

# BD

## 中国第二代卫星导航系统重大专项标准

BD 410035-2022

---

### 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）宽带射频 芯片性能要求及测试方法

**Performance requirements and test methods  
for wideband RF chip of BeiDou/global navigation satellite system**



2022-08-01 发布

2022-09-01 实施

---

中国卫星导航系统管理办公室 批准



## 目 次

前言.....	III
1 范围.....	1
2 规范性引用文件.....	1
3 术语定义和缩略语.....	1
3.1 术语和定义.....	1
3.2 缩略语.....	2
4 要求.....	2
4.1 组成.....	2
4.2 功能要求.....	3
4.3 性能要求.....	4
5 测试方法.....	5
5.1 测试条件.....	5
5.1.1 环境条件.....	5
5.1.2 测试设备.....	5
5.2 功能测试.....	6
5.2.1 集成度测试.....	6
5.2.2 中频输出信号测试.....	6
5.3 性能测试.....	6
5.3.1 工作频率测试.....	6
5.3.2 采样时钟信号测试.....	7
5.3.3 通道 3dB 带宽测试.....	7
5.3.4 带内平坦度测试.....	8
5.3.5 带外抑制度测试.....	8
5.3.6 输入信号电平测试.....	8
5.3.7 增益控制范围测试.....	9
5.3.8 1dB 压缩点输入功率测试.....	9
5.3.9 等效噪声系数测试.....	9
5.3.10 相位噪声测试.....	10
5.3.11 I/Q 适配误差测试.....	10
5.3.11.1 I/Q 适配幅度误差测试.....	10
5.3.11.2 I/Q 适配相位误差测试.....	11
5.3.12 输入电压驻波比测试.....	12
5.3.13 通道隔离度测试.....	12
5.3.14 功耗测试.....	12
5.4 环境适应性测试.....	13
5.4.1 高低温工作测试.....	13
5.4.2 高低温贮存测试.....	13



## 前 言

本标准由中国卫星导航系统管理办公室提出。

本标准由全国北斗卫星导航标准化技术委员会(SAC/TC544)归口。

本标准起草单位：北京东方计量测试研究所、和芯星通科技（北京）有限公司、清华大学、广州润芯信息技术有限公司、中国电子科技集团公司第二十四研究所。

本标准主要起草人：兰雪梅、许丽丽、王 田、薛仁魁、夏 天、彭 明、陈 强、彭正交、崔晓伟、杨昆明、唐景磊。



# 北斗/全球卫星导航系统（GNSS）宽带射频芯片性能要求 及测试方法

## 1 范围

本标准规定了兼容北斗的全球卫星导航系统（GNSS）宽带射频芯片的性能要求和测试方法。

本标准适用于兼容北斗的全球卫星导航系统（GNSS）多通道多频点的宽带射频芯片（以下简称“宽带射频芯片”）的研制、生产、检测和验收。

## 2 规范性引用文件

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 39267 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

## 3 术语定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

GB/T 39267 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**3dB 带宽** 3dB bandwidth

