

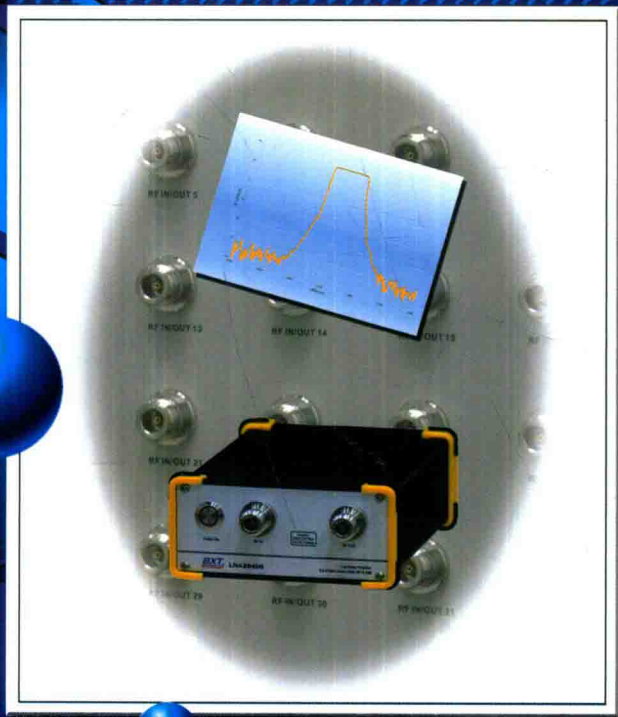


IT工程师宝典·通信

实用射频测试和测量

(第3版) Practical RF Test & Measurement, 3rd Edition

朱辉 冯云 郭锋 史业清 著



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>



IT 工程师宝典·通信

实用射频测试和测量

(第3版)

Practical RF Test & Measurement, Third Edition

朱辉 冯云 郭锋 史业清 著



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书基于作者多年来从事射频测试和测量的经验和实验结果,从工程应用的角度,深入探讨了各种射频器件和射频系统的测试和测量问题,并列举了一些典型的测试案例。全书分为15章:第1~6章(器件篇)介绍了应用于射频测试和测量的各种无源和有源器件,包括电缆、连接器、衰减器、负载、功率分配/合成器、定向耦合器、滤波器、环流器、隔离器、低噪声放大器和功率放大器;第7~15章(系统篇)介绍了射频功率、大信号 S 参数、天馈系统、互调、杂散以及功率放大器的测量,并就频谱分析仪测量原理和性能指标、电磁环境测试以及射频测量的不确定度展开讨论。

本书适合从事射频测试和测量的工程师们阅读,也可作为高等学校相关专业师生的参考书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

实用射频测试和测量 / 朱辉等著. —3版. —北京:电子工业出版社,2016.2

(IT工程师宝典.通信)

ISBN 978-7-121-27694-1

I. ①实… II. ①朱… III. ①无线电信号—射频—信号检测②无线电信号—射频—微波测量 IV. ①TN911.23

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第284197号

责任编辑:张来盛(zhangls@phei.com.cn)

印 刷:三河市鑫金马印装有限公司

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本:787×980 1/16 印张:21.25 字数:476千字

版 次:2010年1月第1版

2016年2月第3版

印 次:2016年2月第1次印刷

印 数:2500册 定价:58.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

前 言

人类科技的发展速度与时间之间呈非线性关系，21 世纪头 15 年的科技进步要超过上一世纪的总和，这种现象可以用“加速回报定律”来描述。即使在射频和微波测试技术这样的传统领域，从《实用射频测试和测量》第二版出版至今短短两年多的时间，笔者也感觉到这个领域的一些明显变化。

各种射频和微波自动化测试系统发展迅速，从测量放大器、接收机和发射机的射频性能指标，到更为复杂的电磁环境测试，人们更多地依赖集成化的测试系统和自动化测试软件来完成：一方面，仪表厂商开始重视各种模块化的测试仪器，系统集成商则采用这些模块化的仪表来开发针对性极强的自动化测试系统；另一方面，最终到了应用环节，使用者只需输入一些测试条件，然后轻点“开始测试”的按钮，系统就会自动输出测试结果。

