

# 通 信 标 准 类 技 术 报 告

YDB 009-2007

---

## 5 毫米波无线通信系统技术要求和 测量方法：地面固定点对点通信设备

The technical specification and measuring method for 5 millimeter wave wireless  
communication system:  
Ground fixed point-to-point communication equipment

2007-06-11 印发

---

中国通信标准化协会 发布

目 次

前 言 ..... IV

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 略缩语 ..... 1

4 工作频段 ..... 2

4.1 频率范围 ..... 2

4.2 波道配置 ..... 2

4.3 载波频率 ..... 2

5 数据带宽能力 ..... 2

6 业务支持能力 ..... 2

7 接口要求 ..... 2

7.1 HD-SDI 接口 ..... 2

7.2 1000 Base-SX 接口 ..... 2

7.3 1000 Base-TX 接口 ..... 2

7.4 SDH 接口 ..... 2

7.5 功能接口 ..... 2

8 系统性能 ..... 2

8.1 传输误码率（BER） ..... 2

8.2 系统传输时延 ..... 2

8.3 信号眼图 ..... 2

8.4 接口抖动性能 ..... 3

8.5 同步要求 ..... 3

8.6 可用性 ..... 3

8.7 自动发射功率控制 ..... 4

8.8 平均故障间隔时间 ..... 4

9 无线工作方式 ..... 4

9.1 双工方式 ..... 4

9.2 调制解调方式 ..... 4

9.3 在保证最低数据带宽的前提下，设备允许采用各类数字调制解调方式。 ..... 4

10 收发信机和天线 ..... 4

10.1 发信机最大输出功率限值 ..... 4

10.2 峰值等效全向辐射功率限值 ..... 4

10.3 平均等效全向辐射功率限值 ..... 4

10.4 发信机输出功率容限 ..... 4

10.5 发信机频率容限 ..... 4

10.6 无用发射 ..... 4

10.7 收信机动态范围 ..... 5

10.8 收信机灵敏度 ..... 5

10.9 收信机输入电压驻波比 ..... 5

10.10 收发天线.....	5
10.11 波导尺寸.....	5
11 管理功能要求 .....	5
11.1 勤务话功能.....	5
11.2 RSSI 监测功能.....	5
11.3 人工功率控制功能（可选） .....	5
12 供电要求 .....	6
13 环境适应性要求 .....	6
13.1 工作温度要求.....	6
13.2 工作湿度要求.....	6
13.3 大气压力要求.....	6
14 电磁兼容性要求 .....	6
15 设备安全要求 .....	6
16 测量方法 .....	6
16.1 发信机最大输出功率.....	6
16.2 峰值等效全向辐射功率.....	7
16.3 平均等效全向辐射功率.....	7
16.4 发信机频率容限.....	8
16.5 无用发射.....	8
16.6 收信机灵敏度.....	9
16.7 收信机动态范围.....	10
16.8 收信机输入电压驻波比.....	10
16.9 系统传输时延.....	11
16.10 信号眼图.....	11
16.11 传输误码率.....	12
16.12 业务支持能力.....	12
16.13 RSSI 监测功能验证.....	13
16.14 人工功率控制功能验证.....	13
16.15 勤务话功能验证.....	14
16.16 环境试验.....	14
附 录 A（规范性附录） 5 毫米波收发信机测试节点框图.....	16
A.1 5 毫米波收发信机下行链路 .....	16
A.2 5 毫米波收发信机上行链路 .....	16
附 录 B（资料性附录） 测量仪器及测量配件要求 .....	17
B.1 示波器（Oscilloscope） .....	17
B.3 频谱分析仪（Spectrum analyzer） .....	17
B.4 混频器（Mixer） .....	18
B.5 功率计（Power meter） .....	18
B.6 功率传感器（Power sensor） .....	18
B.7 噪声源（Noise source） .....	19
B.8 噪声仪（Noise analyzer） .....	19
B.9 频率计数器（Frequency counter） .....	19
B.10 矢量网络分析仪（Vector network analyzer） .....	19
B.11 波导（Wave guide） .....	20

B.12 可变衰减器 (Variable attenuator) ..... 20

B.13 定向耦合器 (Directional coupler) ..... 20

附录 C (资料性附录) 计入氧分子共振损耗的通信距离和链路预算 ..... 21

## 前 言

本技术报告是5毫米波无线通信系统系列技术报告之一。该系列技术报告的结构预计如下：

1、5毫米波无线通信系统技术要求和测量方法：地面固定点对点通信设备

2、5毫米波无线通信系统技术要求和测量方法：地面固定点对多点无线接入系统

本技术报告附录A为规范性附录，附录B、附录C为资料性附录。

为适应信息通信业发展对通信标准文件的需求，在信息产业部统一安排下，对于技术尚在发展中，又需要有相应的标准性文件引导其发展的领域，由中国通信标准化协会组织制定“通信标准类技术报告”，推荐有关方面参考采用。有关对本技术报告的建议和意见，向中国通信标准化协会反映。

本技术报告由中国通信标准化协会提出并归口。

本技术报告由国家无线电监测中心、信息产业部电信研究院、中国普天信息产业集团公司、北京西汉联合电讯科技发展有限公司负责起草。

本技术报告主要起草人：宋起柱、王文俭、王俊峰、李莉莉、贺鹏、周镒、卢民牛、张福延、马欣、黄哲

## 5 毫米波无线通信系统技术要求和测量方法： 地面固定点对点通信设备

### 1 范围

本技术报告规定了5毫米波地面固定点对点无线通信设备的技术要求和测量方法。主要内容包括工作频段、数据带宽能力、业务支持能力、接口要求、系统性能、无线工作方式、收发信机指标、管理功能要求、供电要求、环境要求以及电磁兼容、设备安全等要求，并提供了各项主要指标的测量方法。

本技术报告适用于工作频段为60GHz的地面固定点对点无线通信设备。

### 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本技术报告的引用而成为本技术报告的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本技术报告，然而，鼓励根据本技术报告达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本技术报告。

YD/T 767 同步数字系列设备和系统的光接口技术要求  
YD/T 965 电信终端设备的安全要求和试验方法  
YD/T 1138 固定无线链路设备及其辅助设备的电磁兼容性要求和测量方法  
YD/T 1299 同步数字体系（SDH）网络性能技术要求—抖动和漂移  
ANSI/SMPTE 292M 电视-高清电视系统的比特串行数字接口  
IEEE 802.3z 局域网和城域网特殊要求—CSMA/CD接入方法和物理层规范  
IEEE 802.3ab 对CSMA/CD接入方法和物理层规范的补充—物理层参数和1000Mb/s操作规范

### 3 略缩语

下列缩略语适用于本技术报告：

ADPCM	Adaptive Delta Pulse Code Modulation	自适应配差分脉冲编码调制
ATPC	Automatic Transmit Power Control	自动发送功率控制
BER	Bit Error Ratio	比特差错率
FDD	Frequency Division Duplex	频分双工
TDD	Time Division Duplex	时分双工
HDTV	High Definition TV	高清晰度电视
MTBF	Mean Time Between Failures	平均故障间隔时间
PCM	Pulse Code Modulation	脉冲编码调制
RSSI	Received Signal Strength Indication	接收信号场强指示
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字体系
HD-SDI	High Definition Serial Digital Interface	高清晰度串行数字接口
SMPTE	Society of Motion Picture and Television Engineers	电影和电视工程师协会
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol	传输控制协议/网间协议

## 4 工作频段

本技术报告所采用的频段、波道配置、无线指标等遵从信息产业部《关于60GHz频段微功率（短距离）无线电技术应用有关问题的通知》（信无函[2006] 82 号）的有关规定。