功率谱密度的最高点下降到 1/2 时界定的频率范围。

#### 3.1.2

**带内平坦度** in-band spectrum ripple

工作频带内不同频率上的功率最大值和最小值的差值。

#### 3.1.3

**带外抑制度** out-of-band rejection

工作频带外信号最大功率电平与频带内信号最大功率电平的差值。

#### 3.1.4

**增益控制范围** gain control range

通过调整增益控制电路在射频芯片中频输出端所能获得的最大功率与最小功率之差。

#### 3.1.5

**1dB 压缩点输入功率** input power of 1dB compression point

输出信号功率相对于线性响应值下降 1dB 的点所对应的输入功率。

#### 3.1.6

**相位噪声** phase noise

在偏离中频信号  $\Delta f$  处，由相位起伏引起的单位带宽内的噪声功率与中频信号功率之比。

### 3.1.7

**输入电压驻波比** input voltage standing wave ratio (VSWR)

用来衡量射频芯片射频输入输出端口阻抗匹配的程度，表示反射信号的强度，其定义为在规定的频点和带宽范围内驻波电压最大值与最小值之比。

### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

ADC——Analog Digital Converter，模拟数字转换器

AGC——Automatic Gain Control，自动增益控制；

BDS——BeiDou Navigation Satellite System，北斗卫星导航系统；

DPLL——Digital Phase Locked Loop，数字锁相环

Galileo——Galileo Navigation Satellite System，伽利略卫星导航系统；

GLONASS——Global Navigation Satellite System，格洛纳斯卫星导航系统；

GNSS——Global Navigation Satellite System，全球卫星导航系统；

GPS——Global Positioning System，全球定位系统；

LDO——Low Dropout Regulator，低压差线性稳压器；

LNA——Low Noise Amplifier，低噪声放大器；

PGA——Programmable Gain Amplifier，可编程增益放大器；

PLL——Phase Locked Loop，锁相环；

SPI——Serial Peripheral Interface，串行外设接口。

## 4 要求

### 4.1 组成

宽带射频芯片支持至少三个通道，可覆盖 1.1GHz~1.7GHz 频段的卫星信号，并可独立工作和控制，输入射频信号经过放大、下变频、滤波和模数转换后输出基带信号。

宽带射频芯片应至少集成低噪声放大器、混频器、中频滤波器、自动增益控制电路、模数转换电路、频率合成器、串行控制接口、低压差线性电源等电路单元，如图 1 所示，各电路单元具体功能主要包括：

- a) 低噪声放大器 (LNA)：同时支持 1.1GHz~1.7GHz 宽带的 GNSS 信号的接收和放大；在整个带宽内以较低的噪声和较高的增益，实现对 GNSS 微弱信号的放大和对自身噪声减小的接收应用；
- b) 混频器 (Mixer)：将接收放大后的信号下变频到系统需要低频信号后输入给滤波器；
- c) 滤波器 (Filter)：按系统要求产生 10MHz~40MHz 带宽的低通滤波，抑制带外不需要信号；
- d) 可编程增益放大器 (PGA)：根据前端不同增益信号输入维持输入到 ADC 的模拟中频信号的幅度，已达到最小的量化损耗的信噪比；
- e) 模拟数字转换器 (ADC)：将模拟中频信号转换成数字信号，送给基带解调；

- f) 锁相环 (PLL): 本振 PLL 模块产生出的本振信号供给混频器用作系统混频使用;
- g) 低压差线性稳压器 (LDO): 将外部输入电压转换到系统核需要的稳定电压;
- h) 串行外设接口 (SPI): 实现系统的增益调控或者数字控制和功能配置;
- i) 数字锁相环模块 (DPLL): 可根据输入的 TCXO 频率灵活配置以调整到系统和 ADC 采样频率所需要的输出频率。

