

# 中华人民共和国工业和信息化部 通信计量技术规范

JJF（通信）071-2023

## 混频器校准规范

Calibration Specification for Mixers

（报批稿）

2023-XX-XX 发布

202X-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布



# 混频器校准规范

Calibration Specification for Mixers

JJF (通信) 071-2023

归口单位：中国信息通信研究院

起草单位：中国信息通信研究院

本规程技术条文委托起草单位负责解释

**本规范主要起草人：**

纪 锐（中国信息通信研究院）

袁修华（中国信息通信研究院）

牟 丹（中国信息通信研究院）

**参加起草人：**

孙景禄（中国信息通信研究院）

姚安江（中国信息通信研究院）

# 目 录

引言 .....	(II)
1 范围 .....	1
2 概述 .....	1
3 计量特性 .....	1
3.1 射频端口频率范围 .....	1
3.2 中频端口频率范围 .....	1
3.3 变频损耗 .....	1
3.4 端口间隔离度 .....	1
3.5 端口电压驻波比 .....	1
4 校准条件 .....	1
4.1 环境条件 .....	1
4.2 校准用设备 .....	1
5 校准项目和校准方法 .....	2
5.1 外观及工作正常性检查 .....	2
5.2 校准前准备 .....	2
5.3 变频损耗 .....	2
5.4 端口间隔离度 .....	3
5.5 端口电压驻波比 .....	5
6 校准结果表达 .....	5
7 复校时间间隔 .....	6
附录 A 原始记录推荐格式 .....	7
附录 B 校准证书内页推荐格式 .....	9
附录 C 混频器测量不确定度评定示例 .....	10

# 引 言

JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001-2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》共同构成支撑本规范制定工作的基础性系列规范。

本规范针对混频器的校准方法，分别从变频损耗、端口间隔离度、端口电压驻波比等参数测量进行了规定，并在附录中给出了校准项目的测量不确定度评定示例。

本规范为首次制定。

## 混频器校准规范

### 1 范围

本规范适用于射频端口频率范围(5~110)GHz 的混频器的校准,其他频率范围可参照执行,变频器可参照执行。

### 2 概述

混频器是输出信号频率等于两输入信号频率之和、差或为两者其他组合的器件,常用于发射系统或接收系统中,实现信号的上变频或下变频。混频器通常由非线性元件和选频回路构成。一般分为外部本振及内置本振混频器。

### 3 计量特性

3.1 射频端口频率范围: (5~110)GHz

3.2 中频端口频率范围: (0.1~20)GHz

3.3 变频损耗

变频损耗范围: (5~30)dB

最大允许误差:  $\pm 2.2$ dB

3.4 端口间隔离度: (30~90)dB

3.5 端口电压驻波比: 1.3~3。

注: 以上所有指标不用于合格性判别, 仅提供参考。

### 4 校准条件

4.1 环境条件

4.1.1 环境温度:  $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$

4.1.2 相对湿度:  $\leq 80\%$

4.1.3 电源电压:  $\text{AC}(220 \pm 11)\text{V}$ ; 频率:  $(50 \pm 1)\text{Hz}$

4.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动。

4.2 校准用设备

4.2.1 射频信号源

频率范围: (1~110)GHz

输出功率电平范围:  $(-60 \sim +10)\text{dBm}$

功率电平最大允许误差:  $\pm 2.0\text{dB}$

4.2.2 本振信号源

频率范围: (0.1~20)GHz

输出功率电平范围:  $(-60 \sim +10)\text{dBm}$

功率电平最大允许误差:  $\pm 1.0\text{dB}$

#### 4.2.3 功率计

频率范围:  $(0.1 \sim 110)\text{GHz}$

功率范围:  $-30\text{dBm} \sim 30\text{dBm}$

校准因子测量不确定度:  $1\% \sim 5\%$  ( $k=2$ )

#### 4.2.4 频谱分析仪

频率范围:  $(0.1 \sim 110)\text{GHz}$

线性度:  $\pm 0.10\text{dB}$

功率测量最大允许误差:  $\pm (0.5 \sim 3)\text{dB}$

#### 4.2.5 网络分析仪

频率范围:  $(0.1 \sim 110)\text{GHz}$

方向性:  $> 40\text{dB}$

### 5 校准项目和校准方法

表 1 校准项目一览表

序号	校准项目名称	条款
1	外观及工作正常性检查	5.1
2	变频损耗	5.3
3	端口间隔离度	5.4
4	端口电压驻波比	5.5

#### 5.1 外观及工作正常性检查

被校混频器应有说明书及全部配套附件, 各部件应安装牢固, 能确保正常工作。

#### 5.2 校准前准备

所有校准用设备和被校混频器均置于工作台上, 并按照说明书的要求进行预热。校准用设备应在检定或校准周期内使用, 用功率计修正频谱分析仪功率。

#### 5.3 变频损耗

5.3.1 仪表连接如图 1 所示, 根据混频器本振端口的指标要求, 设置合适的本振信号源输出频率  $f_L$  和功率  $P_L$ , 通过功率计读取输入到混频器本振端口的功率为  $P_{Lin}$ 。