### 4.1 频率范围

工作频段频率范围为：59~64GHz。

### 4.2 波道配置

设备可采用单一波道或多波道配置方案。

### 4.3 载波频率

63.0GHz发送/60.25GHz接收；

或，60.25GHz发送/63.0GHz接收。

## 5 数据带宽能力

本设备应具有完整的千兆级总数据带宽能力，其双向全双工总数据带宽应大于1Gbps。

## 6 业务支持能力

设备应对以下一种或多种业务提供承载能力：

a) 高清晰度数字电视（HDTV）业务；

b) 同步数字系列（SDH）业务；

c) TCP/IP协议以太网业务。

## 7 接口要求

设备应支持以下7.1至7.4的一种或多种业务接口类型和7.5的功能接口：

### 7.1 HD-SDI 接口

HD-SDI接口符合ANSI/SMPTE 292M的规定。

### 7.2 1000 Base-SX 接口

1000 Base-SX接口符合IEEE 802.3z光接口规定。

### 7.3 1000 Base-TX 接口

1000 Base-TX接口符合IEEE 802.3ab电接口规定。

### 7.4 SDH 接口

SDH接口符合YD/T 767的规定。

### 7.5 功能接口

#### 7.5.1 勤务话接口

设备提供一路勤务话，工作于全双工方式，最低应支持64Kbps PCM方式，推荐支持32Kbps ADPCM。

#### 7.5.2 监测接口

设备的监测接口应支持对RSSI信号进行监测和显示。

#### 7.5.3 控制接口（可选）

设备的控制接口支持对发射功率电平进行人工控制。此接口仅供设备维护时使用。

## 8 系统性能

### 8.1 传输误码率（BER）

系统传输比特误码率（BER）为： $\leq 1 \times 10^{-7}$ 。

### 8.2 系统传输时延

系统传输时延为： $\leq 11.5\text{ns}$ 。

### 8.3 信号眼图

信号眼图模板如图1所示。

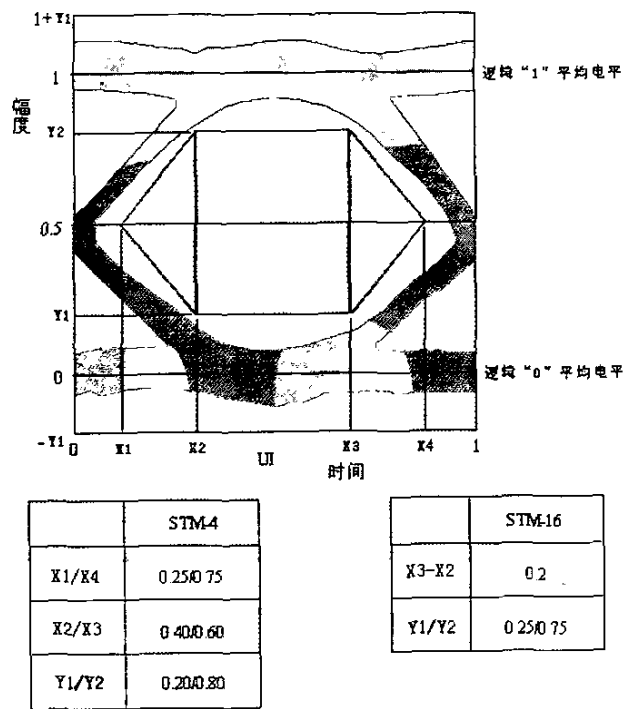


图1 眼图模板

眼图 (Eye pattern) 是在示波器或专用的眼图测试仪上把多段伪随机码波形重叠形成的图形，用来测试信号质量，可以刻画信号的抖动、阻抗匹配和振幅。

眼图模板是眼图测量中的一个区域（图1中的六边型区域），用来确定波形可能不存在的波形区域。从眼图上可以看出信号的上升沿、下降沿的快慢和抖动的大小。

本技术报告对眼图的要求如下：

- a) 伪随机信号迭加次数：≤2000次；
- b) 眼图张度 (opening)：≥25%；
- c) 眼图模板范围内应无乱点，即伪随机信号的每次迭加均不进入模板内。

8.4 接口抖动性能

业务接口的输入抖动漂移容限和输出抖动指标应分别符合ANSI/SMPTE 292M的格式规定、IEEE 802.3z光接口规定、IEEE 802.3ab电接口规定、YD/T 1299规定。

8.5 同步要求

设备应能够从所传输的基带数据中提取时钟，以用于同步。

8.6 可用性

8.6.1 定义

在至少一个传输方向上，下述两个条件之一或两者同时连续出现10秒，即认定通道不可用时间开始，且这10秒计入不可用时间：

- a) 数字信号中断(即帧定位或位定时丧失)；
- b) 每秒内平均比特差错率大于 $1 \times 10^{-3}$ ；

在两个传输方向上，下述两个条件同时连续出现10秒，即认定该通道不可用时间终止，且该10秒计入可用时间：

- a) 数字信号恢复(即帧定位或位定时恢复)；



b) 每秒内平均比特差错率小于 $1 \times 10^{-3}$ 。

8.6.2 可用性要求

本系统的年可用性设计目标（包含传播因素和设备因素）应不低于：99%；

8.7 自动发射功率控制

为了满足不同通信距离和不同地区雨衰对发射功率的要求，设备应支持自动发射功率控制功能（ATPC），按 $2 \pm 0.5 \text{dB}$ 步进，动态范围 $\geq 15 \text{dB}$ ，并利用接收链路实施，其调整速度不低于 $20 \text{dB/s}$ 。

8.8 平均故障间隔时间

平均故障间隔时间(MTBF)不少于20年。

9 无线工作方式

9.1 双工方式

设备可工作于频分双工(FDD)方式或时分双工(TDD)方式。

9.2 调制解调方式

在保证最低数据带宽的前提下，设备允许采用各类数字调制解调方式。

10 收发信机和天线

10.1 发信机最大输出功率限值

发信机天线端口最大输出功率： $\leq 10 \text{dBm}$ 。

10.2 峰值等效全向辐射功率限值

峰值等效全向辐射功率限值： $\leq 47 \text{dBm}$ 。

10.3 平均等效全向辐射功率限值

平均等效全向辐射功率限值： $\leq 44 \text{dBm}$ 。

10.4 发信机输出功率容限

发信机输出功率容限为： $\pm 2.5 \text{dB}$ 。

10.5 发信机频率容限

发信机频率容限为： $\pm 500 \text{ppm}$ 。

10.6 无用发射

无用发射包括指配频段带外发射和杂散发射。指配频段带外发射是由于调制过程而产生的、刚超出必要带宽的一个或多个频率的发射，但杂散发射除外；

杂散发射是在必要带宽外某个或某些频率上的发射，其发射电平可降低但不影响相应信息传递。杂散发射包括：谐波发射、寄生发射、互调产物、以及变频产物，但指配频段带外发射除外。一般来说，落在中心频率两侧，必要带宽 $\pm 250\%$ 倍处或以外的发射都认为是杂散发射。

其无用发射功率电平限值如表1所示。

表1 无用发射功率电平限值

频率范围	测试带宽	极限值	备注
9kHz~150kHz	1kHz (3dB)	-30dBm	
150kHz~30MHz	10kHz (3dB)	-30dBm	
30MHz~1GHz	100kHz (3dB)	-36dBm	48.5~72.5, 76~108, 167~223, 470~566, 606~798MHz 除外
48.5~72.5 MHz	100kHz (3dB)	-54dBm	
76~108 MHz	100kHz (3dB)	-54dBm	
167~223 MHz	100kHz (3dB)	-54dBm	

表 1 (续)

频率范围	测试带宽	极限值	备注
470~566 MHz	100kHz (3dB)	-54dBm	
606~798MHz	100kHz (3dB)	-54dBm	
1~40GHz	1MHz (3dB)	-30dBm	
> 40 GHz	1MHz (3dB)	-20dBm	57~59, 64~66GHz 除外
57~59GHz	1MHz (3dB)	-5dBm	
64~66GHz	1MHz (3dB)	-5dBm	
注: □ 9kHz~30MHz: 对应天线端口的传导杂散发射; □ 检波方式: 有效值。			