随之产生的一种现象是，年轻一代的从业者开始不重视传统仪表（如频谱分析仪）复杂烦琐的操作而更加注重测试结果。这一点笔者也有所体会：在以往和用户的交流中，经常会讨论如何设定频谱仪的分辨率带宽或者测量带宽等参数，以保证获得更加精确的测试值；而近年来用户则更加关注如何更加快速、有效地获得他们所关心的最终测试结果。

再举一个器件的例子——“混频器”。我们知道，混频器是用在接收机前端的重要器件。在以往，接收机的设计者需要仔细研究混频器的特性后再决定周边电路的参数，如本振频率和功率的设置、输入功率的控制、输出中频的设置、谐波抑制措施，等等。随着器件集成化程度的提高，混频器被越来越多地集成到接收机电路中。如此一来，混频器这种电路逐渐从一部分人的视线中“消失”了，有一部分人“不需要”接触混频器了，还有一部分人则“接触不到”混频器了。

更有甚者，笔者在最近的一次用户拜访中了解到，现在的大功率放大器居然也能集成到整个基站电路中去！而传统思维中，像功率放大器这样会产生热量的大功率部件必然是一个独立的部件。

开始有人担忧这种现象会造成新一代从业者业务能力的下降。笔者听到过这样的观点：“按照这样的趋势，若干年后，我们单位就没有懂射频的人了。”

那么我们需要为之担心吗？

到底是因为先有用户要求的快速、高效的测试解决方案，还是测试系统的开发者为了市场竞争而提出的“一键式”自动化测试系统，这很难考证。作为测试系统的开发者，如果你站在使用者的角度看，要测量一个 2~50 GHz 放大器的性能，在没有网络分析仪的前提下，你是愿意用传统的信号源和频谱分析仪，花上一天时间采用点测的方式每 100 MHz

取一个测试点，再人工生成最终的测试曲线的方法；还是采用自动化测试系统，花半小时以每 1 MHz（只要你愿意，任意取样密度都可以）取一个测试点，并自动生成测试曲线的方式？从这个角度看，笔者认为上述现象只是行业的发展趋势所导致的结果，就像我们并不懂汽车的内部构造也会开车一样，不懂频谱分析仪操作的人也可以准确地完成射频测量任务。

那么读者看到这里，或许会产生疑问：既然这样，我们还需要学习射频技术吗？答案是肯定的，前面的描述恰恰是笔者希望出版本书第 3 版的原因。

相对于计算机和人工智能技术而言，射频和微波技术依然属于传统行业。这个行业数十年来的发展主要体现在材料和工艺方面，如采用场效应管放大器替代参量放大器，采用高介电常数的介质材料以缩小电路的体积。绝大部分射频和微波器件遵循传统理论并无革命性的突破，比如：天线的尺寸与其工作波长有关；射频衰减器遵循能量守恒定律，材料的导热性能好，才能缩小其体积；等等。这类例子不胜枚举。

另一方面，即使射频和微波测试系统的集成化程度越来越高，但是连接被测器件（DUT）和测试系统的测试电缆组件依然需要由测试者来操作连接，至少到目前为止，尚无任何迹象表明射频连接器件会产生革命性的变革。如果你所从事的工作是射频测试和测量，则无论是哪个细分领域，本书中所描述的器件对你来说存在两种意义——一类是必须了解的，每天都要直接面对的器件，如测试电缆组件和转接器、天线、衰减器、滤波器、放大器等；另一类可能你不会直接面对，但是在你的测试系统内部起着重要的作用的器件，如定向耦合器和功率分配器、隔离器和环流器等，了解这些器件的属性可以让你对测试系统有更深入的理解，从而更好地完成你的测试任务。而本书中所描述的测试应用部分，即可在你有了相关的自动化测试系统，了解了测试原理后就可以帮助你更好地理解和使用这些测试系统。