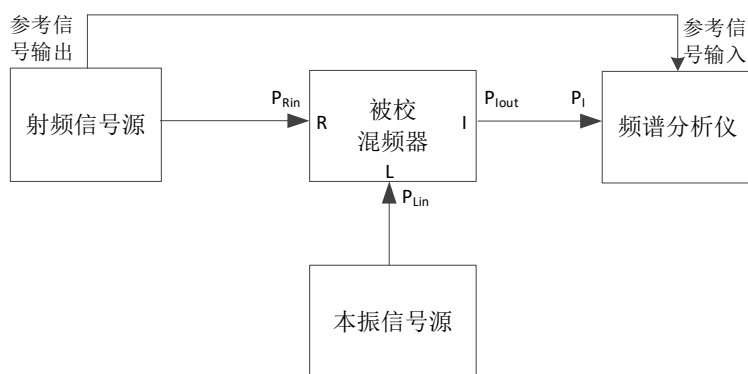


图1 变频损耗测试框图

5.3.2 根据混频器射频端口的频率范围设置射频输入频率  $f_R$ ，使得被校混频器工作在线性区，并通过功率计读取输入到被校混频器的功率值  $P_{Rin}$ ；

5.3.3 在频谱分析仪中读取中频频率  $f_I = f_R - f_L$  对应的功率值  $P_I$ ，根据公式（1）计算变频损耗，并将结果记录于附录 A。

$$L_C = P_{Rin} - P_{Iout} \quad (1)$$

式中：

$L_C$ ——变频损耗，单位 dB；

$P_{Rin}$ ——输入至被校混频器的功率值，单位 dBm；

$P_{Iout}$ ——被校混频器的输出中频功率，单位 dBm， $P_{Iout} = P_I + L_b$ ，其中  $L_b$  为线缆损耗值。

5.3.4 改变射频信号源和本振信号源的输出频率，重复步骤 5.3.2~5.3.3，并将结果记录于附录 A。

#### 5.4 端口间隔离度

5.4.1 按图 1 连接仪表，根据混频器本振端口的指标要求，设置合适的本振频率  $f_L$  和功率  $P_L$ 。

5.4.2 根据混频器射频端口的频率范围设置射频输入频率  $f_R$ ，调节射频信号源的输出功率，使得被校混频器工作在线性区，并通过功率计读取输入到被校混频器的功率值  $P_{Rin}$ ；

5.4.3 在频谱分析仪中读取射频频点  $f_R$  对应的功率  $P_I$ ，则根据公式（2）计算射频-中频端口间隔离度  $ISO_{R-I}$ ，将结果记录于附录 A。

$$ISO_{R-I} = P_{Iout} - P_{Rin} \quad (2)$$

式中：

$ISO_{R-I}$ ——被校混频器射频与中频端口间隔离度，单位 dB；

$P_{Iout}$ ——被校混频器中频端口在射频频点  $f_R$  处对应的功率，单位 dBm， $P_{Iout} = P_I + L_b$ ，其中  $L_b$  为线缆损耗值；

$P_{Rin}$ ——被校混频器射频输入端的馈入功率，单位 dBm。

5.4.4 本振与射频端口间隔离度的测试框图如图 2 所示。

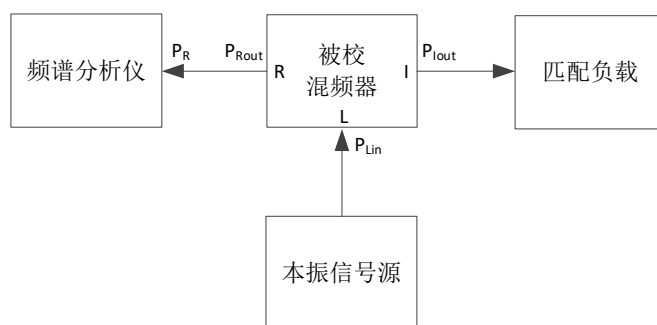


图2 本振与射频端口隔离度的测试框图

5.4.5 在频谱分析仪中读取本振频点 $f_L$ 对应的功率 $P_R$ ，则根据公式（3）计算本振-射频端口隔离度 $ISO_{L-R}$ ，并将结果记录于附录A。

$$ISO_{L-R} = P_{Rout} - P_{Lin} \quad (3)$$

式中：

$ISO_{L-R}$ ——被校混频器本振与射频端口隔离度，单位 dB；

$P_{Rout}$ ——被校混频器射频端口在本振频点 $f_L$ 处对应的功率，单位 dBm， $P_{Rout} = P_R + L_b$ ，其中 $L_b$ 为线缆损耗；

