

# 北斗卫星导航系统民用全球信号多模多频 宽带射频芯片产品 技术要求和测试方法

**Technical requirements and test methods- for Beidou Navigation Satellite System  
basic products of multi-mode and multi-frequency broadband RF chip**



---

中国卫星导航系统管理办公室  
二〇二一年一月



# 目 次

前言.....	II
1 范围.....	1
2 引用文件.....	1
3 产品描述.....	1
4 要求.....	1
4.1 总则.....	1
4.2 集成度.....	2
4.3 多频点并行接收.....	2
4.4 中频 I/Q 输出.....	2
4.5 ADC 采样.....	3
4.6 通道 3dB 带宽.....	3
4.7 带内平坦度.....	3
4.8 带外抑制.....	3
4.9 输入信号电平.....	3
4.10 PGA 范围.....	3
4.11 1dB 压缩点输入功率.....	3
4.12 等效噪声系数.....	3
4.13 相位噪声.....	3
4.14 I/Q 适配误差.....	3
4.15 输入驻波比.....	3
4.16 功耗.....	3
4.17 高低温工作和贮存.....	3
4.18 温度循环.....	4
4.19 静电放电.....	4
4.20 变频振动.....	4
5 质量保证规定.....	4
5.1 检验分类.....	4
5.2 鉴定检验.....	4
5.3 质量一致性检验.....	5
附录 A（规范性附录）功能性能测试方法.....	8
A.1 测试环境条件.....	8
A.2 测试设备.....	8
A.3 测试场地.....	8
A.4 测试方法.....	8

# 前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件附录 A 为规范性附录。

本规范中国卫星导航系统管理办公室归口。

本规范主要单位：中国卫星导航工程中心、中国网络安全审查技术与认证中心、北京东方计量测试研究所、中国航天标准化与产品保证研究院等。

本规范主要参与单位：上海司南卫星导航技术股份有限公司、中国电子科技集团公司第二十四研究所、和芯星通科技（北京）有限公司、北京耐威时代科技有限公司、北京合众思壮科技股份有限公司、广州润芯信息技术有限公司等。

# 北斗卫星导航系统民用全球信号多模多频宽带射频芯片产品

## 技术要求和测试方法

### 1 范围

本规范规定了北斗全球系统民用多模多频宽带射频芯片（以下简称射频芯片）的技术要求和测试方法。

本规范适用于多模多频宽带射频芯片的检测、认证，多模多频宽带射频芯片的设计、研发、生产也可以参照使用。

### 2 引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温

GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温

GB/T 2423.10-2019 环境试验 第2部分：试验方法 试验Fc：振动（正弦）

GB/T 2423.22-2012 环境试验 第2部分：试验方法 试验N：温度变化

BD 110001-2015 北斗卫星导航术语

BD 420001-2015 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）接收机射频集成电路通用规范

JEDEC JS-002 静电放电灵敏度试验 充电器件模型（CDM）器件级别

JJF 1001 通用计量术语及定义

JJF 1188 无线电计量名词术语及定义

### 3 产品描述

多模多频宽带射频芯片支持包括北斗系统在内的四大主流卫星导航系统所有民用频点信号的宽带接收，具备至少三个并行的、带宽和中心频点可配置的接收通道，集成包括低噪声放大器、频率综合器、混频器、中频滤波器、自动增益控制电路、模数转换电路、SPI接口、低压差线性电源（LDO）等功能模块，支撑整机实现定位定向、高精度测量等应用。

### 4 要求

#### 4.1 总则

射频芯片面向基于北斗卫星导航系统和北斗地基增强系统的众多高精度应用领域的需求，支持

包括北斗系统在内的四大主流卫星导航系统所有民用频点信号的宽带接收。

## 4.2 集成度

射频芯片需具有高集成度，应至少包括下列功能模块：

- a) 低噪声放大器；
- b) 频率综合器；
- c) 混频器；
- d) 中频滤波器；
- e) 自动增益控制电路；
- f) 模数转换电路；
- g) SPI 接口；
- h) 低压差线性电源。

## 4.3 多频点并行接收

射频芯片集成三个或三个以上并行的、带宽和中心频点可配置接收通道。按照中心频点和带宽的设置，每个接收通道既可支持对单个导航频点信号的接收，也可支持对设定频带内多个导航频点信号的同时接收。射频芯片应支持的导航频带和频点见表 1。

表 1 射频芯片支持的导航频带和频点

频带	频点(MHz)	带宽(MHz)	支持信号
L1	1602	10	GLONASS L1
	1575.42	20	BDS B1C, GPS L1C/A、L1C, Galileo E1OS
	1561.098	20	BDS B1I
上 L2	1268.52	20	BDS B3I
	1246	10	GLONASS L2
	1227.6	20	GPS L2C、L2P/Y
下 L2	1207.14	20	BDS B2I、B2b, Galileo E5b
	1191.795	53	BDS B2, Galileo E5
	1176.45	20	BDS B2a, GPS L5, Galileo E5a

