

中华人民共和国通信行业标准

YD/T 2827.1-2015

无线通信射频和微波器件无源互调电平 测量方法

第 1 部分：通用要求

Passive RF and microwave devices, intermodulation level measurement
Part1: General requirements and measuring methods

2015-04-30 发布

2015-07-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

前 言.....II

1 范围.....1

2 规范性引用文件.....1

3 术语、定义、符号及缩略语.....1

4 无源互调产物特性.....2

5 PIM 测试原理.....2

6 测试条件.....3

7 测试方法.....6

8 互调测量测试报告.....6

9 测量误差.....6

附录 A（资料性附录）本部分与 IEC 62037-1:2012 相比的结构变化情况.....8

附录 B（资料性附录）减小无源互调产生指导原则.....9

附录 C（资料性附录）低互调负载构造.....10

附录 D（资料性附录）测试过程注意事项.....12

前 言

YD/T 2827《无线通信射频和微波器件无源互调电平测量方法》分为6个部分：

- 第1部分：通用要求；
- 第2部分：同轴电缆组件；
- 第3部分：同轴连接器；
- 第4部分：同轴电缆；
- 第5部分：滤波器类器件；
- 第6部分：天线。

本部分为 YD/T 2827 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本部分使用重新起草法修改采用了 IEC 62037-1:2012, “Passive RF and microwave devices, intermodulation level measurement—Part 1: General requirements and measuring methods”。

本部分与 IEC 62037-1:2012 相比, 在结构上有较多调整, 附录 A 中列出了本标准与 IEC 62037-1:2012 章条编号变化对照一览表。

本部分做了下列技术性修改：

- 为便于理解测试设备和测试要求, 增加了 5.1 节“测试设备的特点要求”；
- 因部分内容不属于规范性要求, 将 IEC 62037-1/Ed.1 中 7.2 节内容移到资料性附录 B。

本部分做了下列编辑性修改：

- 在第 2 章增加了术语、定义、符号及缩略语；
- 在第 3 章增加了无源互调的分类及影响；
- 在第 4 章增加了图 1 和图 2。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本部分由中国通信标准化协会提出并归口。

本部分起草单位：工业和信息化部电信研究院、中国移动通信集团公司、中国联合网络通信集团有限公司、京信通信系统（中国）有限公司、华为技术有限公司、南京纳特通信电子有限公司。

本部分主要起草人：吴 翔、马 欣、李新中、卜斌龙、彭建华、刘 罡、李荣明。

无线通信射频和微波器件无源互调电平测量方法

第 1 部分：通用要求

1 范围

本部分规定了无源互调电平测量的通用要求和测量方法。包括无源互调的分类和原理，无源互调电平测量的测试条件和测量方法，以及无源互调测量的结果表示方法等。

本部分适用于无线通信系统中射频和微波器件的无源互调测量。

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，仅所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。

IEC 62037-1 无线通信射频和微波器件无源互调电平测量方法 第 1 部分：通用要求（Passive RT and microwave devices, intermodulation level measurement – part 1: General requirements and measuring methods）

3 术语、定义、符号及缩略语

3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1.1

射频无源器件 Passive RF Device

器件等效电路模型中无电源（电压源或电流源）的射频器件。应用于移动通信的无源器件一般包括功分器、耦合器、滤波器、合路器、双工器、隔离器、泄露电缆及天线、电缆及接头等。

3.1.2

无源互调产物 Passive Intermodulation

当两个或两个以上的频率信号同时通过无源器件时，由于无源器件的非线性因素，导致两个或两个以上信号相互混频从而产生除输入信号频率之外其他频率信号，简称 **PIM**。

3.1.3

无源互调特性 Characteristics of PIM

无源器件产生无源互调产物时的非线性特性。

注：无源互调产物的产生起源于无源器件内部存在多个非线性点源，大多数情况下无法确定这些非线性源的状态、位置和特性。这些非线性源包括金属间的相互接触、金属的锈蚀物、接触面尘土和污垢及存在磁性物质等。由于受机械应力、温度变化、材料特性的变化（如冷变形等）和气候的变化等的影响，在大多数情况下，无源互调特性将随时间而发生变化。无源互调产物的产生起源于被测器件（DUT）内部的各个非线性点源，并且各个点源产生的互调信号具有各向同性传播的特性。无源互调产物的产生并不一定遵循通常的2次非线性方程规律。因此，不能通过测量某一输入功率时的无源互调电平，精确推导计算在其他功率电平时的无源互调电平。而且，在某些情况下，无源互调的产生是与频率相关的。因此根据被测器件的具体应用，当无源互调产生与频率相关时，需要测量被测器件在某一工作频段上的全部频率互调特性。

3.1.4

残余互调 ResidualPIM

YD/T 2827.1-2015

由无源互调测试设备内部线缆，连接器，滤波器和双工器等产生的内部自身无源互调。

注：一般地，对于无源互调测试仪而言，该电平比接收机底噪要大。在测量一个被测器件的无源互调电平值时，如果该被测器件的互调电平接近于无源互调测试设备自身残余互调，测量的结果的不确定度将增大。此时无源互调测试设备的自身残余互调信号与被测器件产生实际互调信号在向量上的叠加，这种叠加将带来测量中潜在的不确定。