第 3 版所增加的内容

在第 3 版的编写工作中，我邀请了三位长期从事无线电测试和测量的专业人士冯云、郭锋和史业清参与编写，他们具有丰富的无线电频谱和射频测量的实际工作经验，弥补了我在这方面的不足。借助于大家的努力，第 3 版增加了“电磁环境测试”、“频谱分析仪基本原理及应用”、“射频测量的不确定度分析和评估”三章内容：

- （1）对于频谱分析仪，第 13 章描述其基本工作原理，并穿插讨论一些应用技巧。
- （2）第 14 章以漫谈的形式讨论电磁环境测试中的若干问题，包括测试原理、环境和条件、系统部件（天线、自动化控制云台、滤波器、低噪声放大器、频谱分析仪）的选择、测试方法等。
- （3）确定度是一个与测量结果相关联的参数，它和测量结果如影随形，被用以表征合

理地赋予被测量之值的分散性。它来源于人们对误差的认识，又与传统的测量误差相区别；它可以用于分析影响测量结果的主要因素和评价分析测试方法，但也带有主观鉴别的成分。第 15 章对不确定度进行分析。

本书特点和读者对象

本书是写给在第一线从事测量和研制工作的射频工程师们看的，因为笔者从事的就是这项工作，本书是经验积累。对那些希望成为顾问型销售的市场人员来说，本书也有很好的参考价值，今天，用户更加希望销售人员可以为他们提供完整的解决方案；笔者也曾经参与过射频产品的销售工作，深知顾问型销售模式的重要性、魅力以及乐趣所在。而对于在校的大学生，在毕业实习阶段，本书将对你有所帮助，你可以将这本书作为连接学校和工作岗位的桥梁，因为这些内容你即将会遇到，如果你想从事微波和射频这个行业的话。

如果你已经有了本书第一版或第二版，要是感觉第三版中新增的内容可能对你有所帮助，也不妨再买一本；因为书大概是当今最便宜的商品了，更何况知识是无价的。

由于水平有限，本书中一定存在错误，敬请读者批评指正。

（笔者联系方式：zh@bxt-technologies.cn）

朱 辉

2015 年 10 月 29 日于福州

目 录

绪论	(1)
第 1 章 射频同轴电缆和连接器	(11)
1.1 射频同轴电缆	(12)
1.1.1 性能和指标	(12)
1.1.2 同轴电缆的分类和选择	(25)
1.1.3 同轴电缆的执行标准	(27)
1.1.4 小结——测试电缆组件的选择	(28)
1.2 射频同轴连接器	(30)
1.2.1 射频同轴连接器的基本结构	(30)
1.2.2 射频同轴连接器的设计参数	(32)
1.2.3 射频同轴连接器的主要指标	(32)
1.2.4 射频连接器介绍	(34)
1.2.5 射频连接器的无源互调特性	(44)
1.2.6 射频连接器的寿命	(45)
1.3 经验谈——保持射频和微波测量系统的平衡	(48)
1.3.1 木桶原理与射频和微波测量系统	(49)
1.3.2 分类保管测试电缆组件和转接器	(49)
1.3.3 射频测试电缆和转接器的使用注意事项	(51)
1.3.4 关于保护接头	(53)
1.3.5 检查测试电缆和转接器	(54)
1.3.6 区别公制和英制连接器	(55)
参考文献	(56)
第 2 章 衰减器和负载及其在射频测试和测量中的应用	(57)
2.1 衰减器	(58)
2.1.1 射频衰减器的主要指标和定义	(58)
2.1.2 衰减器的分类	(62)
2.1.3 进一步讨论射频衰减器的功率系数	(67)
2.1.4 衰减器的应用	(71)
2.2 负载	(77)