## 4.4 中频 I/Q 输出

- a) 模拟中频 I/Q 差分输出；

b) 数字中频 I/Q 输出。

#### 4.5 ADC 采样

支持至少 2 比特的数字 IQ 输出，采样频率 20MHz~100MHz 间可配置，支持低相噪采样时钟信号输出。

#### 4.6 通道 3dB 带宽

通道 3dB 带宽应在 10MHz~40MHz 范围内可编程配置，测试结果与设置值的偏差应在 M5% 范围。

#### 4.7 带内平坦度

带内平坦度应不大于 1dB (0.75 倍带宽内)。

#### 4.8 带外抑制

带外抑制应不小于 20dB (1.5 倍 3dB 带宽)。

#### 4.9 输入信号电平

输入信号电平在 -100dBm~-55dBm 范围内时，射频芯片应能正常工作，且中频带内输出积分功率变化不超过 20dB (AGC 模式下)。

#### 4.10 PGA 范围

增益控制范围应不小于 60dB (可自环或外控)。

#### 4.11 1dB 压缩点输入功率

通道增益为 40dB±1dB 时，1dB 压缩点输入功率应不小于 -35dBm。

#### 4.12 等效噪声系数

等效噪声系数应不大于 5dB。

#### 4.13 相位噪声

$\leq -70\text{dBc/Hz}@100\text{Hz}$ ;

$\leq -80\text{dBc/Hz}@1\text{kHz}$ ;

$\leq -85\text{dBc/Hz}@10\text{kHz}$ ;

$\leq -90\text{dBc/Hz}@100\text{kHz}$ 。

#### 4.14 I/Q 适配误差

相位误差应在  $\pm 1^\circ$  以内，幅度误差应在  $\pm 0.5\text{dB}$  以内。

#### 4.15 输入驻波比

输入电压驻波比应不大于 1.5。

#### 4.16 功耗

多通道最大带宽工作模式下，功耗应不大于 280mW。

#### 4.17 高低温工作和贮存

工作温度：-40°C~85°C；

贮存温度：-55℃~125℃。

#### 4.18 温度循环

-55℃~125℃ 循环次数 100 次。

#### 4.19 静电放电

HBM  $\geq$  1kV。

#### 4.20 变频振动

频率范围 20Hz~2000Hz。

### 5 质量保证规定

#### 5.1 检验分类

检验包括：鉴定检验、质量一致性检验。

#### 5.2 鉴定检验

##### 5.2.1 检验时机

有下列情况之一时应进行鉴定检验：

- a) 设计定型和生产定型时；
- b) 在设计有重大改进、重要的原材料和元器件及工艺有重大变化使原来的鉴定结论不再有效时；
- c) 长期停产后恢复生产时；
- d) 易地生产时。

##### 5.2.2 检验项目和顺序

鉴定检验的项目应按表 2 的规定进行。按功能、性能、环境适应性的顺序进行测试。

表 2 检验项目表

序号	检验项目	鉴定检验	质量一致性检验			要求的章节号	检验方法的章节号	
			逐批检验		周期检验			
			逐台检验	抽样检验				
1	集成度	●	●	●	●	4.2	A.4.2	
2	功能	多频点并行接收	●	●	●	●	4.3	A.4.3
3		中频 I/Q 输出	●	●	●	●	4.4	A.4.4
4		ADC 采样	●	●	●	●	4.5	A.4.5
5		性能	通道 3dB 带宽	●	○	○	○	4.6
6	带内平坦度		●	○	●	●	4.7	A.4.7
7	带外抑制		●	○	●	●	4.8	A.4.8
8	输入信号电平		●	○	●	●	4.9	A.4.9

9		PGA 范围	●	○	●	●	4.10	A.4.10
10		1dB 压缩点输入功率	●	●	●	○	4.11	A.4.11
11		等效噪声系数	●	●	●	○	4.12	A.4.12
12		相位噪声	●	●	●	○	4.13	A.4.13
13		I/Q 适配误差	●	●	●	○	4.14	A.4.14
14		输入驻波比	●	●	●	○	4.15	A.4.15
15		功耗	●	●	●	●	4.16	A.4.16
16	环境适应性	低温工作	●	○	○	○	4.17	A.4.17
17		高温工作	●	○	○	○	4.17	A.4.17
18		低温贮存	●	○	○	○	4.17	A.4.17
19		高温贮存	●	○	○	○	4.17	A.4.17
20		温度循环	●	○	○	○	4.18	A.4.18
21		静电放电	●	○	○	○	4.19	A.4.19
22		变频振动	●	○	○	○	4.20	A.4.20
注：●必检项目；○订购方和承制方协商检验项目；—表示不做项。								