3.2 符号

下列符号适用于本文件。

f : 信号的频率。

2.3 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

PIM	Passive Intermodulation	无源互调产物
DUT	Device Under Test	被测器件
IM3	3rdIntermodulation	三阶互调产物

4 无源互调产物特性

当两个信号 f_1, f_2 通过一非线性系统，由于非线性因素使一个信号的二次谐波 $2f_1$ 与另一个信号的基波 f_2 产生差拍（混频）后，在频率 f_1+f_2 与 f_1-f_2 （取绝对值）之间会出现频率为 $2f_1-f_2$ 或 $2f_2-f_1$ 三阶互调寄生信号(IM3)，通常，无源三阶互调产物被证明对无线系统的影响为最大，因为三阶互调产物离系统接收频带最近。这些谐波彼此之间又能继续组合出其他分量和、差信号，当两个信号通过无源器件时，产生的信号既包含原输入信号频率，也包含两个载波频率混频产生的其他频率分量，表示为：

$$f_{IM} = (f_1+f_2) + (2f_1-f_2) + (2f_2-f_1) + (3f_1-2f_2) + (3f_2-2f_1) + \dots$$

通常这些不同频率组合可由其阶数来表示：

(f_1+f_2) 是和频信号、 $(2f_1-f_2)$ 和 $(2f_2-f_1)$ 是 3 阶互调信号、 $(3f_1-2f_2)$ 和 $(3f_2-2f_1)$ 是 5 阶互调信号；另外还有：7 阶互调信号 $(4f_1-3f_2)$ 和 $(4f_2-3f_1)$ ；9 阶互调信号 $(5f_1-4f_2)$ 和 $(5f_2-4f_1)$ 以致更多。

无源互调信号电平的大小与加在无源器件上的功率有直接的关系，当加载的功率越大，产生的互调信号电平也越大。在载频功率相同的条件下，互调阶数越小，其互调信号电平越大，即产生的干扰越大，因此大多数射频系统首先关心的是三阶无源互调。

在一些通信系统中，多个频率的载波信号通过一些无源器件时，由于器件非线性原因，会将信号能量部分转移到其他频率，产生不同幅度的互调产物，如果这些信号落到本系统中的接收频段或其他系统的接收频段时，则会产生同系统或不同系统中的干扰，使系统的信噪比下降，系统性能严重恶化，严重影响通信系统的容量和质量。

5 PIM 测试原理

频率分别 f_1 和 f_2 功率电平相同的两个单载波信号合路后进入被测器件，由测试系统载波信号产生谐波或系统自身残余互调要比预计被测件互调电平至少低 10dB。

在大多数情况下，三阶互调代表最严重情况，因此仅仅对三阶互调进行测量是充分适宜的，但是 YD/T 2827.6 给出的测量方法也适合其他互调产物测量。

在其他系统(譬如 CATV 系统)，可能并不对三阶互调进行测量。

在测试方法中，针对不同类别的射频和微波器件和不同的应用基本有 2 种测量方法，即传输互调测量法和反射互调测量法。传输或反射的定义由最大载波信号在器件中的传播方向决定，传输测量法中互调产物的方向与载波信号方向相同，反射测量法中互调产物的方向与载波方向相反，如图 1 和图 2 所示。

