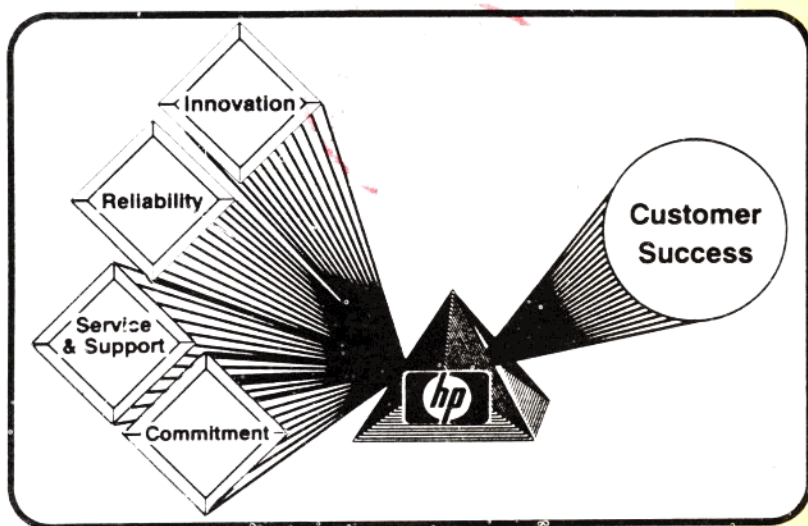




HP 电子测量技术研讨会 论文集

Test & Measurement Symposium

目 录

HP8510B —— 高性能天线和雷达反射截面分析仪	1-28
利用 HP8753B 射频网络分析仪测试线性及非线性器件的新式测量技术...	29-51
借助于频谱分析仪解决电磁干扰问题	52-62
光纤时域反射计 (OTDR)	63-75
光时域反射计中的新技术	76-102
光波元器件分析仪	103-128
HP VXI 系统的更新	129-140
数字微波无线电系统多径衰落过程的动态模拟	141-158
数字微波测试中非线性测量	159-164
不中断业务数字无线电测试与中断业务测量之间的关系	165-171
电源测试	172-182

HP8510B

——高性能天线和雷达反射截面分析仪

齐彩云译

用 HP8510B 网络分析仪进行天线和雷达反射截面测试

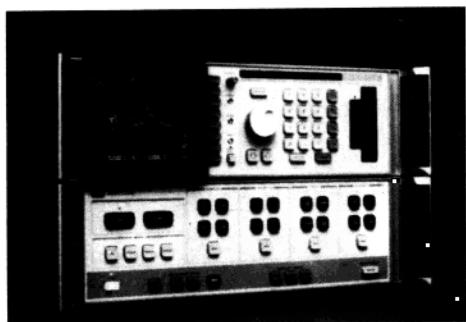
摘要: HP8510B网络分析仪包含了新的,增强型特性,这种特性已经使HP8510B的测量领域超出了网络分析仪的范围。它包含了高性能天线和雷达反射截面测试功能。

这篇文章描述了用于天线和雷达反射截面测试的远场,近场和紧凑型天线及雷达反射截面测试场的测量技术。讨论了这些测量技术对测试设备的特殊要求以及如何对 HP8510B 进行适当配置以满足这些要求。其它题目,包括谐波取样器 (HP8511A), HP8510B 所用的外部混频器前端及用于去除雷达反射截面场地杂波的软件(时域)和硬件选通控制技术也在此文中有所描述。

THE HP 8510B AS A HIGH PERFORMANCE ANTENNA AND RCS ANALYZER

6751

HP 8510B PRODUCT DESCRIPTION



6752

HP 8510B ANTENNA TEST CAPABILITIES

- 4-Input Phase-locked Receiver
- Magnitude and Phase Measurement
- Broad Frequency Coverage
- High Measurement Sensitivity
- Extremely Fast Measurement Speed
- Precise Triggering
- Frequency List Mode
- HP-IB & Analog Outputs
- Proven Reliability (>3000 hr MTBF)

6753

天线和雷达反射截面(RCS)测量有很多不同的方法,每种方法都代表了一种对测试设备和测量系统的挑战。有几种不同种类的天线和雷达反射截面测试方法,所需要的测试设备无本质上的变化。这篇文章描述了如何配置 HP8510B 网络分析仪,以进行高性能天线和雷达反射截面的测量。