### 5.2.3 受检样品数

检验样品递交 8 套，由测试单位随机抽取 3 套进行测试。

### 5.2.4 合格判据

表 2 规定的所有检验项目均符合要求，判定鉴定检验合格。可有一次对不合格项进行重检，重检仍未通过的，并确认属该产品自身质量方面的原因，则判定鉴定检验不合格。

## 5.3 质量一致性检验

### 5.3.1 检验分类

质量一致性检验分为逐批检验和周期检验。

### 5.3.2 检验批的形成与提出

检验批的形成与提出应符合 GB/T 2828.1-2012 中 6.2 的规定。

### 5.3.3 不合格的分类

按产品的质量特性及其不符合的严重程度分为 A 类、B 类、C 类不合格，见表 3。

当有一个或一个以上不合格项目的单位产品称为不合格品。按不合格品分类可分为 A 类、B 类、C 类不合格品。

表 3 不合格品分类

不合格分类	不合格项目
A 类	功能、等效噪声系数、相位噪声、功耗
B 类	I/Q 适配误差、1dB 压缩点输入功率、PGA 范围、输入驻波比、通道 3dB 带宽、带内平坦度、带外抑制、输入信号电平
C 类	高温工作、低温工作、高温贮存、低温贮存、温度循环、静电放电、变频振动

### 5.3.4 检验项目和顺序

质量一致性检验的项目应按表 2 的规定进行。按功能、性能、环境适应性的顺序进行测试。

### 5.3.5 逐批检验

#### 5.3.5.1 检验分类

逐批检验分为逐台检验和抽样检验。

#### 5.3.5.2 逐台检验

##### 5.3.5.2.1 抽样方案

对生产方提交检验批的产品百分之百地进行检验。

##### 5.3.5.2.2 合格判据

根据检验结果对逐台检验做出如下判定：

- a) 当发现 A 类不合格项时，应判该台产品检验不合格；
- b) 当发现 B 类，C 类不合格项小于或等于规定值，则判该台产品检验合格，否则不合格。具体数值由产品规范规定。

#### 5.3.5.3 抽样检验

##### 5.3.5.3.1 抽样方案

从交验的合格批中，随机抽取样本。除非另有规定，抽样方案按 GB/T 2828.1-2012 中规定的一般检验水平 I，正常检验一次抽样方案，其接收质量限(AQL)规定为：

A 类不合格品：AQL 为 0.65；

B 类不合格品：AQL 为 6.5；

C 类不合格品：AQL 为 15。

##### 5.3.5.3.2 合格判据

根据检验结果，若发现的三类不合格品数均不大于规定的合格判定数，则判该批产品抽样检验合格。

#### 5.3.5.4 重新检验

若抽样检验不合格，生产方应对该批产品进行分析，找出原因并采取纠正措施后，可重新提交

检验。重新提交检验批的抽样检验应按 GB/T 2828.1-2012 中 13.3 转移规则进行处理。若重新检验合格，仍判该批产品抽样检验合格；若重新检验仍不合格，仍判该批产品抽样检验不合格，不合格品应予剔除。

### 5.3.6 周期检验

#### 5.3.6.1 检验时机

周期检验是生产方周期性地从逐台检验和抽样检验合格的某个批或产品中随机抽取样本进行的检验，以判断在规定周期内生产过程的稳定性是否符合规定的质量指标。对连续生产的产品每两年应至少进行一次周期检验。

#### 5.3.6.2 抽样方案

除非另有规定，抽样方案按 GB/T 2829-2002 判别水平 III 的一次抽样方案进行，不合格质量水平(RQL)和判定数组见表 4。

表 4 不合格质量水平(RQL)和判定数组

不合格品	样本数量	RQL	判定数组
A类	6	40	Ac=0, Re=1
B类	6	65	Ac=1, Re=2
C类	6	80	Ac=2, Re=3

注：Ac——合格判定数，Re——不合格判定数。

#### 5.3.6.3 合格判据

根据检验的不合格品数，按抽样方案中的判定数组要求，判定周期检验合格或不合格。若有一组不合格则应暂停交货，分析原因，采取改进措施，重新进行周期检验。周期检验合格后，产品方可交货。经受环境适应性试验的样品不应作为合格品交付。当周期检验不合格，对已生产的产品和已交付的产品由生产方采取纠正措施。

## 附录 A

### (规范性附录)

#### 功能性能测试方法

##### A.1 测试环境条件

除另行规定外，所有测试应在以下条件下进行：

- a) 温度：15℃~35℃；
- b) 相对湿度：20%~80%。

##### A.2 测试设备

所用测试设备应有足够的测量范围、分辨力、准确度和稳定性，其性能应满足被测性能指标的要求；测试设备均应在国家二级及符合国家计量合格单位检定合格，并在有效期内使用。常用测试设备见表 A.1。