2.2.1	负载的主要指标和定义	(77)
2.2.2	负载的分类	(78)
2.2.3	负载的应用	(79)
	参考文献	(81)
第3章	Wilkinson 功率分配/合成器和定向耦合器	(83)
3.1	Wilkinson 功率分配/合成器	(84)
3.1.1	概述	(84)
3.1.2	基本指标和定义	(85)
3.1.3	隔离度和插入损耗的失配效应	(87)
3.1.4	功率容量的限制	(88)
3.1.5	Wilkinson 功率分配/合成器的应用	(88)
3.2	定向耦合器	(92)
3.2.1	概述	(92)
3.2.2	基本指标和定义	(92)
3.2.3	定向耦合器应用	(94)
3.2.4	进一步讨论定向耦合器的方向性	(97)
第4章	滤波器	(99)
4.1	概述	(100)
4.2	滤波器的指标	(101)
4.3	双工器和多工器	(107)
4.4	可调滤波器	(108)
4.5	滤波器在测试和测量应用中的基本方法	(108)
4.5.1	反射式测量法	(108)
4.5.2	吸收式测量法	(109)
第5章	隔离器	(111)
5.1	概述	(112)
5.2	环流器及隔离器的基本指标及定义	(112)
5.3	环流器和隔离器的非线性特性	(115)
5.4	环流器和隔离器的应用	(118)
第6章	低噪声放大器和功率放大器及其应用	(121)
6.1	低噪声放大器	(122)
6.1.1	低噪声放大器的基本指标	(122)

6.1.2	低噪声放大器在射频测试和测量中的应用	(126)
6.2	功率放大器	(127)
6.2.1	功率放大器的基本指标	(128)
6.2.2	多载频环境下的功率放大器	(135)
6.2.3	固态功率放大器的故障弱化	(136)
6.2.4	功率放大器在射频测试和测量中的应用	(138)
	参考文献	(140)
第7章	射频功率测量	(141)
7.1	概述	(142)
7.2	射频功率的定义	(143)
7.3	功率电平的计量单位——dB(分贝)	(143)
7.4	射频功率的测量方法	(145)
7.4.1	频谱分析法	(145)
7.4.2	终端式测量法	(147)
7.4.3	量热式测量法	(148)
7.4.4	通过式测量法	(149)
7.5	通过式功率测量技术	(149)
7.5.1	THRULINE [®] ——通过式功率测量技术的先驱	(149)
7.5.2	通过式功率测量原理	(150)
7.5.3	通过式功率测量法的特点	(151)
7.6	数字调制信号——通过式功率计如何应对?	(152)
7.6.1	无源二极管检波器的局限	(152)
7.6.2	数字调制信号功率的定义	(153)
7.7	通过式功率测量技术的应用	(156)
7.7.1	测量发射机的输出功率以及与天线的匹配	(156)
7.7.2	测量功率放大器的输出功率和设定VSWR保护门限	(157)
7.7.3	测量无源器件的插入损耗	(158)
7.8	射频大功率测量——终端式还是通过式?	(162)
7.9	误差分析	(163)
7.10	深入讨论定向耦合器的方向性误差 ^[2]	(166)
7.10.1	定向耦合器的方向性及其测量	(167)
7.10.2	方向性误差	(168)
7.10.3	功率和电压	(169)
7.10.4	电压驻波比和回波损耗	(170)

7.10.5	方向性误差的计算	(171)
7.10.6	关于方向性误差的总结	(174)
	参考文献	(174)
第 8 章	大信号 S 参数测量	(175)
8.1	概述	(176)
8.2	为什么要测量射频器件的大信号 S 参数?	(178)
8.2.1	无源器件的“功率系数”—— S_{21} 的变化	(178)
8.2.2	功率放大器的“Hot S_{22} ”指标	(179)
8.3	大信号 S 参数的测量方法	(179)
8.3.1	大信号 S 参数测量——网络分析仪能做点什么?	(179)
8.3.2	定向耦合器法可以测量 S_{22} 吗?	(181)
8.3.3	通过式功率计可以测量放大器的 S_{22} 吗?	(182)
8.3.4	放大器大信号 S_{22} 的正确测量方法	(182)
8.4	功率放大器的大信号 S 参数测量	(183)
8.5	无源器件的大信号 S 参数测量	(185)
8.6	结束语	(186)
第 9 章	天馈系统的测量	(187)
9.1	概述	(188)
9.2	天馈系统的描述	(189)
9.3	天馈系统的输入匹配测量	(192)
9.3.1	用网络分析法测量输入匹配	(192)
9.3.2	用通过式法测量输入匹配	(193)
9.4	天馈系统的故障定位测量	(194)
9.5	天馈系统的反射互调测量	(195)
9.6	天线的隔离测量	(196)
第 10 章	无源互调测量	(197)
10.1	概述	(198)
10.2	无源互调的定义和表达方式	(199)
10.3	无源互调的类型	(201)
10.4	无源互调的产生原因和条件	(202)
10.5	无源互调的危害及测量的意义	(203)
10.6	无源互调的测量方法 (IEC 建议)	(205)