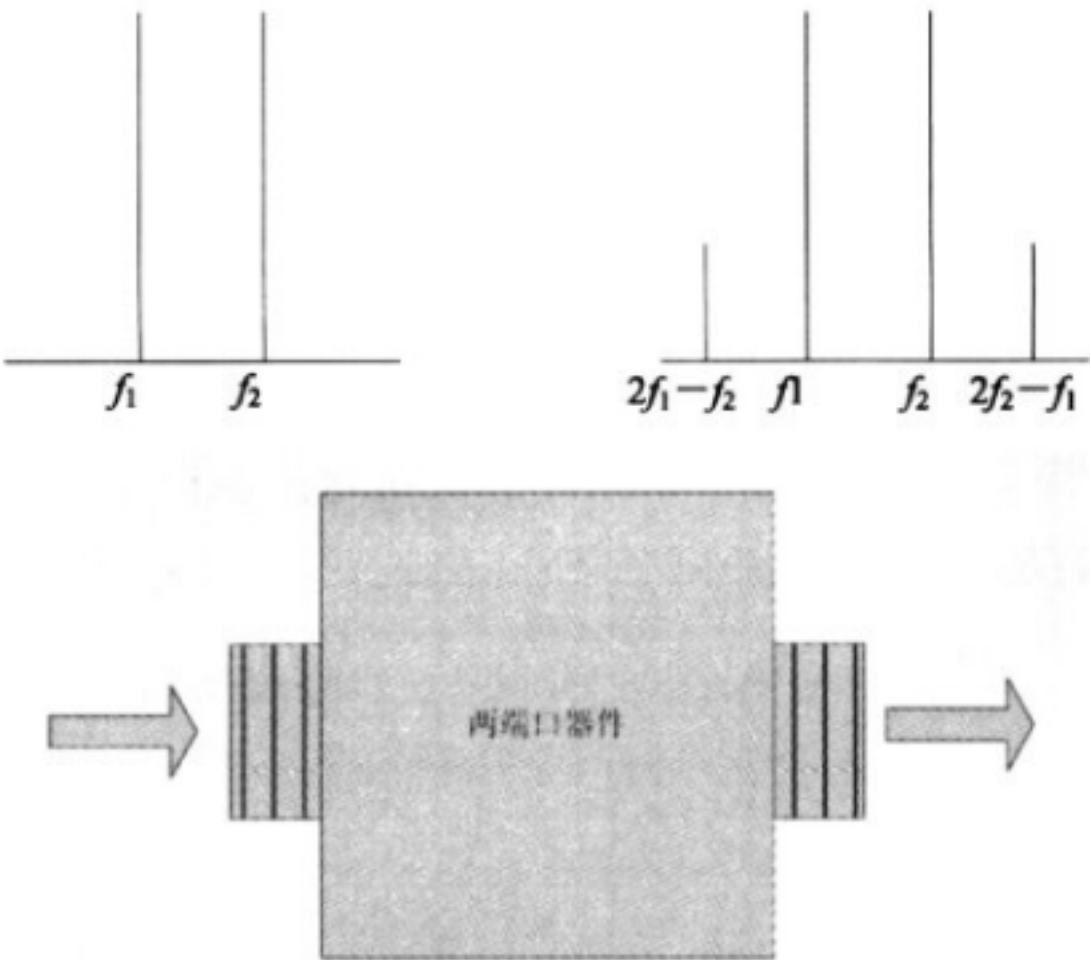


图 1 传输互调测量示意图

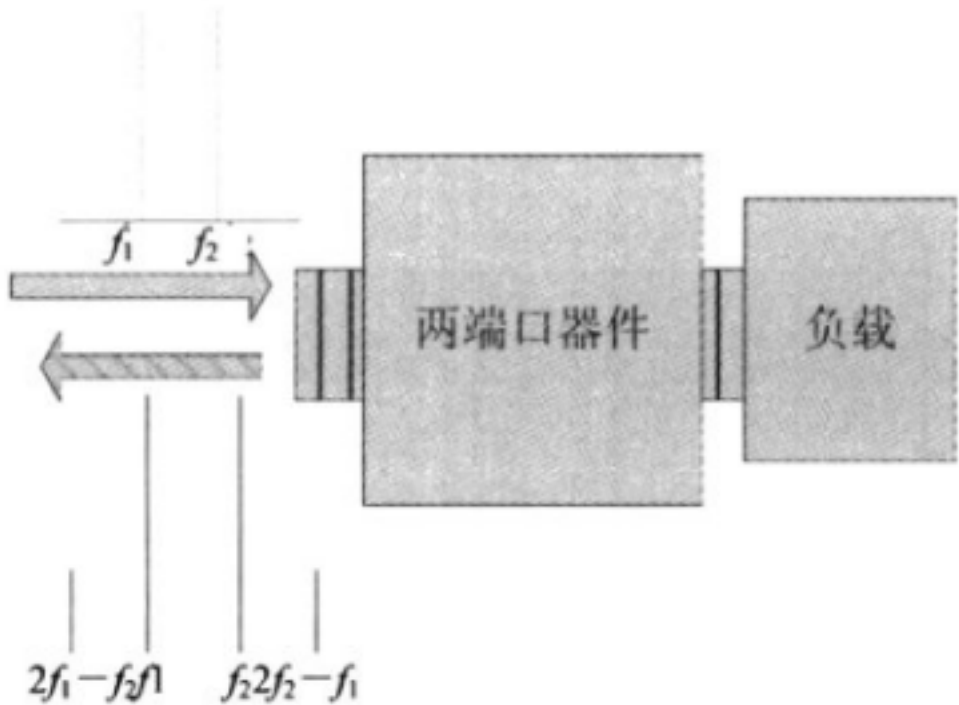


图 2 反射互调测量示意图

图 1 表示一个两端口或多端口器件在两个大功率载波信号的同时作用下所产生的传输互调产物。
图 2 表示一个单端口器件在两个大功率信号的同时作用下所产生的反射互调产物。
所有的非线性电路产生的互调信号都为矢量信号，它们相对的相位关系将影响被测件在特定状态下的互调电平幅度。假设一两端口无源器件，可以假设非线性源只存在于端口 1 和端口 2，在传输测量中，端口 1 产生的互调分量到达端口 2 后与端口 2 产生互调同相叠加，与无源器件的电长度无关；而在反射测量中，端口 2 的互调到达端口 1 与端口 1 产生的互调叠加，其相位关系并不是固定的，而是与端口 1 到端口 2 的电长度有关，因此反射互调为频率和被测件电长度的函数。

6 测试条件

6.1 测试设备的特点要求

将频率为 f_1 和 f_2 的具有相同额定功率的信号进行混合，并输入被测器件 DUT。由于 PIM 的功率电平一般都非常低，测试中采用的测试信号所包含的谐波分量或设备自身残余互调信号电平，至少比 DUT 中预期产生的互调信号电平低 10dB，因此假设被测件互调是 -150dBc,测量设备残余互调至少为 -160dBc。