表 A.1 常用测试设备及要求

序号	测试设备	要求
1	频谱分析仪	带宽：9kHz~3GHz 最小 RBW：1Hz DANL：≤-145dBm/Hz 集成相噪测试模块
2	矢量信号发生器	频率准确度：±5ppm 相位噪声：≤-110dBc/Hz@1kHz 输出功率：-120dBm~10dBm
3	矢量网络分析仪	分辨率：1Hz 精度：±5ppm 输出功率：-55dBm~10dBm 动态范围：130dB 测量带宽：1Hz~30kHz
4	直流稳压电源	三位半数显 电压范围：0~30V 电流范围：0~3A
5	示波器	通道数：≥2 带宽：≥400MHz 最大采样率：≥1GSa/s
6	高低温试验箱	温度范围：-60℃~+130℃ 温度保持精度：±1℃

##### A.3 测试场地

标准大气条件下的室内环境。

##### A.4 测试方法

###### A.4.1 测试项目

测试项目详见下表。

表 A.2 测试项目表

序号	测试项目	性能要求	测试方法
1	多频点并行接收	4.2	A.4.2
2	集成度	4.3	A.4.3
3	中频 I/Q 输出	4.4	A.4.4
4	ADC 采样	4.5	A.4.5
5	通道 3dB 带宽	4.6	A.4.6
6	带内平坦度	4.7	A.4.7
7	带外抑制	4.8	A.4.8
8	输入信号电平	4.9	A.4.9
9	PGA 范围	4.10	A.4.10
10	1dB 压缩点输入功率	4.11	A.4.11
11	等效噪声系数	4.12	A.4.12
12	相位噪声	4.13	A.4.13
13	I/Q 适配误差	4.14	A.4.14
14	输入驻波比	4.15	A.4.15
15	功耗	4.16	A.4.16
16	高低温工作和贮存	4.17	A.4.17
17	温度循环	4.18	A.4.18
18	静电放电	4.19	A.4.19
19	变频振动	4.20	A.4.20

#### A.4.2 集成度

根据用户提供的芯片手册、射频评估板说明书等资料，并可结合 A.4.3~A.4.5 测试项的测试结果进行综合判断。

#### A.4.3 多频点并行接收

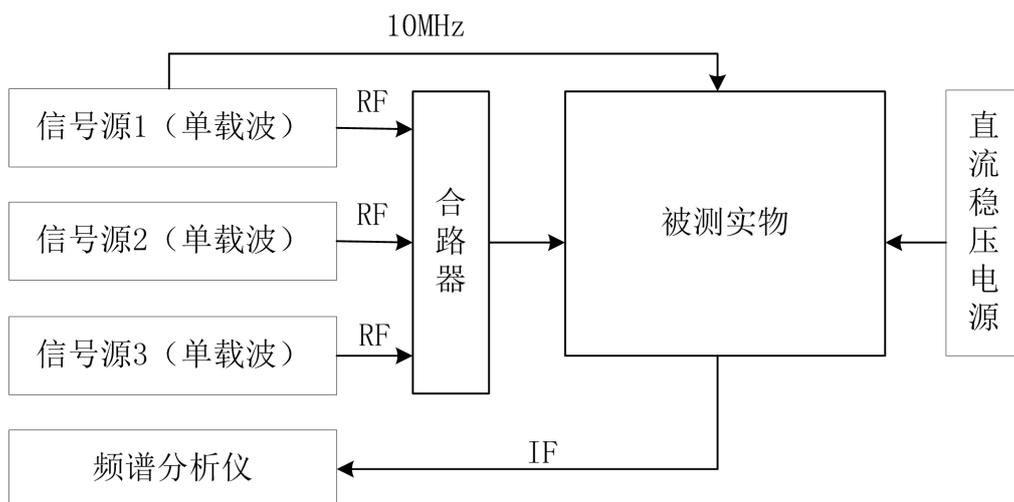


图 A.1 多频点并行接收测试设备连接图

测试步骤如下（以 3 个频带为例）：

- 按图 A.1 连接测试设备；
- 根据表 1 中各频带支持的频点范围，对被测芯片进行设置，每个频带可以并行该频带内 3 个频点信号。
- 根据被测频带内支持的频点分别设置信号源频率，在被测频带上并发 3 个射频信号，输出信号电平为 -70dBm。
- 在频谱仪上查看 3 个中频输出信号是否有稳定的频率和功率。
- 更换射频芯片被测频带，重复上述测试步骤。