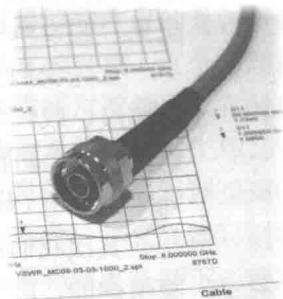
10.6.1	正向(传输)互调的测量	(206)
10.6.2	反射互调的测量	(208)
10.7	新的无源互调问题	(209)
10.7.1	反向互调及其测量	(209)
10.7.2	跨频段互调测量	(212)
10.7.3	谐波测量	(213)
10.7.4	其他需要关注的无源互调测量问题	(214)
10.8	你需要什么样的无源互调测量系统?	(215)
10.9	保证无源互调的测量精度	(217)
10.10	无源互调测量系统介绍	(221)
10.11	结束语	(222)
第 11 章	发射系统的杂散测试	(223)
11.1	概述	(224)
11.2	杂散辐射对通信系统所产生的干扰	(226)
11.3	发射系统产生杂散的原因	(228)
11.4	发射系统杂散测试的关键	(231)
11.5	蜂窝基站的杂散和互调干扰测试	(236)
11.5.1	发射机 BTS 发射带内的传导杂散测试	(236)
11.5.2	发射机 BTS 发射带外的传导杂散的测试	(237)
11.5.3	BTS 系统内部接收带内杂散和互调的测试及系统间的干扰测试	(239)
11.5.4	与其他系统共存或共址时干扰的测试	(240)
11.5.5	BTS 的互调衰减测试	(242)
	参考文献	(244)
第 12 章	功率放大器的测量	(245)
12.1	功率放大器的谐波测量	(246)
12.2	放大器的正向互调失真测量	(247)
12.3	放大器的反向互调失真测量	(248)
12.4	放大器的输出匹配测量	(249)
第 13 章	频谱分析仪基本原理及应用	(251)
13.1	概述	(252)
13.1.1	时域和频域	(252)
13.1.2	频域测试	(253)

13.2	频谱分析仪的分类	(254)
13.3	扫频超外差式频谱分析仪的测量原理	(256)
13.4	频谱分析仪的基本性能指标	(259)
13.4.1	频率测量范围	(259)
13.4.2	频率分辨率	(259)
13.4.3	灵敏度	(261)
13.4.4	内部失真	(266)
13.4.5	动态范围	(268)
13.4.6	测量精度	(272)
13.4.7	测试速度	(274)
	参考文献	(274)
第 14 章	电磁环境测试	(275)
14.1	电磁环境及其测试目的	(276)
14.1.1	电磁环境概述	(276)
14.1.2	电磁环境测试的目的和内容	(276)
14.2	电磁环境测试系统的组成及测试方法	(277)
14.2.1	电磁环境测试系统的组成	(277)
14.2.2	测试方法	(288)
14.3	现场预判和测试报告	(290)
14.3.1	测试数据现场预判和记录	(290)
14.3.2	测试报告编制	(291)
14.4	测试需要关注的其他事项	(292)
	结束语	(294)
	参考文献	(295)
第 15 章	射频测量的不确定度分析和评估	(297)
15.1	测量的基本问题	(298)
15.1.1	测量目的	(298)
15.1.2	误差和不确定度的区别	(299)
15.1.3	测量仪器的误差和不确定度	(300)
15.2	测量不确定度的评定与表示	(301)
15.2.1	测量不确定度的表示方式	(301)
15.2.2	测量不确定度的评定方法	(301)
15.2.3	测量不确定度与测量结果符合性评价	(306)