### 10.7 收信机动态范围

接收点处达到给定BER值(本系统取该值为 $10^{-3}$ )所对应的收信机输入电平动态范围优于45dB。

### 10.8 收信机灵敏度

收信机灵敏度为:  $\leq -43\text{dBm}$ 。

### 10.9 收信机输入电压驻波比

收信机输入电压驻波比为:  $\leq 1.5:1$ 。

### 10.10 收发天线

#### 10.10.1 天线极化方式

可采用平板天线、抛物面天线或凸镜天线,其极化方式可为圆极化、水平极化或垂直极化。

#### 10.10.2 天线布里斯特角

天线布里斯特角是指当入射角达到一定值时其反射波最小。

不同极化方式下的布里斯特角为:

- a) 圆极化方式: 约在 $75^\circ$ 左右范围;
- b) 水平极化方式: 约在 $90^\circ$ 范围;
- c) 垂直极化方式: 约在 $15^\circ$ 到 $45^\circ$ 范围。

#### 10.10.3 天线增益

天线增益为:  $\leq 37\text{dBi}$ 。

#### 10.10.4 天线前后比

天线前后比为:  $\geq 40\text{dB}$ 。

#### 10.10.5 天线阻抗

天线标称阻抗为:  $50\Omega$ 。

### 10.11 波导尺寸

各部位所采用的波导尺寸均为: WR15。

## 11 管理功能要求

### 11.1 勤务话功能

系统应具备勤务话功能,以便于用户进行工程安装、设备维护和点对点勤务指挥。

### 11.2 RSSI 监测功能

系统应具备接收场强信号检测、指示和记录功能,以方便于用户进行天线方向瞄准、信号质量判断、设备维护和建立通信性能档案;并同时具备信号等级现场LED显示功能。

### 11.3 人工功率控制功能(可选)

系统应具备发射功率人工控制功能,以方便于用户在系统性能测试时进行发射功率人工控制。此功能仅供设备维护时使用。

## 12 供电要求

- a) 交流电源: VC220V, 变化范围: 176~264V/45~65 Hz;
- b) 直流电源: DC12V, 变化范围: 11~17V;
- c) 备用电池(可选): 设备可带有备用电池接口; 断电后, 后备电池的容量提供大于12小时的工作时间; 如需支持更长的时间, 可再外加电池。

## 13 环境适应性要求

### 13.1 工作温度要求

工作温度:  $-35^{\circ}\text{C}\sim+55^{\circ}\text{C}$ 。

### 13.2 工作湿度要求

设备在以下湿度条件下的环境中应能正常工作:

相对湿度: 10%~95%。

该参数为地板以上2米和设备前方0.4米处的湿度。

### 13.3 大气压力要求

设备在以下大气压力条件下的环境中应能正常工作: 86~106kPa。

## 14 电磁兼容性要求

本系统的电磁兼容性要求应满足YD/T 1138的要求。

## 15 设备安全要求

本系统的安全标准满足YD/T 965的规定。

## 16 测量方法

本章中的各项指标应在下列条件的任意组合的情况下测量:

—— 温度:  $+15^{\circ}\text{C}\sim+35^{\circ}\text{C}$ ;

—— 相对湿度: 45~75%。

### 16.1 发信机最大输出功率

#### 16.1.1 定义

标称最大输出功率是指发信机在线性工作区内所能达到的最大功率, 此最大输出功率应满足以下条件:

1. 数字信号源格式分别为:
  - a) 以太网接口为 TCP/IP 协议信号;
  - b) SDI 接口为高清电视格式信号;
  - c) SDH 接口为 SDH 协议信号;
2. 发信增益为最大增益;
3. 满足本技术报告中10.1指标要求;
4. 通信应用中不应超过此功率。

#### 16.1.2 测试连接图

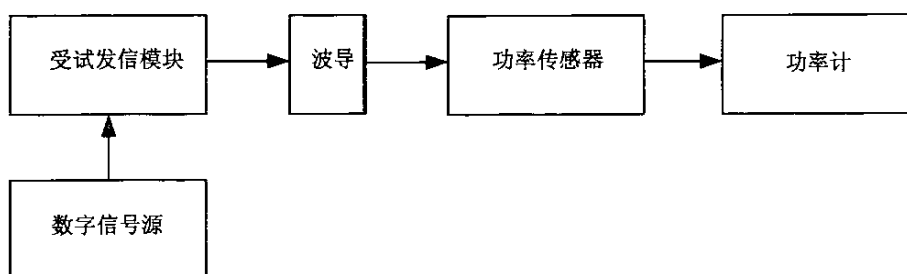


图2 发信机最大输出功率测试

## 16.1.3 测量方法

1. 按图2所示连接测试系统;
2. 设置发信机输出功率为标称最大输出功率;
3. 从功率计读出功率数值;
4. 从功率计读数中减去测试系统损耗值即为实际功率值。

## 16.2 峰值等效全向辐射功率

## 16.2.1 定义

峰值等效全向辐射功率是指发射机载频功率在一个突发脉冲的有用信息比特时间上的平均值;其测试结果应满足本技术报告中10.2的指标要求。

## 16.2.2 测量连接图

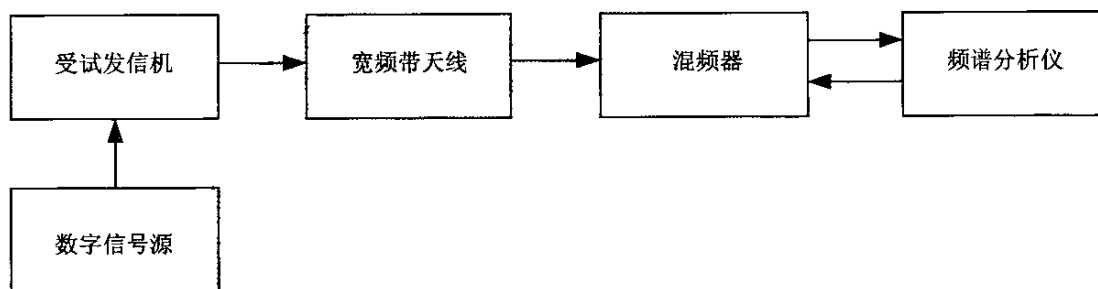


图3 峰值等效全向辐射功率测试

## 16.2.3 测量方法

1. 按图3所示连接峰值等效全向辐射功率测试系统;
2. 图中的数字信号源格式分别为:
  - a) 以太网接口为 TCP/IP 协议信号;
  - b) SDI 接口为高清电视格式信号;
  - c) SDH 接口为 SDH 协议信号;
3. 如果频谱分析仪的频率范围不能满足测试条件,则需如图所示连接混频器;
4. 如果频谱分析仪的频率范围能够满足测试条件,则无需连接图中的混频器;
5. 设置受试发信机的输出功率为最大输出功率;
6. 将频谱分析仪设置为峰值检波并最大值保持,分辨率带宽设为1MHz,视频带宽设置为3MHz;
7. 用频谱分析仪对峰值等效全向辐射功率进行测量。

## 16.3 平均等效全向辐射功率

## 16.3.1 定义

平均等效全向辐射功率是指在正常工作情况下,发信机在调制中以与所遇到的最低频率周期相比的足够长的时间间隔内辐射到规定实验负载上的平均功率;其测试结果应满足本技术报告中10.3的指标要求。

## 16.3.2 测量连接图

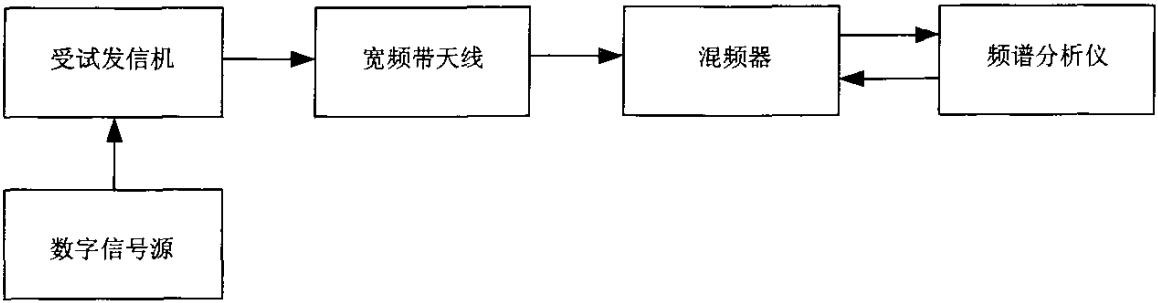


图4 平均等效全向辐射功率测试

### 16 3 3 测量方法

1. 按图4所示连接平均等效全向辐射功率测试系统；
2. 图中的数字信号源格式分别为：
  - a) 以太网接口为 TCP/IP 协议信号；
  - b) SDI 接口为高清电视格式信号；
  - c) SDH 接口为 SDH 协议信号；
3. 如果频谱分析仪的频率范围不能满足测试条件，则需如图所示连接混频器；
4. 如果频谱分析仪的频率范围能够满足测试条件，则无需连接图中的混频器；
5. 设置受试发信机的输出功率为最大输出功率；
6. 将频谱分析仪设置为Sample 检波方式，分辨率带宽设为1MHz，视频带宽设置为3MHz；
7. 采用频谱分析仪的平均功能直接得到平均功率值。