#### A.4.4 中频 I/Q 输出

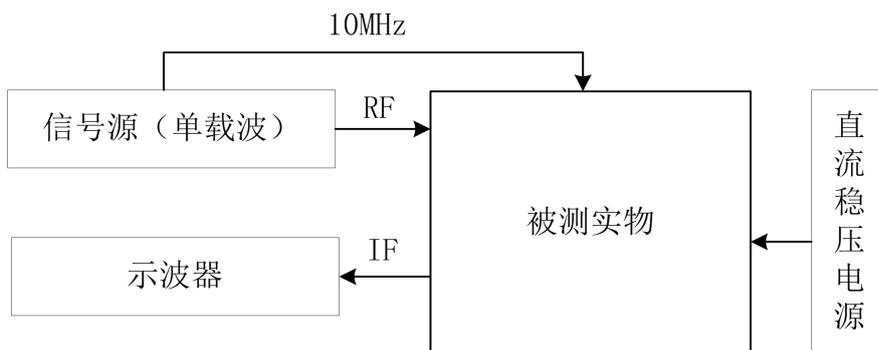


图 A.2 I/Q 输出测试连接图

##### A.4.4.1 数字中频 I/Q 输出

测试步骤如下：

- 按照图 A.2 连接仪器设备，射频芯片输出数字中频 I 支路、Q 支路分别连接到示波器的两个端子；
- 按被测射频芯片的额定电压供电；

- c) 设置被测射频芯片工作频点，通道增益为自动增益模式；
- d) 设置信号源输出频率为被测频点频率，输出电平为-100dBm~~55dBm 之间，以不饱和中频通道为宜；
- e) 调整示波器显示，检查射频芯片数字中频 I 支路、Q 支路信号应为方波，且为正交信号；
- f) 更换射频芯片被测频点频率，重复上述测试步骤。

#### A.4.4.2 模拟中频 I/Q 差分输出

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.2 连接仪器设备，射频芯片输出模拟中频 I 支路的 I+、I-两个信号分别连接到示波器的两个端子；
- b) 按被测射频芯片的额定电压供电；
- c) 设置被测射频芯片工作频点，通道增益为自动增益模式；
- d) 设置信号源输出频率为被测频点频率，输出电平为-100dBm~~55dBm 之间，以不饱和中频通道为宜；
- e) 调整示波器显示，检查射频芯片模拟中频 I 支路的 I+、I-信号应为正弦波，且为差分信号；
- f) 更换 Q 支路，重复上述测试步骤；
- g) 更换射频芯片被测频点频率，重复上述测试步骤。

#### A.4.5 ADC 采样

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.2 连接仪器设备，射频芯片采样时钟输出端连接到示波器的一个端子；
- b) 按被测射频芯片的额定电压供电；
- c) 设置射频芯片的时钟采样频率分别为 20MHz~100MHz 内任选 3 个值；
- d) 调整示波器显示，检查示波器采样信号频率与设置值是否一致。

#### A.4.6 通道 3dB 带宽

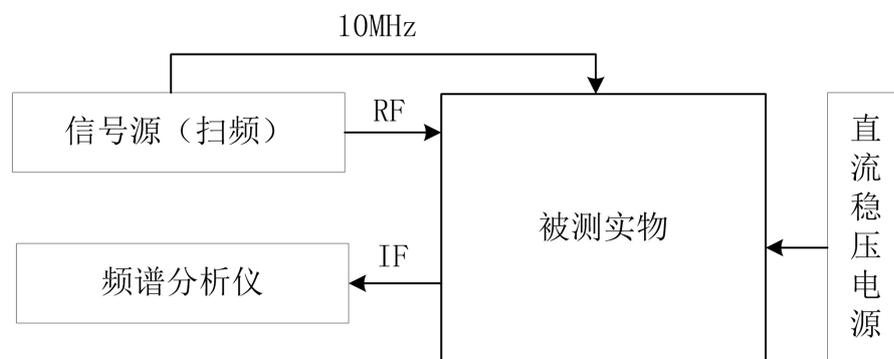


图 A.3 射频芯片（扫频）测试系统框图

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.3 连接仪器设备；

- b) 设置信号源为扫频模式，起止频率为被测频点本振频率±2倍带宽值，并设置扫描点数和扫描间隔为适当值，输出电平在-100dBm~-55dBm之间，以看不到杂散为宜；
- c) 设置频谱仪起始频率为1MHz，截止频率为被测频点3dB带宽的2倍，并设置频谱仪检波器为有效值检波，最大保持模式；
- d) 设置被测射频芯片的3dB带宽，各频带中间频点的3dB带宽设置为40MHz，其他频点的3dB带宽根据被测频点的带宽进行设置；
- e) 控制信号源输出射频信号，调整频谱仪Marker至被测频点对应的中频频率处记录功率值，再调整Marker至右侧功率下降3dB处，记录此处频率值，即为3dB带宽。

#### A.4.7 带内平坦度

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.3 连接仪器设备；
- b) 设置信号源为扫频模式，起止频率为被测频点本振频率±2倍带宽值，并设置扫描点数和扫描间隔为适当值，输出电平在-100dBm~-55dBm之间，以看不到杂散为宜；
- c) 设置频谱仪起始频率为1MHz，截止频率为被测频点3dB带宽的75%，并设置频谱仪检波器为有效值检波，最大保持模式；
- d) 设置被测射频芯片的3dB带宽，各频带中间频点的3dB带宽设置为40MHz，其他频点的3dB带宽根据被测频点的带宽进行设置；
- e) 控制信号源输出射频信号，频谱仪在设置频率范围内搜索最大值和最小值，分别记为

$P_{InBandMax}$  和  $P_{InBandMin}$ ，按公式 (A.1) 计算带内平坦度。

$$Ripple = P_{InBandMax} - P_{InBandMin} \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