$P_{Lin}$ ——被校混频器本振输入端的馈入功率，单位 dBm。

5.4.6 本振与中频端口隔离度的测试框图如图3所示。

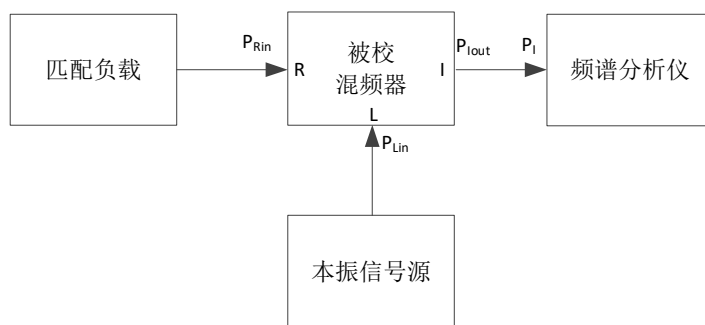


图3 本振与中频端口隔离度的测试框图

5.4.7 在频谱分析仪中读取本振频点 $f_L$ 对应的功率 $P_I$ ，则根据公式（4）计算本振-中频端口隔离度 $ISO_{L-I}$ ，并将结果记录于附录A。

$$ISO_{L-I} = P_{Iout} - P_{Lin} \quad (4)$$

式中：

$ISO_{L-I}$ ——被校混频器本振与中频端口隔离度，单位 dB；

$P_{Iout}$ ——被校混频器中频端口在本振频点 $f_L$ 处对应的功率，单位 dBm， $P_{Iout} = P_I + L_b$ ，其中 $L_b$ 为线缆损耗；

$P_{Lin}$ ——被校混频器本振输入端的馈入功率，单位 dBm。

## 5.5 端口电压驻波比

5.5.1 根据被校混频器的要求设置网络分析仪的扫描频率范围、点数等参数，并进行单端口校准。

5.5.2 按照图 4~5 进行仪表连接。

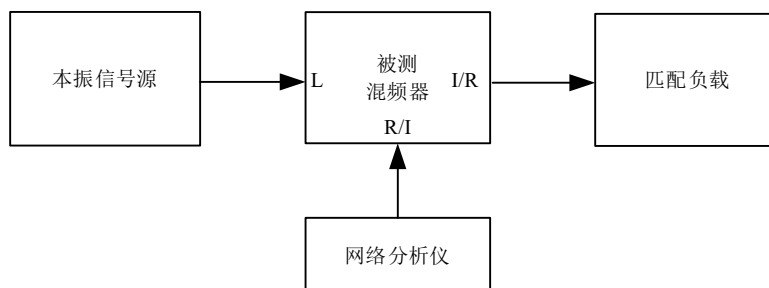


图 4 射频、中频端电压驻波比测试框图

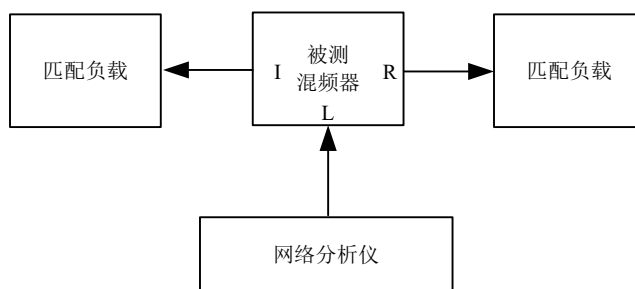


图 5 本振端电压驻波比测试框图

5.5.3 根据被校混频器的要求设置本振信号源的频率和功率。

5.5.4 分别按照射频端口、中频端口和本振端口的频率范围记录电压驻波比的实测值，并记录于附录 A。

## 6 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反映，推荐校准证书内页格式见附录 B。校准证书应准确、客观的报告校准结果。校准结果用校准数据的形式给出，并给出测量不确定度，不确定度评定实例见附录 C。校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；

- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性和应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性和应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