PIM 测试设备的组成部件本身应具备高性能、低 PIM 特性。其使用的合成器、定向耦合器、滤波器

YD/T 2827.1-2015

等产生的残余互调电平应控制在被测件 PIM 电平的 10dB 以下，测试中所使用的匹配负载应采用 PIM 尽可能最小的绕线负载（CableLoad），以保证整个测试系统能够正常工作。

所有阶数的无源互调产物应由经过校准的接收机进行测量。

一般情况，三阶互调信号代表了所产生的干扰信号中的最严重的情况，因此仅对三阶互调信号进行测量足以说明 DUT 的互调特性。（部分器件由于发射载波频率限制，三阶互调没有落到测试设备接收带内，此类器件除外，按照落到接收带内的最低阶数进行测量。）

6.2 测量配置说明

按照测量方法，测试配置传输互调和反射互调两类，测试配置包含信号源，合路器件，负载，接收机等。其中信号源是两个大功率信号源，通过调整应能达到测试端口要求的额定发射功率。

测试配置中应慎重使用含有磁性材料的器件（如环形器，隔离器等），测试配置中所有无源器件含环形器，滤波器及合路器等产生的残余互调应至少比 DUT 上测得的互调信号电平低 10dB。

测试过程中允许使用转换连接件，转换连接件等产生的残余互调电平应控制在被测件 PIM 电平的 10dB 以下。

测试中，除 DUT 被测端口与测试设备相接，其他非被测端口原则上应当端接合适额定功率的低互调负载。

为获取所需求互调信号同时抑制其他信号，接收端的带通滤波器可根据预期的互调信号进行调谐，后面再连接低噪声放大器（如果必要）和接收机，使其满足从射频无源器件测试到环境评估在内的众多应用。