$Ripple$ ——带内平坦度，单位为分贝 (dB)；

$P_{InBandMax}$ ——带内最大功率电平，单位为毫瓦分贝 (dBm)；

$P_{InBandMin}$ ——带内最小功率电平，单位为毫瓦分贝 (dBm)。

#### A.4.8 带外抑制

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.3 连接仪器设备；
- b) 设置信号源为扫频模式，起止频率为被测频点本振频率±2倍带宽值，并设置扫描点数和扫描间隔为适当值，输出电平在-100dBm~-55dBm之间，以看不到杂散为宜；
- c) 设置频谱仪起始频率为1MHz，截止频率为被测频点3dB带宽的2倍，并设置频谱仪检波

器为有效值检波，最大保持模式；

- d) 设置被测射频芯片的 3dB 带宽，各频带中间频点的 3dB 带宽设置为 40MHz，其他频点的 3dB 带宽根据被测频点的带宽进行设置；
- e) 控制信号源输出射频信号，频谱仪扫描被测频点 1.5 倍 3dB 带宽范围内的功率电平最大值，记为  $P_{InBandMax}$ ，在（1.5 倍~2 倍）3dB 带宽区间内搜索功率电平最大值，记为  $P_{OutBandMax}$ ，按公式（A.2）计算带外抑制。

$$Reject = P_{InBandMax} - P_{OutBandMax} \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：

$Reject$  ——带外抑制度，单位为分贝（dB）；

$P_{InBandMax}$  ——带内最大功率电平，单位为毫瓦分贝（dBm）；

$P_{OutBandMax}$  ——带外最大功率电平，单位为毫瓦分贝（dBm）。

#### A.4.9 输入信号电平

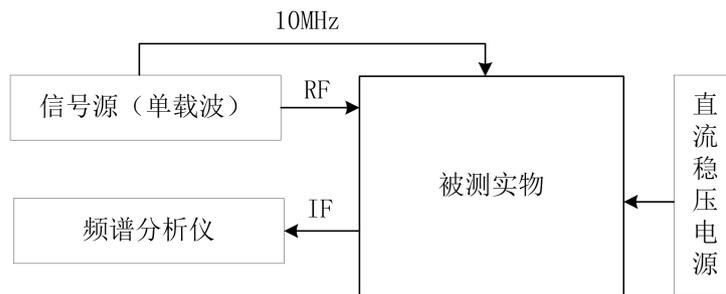


图 A.4 射频芯片（单载波）测试系统框图

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.4 连接仪器设备；
- b) 设置频谱仪中心频率为被测频点对应的中频频率，将 Marker 置于中频信号峰值处；
- c) 设置被测射频芯片工作频点为被测频点，工作模式为 AGC 模式；
- d) 设置信号源输出频率为被测频点频率，输出信号电平分别为射频芯片工作范围最小值和最大值；
- e) 在频谱仪上观察射频芯片输出的中频信号，应有稳定的频率和功率，测试带内积分功率，变化小于 20dB，则认为射频芯片 AGC 功能有效。

#### A.4.10 PGA 范围

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.4 连接仪器设备；

- b) 设置频谱仪中心频率为被测频点对应的中频频率，将 Marker 置于中频信号峰值处；
- c) 设置被测射频芯片工作频点为被测频点，工作模式为非 AGC 模式；
- d) 设置信号源输出频率为被测频点频率，输出电平为-100dBm~-55dBm 之间，以不饱和中频通道为宜；
- e) 控制信号源打开射频输出，配置被测射频芯片增益控制电路从最小值到最大值逐步调整增益控制信号；
- f) 记录中频输出信号功率的最大值和最小值（要求中频输出信号与三次谐波信号之间的功率比优于 30dB，避免中频通道饱和），二者之差为增益控制范围，即 PGA 范围。

#### A.4.11 1dB 压缩点输入功率

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.4 连接仪器设备；
- b) 设置频谱仪中心频率为被测频点对应的中频频率，将 Marker 置于中频信号峰值处；
- c) 设置被测射频芯片工作频点为被测频点，工作模式为非 AGC 模式，设置芯片通道增益为 40dB±1dB；
- d) 设置信号源输出频率为被测频点频率，输出电平为-100dBm~-55dBm 之间，以不饱和中频通道为宜；
- e) 控制信号源打开射频输出，以 0.5dB 为步进，增加信号源输出功率，分析中频输出信号功率随信号源输出功率变化的关系，记录中频输出信号功率相对于线性响应值下降 1dB 的点，其对应的输入功率（即信号源输出功率）即为 1dB 压缩点输入功率。