### 16 4 发信机频率容限

#### 16 4 1 定义

在发信机保持正常工作状态的前提下，读取频率值 $f$ ，其频率容限 $= (f - f_0) / f_0$ ，其中 $f_0$ 为标称发送频率；频率容限应满足本技术报告中10.5的指标要求。

#### 16 4 2 测量连接图

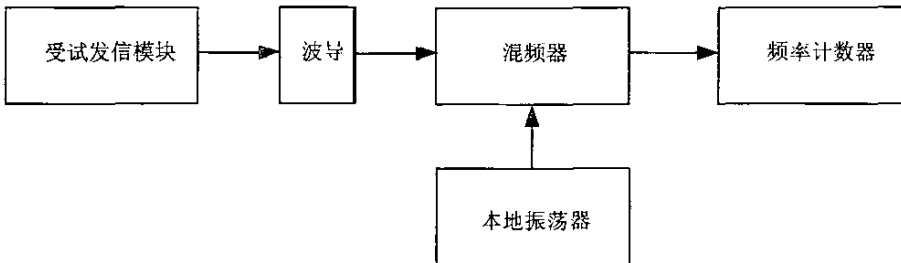


图5 发信机频率容限测试

### 16 4 3 测量方法

1. 按图5所示连接测试系统；
2. 设置发信机增益为最大；
3. 从频率计数器读出频率值，此值为混频后的频率；
4. 根据混频器和本地振荡器的当前数值计算出实际频率值 $f$ ；
5. 根据16.3.1的定义以及 $f_0$ 值、 $f$ 值计算出频率容限值。

### 16 5 无用发射

#### 16 5 1 定义

无用发射包括指配频段带外发射和杂散发射。

指配频段带外发射是由于调制过程而产生的、刚超出必要带宽的一个或多个频率的发射，但杂散发射除外；

杂散发射是在必要带宽外某个或某些频率上的发射，其发射电平可降低但不影响相应信息传递。杂散发射包括：谐波发射、寄生发射、互调产物、以及变频产物，但指配频段带外发射除外。一般来说，落在中心频率两侧，必要带宽 $\pm 250\%$ 倍处或以外的发射都认为是杂散发射；

其测试结果应满足本技术报告中10.6的指标要求。

### 16.5.2 测量连接图

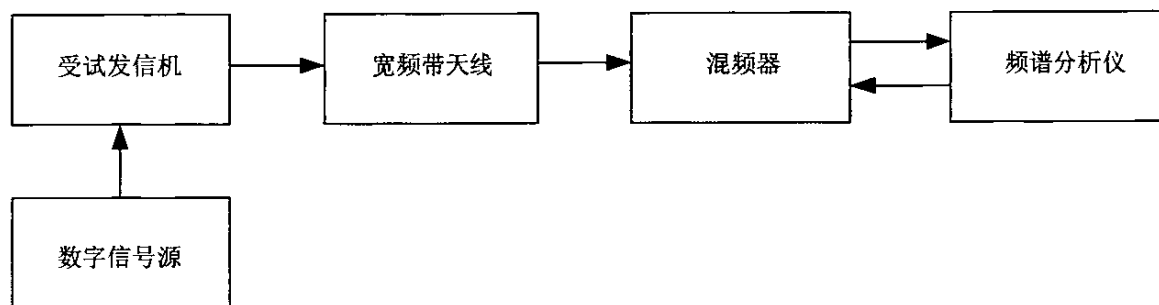


图6 a) 无用发射之辐射测试

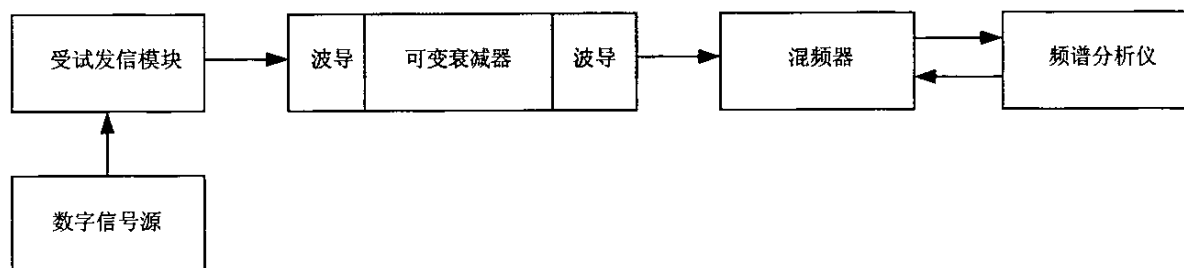


图6 b) 无用发射之传导杂散测试

### 16.5.3 测量方法

1. 按图6a) 所示连接无用发射测试系统；
2. 按图6b) 所示连接无用发射之传导杂散测试系统；
3. 图中的数字信号源格式分别为：
  - a) 以太网接口为 TCP/IP 协议信号；
  - b) SDI 接口为高清电视格式信号；
  - c) SDH 接口为 SDH 协议信号；
4. 如果频谱分析仪的频率范围不能满足测试条件，则需如图所示连接混频器；
5. 如果频谱分析仪的频率范围能够满足测试条件，则无需连接图中的混频器；
6. 设置受试发信机或发信模块的输出功率为最大输出功率；
7. 按照表1所示的设置要求，用频谱分析仪对无用发射进行测量。

## 16.6 收信机灵敏度

### 16.6.1 定义

接收灵敏度是指在保证达到所要求的误码率的条件下（本系统取该值为 $10^{-3}$ ），收信机所需要的最小输入功率值，接收灵敏度一般用dBm来表示；此值应满足本技术报告中10.8的指标要求。

### 16.6.2 测量连接图

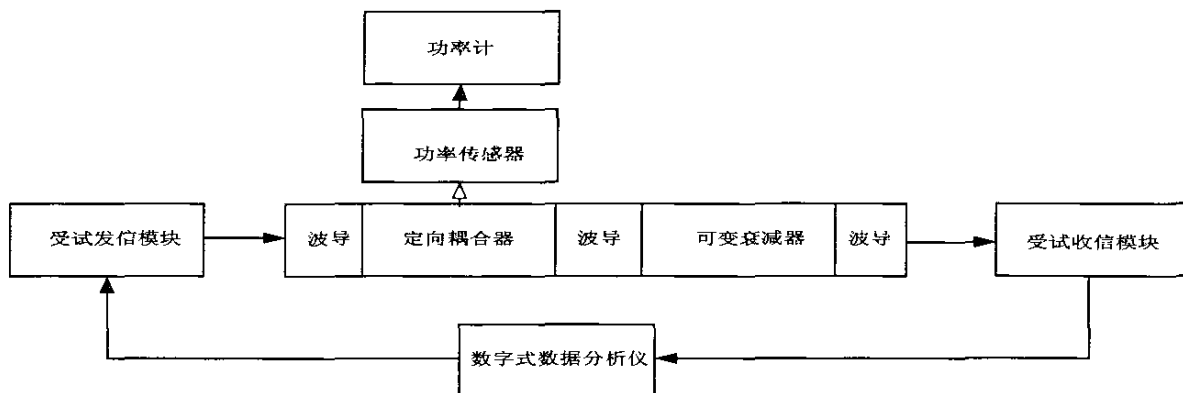


图7 收信机灵敏度测试

### 16 6 3 测量方法

1. 按图7所示连接测试系统;
2. 调节可变衰减器使数字式数据分析仪的误码率读数满足本技术报告中8.1的要求;
3. 从功率计中读出功率值,并同时记录该值为 $p_1$ ;
4. 调节可变衰减器使其衰减量逐步增大,其误码率读数会随着增大;
5. 当数字式数据分析仪的误码率读数下降至 $10^{-3}$ 时,停止步骤4之操作;
6. 从功率计中读出功率值,并同时记录该值为 $p_2$ ;
7. 查看衰减器的衰减量,其接收灵敏度 $= p_2 + \text{定向耦合器插损} - \text{定向耦合器正向损耗}$ 。