6.3 测试配置 1

测试配置 1 是用来测量反射互调信号，为反射互调测试配置。它是由信号源、发射滤波器、合路和双工器件、接收滤波器、测试端口及负载和接收机部件组成，如图 3 所示。

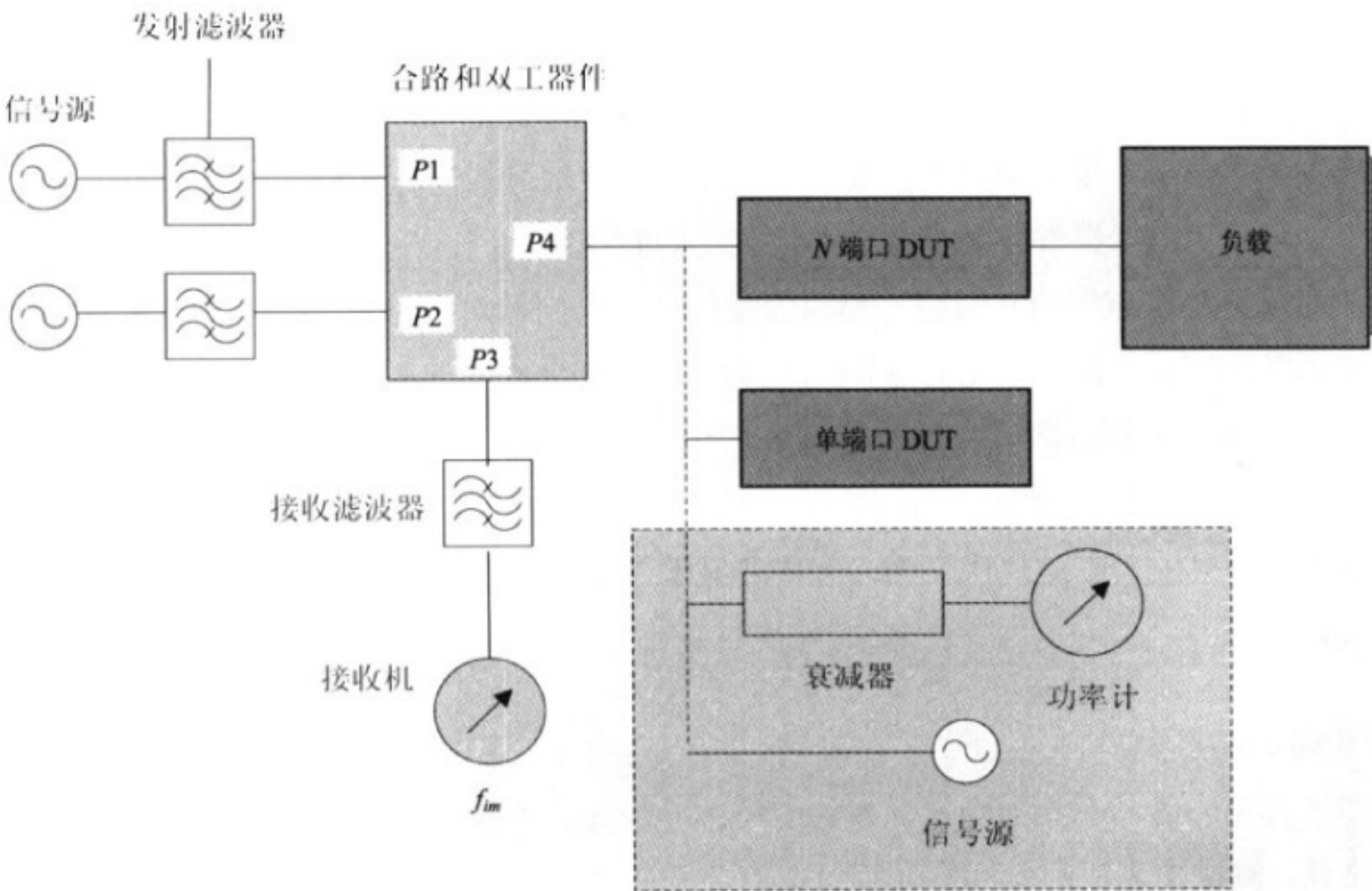


图 3 反射互调电平测量

说明如下：

- a) 信号源应能产生额定功率的连续波（CW）信号，所产生的信号应有足够的频率稳定性和幅度稳定性，以确保接收机能以适当的方式检测到互调产物并确保测量准确性。
- b) 应使用调谐至规定频率的带通滤波器，用于两个信号源之间相互隔离，并且滤除 f_1 和 f_2 谐波分量及带外杂散。
- c) 合路和双工器件用于混合两个大功率的信号 f_1 和 f_2 ，并将混合信号输入到测试端口，同时提供一个端口提取反射互调信号 f_{im} 。
- d) 接收滤波器用于滤除互调信号之外信号，尤其是大功率信号 f_1 和 f_2 及其谐波分量，以保证这些信号不在接收机内重新产生互调产物。
- e) 测试端口 $P4$ 用于连接 DUT，应在此处获取规定的输入功率。
- f) 当测量多端口的 DUT 时，DUT 剩余端口应当端接到具有合适功率容量且互调低于 -125dBm 的低互调负载上。关于低互调负载的构造参见附录 C。
- g) 接收机应当具有足够的灵敏度，用于检测低互调电平值的信号。