#### A.4.12 等效噪声系数

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.4 连接仪器设备；
- b) 设置信号源输出频率为被测频率（如有杂散信号载波频率可偏离±100kHz 以内），标定信号源与宽带射频芯片之间线缆的插入损耗为  $L_1$ ；
- c) 设置被测宽带射频芯片工作频率，控制信号源打开射频输出；
- d) 设置频谱仪内前置放大器开启，中心频率为被测频率对应的中频频率，SPAN 为 1.2MHz，频谱仪检波器为有效值检波，扫描时间 10s，设置 Marker 位于中频载波频率处，记录为  $C$  (dBm)，中频信号功率与射频信号输出功率之差为当前通道增益  $G$  (dB)；
- e) 设置频谱仪进行带内积分功率统计，设置积分带宽  $B$  (Hz) 为 1MHz，记录测试结果为  $C_{PN}$  (dBm)，则等效噪声系数计算按公式 (A.4)：

$$N_0 = 10\lg[10^{(C_{PN}/10)} - 10^{(C/10)}] - 10\lg(B) \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

$$NF = 174 + N_0 - G - L_1 - 3 \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中：

$N_0$ ——单位时间单位带宽内的噪声功率与载波功率之差，单位为分贝（dB）；

$C_{PN}$ ——带内积分功率，单位为毫瓦分贝（dBm）；

$C$ ——中频载波功率，单位为毫瓦分贝（dBm）；

$B$ ——积分带宽，单位赫兹（Hz）；

$NF$ ——噪声系数，单位为分贝（dB）；

$G$ ——射频芯片通道增益，单位为分贝（dB）；

$L_1$ ——信号源至射频芯片输入端线路损耗，单位为分贝（dB）。

#### A.4.13 相位噪声

测试步骤如下：

- 按照图 A.4 连接仪器设备；
- 设置信号源输出频率为被测频点频率，输出信号电平为-55dBm；
- 设置被测射频芯片工作频点为被测频点，工作模式为 AGC 模式，控制信号源打开射频输出；
- 设置频谱仪分析模式为相位噪声测量模式，设置中心频率为被测频点对应的中频频率，参考电平为输入频谱仪的实际功率，频偏扫频区间为 10Hz~1MHz，相位噪声频偏测试点为 100Hz、1kHz、10kHz、100kHz，测试扫描完成后记录各测试点的相位噪声值。

#### A.4.14 I/Q 适配误差

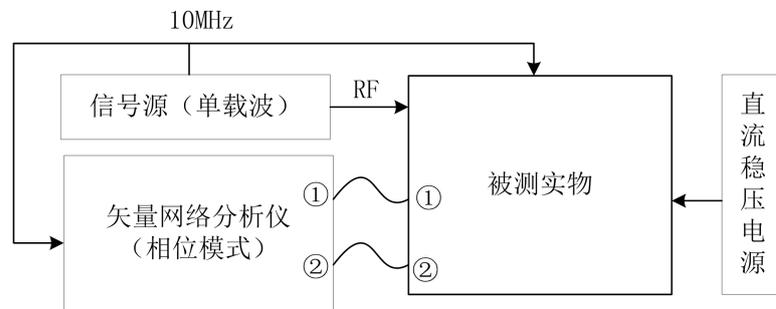


图 A.5 I/Q 适配误差测试系统框图

##### A.4.14.1 I/Q 适配幅度误差

测试步骤如下：

- 按照图 A.5 连接仪器设备，频谱仪输入端分别接射频芯片模拟中频 I 支路和 Q 支路信号；
- 设置信号源输出频率为被测频点频率，输出电平为-100dBm~-55dBm 之间，以不饱和中频通道为宜；
- 设置频谱仪中心频率为被测频点对应的中频频率，将 Marker 置于中频信号峰值处；
- 设置被测射频芯片工作频点为被测频点，工作模式为 AGC 模式，控制信号源打开射频输出；

- e) 频谱仪上分别读取输入信号为模拟中频 I 支路和 Q 支路信号时，对应的中频频率最高点功率电平，二者之差即为幅度误差。

#### A.4.14.2 I/Q 适配相位误差

测试步骤如下：

- a) 按照图 A.5 连接仪器设备，将被测射频芯片的中频输出 I 支路信号和 Q 支路信号分别接至矢量网络分析仪的两个端口；
- b) 设置信号源输出频率为被测频点频率，输出电平为-100dBm~-55dBm 之间，以不饱和中频通道为宜；
- c) 设置矢量网络分析仪为相位测量模式，设置频率为被测频点对应的中频频率，IF BandWidth 为 30Hz；
- d) 设置被测射频芯片工作频点为被测频点，控制信号源打开射频输出；
- e) 矢量网络分析仪扫描输入的信号，得到第一次测量的相位差，即为  $\theta_1$ ；
- f) 固定矢量网络分析仪端口，交换射频芯片输出的 I 支路信号和 Q 支路信号；
- g) 矢量网络分析仪重新扫描输入的信号，得到第二次测量的相位差，即为  $\theta_2$ ，则相位误差测量结果计算用公式 (A.5)：

$$\theta = \left| \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right| - 90 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