### 16 7 收信机动态范围

#### 16 7 1 定义

收信机动态范围是指接收点处达到给定BER值(本系统取该值为 $10^{-3}$ )所需平均功率的最小可接收值(即接收灵敏度)与最大可接收值(定义为过载功率)的差值;此范围应满足本技术报告中10.7的指标要求。

#### 16 7 2 测量连接图

收信机动态范围的测量连接图如图6所示。

#### 16 7 3 测量方法

1. 按图7所示连接测试系统;
2. 调节可变衰减器使数字式数据分析仪的误码率读数满足本技术报告中8.1的要求;
3. 逐步增大可变衰减器的衰减,直到误码率读数为 $10^{-3}$ ,记录此时可变衰减器的衰减量为 $L_1$ ;
4. 逐步减小可变衰减器的衰减,直到误码率读数为 $10^{-3}$ ,记录此时可变衰减器的衰减量为 $L_2$ ;
5. 收信机的动态范围为:  $L_1 - L_2$ 。

### 16 8 收信机输入电压驻波比

#### 16 8 1 定义

收信机输入电压驻波比是指收信机的输入端口输入信号与反射信号的比值;此值应满足本技术报告中10.9的指标要求。

#### 16 8 2 测量连接图

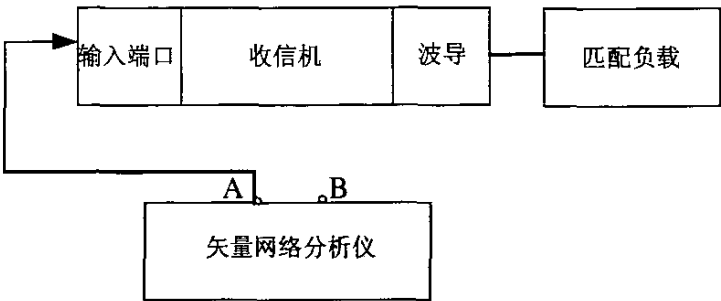


图8 收信机输入电压驻波比测试

16 8 3 测量方法

- 1. 按图8所示连接测试系统；
- 2. 设置矢量网络分析仪的频带为收信机工作频带；
- 3. 设置矢量网络分析仪的输出电平为信机收信机最大可接收值；
- 4. 用矢量网络分析仪测量并读取输入电压驻波比。

16 9 系统传输时延

16 9 1 定义

系统传输时延是指收发信机输出信号对输入信号的时间延迟值；此值应满足本技术报告中8.2的指标要求。

16. 9.2 测量连接图

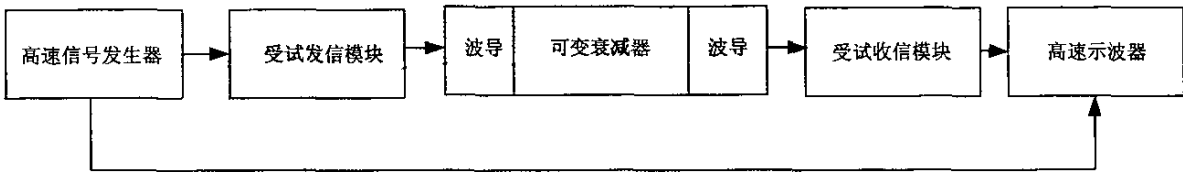


图9 系统传输时延测试

16. 9.3 测量方法

- 1. 按图9所示连接测试系统；
- 2. 图中高速示波器的通道1的输入信号是传输前的信号；
- 3. 图中高速示波器的通道2的输入信号是经发信、收信链路传输后的信号；
- 4. 按要求正确设置高速示波器；
- 5. 由示波器观察两信号波形并直接读出所显示的传输时延值。

16 10 信号眼图

16. 10 1 定义

“眼图”是检测数字信号的主要手段，数字信号的眼图能充分反映系统的传输特性；其眼图的测试结果应满足本技术报告中8. 3的指标要求。

16 10.2 测量连接图

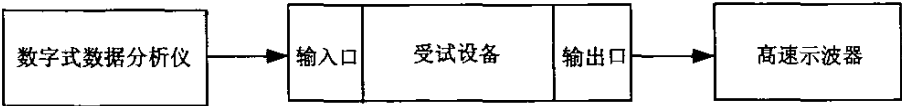


图10 信号眼图测试

16. 10 3 测量方法

- 1. 按图10所示连接测试系统；



- 2. 图中数字式数据分析师输出的伪随机序列信号被用作调制信号；
- 3. 图中输入到高速示波器的信号是解调后的伪随机序列信号；
- 4. 按要求正确设置高速示波器；
- 5. 通过示波器观察信号眼图波形并分析记录此波形。

16 11 传输误码率

16 11 1 定义

误码率（BER）是误码的比特数与传输的总比特数之比值；此值应满足本技术报告中8.1的指标要求。

16 11 2 测量连接图

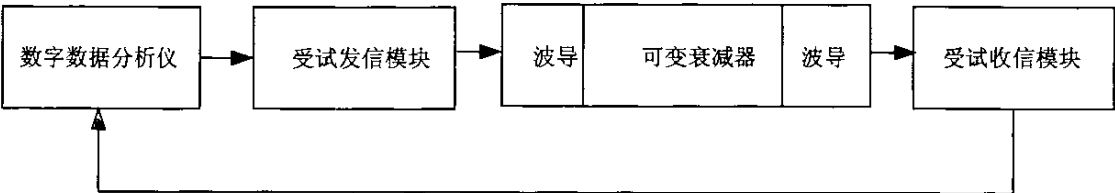


图11 传输误码率测试

16 11 3 测量方法

- 1. 按图11所示连接测试系统；
- 2. 将数字式数据分析师的输出信号连接到受试发信模块以作为调制信号；
- 3. 经发信和收信链路传输后的信号被连接到数字式数据分析师的输入端；
- 4. 按要求正确设置数字式数据分析师；
- 5. 由数字式数据分析师统计并计算出误码率。

16 12 业务支持能力

16 12 1 定义

业务支持能力测试用于判断各业务接口的承载能力；其测试结果应满足本技术报告中7.1-7.4的指标要求。

16 12 2 测量连接图

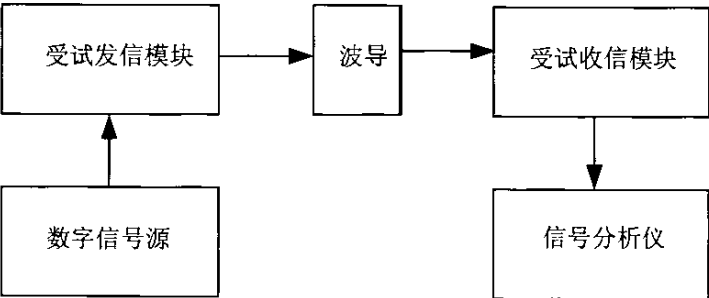


图12 业务支持能力测试

16 12 3 测量方法

- 1. 按图12所示连接测试系统；
- 2. 图中的数字信号源格式分别为：
  - a) 以太网接口为 TCP/IP 协议信号；
  - b) SDI 接口为高清电视格式信号；
  - c) SDH 接口为 SDH 协议信号；
- 3. 图中所使用的信号分析仪如下：
  - a) 以太网接口为带有 TCP/IP 协议测试软件的计算机；

