤5:通过调制域分析仪检测 $F_{IF}$ 信号,在接收机一次扫描中,先后两次检测到待检监测接收机中频都有信号且能检测出 $F_{IF}$ 的频率,记录在一次扫频时检测到 $F_{IF}$ 出现的时间间隔为 $T_0$ 。若进行多次扫描时,在连续两次接收到 $F_L$ 时的中频时间间隔为 $T_1$ 。

步骤6:计算正程扫描的扫描速度 $SW_0$ 。

$$SW_0 = \frac{F_H - F_L}{T_0} \quad (4)$$

步骤7:计算全程扫描(含接收机回扫、处理显示时间在)的扫描速度 $SW_1$

$$SW_1 = \frac{f_2 - f_1}{T_1} \quad (5)$$

### 3.3 检测方法总结

从检测方法来看,此方法检测的频率范围和频率跨度取决于两台信号源的输出频率和待检监测接收机的接收频率范围,扫描速度计算取决于调制域分析仪的频率变化间隔检测。

方法对用于检测的通用信号源要求,只需输出点频连续波信号,输出的功率在接收机检测范围之内,对信号源的频率捷变、脉冲驻留时间均无要求,这比ITU检测方法要求降低了许多,通用信号源都能满足要求。

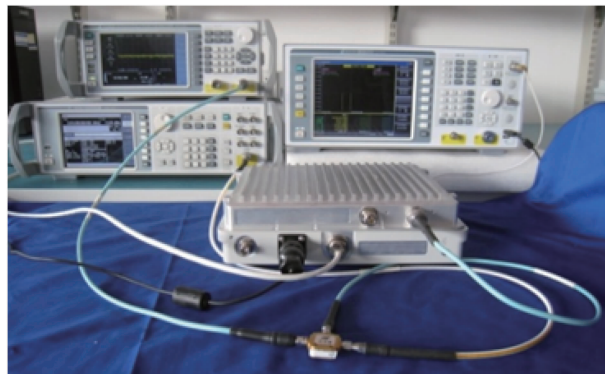
方法对调制域分析仪的要求也简单,检测频率范围只需覆盖接收机的中频频率,对于待检监测接收机,大部分的中频采用70 MHz、140 MHz、720 MHz等,带宽在2 MHz至200 MHz范围内,通用调制域分析测量频段能达到20 GHz,测量带宽达到2 GHz。

影响时间测量的重要因素是调制域分析仪的时间分辨率,按照方法推算达到us级即可。如中电科技41所的AV4151调制域分析仪已达到ns级,时间准确度达到 $10^{-8}$ 。

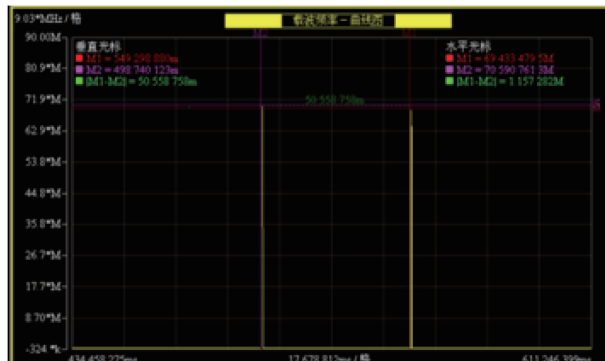
检测300 GHz/s的扫频速度,若接收机扫描频率宽度为1 GHz,则两台信号源的频率间隔为1 GHz,调制域分析仪检测两个信号所对应的中频出现的时间间隔为3.33 ms;若接收机扫描频率宽度为30 MHz,则信号源的频率间隔为30 MHz,调制域分析仪检测的中频出现的时间间隔为0.1 ms。按照us量级推算,此方法能检测高达30 THz/s扫描速度。此检测方法不足之处就是所需要的设备数量比ITU检测方法多两台。

### 4 监测接收机扫频速度实际检测

利用本文的检测方法,对中电科技41所生产的AV3900A无线电监测接收机进行检测,检测现场如图4(a)所示,其正程扫描速度已超过50 GHz/s,AV4151调制域分析仪的对中频时间间隔检测结果如图4(b)所示。



(a)扫描速度检测示意



(b)调制域分析检测正程扫描

图4 无线电监测接收机扫描速度检测实际场景

在AV3900A的频率分辨率带宽在120 kHz和15 kHz状态下,接收机的扫描速度检测结果如表2所示,最高扫描速度检测值为58.2 GHz/s。

表2 AV3900A 监测接收机的检测结果

| 频率范围         | 检测频率  |       | 分辨率带宽<br>120 kHz 实测 |      | 分辨率带宽<br>15 kHz 实测 |      |
|--------------|-------|-------|---------------------|------|--------------------|------|
|              | $F_L$ | $F_H$ | 时间/                 | 扫速   | 时间/                | 扫速   |
|              |       |       | ms (GHz/s)          |      | ms (GHz/s)         |      |
| 0.02~3.2 GHz | 50    | 3.01  | 50.9                | 58.2 | 91.6               | 32.3 |
| 3.2~6.0 GHz  | 4     | 5     | 17.3                | 57.8 | 30.7               | 32.6 |