式中：

$\theta$ ——相位误差，单位度 (°)；

$\theta_1$ ——第 1 次测量的相位差，单位度 (°)；

$\theta_2$ ——第 2 次测量的相位差，单位度 (°)。

#### A.4.15 输入驻波比

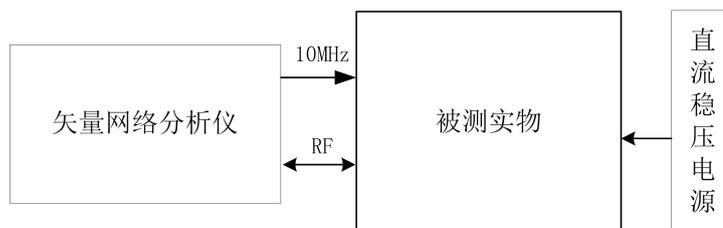


图 A.6 输入电压驻波比测试系统框图

测试步骤如下：

- a) 对矢量网络分析仪进行校准：设置矢量网络分析仪输出功率为-30dBm，测量参数设为 S11，显示方式为 SWR，扫描范围以被测频点频率为中心，扫频宽度为被测频点带宽，中频带宽 100Hz；
- b) 按照图 A.6 连接仪器设备；
- c) 设置被测射频芯片工作频点为被测频点，配置芯片为 AGC 模式，控制矢量网络分析仪进行扫描，在扫频范围内搜索电压驻波比最大值，即为输入电压驻波比测试结果。

#### A.4.16 功耗

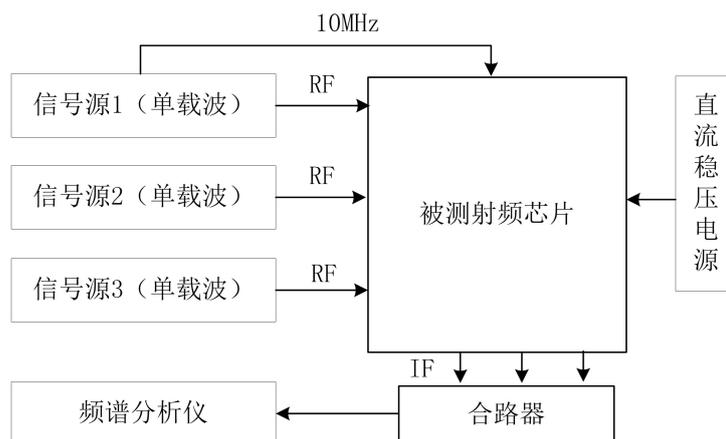


图 A.7 功耗测试系统框图

测试步骤如下（以 3 个频带为例）：

- a) 按照图 A.7 连接仪器设备，3 个信号源各连入 1 个频带，同时向被测射频芯片输出单载波信号；
- b) 设置频谱分析仪频率覆盖 3 个频带中频信号范围；
- c) 设置被测射频芯片工作在宽带工作模式，当频谱分析仪上稳定显示 3 个中频信号时，记录直流稳压电源的瞬时电压值  $V_i$  和电流值  $I_i$ ，共记录 200 个采样值，按公式 (A.6) 计算功耗：

$$P = \frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} V_i I_i \quad \dots\dots\dots (A.6)$$

式中：

$P$ ——功耗，单位为瓦特（W）；

$i$ ——采样样本数；

$V_i$ ——瞬时电压值，单位为伏特（V）；

$I_i$ ——瞬时电流值，单位为安培（A）。

#### A.4.17 高低温工作和贮存

#### A.4.17.1 低温工作

依照 GB/T 2423.1-2008 规定的方法进行试验。

试验温度为-40℃，温度稳定时间为 1h，射频芯片应符合 4.13 的要求。

#### A.4.17.2 高温工作

依照 GB/T 2423.2-2008 规定的方法进行试验。

试验温度为 85℃，温度稳定时间为 1h，射频芯片应符合 4.13 的要求。

#### A.4.17.3 低温贮存

依照 GB/T 2423.1-2008 规定的方法进行试验。

试验温度为-55℃，温度持续时间为 24h，恢复时间为 2h，恢复为常温后，射频芯片应符合 4.13 的要求。

#### A.4.17.4 高温贮存

依照 GB/T 2423.2-2008 规定的方法进行试验。

试验温度为 125℃，温度持续时间为 24h，恢复时间为 2h，恢复为常温后，射频芯片应符合 4.13 的要求。

#### A.4.18 温度循环

依照 GB/T 2423.22-2012 规定的方法进行试验。

-55℃~125℃ 循环次数 100 次，试验后，常温条件下，射频芯片应符合 4.13 的要求。

#### A.4.19 静电放电

依照 JEDEC JS-002 规定的方法进行试验。

试验条件 1kV HBM，试验后，常温条件下，射频芯片应符合 4.13 的要求。

#### A.4.20 变频振动

依照 GB/T 2423.10-2019 规定的方法进行试验。

试验从 20Hz~2000Hz 再到 20Hz（对数变化）超过 4 分钟，每个方向 4 次，50G 峰值加速度，试验后，常温条件下，射频芯片应符合 4.13 的要求。