通过采用前置低噪声放大器可提高灵敏度。接收机应具有足够动态范围，以获取尽可能大的测量范围。

6.4 测试配置 2

测试配置 2 用来测量传输互调信号。
除了以下几点，所有部件的要求与“测试配置 1”中相同，如图 4 所示。

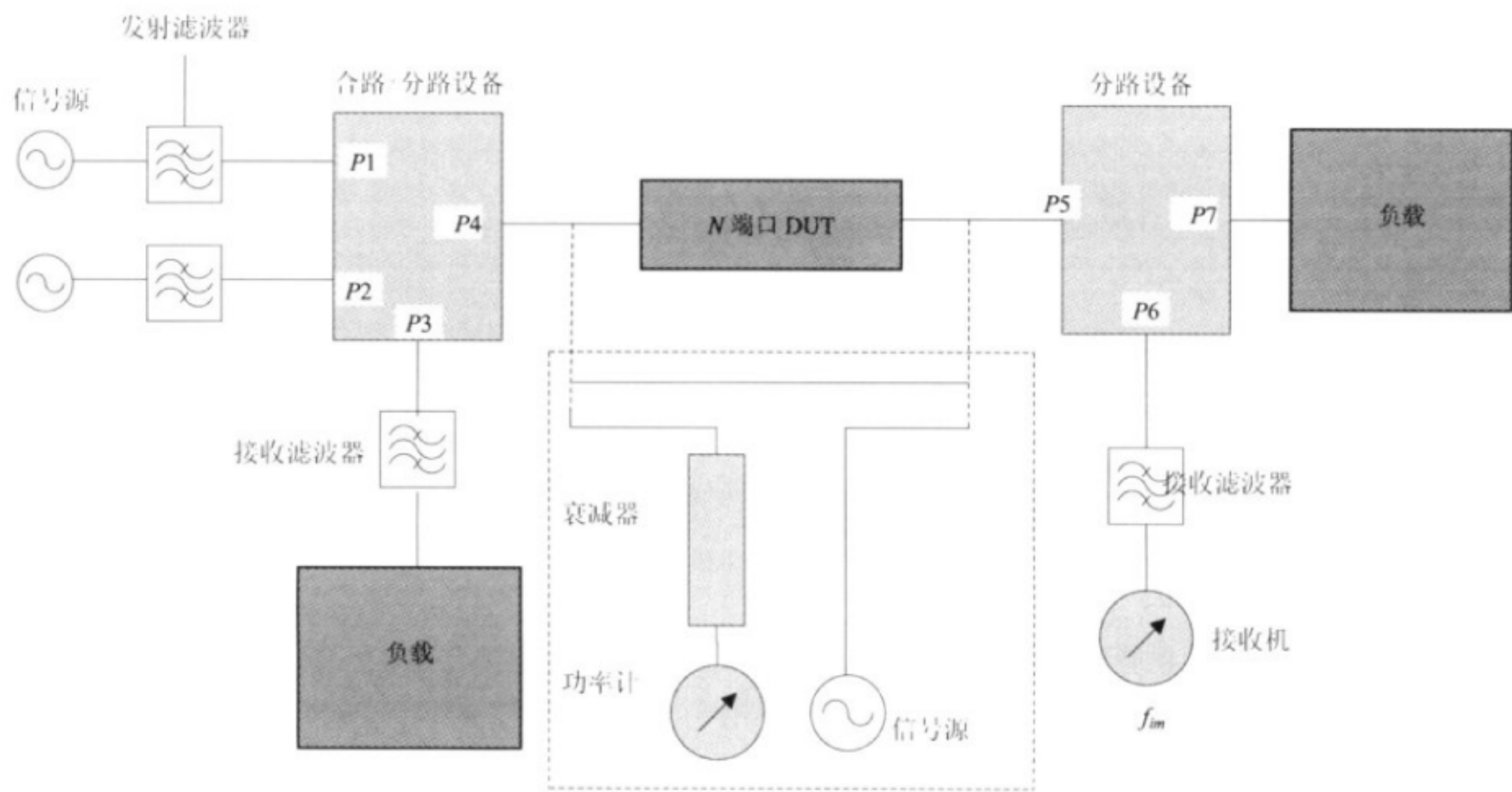


图 4 传输互调电平测量

说明如下：

- a) 合路/分路设备。本设备在图 4 所示中位于发射滤波器之后， N 端口 DUT 之前。测试配置中的信号提取端口 $P3$ 应当端接负载，以防 DUT 产生的反射互调信号的再反射。
- b) 分路设备。本设备在图 4 中位于 N 端口 DUT 之后，负载之前。该设备应能将频率为 f_1 、 f_2 载波信号和 f_{im} 互调信号的信号分离至 $P6$ 、 $P7$ ，并和接收滤波器一起用于提取互调信号并抑制其他频率信号，

YD/T 2827.1-2015

尤其是 f_1 、 f_2 信号。

7 测试方法

7.1 测试配置准备要求

测试之前，应当仔细检查 DUT 及测试设备是否具有合适的功率容量，频率范围，端口整洁度及尺寸规格。所有连接器的接口应使用合适力矩进行可靠连接，如果没有具体要求，可以参考供应商定义。测试配置所选取的器件参见附录 B 中所给出的内容。

7.2 测试步骤

表 1 给出了测试配置 1 和测试配置 2 的一些配置条件要求。测试中应注意事项请见附录 D。

表 1 测试配置条件

测试配置 1	测试配置 2
将测试设备校准至 DUT 适用的正确的信号电平。除非有其他特定要求，移动通信系统通常推荐在测试端口处采用 2× 20W（43dBm）的功率，其他通信系统可能会采用不同功率电平，也可根据相关设备的标准及规范来选择功率电平	
定义最小测试频率点数（或频率间隔）	
为获得最低的测量不确定度，应采用校准过的信号源按图 3 和图 4 所示，以预先确定的互调电平值对接收机电平进行校准	
将低互调负载直接连接到测试端口 P4，记录测试设备的反射残余互调电平	将双工器中的 P5 端口直接连接到多工中的 P4 端口，记录测试设备的传输残余互调电平
为降低测量不确定度，测量系统的残余互调电平应至少低于 DUT 的测量值 10dB 以上	
按照规定的测试步骤和方法进行测试，具体测试步骤参见本标准其他部分	
必要时，整个测试过程可同步进行机械撞击试验	

8 互调测量测试报告

8.1 结果

测量结果应包括但不限于输出功率、 f_1 和 f_2 工作频率、互调产物频率及电平。

8.2 结果表示示例

测量结果可以用绝对值表示，单位是 dBm，或表示成以单路信号载波功率为基准的相对值，单位用 dBc。

dBm 和 dBc 是可以相互转换的，例如输入为 43dBm 的待测设备，测量得到的无源互调值为 -120dBm，将 -120dBm 转换成 dBc 如下：

$f_1 = 936 \text{ MHz}, f_2 = 958 \text{ MHz}, f_{\text{IM3}} = 914 \text{ MHz}$
 $P(f_1) = P(f_2) = 20 \text{ W (+43dBm)}$
 $\text{IM}_3 = -163 \text{ dBc}$