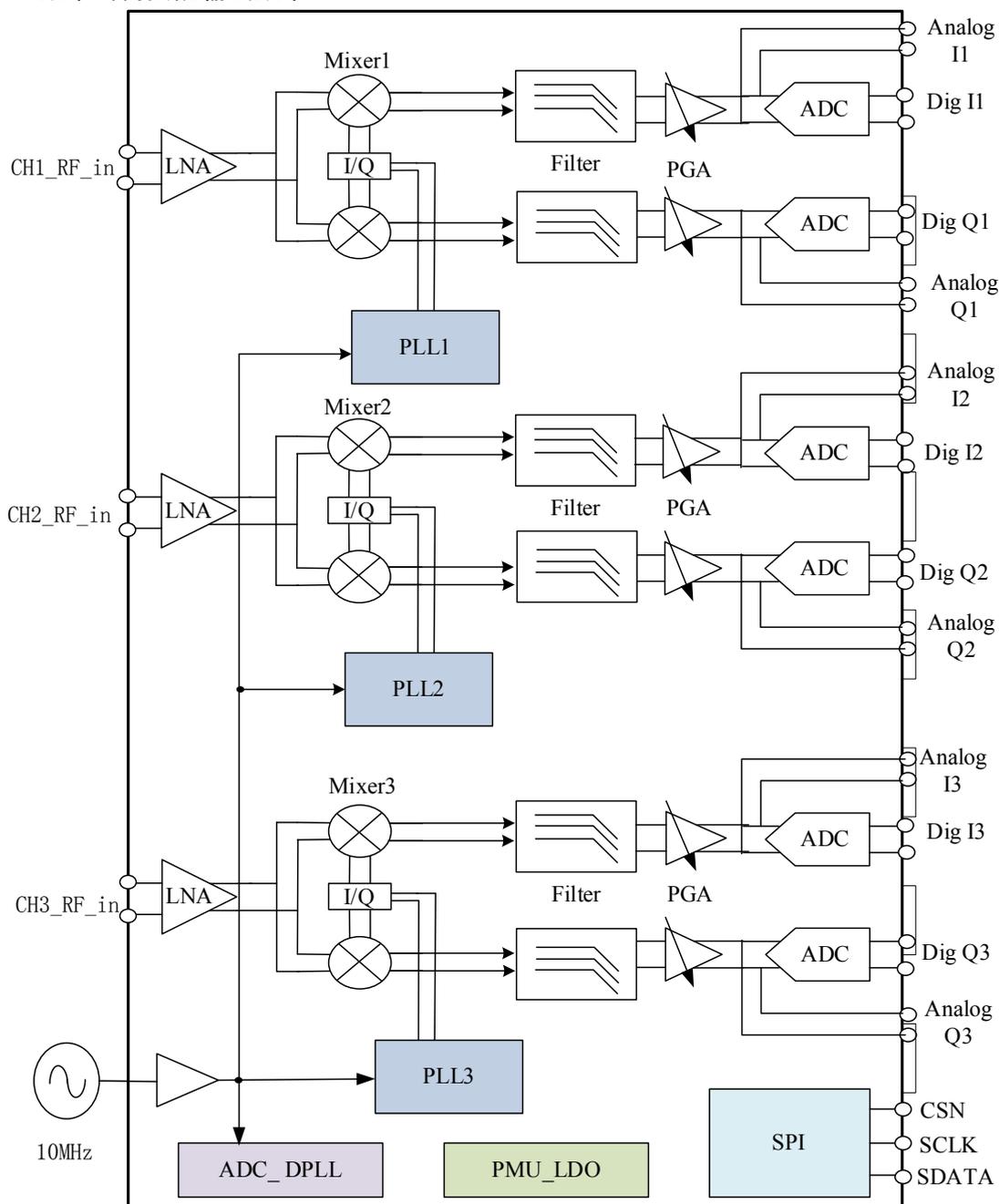


图1 宽带射频芯片系统组成示意图

#### 4.2 功能要求

宽带射频芯片功能要求如下:

- a) 集成度要求: 宽带射频芯片集成要求至少包括 4.1 a)~h)各功能模块。

- b) 中频输出信号要求: 中频输出信号应包括模拟中频 I/Q 差分输出和数字中频 I/Q 输出至少各 2 比特。

#### 4.3 性能要求

宽带射频芯片性能要求如下:

- a) 工作频率: 宽带射频芯片至少应支持表 1 所示的频率和带宽, 各通道应可灵活配置。

表1 各通道支持的频率、带宽及信号

通道	频率 MHz	带宽 MHz	信号
CH1	1602	8.3345	GLONASS: L1
	1575.42	32.736	BDS: B1C GPS: L1C/A、L1C Galileo: E1OS
	1561.098	4.092	BDS: B1I
CH2	1268.52	20.46	BDS: B3I
	1246	6.7095	GLONASS: L2
	1227.6	20.46	GPS: L2C、L2P/Y
CH3	1207.14	20.46	BDS: B2b、B2I Galileo: E5b
	1191.795	51.15	BDS: B2 Galileo: E5
	1176.45	20.46	BDS: B2a Galileo: E5a GPS: L5

- b) ADC 采样: 支持低相噪时钟采样信号输出, 采样频率为 20MHz~100MHz。
- c) 通道 3dB 带宽: 最大偏差 $\leq\pm 5\%$  (带宽在 10MHz~40MHz 范围内可配);
- d) 带内平坦度:  $\leq 1\text{dB}$  (0.75 倍带宽内);
- e) 带外抑制度:  $\geq 20\text{dB}$  (1.5 倍 3dB 带宽);
- f) 输入信号电平: -100dBm~-55dBm (AGC 模式下, 中频带内输出积分功率变化 $\leq 20\text{dB}$ );
- g) 增益控制范围:  $\geq 60\text{dB}$  (可自环或外控);
- h) 1dB 压缩点输入功率:  $\geq -35\text{dBm}$  (通道增益为  $40\text{dB}\pm 1\text{dB}$ );
- i) 等效噪声系数:  $\leq 5\text{dB}$ ;
- j) 相位噪声:
- 70 dBc/Hz @100Hz;
  - 80 dBc/Hz @1KHz;
  - 85 dBc/Hz @10KHz;
  - 90 dBc/Hz @100KHz。