- b) SDI 接口为高清电视信号分析仪;
- c) SDH 接口为数字同步系列光信号分析仪;
- 4. 按要求正确设置各信号源和信号分析仪的状态;
- 5. 对于各类业务, 主要检测如下指标:
  - a) 以太网接口信号: 系统吞吐量; 丢包率; 背靠背缓冲能力;
  - b) SDI 接口信号: 图像分辨率和格式验证; 音频响应和失真;
  - c) SDH 接口信号: 接口抖动; 接口漂移。

### 16 13 RSSI 监测功能验证

#### 16 13 1 定义

RSSI监测功能是指对场强信号进行监测和现场LED显示的能力, 应满足本技术报告中11.2的要求。

#### 16 13 2 测量连接图

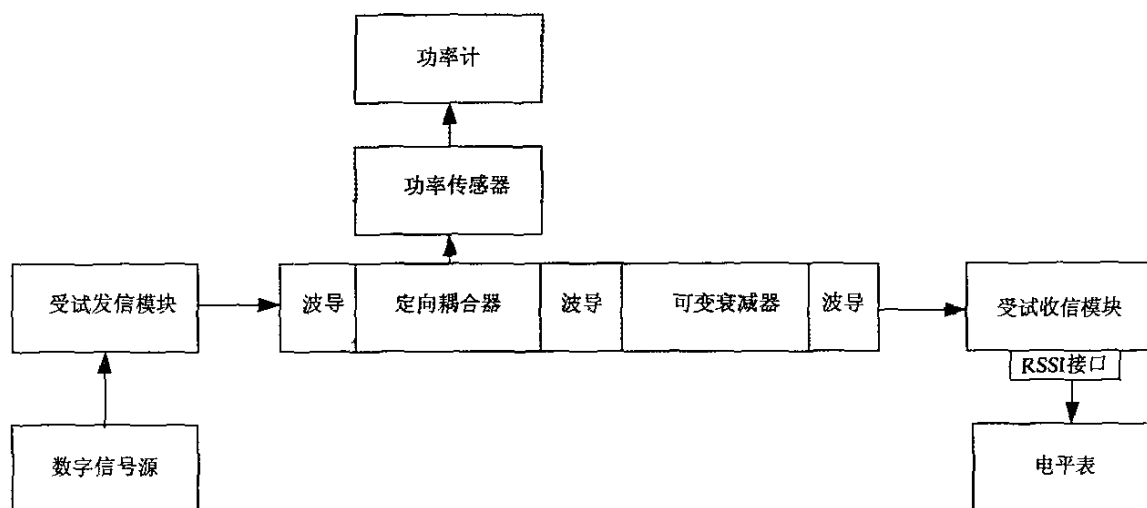


图13 RSSI监测功能验证

#### 16 13.3 测量方法

1. 按图13所示连接测试系统;
2. 图中的数字信号源格式分别为:
  - a) 以太网接口为 TCP/IP 协议信号;
  - b) SDI 接口为高清电视格式信号;
  - c) SDH 接口为 SDH 协议信号;
3. 调节可变衰减器的衰减值, 读取电平表和功率计的数值, 并观察RSSI的LED指示;
4. 记录上述步骤3的数值和LED指示状态。

### 16 14 人工功率控制功能验证

#### 16 14.1 定义

人工功率控制功能是指对发信机的发射功率进行人工控制的能力, 满足本技术报告中11.3的要求。

#### 16 14 2 测量连接图

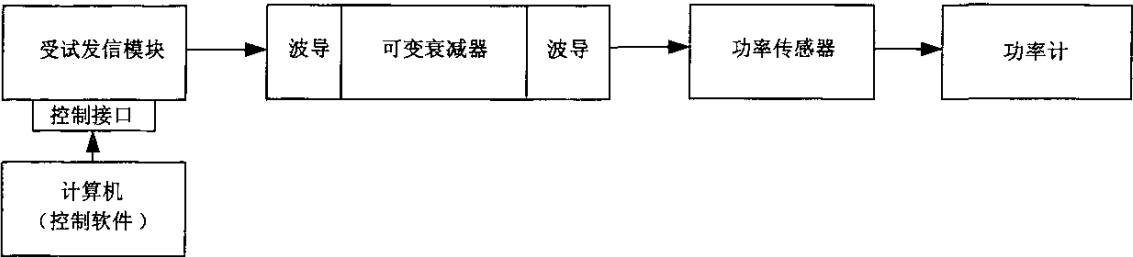


图14 人工功率控制功能验证

16 14 3 测量方法

1. 按图14所示连接测试系统；
2. 通过带有功率控制软件的计算机的人机界面实施功率控制；
3. 按2dB调节步进，通过功率计的读数观察控制结果；
4. 记录上述步骤3的数值；
5. 重复步骤2-4，记录人工可控动态范围内的功率变化。

16 15 勤务话功能验证

16 15 1 定义

勤务话功能是指借助收发信传输链路完成辅助性双工通话的能力，满足本技术报告中11.1的要求。

16 15 2 测量连接图

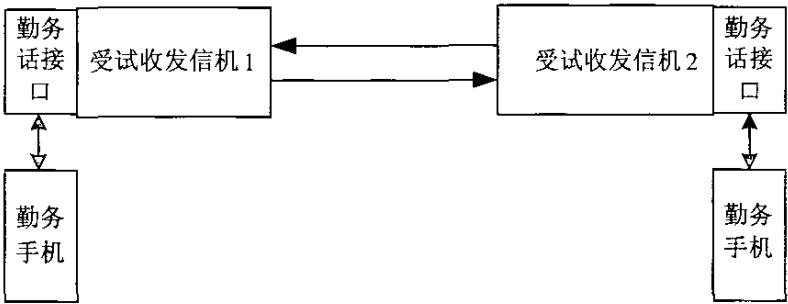


图15 勤务话功能验证

16 15 3 测量方法

1. 按图15所示连接测试系统；
2. 将勤务手机接在勤务话接口上；
3. 打开电源开关，让设备预热5分钟；
4. 通过云台调整两端天线的方位和俯仰，让天线对准直至电平指示达到最大，然后固定天线位置；
5. 按下一端勤手机发信键，看对方是否收到呼叫信号；另一端重复相同步骤；
6. 用勤务手机与对方通话，辨别话音是否清晰、可懂。

16 16 环境试验

16 16.1 定义

环境试验是指对系统的受试设备进行高温试验、低温试验和湿热试验，试验结果应满足本技术报告中13以及10.4的要求。

16 16 2 测量连接图

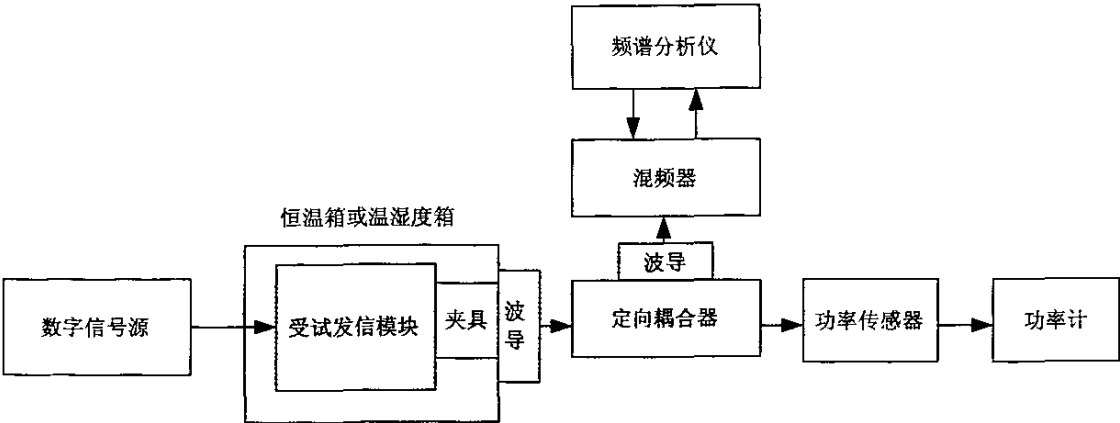


图16 环境实验

16 16.3 测量方法

- 1. 按图16所示连接测试系统；
- 2. 低温试验

受试发信模块及相应的测试夹具应按正常状态配置，不加电放在温度箱中；温度箱的温度应当稳定在-35℃，并且在温度箱中没有强制循环气流直接加到受试发信模块；在温度稳定后持续试验2小时，在室温条件下稳定2小时，然后进行所规定的测量，并定时记录功率值和频谱图。