9 测量误差

测量不确定度使用下面的公式计算：

$$RSS = \sqrt{(\delta A)^2 + (\delta P_m)^2 + (\delta P_g)^2 + (\delta D)^2}$$

式中：

- δA ——衰减器的不确定度；
- δP_m ——功率计的不确定度；

δP_g ——信号源的不确定度；

δD ——由于测试设备的残余互调和被测试设备 DUT 的互调间存在差异而导致的不确定度。

上述公式中不包括失配导致的误差。

其中 δD 的不确定度分为 δD^+ 正误差和 δD^- 负误差，正误差当残余互调与被测信号互调同相叠加引起，负误差当残余互调与被测信号互调反相叠加引起。

$$\delta D^+ = 20 \log(1 + 10^{\frac{SIMD - MIMD}{20}})$$

$$\delta D^- = 20 \log(1 - 10^{\frac{SIMD - MIMD}{20}})$$

式中：

$SIMD$ ——系统残余互调；

$MIMD$ ——被测件真实互调值。

假设残余互调与系统互调的差为 -10dB ，

$$\delta D^+ = 20 \log(1 + 10^{\frac{-10}{20}}) = 2.4\text{dB}$$

$$\delta D^- = 20 \log(1 - 10^{\frac{-10}{20}}) = -3.3\text{dB}$$

其他情况下由于残余互调引起的误差如图 5 所示。

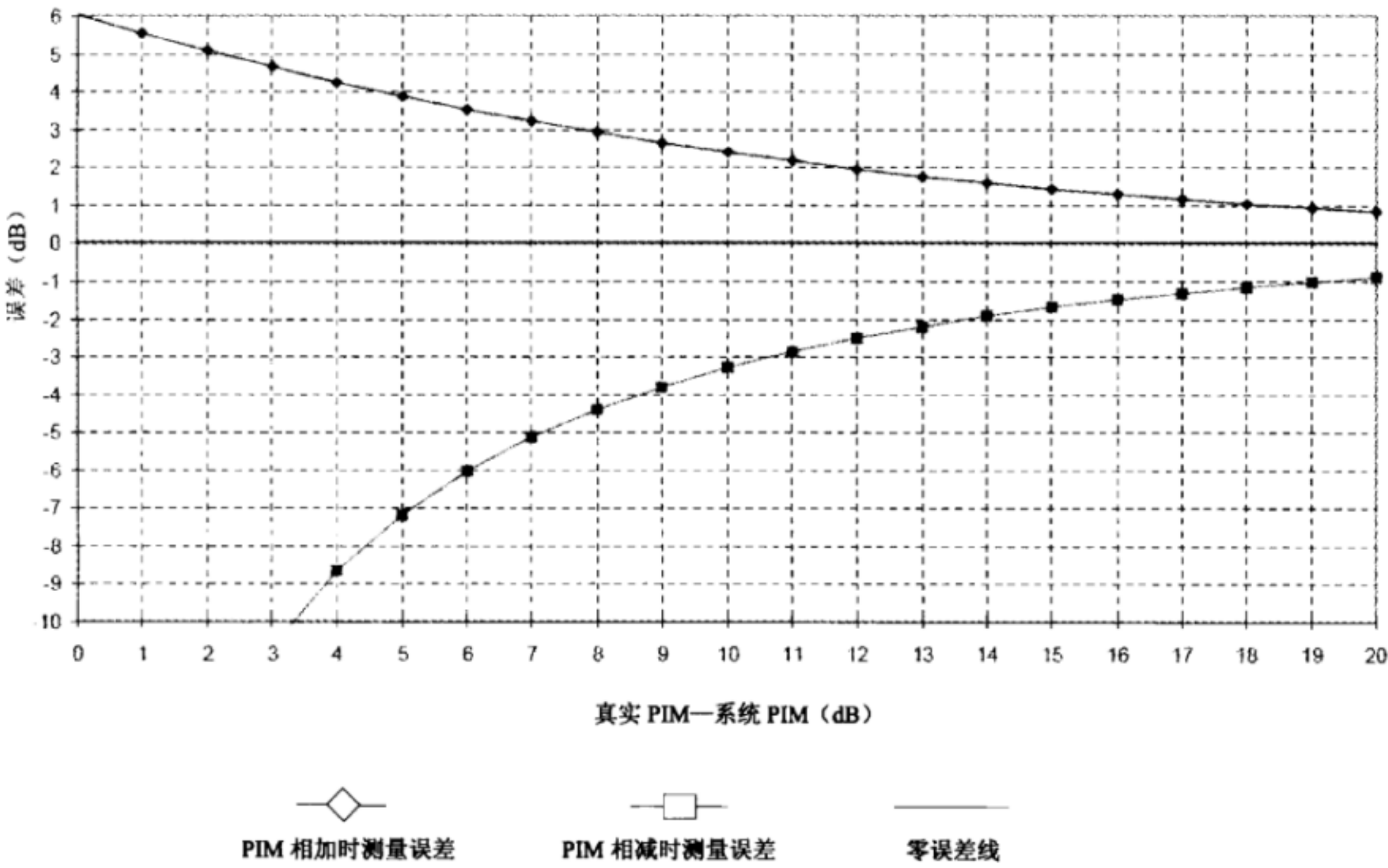


图 5 由于残余系统误差引起的无源互调测量误差

附 录 A
(资料性附录)

本部分与 IEC 62037-1:2012 相比的结构变化情况

表 A.1 本部分与 IEC 62037-1:2012 的章条编号对照情况

本部分章条及附录编号	对应IEC标准章条及附录编号
3	4
4	5
5	6
5.1	—
5.2	6.1
5.3	6.2.2
5.4	6.2.3
6	7
6.1	7.1
6.2	8
7	9
7.1	9.1
7.2	9.2
8	10
附录B	7.2
附录C	附录A
附录D	附录B

附录 B

(资料性附录)

减小无源互调产生指导原则

以下的指导原则和表 B.1 中建议并没有特定的优先顺序，并不是适用所有的器件，但是，应考虑如有可能尽量执行：

- a) 尽量不要用在电流通过路径上使用铁磁性材料，譬如铁和镍等；
- b) 使用大尺寸连接器，在传输路径中把电流密度降到最低；
- c) 尽量减少不同金属连接点，避免松动和活动的金属接触；
- d) 大功率传输路径中应避免松动的接触，粗糙的表面以及尖锐的边角；
- e) 使热变化最小化，因为金属膨胀和收缩可产生非线性接触；
- f) 尽可能使用铜焊、锡焊或者熔接进行连接，但是要确保焊点良好，没有使用非线性材料，没有裂缝、污染和腐蚀；
- g) 在电流通道上避免出现调谐螺钉或活动部件，必要时，确保所有的接点干净、紧固，最好能够不受震动；
- h) 一般来说，电缆的长度应当减到最短，应当使用高性能低互调的电缆；
- i) 尽量少用非线性元件，比如集总虚拟负载、环形器、隔离器及某些半导体器件；
- j) 通过滤波或物理分离的方法，将大功率发射信号和低电平接收信号很好的隔离。