- k) I/Q 适配相位误差:  $\pm 1^\circ$  以内;
- l) I/Q 适配幅度误差:  $\pm 0.5\text{dB}$  以内;
- m) 输入电压驻波比:  $\leq 1.5$ ;
- n) 通道隔离度:  $\geq 40\text{dB}$ ;
- o) 功耗:  $\leq 280\text{mW}$  (三通道最大带宽工作模式下);
- p) 环境适应性:
  - 1) 工作温度范围:  $-40^\circ\text{C}\sim+85^\circ\text{C}$ ;
  - 2) 贮存温度范围:  $-55^\circ\text{C}\sim+125^\circ\text{C}$ 。

## 5 测试方法

### 5.1 测试条件

#### 5.1.1 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:  $15^\circ\text{C}\sim 35^\circ\text{C}$ ;
- b) 相对湿度:  $20\%\sim 80\%$ 。
- c) 防静电: 用于宽带射频芯片测试的操作台应做好防静电保护,如防静电垫、防静电手环等。

#### 5.1.2 测试设备

所有测试用仪器设备应有足够的测量范围、分辨力、准确度和稳定度,其性能应满足表 2 要求。

测试用仪器设备均应经过计量部门检定合格,并在有效期内。

表 2 测试标准设备清单

序号	设备名称	设备性能指标要求	数量
1	频谱分析仪	频率测量范围: $2\text{Hz}\sim 3\text{GHz}$ ; 频率分辨力: $\leq 1\text{Hz}$ ; 输入信号电平范围: $-110\text{dBm}\sim 30\text{dBm}$ ; 本底噪声: $\leq -140\text{dBm/Hz}$ ; 信号相位噪声: $\leq -100\text{dBc/Hz}$ ( $10\text{kHz}$ 偏置); 基准频率: 频率准确度 $\leq 1\times 10^{-8}$ 。	1 台
2	数字示波器	通道数: $\geq 2$ 个; 带宽: $\geq 400\text{MHz}$ ; 采样率: $\geq 1\text{GSa/s}$ 。	1 台
3	矢量网络分析仪	端口数量: $\geq 2$ ; 频率范围: $250\text{kHz}\sim 3\text{GHz}$ ; 分辨率: $1\text{Hz}$ ; 输出功率: $-55\text{dBm}\sim 10\text{dBm}$ ; 动态范围: $110\text{dB}$ 。	1 台
4	信号发生器	频率范围: $250\text{kHz}\sim 3\text{GHz}$ ; 电平范围: $-120\text{dBm}\sim 10\text{dBm}$ ; 信号格式: 单载波、扫频。	3 台
5	直流稳压电源	电压范围: $0\sim 20\text{V}$ ; 电流范围: $0\sim 2\text{A}$ ; 通道数: $\geq 3$ 。	1 台
6	高低温试验箱	温度范围: $-60^\circ\text{C}\sim 130^\circ\text{C}$ ; 温度保持精度: $\pm 1^\circ\text{C}$ 。	1 台

## 5.2 功能测试

### 5.2.1 集成度测试

对照产品设计说明书检查宽带射频芯片，是否集成低噪声放大器、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。

### 5.2.2 中频输出信号测试

测试验证宽带射频芯片是否可以输出数字中频 I/Q 信号和模拟中频 I/Q 差分信号。

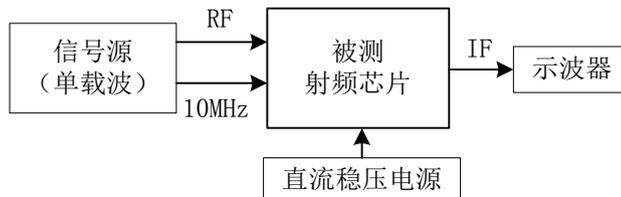


图 2 宽带射频芯片中频信号和采样时钟信号输出测试系统框图

测试步骤为：

- a) 按照图 2 连接仪器设备，将宽带射频芯片输出数字中频 I+/Q+（或 I-/Q-）信号分别连接到示波器的两个端子；
- 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，以接收通道不饱和为宜；
- c) 调整示波器显示，查看宽带射频芯片输出的数字中频信号波形，是否输出至少 2bit 信号，且信号波形为稳定的方波信号，I+/Q+（或 I-/Q-）信号相位相差 90°；
- d) 将宽带射频芯片输出模拟中频 I+/I-（或 Q+/Q-）信号分别连接到示波器的两个端子；
- e) 调整示波器显示，查看宽带射频芯片输出的模拟中频信号是否为稳定的正弦波信号，且相位相差 180°；
- f) 更换宽带射频芯片被测通道频率，重复上述测试步骤。