- 3. 高温试验

受试发信模块及相应的测试夹具应按正常状态配置，不加电放在温度箱中；温度箱的温度应当稳定在+55℃，并且在温度箱中没有强制循环气流直接加到受试发信模块；在温度稳定后持续试验2小时，在室温条件下稳定2小时，然后进行所规定的测量，并定时记录功率值和频谱图。

- 4. 湿热试验

受试发信模块及相应的测试夹具应按正常状态配置，不加电放在温湿度箱中；温湿度箱的温度为+40℃±2℃，湿度为93%<sup>+2%</sup><sub>-3%</sub>，并且在温湿箱中没有强制循环气流直接加到受试发信模块；在温度稳定后持续试验2小时，在室温条件下稳定2小时，然后进行所规定的测量，并定时记录功率值和频谱图。

附录 A  
(规范性附录)

5 毫米波收发信机测试节点框图

A 1 5 毫米波收发信机下行链路

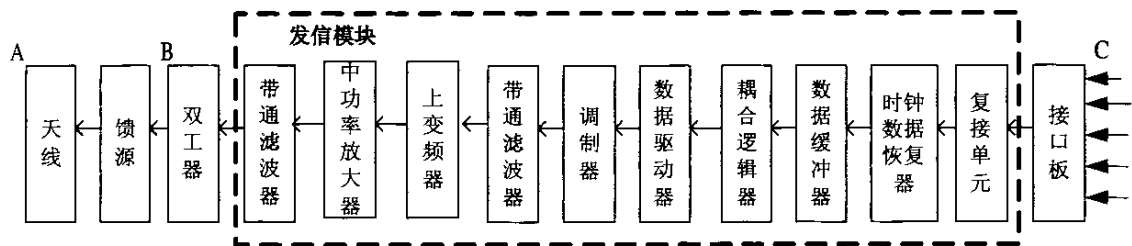
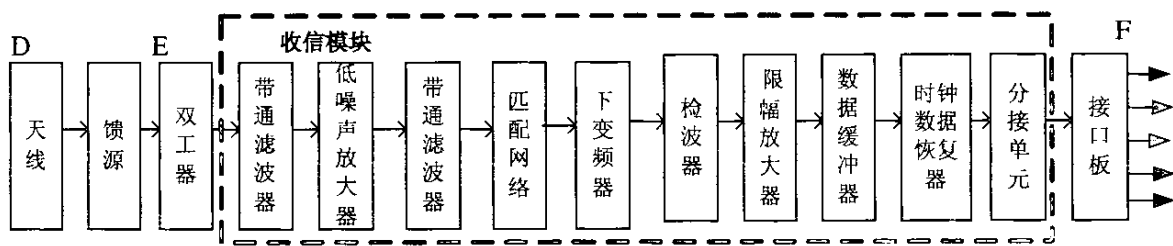


图 A 1 5 毫米波收发信机下行链路框图

- 图中，
- 1. A为天线发射点；B为发信模块输出点；C为数据信号输入点；
  - 2. 测试点C包括：1000Base-SX输入信号、1000Base-TX输入信号、SDH输入信号、HD-SDI输入信号以及勤务话输入信号；
  - 3. 当采用直接射频调制方式时，去除图中的上变频器，由调制器输出射频信号；
  - 4. 当C点输入数据信号为HD-SDI时，由平衡放大器取代图中的双工器。

A 2 5 毫米波收发信机上行链路



图A 2 5毫米波收发信机上行链路框图

- 图中，
- 1. D为天线接收点；E为收信模块输入点；F为数据信号输出点；
  - 2. 测试点F包括：1000Base-SX输出信号、1000Base-TX输出信号、SDH输出信号、HD-SDI输出信号以及勤务话输出信号；
  - 3. 当采用直接射频解调方式时，去除图中的下变频器，射频信号直接输入至检波器；
  - 4. 当F点输出数据信号为HD-SDI时，由BNC驱动电路取代图中的双工器。

附 录 B  
(资料性附录)  
测量仪器及测量配件要求

B.1 示波器 (Oscilloscope)

- 数据带宽: 100Mb/s ~ 10Gb/s ;
- 具有光通路和电通路, 分别为双通道;
- 具有 Windows<sup>®</sup> 用户接口。

B.2 数字数据分析仪 (Numerical data analyzer)

- BERT 能力: 3.2Gb/s;
- 覆盖范围: 10MHz ~ 3.2GHz;
- 灵敏度: 25 mV<sub>p-p</sub>;
- 可编程图案: 8Mb;
- 具有眼边差和眼图测量功能、比特误码率测量功能、突发信号和评估波形质量功能。

B.3 频谱分析仪 (Spectrum analyzer)

- 覆盖率范围: 9kHz ~ 40GHz;
- 频率步长: 1kHz;
- 频率准确度:  $\pm 2\text{ppm}$ ;
- 接收机灵敏度 (中频带宽 10Hz):
  - $< -23\text{dBmV}$  (10MHz~6GHz);
  - $< -21\text{dBmV}$  (6~7GHz);
  - $< -19\text{dBmV}$  (7~18GHz);
  - $< -16\text{dBmV}$  (18~26.5GHz);
  - $< -5\text{dBmV}$  (26.5~30GHz);
  - $< -1\text{dBmV}$  (30~40GHz);
- 输入驻波比(10dB 衰减):
  - 20Hz~1GHz:  $< 1.6$ ;
  - 1~7GHz :  $< 2.2$ ;
  - 7~40GHz:  $< 3.0$ ;
- 显示动态范围: 70dB;
- 以分辨率带宽 30kHz 测量的功率: -90 至 +20dBm;
- 背景噪声: -140dBm/Hz;
- 噪声边带 (频率 500MHz):
  - $< -80\text{dBc/Hz}$  @ 100Hz;
  - $< -95\text{dBc/Hz}$  @ 1kHz;
  - $< -100\text{dBc/Hz}$  @ 10kHz;
  - $< -111\text{dBc/Hz}$  @ 100kHz;
- 相对平坦性:  $\pm 1.5\text{B}$ ;
- 绝对频率响应平坦度:

- $< \pm 2\text{dB}$  (20Hz~7GHz);
- $< \pm 2.5\text{dB}$  (7GHz~14.5GHz);
- $< \pm 3\text{dB}$  (14.5GHz~26.5GHz);
- $< \pm 3.5\text{dB}$  (26.5GHz~32.5GHz);
- $< \pm 4\text{dB}$  (32.5GHz~40GHz);
- 中频带宽(6dB): 10Hz~1MHz (1、10 序列递增) ;
- 中频带宽(3dB):
  - 1Hz~10MHz (1、2、3、5 序列递增); 带宽准确度:  $\leq 10\%$  (中频带宽 $\leq 3\text{MHz}$ );
  - $\leq 25\%$  (中频带宽 5MHz, 10MHz);
- 抗干扰能力
  - 第一中频镜像抑制:  $< -80\text{dBc}$ ;
  - 第二中频镜像抑制:  $< -80\text{dBc}$ ;
  - 第一中频抑制  $< -80\text{dBc}$ ;
- 本振馈通:  $< -20\text{dBm}$ 。
- 检波后的视频滤波器: 从 100Hz 到 1MHz 以十进增长可选;
- RF 输入阻抗: 标称  $50\Omega$ ;
- 时域扫描时间: 从  $50\mu\text{s}$  至  $100\text{ms}$  可选;
- 延迟的扫描触发: 从  $5\mu\text{s}$  至  $40\text{ms}$  可选;
- 具有外部扫描触发功能。