HP8510 网络分析仪是一种高性能的激励/响应测试系统。该系统由微波源,接收机前端以及做为中频(IF)接收机和系统控制器的 HP8510B 组成。这种系统的模块特性和它的灵活性使得 HP8510 在不同的天线和雷达反射截面应用中发挥了作用(文献 1)。最近,HP8510B 的增强特性极大地扩展了分析仪在天线和雷达反射截面应用方面的能力。(这篇文章列举了很多只有在 HP8510B 中才呈现的特性,如果想将 HP8510A 升级到 HP8510B,增加 HP85103A 性能升级包即可(文献。))

HP8510B 可以配置成多路输入,锁相的天线测试接收机。这种接收机提供了非常宽的频率复盖和动态范围以及测量灵敏度。它的硬件控制和快速的内部处理相结合,提供了精确的连续波图形测量。这种测量速度之快,可以进行近场天线测试。该测试系统的频率表格模式允许测试多频情况。设备提供了接口总线(HP-IB)和模拟输出口,以便进行自动测量或与天线图记录仪直接连接。这些能力和它的已经被验证过的可靠性(平均无故障时间 MTBF > 3000 小时)相结合使 HP8510B 在天线测试方面是一个非常具有吸引力的选择。

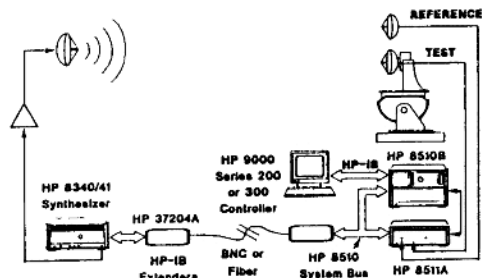
HP 8510B RCS CAPABILITIES

- High Speed Measurements
- Broad Frequency Coverage
- RCS Error Correction
- Time Domain Imaging
- Software Gating
- Pulsed-RF Operation
- Antenna, RCS, and Network Analysis

OUTLINE

- I. HP 8510B FRONT ENDS
 - II. ANTENNA TESTING
 - III. RCS TESTING
 - IV. SUMMARY/ RECOMMENDATIONS
- I. HP 8510B FRONT ENDS
 - A. HP 8511A CONFIGURATION
 - B. EXTERNAL MIXER CONFIGURATION
 - C. COMPARISON OF FRONT ENDS

HP 8511A CONFIGURATION



对于雷达反射截面测试来说,HP8510B 提供了一种极为迅速的供多达 801 个频率点的宽带 RAMP 扫描模式。内部标准模块可以被用来自动修正 RCS 系统测量误差的数据。时域处理提供了 RCS 去除假象信号和软件选通门功能。对于更先进的 RCS 系统,分析仪也可以在脉冲调制射频的测试条件下工作。

除天线和 RCS 测试能力外,HP8510B 还可以做高性能网络测量。

我们首先讨论天线和 RCS 测量中所使用的 HP8510B 的配置,主要讨论 HP8511A 和外部混频器前端。接下来讨论几种天线和 RCS 的测试分类,以便给出 HP8510B 在满足不同应用的特别需求时的配置。还要讨论远场,紧凑测量场及近场天线测量和远场,紧凑测量场及脉冲调制射频的 RCS 测量。然后做出小结。

首先介绍 HP8510B 天线和 RCS 测试的配置,特性及可以达到的性能。有两个基本的接收机配置,可以使用 HP8511A 或者外部混频器前端。然后介绍每种配置的性能比较。

图 6758B 分析仪由微波源 HP8340B / HP8341B,一个做射频或中频变换的接收机前端和做为中频接收机与控制器的 HP8510B 组成。本配置显示了做接收机前端的 HP8511A 变换器,HP8511A 采用了谐波取样技术,把它的四个输入端的每个射频变换到 20MHz 的中频信号,该中频信号由 HP8510B 进行处理。射频信号源由 HP8340B / 8341B 扫频频率综合器提供 (HP8350 扫频振荡器系列也是兼容的)。信号源和测试设备经专用 (HP-IB) 系统总线受控于 HP8510B,另有一中频电缆连接测试设备和信号源。由于 HP8511A 内部的压控振荡器 (VCO) 是锁相到输入进来的射频信号上 (而不是锁到频率合成的本振上),因此,射频信号源可以离接收机很远,用 HP-IB 扩展器进行远程控制。