## 5 结论

本文探讨的高速扫描监测接收机的扫描速度检测方法,是在实际工作中摸索出来的。检测方法对检测设备的技术指标要求不高,一般的检测机构都能配备。检测方法所适应的扫描速度范围很宽,最高可检测 THz/s 的扫描速度。测量原理易懂,测试系统易建,在实际检测中,非常容易检测出超过 50 GHz/s 的扫描速度。遗憾之处是作者手中没有 300 GHz/s 的监测接收机,没有办法得以验证。本文的发表,希望对能拥有高速扫描接收机的技术机构,在高速扫描速度指标检测时能起到借鉴作用。

### 参考文献

- [1] TSUI J 著. 宽带数字接收机[M]. 杨小牛等译. 北京: 电子工业出版社, 2002.
- [2] 国际电信联盟. ITU-R SM. 1839-1 建议书《测量无线

电监测接收机扫描速度的测试程序》[Z]. 2007-12.

- [3] 周鸿顺. 频谱监测手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.
- [4] 黄光星. 数字监测接收机的主要性能指标分析[J]. 中国无线电, 2010(3): 56-59.
- [5] 李立功. 无线电监测接收机的技术新进展[C]. 频谱管理与监测系统建设研讨会论文集, 2011: 54-73.
- [6] 黄庆. 新型监测接收机的基本原理和扫描功能[J]. 中国无线电, 2009(10): 50-52.
- [7] 赵涛. 多通道宽带数字接收机的设计与实现[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(2): 61-63.
- [8] 童军, 阮安路. 线性调频信号的自相关检测技术研究[J]. 国外电子测量技术, 2008, 27(3): 43-45.
- [9] 杜念文, 邓旭亮, 朱伟. 高性能调制域测量单元的设计[J]. 电子测量技术, 2014, 37(5): 1-2.

### 作者简介

**江岩**, 1969 年出生, 工程硕士, 高级工程师, 主要研究方向为电磁兼容测试、环境试验方法等。  
E-mail: eiqd@ei41.com

**詹建**, 男, 1969 年出生, MBA, 高级工程师, 主要研究方向为测量设备、频谱测量、噪声系数测量等。

**钱时祥**, 1968 年出生, 工程硕士, 研究员级高工, 主要研究方向为频谱测量、信号分析、电磁兼容测试等。

## NI 发布灵活的 LTE-U/LAA 参考验证方案

### 新平台可帮助研究人员原型验证和测试新的 4G+ 方案

NI(美国国家仪器, National Instruments, 简称 NI) 近日宣布推出一款实时测试验证系统, 用于测试和原型验证新的未授权 LTE(LTE-U) 和/或辅助授权接入(LAA) 无线接入技术。虽然 5G 技术备受瞩目, 但在 5G 时代正式来临前的过渡期, 仍需仰赖 LTE-U 与 LAA 等新技术来改善 4G 数据体验。

该参考架构设计的源代码包含了基于 FPGA 的 LTE 物理层, 因此可测试、评估甚至强化不同的 LTE-U 与 LAA 情境, 进而评估现有基于 LTE 与 802.11 架构的系统的性能并提高数据传输率。

由于 LTE-U 与 LAA 均使用 5.0 GHz 未授权频段来增强蜂窝频谱, 因此基于 LTE-U 与 LAA 的设备必须与 802.11a 与 802.11ac 等 WiFi 设备“分享”信道。由于 LAA 较符合各国频谱规范, 相较之下 LTE-U 则可能针对个别区域推出, 因此 3GPP 技术规范组(3GPP Technical Specifications

Group) 目前正在重点研究 LAA。

这款 NI 测试台基于 NI USRP RIO 软件无线电与 LabVIEW Communications 系统设计套件, 提供了一个立即可用的系统, 其组成包括:

1) LabVIEW Communications 系统设计套件; 2) LabVIEW Communications LTE 应用架构; 3) 可配置的 LTE-U 与 LAA 参考软件; 4) 2 个基于 FPGA 的 USRP-2953R 软件无线电; “拟定的 3GPP 标准已纳入多个提案, 以尽可能避免干扰现有的未授权频带使用者”, NI RF 研究与 SDR 市场总监 James Kimery 表示, “然而, 为了确保顺利地采用, 所有新标准都必须经过全面、严格的原型验证与测试。NI 的 LTE-U/LAA 测试台可帮助研究人员评估新标准在特定测试情境下的影响。”

如需进一步了解 LTE-U/LAA 测试台, 请访问 <http://www.ni.com/white-paper/53044/en>