## 5.3 性能测试

### 5.3.1 工作频率测试

测试验证宽带射频芯片是否可以同时接收至少三路射频信号并输出三路中频信号。

测试步骤为：

- a) 按照图 3 连接仪器设备，宽带射频芯片三个输入端分别连接至不同的信号源，三个输出端通过合路器连接至频谱分析仪；
- b) 设置频谱分析仪为频谱分析仪模式，起始频率为 1MHz，截止频率为 50MHz（起止频率设置应包含各通道输出的中频信号）；
- c) 信号源输出电平为-100dBm~-55dBm 之间，以接收通道不饱和为宜；
- d) 根据宽带射频芯片各通道支持的频率范围，调整各信号源输出信号频率，查看频谱分析仪上是否可以同时看到稳定的三个信号，且随着信号源输出频率变化，显示的信号频率也随着变化。

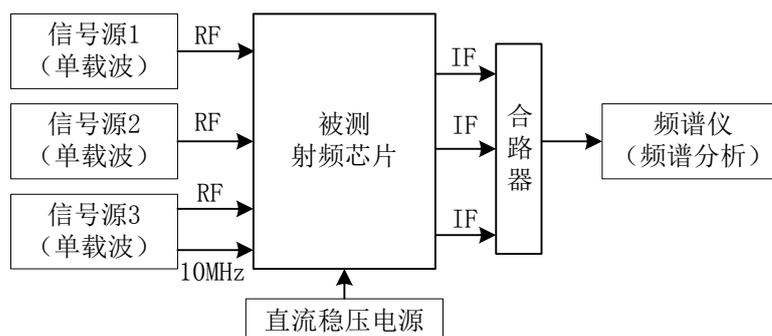


图3 三通道并行工作测试系统框图

### 5.3.2 采样时钟信号测试

测试验证宽带射频芯片是否可以根据配置的频率输出采样时钟信号。

测试步骤为：

- 按照图2连接仪器设备，宽带射频芯片采样时钟输出端连接到示波器的一个端子；
- 分别设置宽带射频芯片的采样时钟频率分别为20MHz、60MHz和100MHz；
- 调整示波器显示，查看宽带射频芯片输出的采样时钟信号频率；
- 测试结果分析：宽带射频芯片输出的采样时钟信号频率应与设置的频率值一致。

### 5.3.3 通道3dB带宽测试

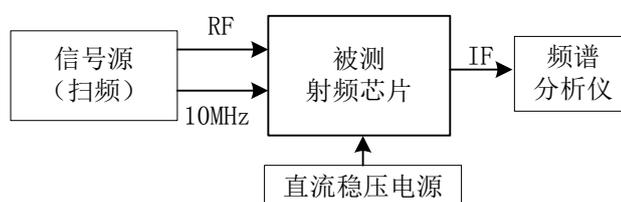


图4 宽带射频芯片（扫频）测试系统框图

测试验证宽带射频芯片是否可以设置3dB带宽为10MHz~40MHz范围内任意值。3dB带宽测试框图见图4。

测试步骤为：

- 设置宽带射频芯片的3dB带宽（各通道内不同频率测试时可以覆盖10MHz~40MHz范围内的最大、最小值即可）；
- 设置信号源为扫频模式，起止频率为被测通道信号本振频率±2倍3dB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；
- 设置频谱仪起始频率为1MHz，截止频率为被测通道信号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；
- 控制信号源输出射频信号，调整频谱仪Marker至被测频率信号对应的中频频率处，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，即为被测频率信号的3dB带宽；
- 更换被测宽带射频芯片的通道、本振频率、通道带宽等配置参数，重复上述测试步骤。