为了测量幅度和相位,HP8510B 必须有一个在测量过程中保持恒定的基准信号。该信号提供了被测量参数,被测 / 基准的共同标准。通常,这个幅度和相位基准信号也做为锁相基准信号。(虽然不总是这种情况,例如,后面将要说明的脉冲调制连续波 RCS 测试就不是这种情况)。锁相基准信号是从射频源经另一个基准天线或经一根电缆耦合到测试设备中的。

ADVANTAGES OF HP 8511A

- Compact, Low Cost Front End
- Broad Bandwidth (45 MHz—26.5 GHz)
- Wide Dynamic Range (75—105 dB)
- Extremely Fast RAMP Sweep

TRADEOFFS

- Limited Sensitivity
- Susceptible to RFI
- RF Cable Losses

HP8511A 提供了一个紧凑的, 低费用的微波接收机前端, 该前端具有极宽的频带 (45MHz—26.5GHz) 和宽的动态范围 (75—105dB 依赖于取平均情况)。当工作在 RAMP 扫频模式时 HP8511A 可提供极快的宽带 RCS 测量。

HP8511A 的缺点是它选用了谐波取样仪。相对来说, 这种技术具有较高的噪声系数, 限制了其输入灵敏度。HP8511A 虽然不受射频谐波或次谐波的影响, 但它却对其它频率上的射频干扰 (RFI) 很敏感。(后面将要更多地谈到这个题目)。同时, 由于射频信号是从天线馈送到测试设备上去的, 还存在射频电缆损耗的问题。

HP 8511A PERFORMANCE

	Frequency Range	
	0.045 - 20 GHz	20 - 26.5 GHz
Dynamic Range 0 Averages	75 dB (-10 to -85 dBm)	68 dB (-15 to -83 dBm)
Dynamic Range 1024 Averages	105 dB (-10 to -115 dBm)	98 dB (-15 to -113 dBm)

* Signal to Noise Ratio of 13 dB.

该幻灯片列举了 HP8510B / HP8511A 配置, 在零次平均与 1024 次平均 (后面将对由于取平均而使噪声减少的效应做更详细的介绍) 时的动态范围, 最大输入及灵敏度 (信噪比为 13 分贝时)。这些数字有助于对特定的天线 / RCS 范围测试的最佳配置的确定。

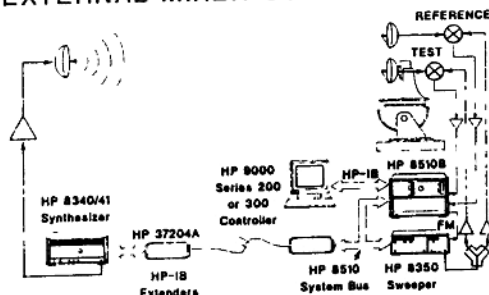
外部混频器配置。

在那些需要最高接收机性能的应用场合, 应选择 HP8510B 外部混频器的配置。在这种配置中, 前面方框图 (6758) 中的 HP8511A 变频器由外部的混频器所取代。HP8350 扫频仪做为锁相本振源, 并有功率分配器, 中频和本振放大器 (视需要) 组成系统。这种测试配置使测试配置和测试性能的多样化成为可能。

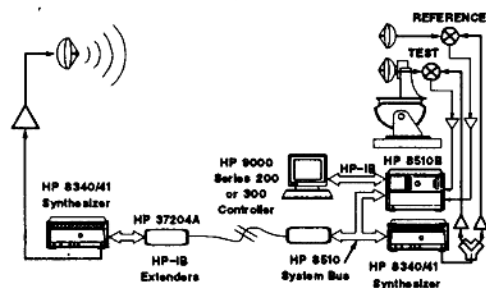
图中所示的混频器位于被测天线和基准天线附近。HP8350 本振源的输出经功率分器和两路隔离放大器分别送至两个混频器。混频器的 20MHz 中频输出经放大后送至 HP8510B。本振源锁相到输入的基准信号上。HP8510B 通过其系统总线控制射频源和本振源。