## 7 复校时间间隔

由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。建议不超过 1 年。更换重要部件、维修或对仪器性能有怀疑时，应及时校准。

## 附录 A

## 原始记录推荐格式

## 一、外观及工作正常性

外观	
工作正常性检查	

## 二、变频损耗

频率(GHz)	标称值 (dB)	$P_{Rin}$ (dBm)	$P_{Iout}$ (dBm)	实测值 (dB)	不确定度 ( $k=2$ )

## 三、端口间隔离度

频率(GHz)	$P_{Iout}$ (dBm)	$P_{Rin}$ (dBm)	ISO <sub>R-I</sub> (dB)	不确定度( $k=2$ )

频率(GHz)	$P_{Lin}$ (dBm)	$P_{Rin}$ (dBm)	ISO <sub>L-R</sub> (dB)	不确定度( $k=2$ )

频率(GHz)	$P_{Lin}$ (dBm)	$P_{Iout}$ (dBm)	ISO <sub>L-I</sub> (dB)	不确定度( $k=2$ )

## 四、 端口电压驻波比

端口	频率(GHz)	实测值
IF		
LO		
RF		

不确定度 ( $k=2$ ):

## 附录 B

## 校准证书内页推荐格式

## 一、外观及工作正常性检查

外观	
工作正常性检查	

## 二、变频损耗

频率(GHz)	标称值 (dB)	实测值 (dB)	不确定度 ( $k=2$ )

## 三、端口间隔离度

频率(GHz)	$ISO_{R-I}(\text{dB})$	$ISO_{L-R}(\text{dB})$	$ISO_{L-I}(\text{dB})$	不确定度 ( $k=2$ )

## 四、端口电压驻波比

端口	频率(GHz)	实测值
IF		
LO		
RF		

不确定度( $k=2$ ):

## 附录 C

## 混频器测量不确定度评定示例

## C.1 变频损耗测量不确定度评定

## C.1.1 测量模型

$$L_C = P_{Rin} - P_{Iout} + \Delta P_R + \Delta P_I \quad (1)$$

式中:

$L_C$ ——变频损耗, 单位 dBm;

$P_{Rin}$ ——输入至被校混频器的功率值, 单位 dBm;

$P_{Iout}$ ——被校混频器的输出中频功率, 单位 dBm,  $P_{Iout} = P_I + L_b$ , 其中  $L_b$  为线缆损耗;

$\Delta P_R$ ——功率计测量偏差的影响;

$\Delta P_I$ ——频谱分析仪功率测量偏差的影响。

## C.1.2 不确定度来源

- (1) 功率计测量引入的不确定度  $u_1$ ;
- (2) 频谱分析仪测量引入的不确定度  $u_2$ ;
- (3) 测量过程中的连接及读数重复性引入的不确定度  $u_3$ 。

## C.1.3 不确定度分量评定

- (1) 功率计测量引入的不确定度  $u_1$

a) 以 50GHz 下变频到 2GHz 为例:

功率计参考功率测量不确定度分量引入的不确定度

标准功率计在功率参考点上测量结果的不确定度由上一级的校准证书得到: 在 50GHz,  $U_{p1} = 3.44\%$  ( $k_1 = 2$ ), 即  $U_{p1} = 0.0344 \times 4.34 \approx 0.15\text{dB}$  ( $k_1 = 2$ )

标准不确定度:  $u = U_{p1} / k_1 = 0.075\text{dB}$ 。

功率计的功率测量线性度引入的不确定度

根据功率计和功率探头的指标说明书, 测量线性度最大允许误差  $a = \pm 0.03\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布  $k = \sqrt{3}$

标准不确定度分量  $u = a / k \approx 0.0173\text{dB}$

功率计测量过程中由系统失配误差引入的不确定度

根据仪表的指标说明书得到, 功率探头输入端口电压驻波比  $< 1.1$ , 即  $|\Gamma_s| = 0.0476$ ; 被测混频器输入输出端口电压驻波比  $\leq 2.1$ , 即  $|\Gamma_u| = 0.35$ , 则失配误差  $a = 4.34 \times 2 \times 0.0476 \times 0.35 = 0.14\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布  $k = \sqrt{2}$

标准不确定度  $u = a / k \approx 0.10\text{dB}$



b) 以 2GHz 上变频到 50GHz 为例:

功率计参考功率测量不确定度分量引入的不确定度

标准功率计在功率参考点上测量结果的不确定度由上一级的校准证书得到: 在 2GHz,  $U_{p1}=0.93\%$  ( $k_1=2$ ), 即  $U_{p1}=0.009\times 4.34\approx 0.04\text{dB}$  ( $k_1=2$ )