表 B.1 与互调产生相关的设计、材料选择和器件处理因素

部件、材料和过程	建议
分界面	越少越好
连接器	越少越好，高性能、低互调并符合合适扭力
内部金属导体连接	根据个体对总体互调影响程度评估每一个连接特性。保持良好连接性能的方法有紧密接触、焊接等
铁磁体材料	不建议使用（非线性）
非磁性不锈钢	不建议使用（包括铁材料）
环形器、隔离器及其他铁氧体部件	不建议使用
尖角	大电流路径上避免出现
负载或衰减器	使用前需仔细评估
密封条或垫圈	使用前需仔细评估并且避免使用铁磁材料
印刷电路板(PCB)	仔细评估所使用材料、处理过程和设计方案：使用低互调材料，注意杂质、污染，对铜导体进行防腐蚀处理
异种金属	不建议使用（存在腐蚀风险）
介质材料	使用干净高质量的材料，保证不含有金属碎屑
机加工介质材料	使用干净无污染的加工工具
焊点	良好操作且深入清洁，它们对互调特性有较大影响，应当被仔细检查
环氧碳纤维合成材料	如果纤维没有损害，应用在反射区或支撑结构上，可以接受。如果存在高能量密度情况（例如 $10\text{mw}/\text{m}^2$ ），需要仔细评估
聚酯镀铝膜	需要特殊设计
清洁程度	保持干净干燥表面
电镀	由于趋肤效应影响，在最低工作频率上，电镀厚度至少为 3 倍趋肤深度

附 录 C
(资料性附录)
低互调负载构造

C.1 前言

本附录给出低互调负载构造资料。

C.2 低互调负载的构造

C.2.1 长电缆负载

高互调负载经常使用电阻性材料，这些材料往往具有高互调特点，不容易实现低互调，因此一般使用长电缆作为低互调负载（如图C.1所示）。以下给出一些低互调负载设计建议，以下建议并非按重要性的排序，如果条件允许尽量采用该建议。

- 1) 避免使用编织类电缆，建议使用单芯内导体。从某一特定角度来看，半刚性电缆是比较好选择；
- 2) 避免使用有高互调材料或电镀的电缆，建议镀银和镀锡。电镀的厚度要足够厚，要比传输最低频率信号趋肤深度要厚；
- 3) 电缆之间的连接对于实现低互调性能至关重要，因此为了减少连接，最好使用合适电缆及安装结构。如果负载是由几段电缆组成，最长的一段靠近负载端口；
- 4) 低互调电缆要有足够功率容量能力；
- 5) 根据发射和接受信号之间的隔离度及最低频率上损耗参数选择合适电缆长度；
- 6) 使用低互调连接器。



图 C.1 长电缆低互调负载

C.2.2 附加线性衰减器的集成负载

低互调电缆可以被看做线性衰减器，线性衰减器加高互调负载可以被用作低互调负载，其结构如如图C.2所示，计算过程如下：

- 1) 测试集负载互调电平随功率变化特性，确定互调变化系数 $X[\text{dB}]$ ；
- 2) 确定线性衰减器的衰减度 X_c : $PIM_{\text{term}} = PIM_{\text{RDL}} - (X+1)X_c$ ；
- 3) 确定构成线性衰减器电缆的长度：

$$X_c = \alpha \times l_m$$

以上各式中，各字母代号含义如下：

PIM_{term} ——低互调负载互调值，单位dBm；

PIM_{RDL} ——当输入功率为 P_{in} 时，集总负载的互调值，单位dBm；

X ——输入功率每增加1dB，输出互调功率变化大小，单位为dB；

X_c ——线性衰减器的衰减度，单位为dB；

α ——是电缆的衰减系数，单位为dB/m；

l_m ——电缆长度。



图 C.2 附加线性衰减器的集成低互调负载

附 录 D
(资料性附录)
测试过程注意事项

D.1 前言

接头和被测器件产生互调产物会相位叠加,受测试电缆长度影响,在某一频率点出现的最大互调电平可能会随电缆长度在频率范围内变化。

D.2 频率步进扫描

目前普遍采用的扫频办法,固定 $F1$ 在发射频率低端, $F2$ 按照一定步进从频率高端往低扫描,扫描过程要保证所有落到 RX 带内的发射频率组合都被扫描到。如果需要,可以 $F1$ 在发射频率高端, $F2$ 按照一定步进从频率低端往高扫描。

D.3 固定频率

制作并使用电缆长度可变的测试组件保证互调产物同相叠加。利用测试组件和被测件组合两个新的被测件,其中第一个被测件中电缆长度是 $\lambda/6$,第二个被测件中电缆长度是 $\lambda/3$,以上波长都是按照接收频率确定。分别测试原被测件互调值,两种附加测试组件情况下被测件互调值,根据以上三种情况确认最大互调值。

可以变化固定频率来代替变化电缆长度,从而得到最多互调值。