使用适当的“HP83500 系列源模块”(倍频器) 和包括毫米波混频器的测试箱, 上述配置可以扩展到毫米波频率。

EXTERNAL MIXER CONFIGURATION



SYNTHESIZED LO CONFIGURATION



用 HP8340B / 8341B 频率综合扫频仪做为本振源, 构成非锁相全部频率合成测试配置也是可行的。使用频率合成和本振, (不象后面将要说明的锁相本振), 对基准混频器的远程能力无限制。此外, 它允许在无基准信号的情况下做图形(只有幅度)测试。

ADVANTAGES OF EXTERNAL MIXERS

- Improved Sensitivity
- Minimum RF Cable Losses
- Reduced RFI Susceptibility
- Extension to Millimeter

采用外部混频器的接收机前端允许射频到中频(20MHz)的变换在被测天线附近进行。HP8510B 外部混频器配置的优点包括改善测量灵敏度, 使天线与接收机之间的射频电缆(和旋转关节)的损耗最小并减少对杂散射频干扰信号(RFI)的敏感度。外部混频器配置也有能力复盖到 100GHz 的全毫米波段(无死点)。

FUNDAMENTAL VS. HARMONIC MIXING

FUNDAMENTAL MIXING:

$$IF = LO - RF$$

HARMONIC MIXING

$$IF = N * LO - RF$$

N = MIXER LO HARMONIC NUMBER*

外部混频器配置可工作在基波, 也可以工作在谐波混频。基波混频时, 中频频率等于本振频率减去射频频率。谐波混频器是一种利用本振的谐波信号去变频的过程。谐波混频器的输出为: $IF = (N * LO) - RF$, 这里 N 是本振的谐波次数。每种混频技术都有其特定的优点和缺点。

ADVANTAGES OF HARMONIC MIXING

- Lower Frequency LO Source
- Lower Cost of LO Source, Amplifiers, Cabling, and Rotary Joints
- Better Mixer RF/ LO Isolation

HARMONIC MIXING TRADEOFFS

- Higher Conversion Loss Reduces Sensitivity (by $> 20 \times \log_{10}(N)$)
- Susceptible to RFI at Each LO Harmonic

RFI EXAMPLE:

$$RF = 14 \text{ GHz}, LO = RF / 7 = 2 \text{ GHz}$$

The Mixer Will Also Convert Signals at 2, 4, 6, 8, 10, and 12 GHz With Lower Loss, and at 16, 18, 20, ... GHz With Higher Loss.

FUNDAMENTAL MIXING

ADVANTAGES

- Highest Sensitivity Because of Low Mixer Conversion Loss
- Highest RFI Immunity Because of Fundamental LO Frequency

TRADEOFF

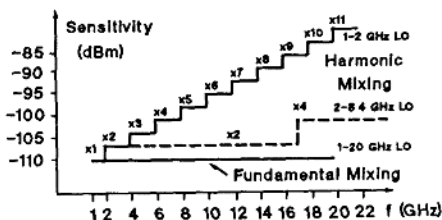
- Increased Cost of LO Source, Cables, Amplifiers, and Rotary Joint

谐波混频器的使用降低了对本振源的频率要求,所降低的频率倍数等于谐波次数。例如在 X4 谐波混频器中,工作在 16GHz 的射频频率,只要求 4GHz 的本振频率。这就减少了本振源,隔离放大器,电缆和天线旋转关节的费用。谐波混频器比基波混频器通常还具有更好的射频对本振的隔离性能。这种隔离减少了对本振隔离放大器的需求。对于低次数的谐波混频器来说,上述改善几乎不会影响性能。

谐波混频器的主要缺点是增加了变频损耗(数值大约为 $20 \log(N)$ 分贝)。使测量灵敏度降低。另外,由于谐波混频器的前端仍可以在每一个谐波频率上对信号进行下变频。因此,它对杂散的射频信号的干扰很敏感,尤其是在较低的本振谐波频率上,它的变频损耗较小,干扰就会更大。例如,如果使用 X5 的谐波混频器去测量 15GHz 的射频信号,那么它也将对 3、6、9 和 12GHz 的信号变频并且变频损耗较低。同时也会将 18、21、24……GHz 的信号变频,但变频损耗较大。详见文献 3。