15.3	发射功率测量的不确定度评估	(307)
15.3.1	理想的直接功率测量评估	(307)
15.3.2	存在功率失配和插入损耗的功率测量评估	(312)
15.4	频率误差测量的不确定度评估	(315)
附录 A	常用数据和公式	(319)
A.1	VSWR 和回波损耗、反射系数、失配损耗、匹配效率 之间的关系	(320)
A.2	dBm 和 mW (W) 之间的关系	(321)
A.3	常见射频同轴电缆	(321)
A.4	方向性误差	(323)

绪 论

就如何提高射频和微波测量的精度展开讨论，并介绍本书的结构框架和各章内容安排。



射频和微波测量的内容可谓丰富多彩。虽然被测对象从器件角度来分可以简单地分为无源和有源器件两大类，整机则可以简单地分为发射机和接收机，但是由于测量环境和条件的不同，测量要求的不同，甚至测试者对测量方法的理解不同，得出的结果也不尽相同，这就给射频和微波测量带来了挑战。通过对射频和微波测量的深入研究，不但可以掌握测量结果的准确性，而且你会发现射频和微波测量并不是一件枯燥无味的工作，恰恰相反，而是充满了挑战和乐趣。

要完成一次准确的射频和微波测量，最主要的秘诀就是从系统角度来考虑问题。这种系统性的思维方式并非一日之功，而是需要在日常工作中的不断积累。下面从系统角度，从 DUT（被测器件）、测试仪器、测试系统和附件等各方面考虑，综合分析如何保证射频和微波测量的准确性。

从系统角度来看待射频和微波测量

一个典型的射频和微波测量系统是由被测器件（DUT）、测试路径、测试仪器和测试环境四大要素组成的。下面我们从一个简单的射频功率测量系统（见图 0.1）着手，讨论一个完整的射频和微波测量系统是如何组成的。



图 0.1 典型的功率测量系统

图 0.1 中包含了组成一个完整的射频和微波测量系统的四大要素，包括被测放大器（AUT）、测试路径（测试电缆）、测试仪器（功率计），当然不能忽略的还有测试系统所处的环境；测量目标是放大器的真平均功率。为了分析问题简单起见，假设系统中没有加入任何射频转接器。

首先我们来分析被测放大器的输出信号特性，最容易想到的就是发射机的功率等级、载频频率，这是任何测试者都会的。然而接下来的问题并非人人都会考虑到：放大器输出信号的调制类型是什么？调制带宽是多少？峰值功率和平均值功率的比值（峰均功率比）是多少？所有这些都影响到最终测量结果的准确性。

其次我们再来看看如何选择功率计。当然，功率测量范围和频率范围是首先要考虑的，进一步要考虑的是：功率计是否支持被测信号的调制类型？是否适合宽带调制的功率测量？如果是二极管检波的功率计，其线性范围是多少？能否适应高峰均功率比的功率测量？

选择好了功率计以后，最后来看看那条测试电缆，这往往是最容易被忽略的环节，而恰恰就是这个看似最简单的环节，会大大影响测量结果的准确性！除了选择与 AUT 相对应的频率和功率范围以外，驻波比是在任何测量系统中都要十分强调的，在本案例中也不例外。在功率测量中，失配误差是最终测量误差的主要组成部分；测试电缆还存在插入损耗，这个插入损耗必须在最终测量结果中加以校准。在有些功率计中，补偿（Offset）功能可以将电缆的插入损耗加以补偿，就好像把测试点从电缆端口直接移到发射机输出口一样，如果没有这项功能，则必须人为地加以修正。

到此为止，我们已经考虑了各项相关的因素，这些因素足够保证测量结果的准确性了吗？答案是否定的。还要考虑到测试电缆的幅度稳定性，因为在这种测试环境下，通常采用柔性测试电缆，也就是编织电缆。电缆在不同的弯曲半径时，插入损耗是有所变化的。此外，还要考虑测试环境，有没有大功率的干扰信号从各个环节串入测量系统。可能在工程测量中，某些因素可以忽略不计，但是我们在分析一个测量系统是否完善时，所有问题都必须考虑到。