#### B 4 混频器 (Mixer)

- 频率范围: 50~75GHz;
- 灵敏度 (显示的平均噪声电平/10Hz):  $-100\text{ dBm}$ ;
- 校准精度:  $< \pm 4.5\text{dB}$ ;
- 镜像抑制:  $-40\text{dB}$ ;
- 1dB 压缩增益:  $+3\text{ dBm}$ ;
- 中频范围: DC~1.3GHz;
- 本振幅度范围:  $+14\sim+16\text{dB}$ ;
- 本振频率范围: 3~6GHz;
- 校准精度:  $+2\text{dB}$ ;
- 典型的射频输入驻波比:  $< 2.2:1$ ;
- 最大连续波射频输入电平:  $+20\text{dBm}$ ;
- 最大峰值脉冲功率:  $24\text{dBm}$ , 脉宽  $< 1\mu\text{s}$ ;
- 最小带宽:  $100\text{MHz}$ ;
- 调谐输入连接器: BNC。

#### B 5 功率计 (Power meter)

- 频率范围: 50~75GHz, 视功率传感器而定;
- 功率范围:  $-70\text{dBm}\sim+44\text{dBm}$ , 视功率传感器而定。

#### B 6 功率传感器 (Power sensor)

- 频率范围: 50~75GHz;
- 单个传感器动态范围:  $50\text{dB}\sim 90\text{dB}$ ;
- 显示单位

- 绝对单位: W 或 dBm;
- 相对单位: 面分数或 dB;
- 显示分辨率
  - 在对数方式下, 可选择分辨率为: 1.0, 0.1, 0.01 和 0.001dB;
  - 在线性方式下, 可选择分辨率为: 1~4 位数;
- 缺省分辨率
  - 绝对精度:  $\pm 0.02\text{dB}$ (对数)或 $\pm 0.5\%$ (线性), 再加上对应的功率;
- 传感器线性(百分比)
  - 相对精度:  $\pm 0.04\text{dB}$ (对数)或 $\pm 1.0\%$ (线性), 再加上对应的功率;
- 精度: 1 年内最坏情况为 $\pm 1.2\%$ ( $\pm 0.9\%\text{rss}$ )。

#### B 7 噪声源 (Noise source)

- 频率范围: 50~75GHz;
- 输出幅度: -144 ~ +13dBm;
- SSB 噪声: 优于-140dBc/Hz @ 1GHz 20KHz 偏移;
- 杂散信号: -90dBc 非谐波;
- 剩余调频: <0.3Hz 有效值;
- 调制振荡器: 0.1Hz~500kHz;
- 具有完备的频率和幅度扫描能力。

#### B 8 噪声仪 (Noise analyzer)

- 频率范围: 10MHz~67GHz;
- 测量范围: 0~20dB;
- 仪器的不确定性:  $\pm < 0.15\text{ dB}$ ;
- 测量带宽: 100kHz 到 4MHz 之间;
- 测量速度: <70ms/测量 @ 8 次平均; <50ms/测量 @ 64 次平均。

#### B. 9 频率计数器 (Frequency counter)

- 频率范围: 0.05GHz~26.5GHz;
- 频率分辨率: 1Hz;
- 灵敏度: -30dBm;
- 时间分辨率: 15 位;
- 最大输入功率: +5dBm;
- 频标稳定度:  $\pm 3 \times 10^{-9}/\text{d}$ ;
- 输入阻抗: 50 $\Omega$ ;
- 闸门时间: 50 $\mu\text{s}$ ~10s 分 8 级。

#### B. 10 矢量网络分析仪 (Vector network analyzer)

- 频率范围: 10MHz~67GHz;
- 迹线噪声: <0.03dB @ 1kHz 中频带宽;
- 动态范围: >90dB @ 65GHz;
- 测量速度: <26 $\mu\text{s}$ /测量点;
- 频率分辨率: 1Hz;
- 频率准确度: 10ppm;



- 功率输出范围: -70dBm ~ +5dBm;
- 测试端口功率准确度:  $\pm 4.0\text{dB}$ ;
- 方向性: 42dB;
- 源匹配: 37dB;
- 负载匹配: 42dB;
- 系统动态范围: 96dB;
- 测量域: 频域、时域;
- 测量点数: 1~1601;
- 显示幅度分辨力: 0.001dB/div;
- 显示相位分辨力: 10m°/div;
- 群延时分辨力: 0.01 ps /div;
- 平均因子: 1~999;
- 测试端口连接类型: 1.85/2.4/3.5mm;
- 高级接口形式: 标准并口、GPIB 接口、LAN 接口。

**B 11 波导 (Wave guide)**

- 插入损耗:  $< 0.7\text{dB}$ ;
- 隔离特性:  $> 25\text{dB}$ ;
- 反射损耗:  $> 55\text{dB}$ ;
- 尺寸: WR-15。

**B 12 可变衰减器 (Variable attenuator)**

- 转换方式: 手动;
- 频率范围: DC~66GHz;
- 衰减范围: 1dB 步进 @ 0~11dB;
- 最大驻波比: 2.0;
- 0dB 时的插入损耗: 0.6dB+0.09dB/GHz;
- 衰减精度:  $\pm 0.7\text{dB}$  @ 1~5dB,  $\pm 0.8\text{dB}$  @ 6~9dB,  $\pm 0.9\text{dB}$  @ 10~11dB;
- 螺线管电压/速度/功率: -20~+30V/<20ms/2.7W;
- 波导尺寸: WR-15。

**B 13 定向耦合器 (Directional coupler)**

- 频率范围: 50~75GHz;
- 耦合度: 10dB、20 dB;
- 回波损耗: 30dB;
- 方向性: 30dB。
- 波导尺寸: WR-15。

## 附录 C

### (资料性附录)

#### 计入氧分子共振损耗的通信距离和链路预算

由于5毫米波自身固有振荡频率与大气氧分子固有振荡频率恰好相同，二者之间会发生共振，因此，5毫米波收发信机通信链路预算中的空间链路损耗计算与常规计算不同，必须考虑到与大气氧分子共振损耗的因素。故此，5毫米波总的空间链路损耗采用如下计算公式：

$$L(\text{dB}) = L_0 + L_{ox} = 92.45 + 20\lg[f(60\text{GHz})] * d(\text{km}) + 15$$

式中， $L_0$ 为空间链路常规损耗， $L_{ox}$ 为氧分子共振损耗。

据此，其链路预算步骤为：

#### A. 设定条件

本技术报告最大通信距离规定为200m，故其通信链路预算设定条件如下：

- ① 收发天线间通信距离  $d=200\text{m}$
- ② 工作中心频率  $f=60\text{GHz}$
- ③ 发射端馈线/接头损耗  $L_{td}=0.5\text{dB}$
- ④ 接收端馈线/接头损耗  $L_{rd}=0.5\text{dB}$
- ⑤ 收发天线增益  $G_r, G_t=36\text{dBi}$
- ⑥ 接收机灵敏度  $P_r=-43\text{dBm}$  @ 99%,  $\text{BER}=10^{-7}$
- ⑦ 氧分子共振损耗  $L_{ox}=3\text{dB}$  @ 200m
- ⑧ 雨衰  $\sigma=3\text{dB}$  @  $P_{12}=50\text{mm}$
- ⑨ 200m处系统余量  $\delta=2\text{dBm}$

#### B. 链路损耗计算

$$L = L_0 + L_{ox} = 92.45 + 20\lg[f(\text{GHz})] * d(\text{km}) + 15 / \text{Km} = 92.45 + 20\lg[60] + 20\lg[0.20] + 3 \\ = 92.45 + 35.564 - 13.98 + 3 = 118.034(\text{dB})。$$

#### C. 发射功率预算

设发射功率用 $P_0$ 表示，则

$$P_0(\text{dBm}) = L + L_{td} + L_{rd} + \sigma + \delta - G_t - G_r + P_r = 118.034 + 0.5 + 0.5 + 3 + 2 - 36 - 36 - 43 = 9.034(\text{dBm})。$$