### 5.3.4 带内平坦度测试

测试验证宽带射频芯片工作频带内的平坦度是否满足指标要求。带内平坦度测试框图见图 4。

测试步骤为：

- a) 设置宽带射频芯片的 3dB 带宽：各通道内被测频率信号的 3dB 带宽分别在 10MHz~40MHz 范围内取值，覆盖最大、最小值；
- b) 设置信号源为扫频模式，起止频率为被测通道信号本振频率±2 倍 3dB 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；
- c) 设置频谱仪起始频率为 1MHz，截止频率为被测通道信号 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) 控制信号源输出射频信号，频谱仪在设置频率范围内搜索功率电平最大值和最小值，二者之差即为带内平坦度；
- e) 更换被测宽带射频芯片的通道、本振频率、通道带宽等配置参数，重复上述测试步骤。

### 5.3.5 带外抑制度测试

测试验证宽带射频芯片的带外抑制度是否满足指标要求。带外抑制度测试框图见图 4。

测试步骤为：

- a) 设置宽带射频芯片的 3dB 带宽：各通道内被测频率信号的 3dB 带宽分别在 10MHz~40MHz 范围内取值，覆盖最大、最小值；
- b) 设置信号源为扫频模式，起止频率为被测通道信号本振频率±2 倍 3dB 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；
- c) 设置频谱仪起始频率为 1MHz，截止频率为被测通道信号 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) 控制信号源输出射频信号，频谱仪扫描范围为被测频率信号 1.5 倍 3dB 带宽，记录该范围内功率电平最大值；频谱仪再扫描（1.5 倍~2 倍）3dB 带宽范围，记录该范围内功率电平最大值；二者之差即为带外抑制度。
- e) 更换被测宽带射频芯片的通道、本振频率、通道带宽等配置参数，重复上述测试步骤。

### 5.3.6 输入信号电平测试

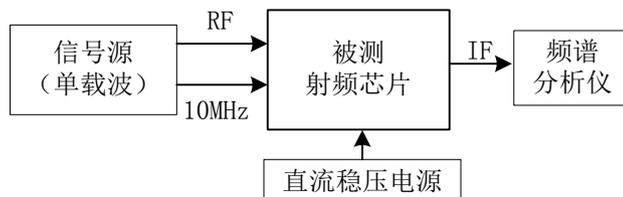


图 5 宽带射频芯片（单载波）测试系统框图

测试验证宽带射频芯片配置 AGC 模式时，输入功率在-100dBm~-55dBm 变化时，输出功率变化是否在指标范围内。AGC 范围测试框图见图 5。

测试步骤为：

- a) 设置被测宽带射频芯片工作模式为 AGC 模式；
- b) 设置频谱仪中心频率为被测频率对应的中频频率，将 Marker 置于中频信号峰值处；
- c) 设置信号源输出频率为被测频率，输出信号电平为-100dBm 时，记录频谱仪上中频信号峰值功率；信号源输出信号电平为-55dBm 时，记录频谱仪上中频信号峰值功率，二者之差即为 AGC 范围；
- d) 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率，重复上述测试步骤。

### 5.3.7 增益控制范围测试

测试验证宽带射频芯片配置 PGA 模式时，最大增益范围是否满足指标要求。增益控制范围测试框图见图 5。

测试步骤为：

- a) 设置被测宽带射频芯片工作频率，工作模式为 PGA 模式；
- b) 设置信号源输出频率为被测频率，输出电平为-100dBm；
- c) 设置频谱仪中心频率为被测频率对应的中频频率，将 marker 至于中频信号峰值处；
- d) 调整被测宽带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；
- e) 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；
- f) 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率，重复上述测试步骤。

### 5.3.8 1dB 压缩点输入功率测试

测试验证宽带射频芯片 1dB 压缩点输入功率是否满足指标要求。1dB 压缩点输入功率测试框图见图 5。

测试步骤为：

- a) 设置被测宽带射频芯片工作频率，通道增益为  $40\text{dB}\pm 1\text{dB}$ ；
- b) 设置信号源输出频率为被测频率，输出电平为-70dBm；
- c) 设置频谱仪中心频率为被测频率对应的中频频率，将 Marker 置于中频信号峰值处；
- d) 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；
- e) 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率，重复上述测试步骤。

### 5.3.9 等效噪声系数测试

测试验证宽带射频芯片等效噪声系数是否满足指标要求。等效噪声系数测试框图见图 5。

测试步骤为：

- a) 设置信号源输出频率为宽带射频芯片的正频率（即本振频率+中频频率），标定信号源与宽带射频芯片之间线缆的插入损耗为  $L_1$ ；
- b) 设置被测宽带射频芯片工作频率为正频率，控制信号源打开射频输出；