在以上的分析中，我们已经大致了解了射频和微波测量系统，下面我们将针对测量系统中的四大要素进行逐一分析。

被测器件（DUT）

虽然被测器件可以简单地分为无源和有源两大类，但是在测量之前必须对被测器件的各项本质和特性进行仔细的审视。

无源器件又可以分为路由器件和调控器件。路由器件的主要功能是提供射频和微波通路，如电缆、连接器、功率分配器、开关等；调控器件则是控制射频和微波信号的幅度大小，如定向耦合器、衰减器等。

无源器件比较容易处理，在整个工作频率范围内和容许的最大输入功率条件下，无源器件的插入损耗和相位偏移都是比较稳定的。需要特别注意的是，所有的无源器件在被注入两个以上大功率信号时都会产生无源互调产物，这个问题在近年来越来越受到重视。无源互调产物会落入本系统的接收或发射频段，有时也会落入到其他通信系统的工作频段内，从而严重影响到通信系统的正常工作。无源互调产生的原因很多，如采用镍和铁材料、表面接触不良等。有关无源互调的问题，将在第 10 章中详细讨论。此外，有些调控器件（如大功率衰减器）则需要考虑功率系数和温度系数，这些指标意味着在不同的功率和温度条件下，衰减量会发生一定的变化，这些变化将会影响到放大器的输出功率和增益的测量精度，所以在测量中应该予以充分考虑并加以修正。

当被测器件是有源器件时，需要格外小心谨慎。有源器件（如放大器）具有一定的线性工作范围，对输入功率非常敏感，在不同的输出电平下，会产生不同的测量结果。通常对放大器的输出电平定义为 1 dB 压缩点功率。为了将放大器的电平调控到检测仪器（如频谱分析仪）的适合输入电平，需要增加一个衰减器或者定向耦合器。至于衰减器的衰减量或者定向耦合器的耦合度大小，则需要从频谱分析仪的线性输入电平加以考虑；而衰减器的功率容量的选择则需要考虑其功率系数和温度系数指标。此外，衰减器自身的无源互调性能也是需要考虑的重要因素。

可见，要正确完成一项射频和微波测量，各项因素环环相扣，任何一个环节的不合理设置都会直接影响到最终测量结果的准确性，这和生活中的木桶原理有着异曲同工之妙。

收发信机的测量则与器件有很大的不同，整机和器件的测量有着不同的观察角度。在整机中，各种器件的性能指标以及系统的互联已经被调节到最佳状态，而测试者主要关心的是整机指标而不是器件指标。以无线电监测站为例，其中所配置的仪表基本上是基于整机测量考虑的，如宽带的信号发生器和频谱分析仪等；而器件制造商则主要以矢量网络分析仪为主。

测试路径（测试附件和系统）

任何一个被测器件都位于信号发生器和分析仪之间，而连接被测器件和仪器之间的桥梁就是测试附件或测试系统。千万不要忽视这些测试附件，有条件时最好能固化这些测试附件，使之成为一个标准化的测量系统。仪器供应商在提供整机时，最多会提供与仪器的最高工作频率相符的测试电缆。而在真正的测试过程中，会遇到各种不同的情况而需要采用不同的附件，所有这些附件都会影响到测量结果的准确性，这就需要测试者对相关的测试附件有深入的了解。常用的测试附件也有路由器件和调控器件两大类。

选择正确的测试电缆和连接器

在选择测试系统中电缆的规格时，除了要考虑插入损耗和 $VSWR$ 以外，电缆的稳定性一定要好。在射频和微波频段，常用的电缆有半刚性电缆、半柔性电缆和柔性编织电缆等。

半刚性电缆不容易被轻易弯曲成形，其外导体采用铝管或铜管制成，射频泄漏非常小（至 18 GHz 时小于 -120 dB），在测试系统中造成的信号串扰可以忽略不计，而且无源互调特性也非常理想，因而在标准化的测试系统中被大量采用。

半柔性电缆的性能指标接近于半刚性电缆，而且可以手工成形，但其稳定性