标准不确定度:  $u=U_{p1}/k_1=0.020\text{dB}$ 。

功率计的功率测量线性度引入的不确定度

根据功率计和功率探头的指标说明书, 测量线性度最大允许误差  $a=\pm 0.03\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布  $k=\sqrt{3}$

标准不确定度分量  $u=a/k\approx 0.0173\text{dB}$

功率计测量过程中由系统失配误差引入的不确定度

根据仪表的指标说明书得到, 功率探头输入端口电压驻波比  $<1.1$ , 即  $|\Gamma_s|=0.0476$ ; 被测混频器输入输出端口电压驻波比  $\leq 2.1$ , 即  $|\Gamma_u|=0.35$ , 则失配误差  $a=4.34\times 2\times 0.0476\times 0.35=0.14\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布  $k=\sqrt{2}$

标准不确定度  $u=a/k\approx 0.10\text{dB}$

(2) 频谱分析仪测量引入的不确定度  $u_2$

a) 以 50GHz 下变频到 2GHz 为例:

频谱分析仪频率响应引入的不确定度:

根据频谱分析仪的指标说明书, 频谱分析仪频率响应误差  $a=\pm 0.55\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布  $k=\sqrt{3}$

标准不确定度分量  $u=a/k\approx 0.32\text{dB}$

频谱分析仪绝对电平测量引入的不确定度:

根据频谱分析仪的指标说明书, 频谱分析仪绝对电平误差  $a=\pm 0.25\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布  $k=\sqrt{3}$

标准不确定度分量  $u=a/k\approx 0.14\text{dB}$

频谱分析仪测量过程中由系统失配误差引入的不确定度:

根据仪表的指标说明书得到, 频谱分析仪输入端口电压驻波比  $<1.3$ , 即  $|\Gamma_s|=0.13$ ; 被测混频器输入输出端口电压驻波比  $\leq 2.1$ , 即  $|\Gamma_u|=0.35$ , 则失配误差  $a=4.34\times 2\times 0.13\times 0.35=0.39\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布  $k=\sqrt{2}$

标准不确定度  $u=a/k\approx 0.28\text{dB}$

b) 以 2GHz 上变频到 50GHz 为例:

频谱分析仪频率响应引入的不确定度:

根据频谱分析仪的指标说明书, 频谱分析仪频率响应误差  $a=\pm 3.2\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布  $k=\sqrt{3}$

标准不确定度分量  $u=a/k\approx 1.85\text{dB}$

频谱分析仪绝对电平测量引入的不确定度:

根据频谱分析仪的指标说明书, 频谱分析仪绝对电平误差  $a=\pm 1.0\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为均匀分布  $k=\sqrt{3}$

标准不确定度分量  $u=a/k\approx 0.58\text{dB}$

频谱分析仪测量过程中由系统失配误差引入的不确定度:

根据仪表的指标说明书得到, 频谱分析仪输入端口电压驻波比  $<1.3$ , 即  $|\Gamma_s|=0.13$ ; 被测混频器输入输出端口电压驻波比  $\leq 2.1$ , 即  $|\Gamma_u|=0.35$ , 则失配误差  $a=4.34\times 2\times 0.13\times 0.35=0.39\text{dB}$ , 测量值落在该区间内的概率分布为反正弦分布  $k=\sqrt{2}$

标准不确定度  $u=a/k\approx 0.28\text{dB}$

(3) 测量过程中的连接及读数重复性引入的不确定度  $u_3$ 。

a) 以 50GHz 下变频到 2GHz 为例:

单次测量结果的试验标准差  $s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}=0.02$ 。

标准不确定度使用试验标准差表示, 则  $u=s=0.02\text{dB}$ 。

b) 以 2GHz 上变频到 50GHz 为例:

单次测量结果的试验标准差  $s=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}=0.08$ 。

标准不确定度使用试验标准差表示, 则  $u=s=0.08\text{dB}$ 。

#### C.1.4 合成标准不确定度

a) 以 50GHz 下变频到 2GHz 为例:

合成标准不确定度为:  $u_c=0.47\text{dB}$

b) 以 2GHz 上变频到 50GHz 为例:

合成标准不确定度为:  $u_c=1.96\text{dB}$

#### C.1.5 扩展不确定度

a) 以 50GHz 下变频到 2GHz 为例:

取包含因子  $k=2$ ,  $U=k\times u_c=0.93\text{dB}$

b) 以 2GHz 上变频到 50GHz 为例:

取包含因子  $k=2$ ,  $U=k\times u_c=3.9\text{dB}$