- c) 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);
- d) 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 (2):

$$N_0 = 10 \lg[10^{(C_{PN}/10)} - 10^{(C/10)}] - 10 \lg(B) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$NF = 174 + N_0 - G - L_1 - 3 \quad \dots\dots\dots (2)$$

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 dB;

$C_{PN}$  ——带内积分功率, 单位 dBm;

$C$  ——中频载波功率, 单位 dBm;

$B$  ——积分带宽, 单位 Hz;

$NF$  ——噪声系数, 单位 dB;

$G$  ——射频芯片通道增益, 单位 dB;

$L_1$  ——信号源至射频芯片输入端线路损耗, 单位 dB。

- e) 修改信号源输出频率为宽带射频芯片的负频率 (即本振频率-中频频率), 被测宽带射频芯片工作频率为负频率, 重复步骤 c) 和 d), 取正、负频率测试中的较大值作为等效噪声系数的测试结果;
- f) 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率, 重复上述测试步骤。

### 5.3.10 相位噪声测试

测试验证宽带射频芯片各频偏的相位噪声是否满足指标要求。相位噪声测试框图见图 5。

测试步骤为:

- a) 设置被测宽带射频芯片工作频率;
- b) 设置信号源输出频率为被测频率, 输出信号电平为-55dBm;
- c) 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率对应的中频频率, 参考电平为输入频谱仪的实际功率, 相位噪声频偏测试点为 100Hz、1kHz、10kHz、100kHz, 测试扫描完成后, 记录各频偏的相位噪声值;
- d) 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率, 重复上述测试步骤。

### 5.3.11 I/Q 适配误差测试

#### 5.3.11.1 I/Q 适配幅度误差测试

测试验证宽带射频芯片输出中频 I 支路、Q 支路信号的幅度差是否满足指标要求。I/Q 适配幅度误差测试框图见图 5。

测试步骤为:

- a) 设置被测宽带射频芯片工作频率;

- b) 设置信号源输出频率为被测频率，输出电平为-100dBm~-55dBm 之间，以接收通道不饱和和为宜；
- c) 频谱仪分别连接宽带射频芯片模拟中频输出的 I 支路和 Q 支路信号，频谱仪中心频率为被测频率对应的中频频率，分别记录两支路信号对应的中频频率最高点功率电平，二者之差即为 I/Q 幅度误差；
- d) 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率，重复上述测试步骤。

### 5.3.11. 2I/Q 适配相位误差测试

测试验证宽带射频芯片输出中频 I 支路、Q 支路信号的相位差是否满足指标要求。I/Q 适配相位误差测试框图见图 6。

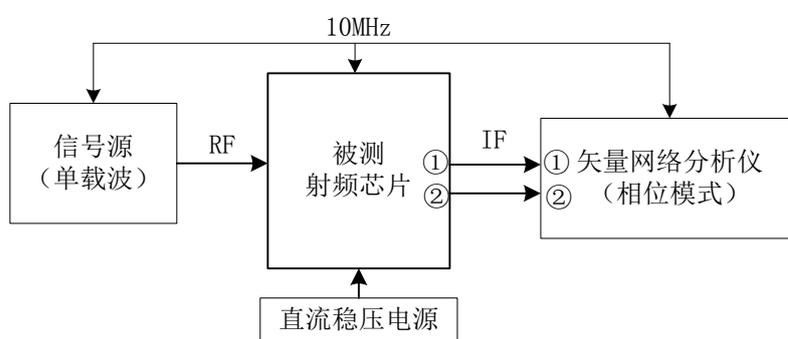


图 6 I/Q 适配相位误差测试系统框图

测试步骤为：

- a) 如图 6，将被测宽带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率，输出电平为-100dBm~-55dBm 之间，以接收通道不饱和和为宜；
- c) 设置矢量网络分析仪为相位测量模式，频率为被测频率对应的中频频率，中频带宽为 30Hz；
- d) 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；
- 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，记为  $\theta_1$ ；
- f) 固定矢量网络分析仪端口，交换宽带射频芯片输出的 I 支路信号和 Q 支路信号，重新扫描输入的信号，得到第二次测量的相位差，记为  $\theta_2$ ，则相位误差测量结果用公式（3）计算：

$$\theta = \left| \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right| - 90 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

- $\theta$ ——相位误差，单位°；
- $\theta_1$ ——第 1 次测量的相位差，单位°；
- $\theta_2$ ——第 2 次测量的相位差，单位°。

- g) 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率，重复上述测试步骤。

### 5.3.12 输入电压驻波比测试

测试验证宽带射频芯片输入电压驻波比是否满足指标要求。输入电压驻波比测试框图见图 7。

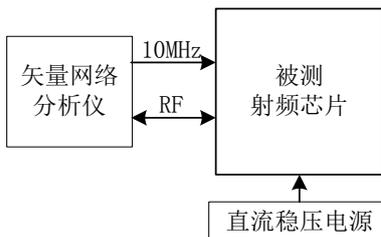


图 7 输入电压驻波比测试系统框图

测试步骤为：

- 首先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，测量参数为 S11，显示方式为 SWR，扫描范围起始频率和终止频率分别为宽带射频芯片支持的最低频率和最高频率，中频带宽 100Hz；
- 按图 7 连接设备，设置宽带射频芯片工作频率；
- 设置矢量网络分析仪扫描中心频率为被测频率，扫描范围为被测频率信号带宽，在扫频范围内搜索电压驻波比最大值，即为被测频率的输入电压驻波比测试结果；
- 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率，重复上述测试步骤。

### 5.3.13 通道隔离度测试

测试验证宽带射频芯片各通道之间射频信号的隔离度是否满足指标要求。隔离度测试框图见图 2。

测试步骤：

- 按照图 3 连接仪器设备，设置宽带射频芯片各通道增益为 40dB；
- 3 个信号源各连入 1 个通道，同时输出相同频率的射频信号,信号功率为-55dBm；
- 设置频谱分析仪中心频率为通道 1 信号的中频频率，分别测量并记录 3 个通道的中频输出信号功率电平，通道 1 与通道 2、通道 1 与通道 3 的信号功率电平之差则分别为通道 1 与通道 2、通道 1 与通道 3 的通道隔离度；
- 更换被测宽带射频芯片的通道、信号频率，重复上述测试步骤。

### 5.3.14 功耗测试

测试验证宽带射频芯片在三通道最大带宽工作模式时，功耗是否满足指标要求。功耗测试框图见图 2。

测试步骤：

- 按照图 3 连接仪器设备，3 个信号源各连入 1 个通道，同时向被测宽带射频芯片输出单载波信号，信号功率为-70dBm；
- 设置频谱分析仪起止频率范围，可以覆盖 3 个通道输出的中频信号即可；

- c) 设置被测宽带射频芯片为宽带工作模式，当频谱分析仪上稳定显示 3 个中频信号时，记录宽带射频芯片连续工作时直流稳压电源的瞬时电压值  $V_i$  和电流值  $I_i$ ，工作 5min 不少于 300 个采样值，按公式 (4) 计算功耗：

$$P = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n V_i I_i \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$P$ ——功耗，单位 W；

$n$ ——采样数， $n \geq 300$ ；

$V_i$ ——第  $i$  个瞬时电压采样值，单位 V；

$I_i$ ——第  $i$  个瞬时电流采样值，单位 A。

## 5.4 环境适应性测试

### 5.4.1 高低温工作测试

高低温工作试验分别按 GB/T 2423.1 和 GB/T 2423.2 的规定进行。

低温工作试验温度为  $-40^{\circ}\text{C}$ ，温度持续时间为 1h，1h 后宽带射频芯片在该温度下应符合 4.3 中的指标要求。

高温工作试验温度为  $85^{\circ}\text{C}$ ，温度持续时间为 1h，1h 后宽带射频芯片在该温度下应符合 4.3 中的指标要求。

### 5.4.2 高低温贮存测试

高低温贮存试验分别按 GB/T 2423.1 和 GB/T 2423.2 的规定进行。

低温贮存试验温度为  $-55^{\circ}\text{C}$ ，温度持续时间为 16h，恢复为常温 2 小时后，宽带射频芯片常温下应符合 4.3 中的要求。

高温贮存试验温度为  $125^{\circ}\text{C}$ ，温度持续时间为 16h，恢复为常温 2 小时后，宽带射频芯片常温下应符合 4.3 中的要求。