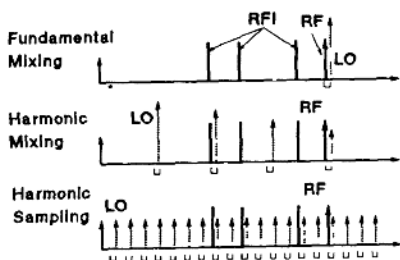
基波混频器前端为 HP8510B 天线测试配置提供了最高的测量灵敏度。因为它的变频损耗低(典型值为 6—8 分贝)。由于在混频器中只有一个本振信号存在,因此,它具有最高的对射频干扰信号的控制度。采用基波混频器的缺点是增加了本振源,隔离放大器,电缆以及旋转关节的费用。因为这些部件在基波混频时需要比用谐波混频工作在更高的频率上。

SENSITIVITY COMPARISON



这张幻灯片给出了不同混频方式可以达到的不同灵敏度的图示比较。基波混频呈现了最高灵敏度,这种灵敏度在混频器的全部频率范围内保持恒定。用 2 到 8.4GHz 本振的低次数谐波混频器的灵敏度稍差,这种特性使它对很多应用都具有吸引力。用 1—2GHz 本振的高次数谐波混频器,起始点灵敏度较高,但随着频率的增加其灵敏度以阶梯的方式变坏(在频率的高端恶化 30 分贝)。

RFI COMPARISON



这张幻灯片说明了基波混频,谐波混频和 HP8511A 谐波取样器配置时射频干扰的敏感度。采用基波混频时,只有离被测射频频率很近的射频干扰信号才造成干扰。谐波混频时,同时存在几个本振谐波,这就增加了射频干扰被检测出来的可能性。较低次数本振谐波混频器的变频损耗较好。上述两者的结合就是,为什么应选用最低的实际可能的谐波混频次数。采用谐波取样器存在很多本振谐波,在大约相等的变频损耗条件下,它对射频干扰更敏感。

EXTERNAL MIXER CONSIDERATIONS

- Reference Mixer Phaselocked Loop can Have up to 300 Ft. Total Delay (Unlimited with Synthesized LO)
- Supports Single Point, Fast CW, and Step Sweep Modes

在外部混频器方案配置中,用锁相的 HP8350B 做为本振时,锁相环总的电延迟限制在 300 英尺(需要选件 H15)。这就限制了 HP8510B 与基准混频器(不是被测混频器)之间的分开距离最大为 150 英尺(45.5 米)。除 Ramp 扫描操作外,外部混频器方案支持仪表的所有特性和数据模式。

EXTERNAL MIXER PERFORMANCE

NOISE FLOOR CALCULATIONS

$$P_n = kTfB/A$$

K = Boltzman's Constant

T = Front End Temperature

F = Front End Noise Figure

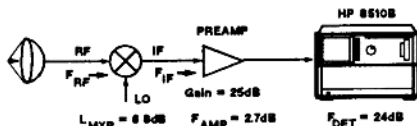
B = Receiver Noise Bandwidth

A = Averaging Factor

$$P_n(\text{dBm}) = -134 \text{ dBm} + F(\text{dB}) - 10 \log_{10}(A)$$

下述例子显示 如何来计算外部混频器方案配置时 HP8510B 的性能。接收机平均基噪声由方程 $P_n = kTfB/A$ 来描述。这里 K 为波尔兹曼常数 ($1.379 \times 10^{-20} \text{ mw/K-Hz}$), T 为接收机前端的噪声温度 (开文), F 为接收机前端的噪声系数, B 为噪声带宽 (对 HP8510B 来说, 约为 10KHz), 以分贝表示 (假设 $T = 290\text{K}$; $B = 10\text{KHz}$), $P_n(\text{分贝毫瓦}) = -134 \text{ 分贝毫瓦} + F(\text{分贝}) - 10 \log(A)$ 。

COMPUTING NOISE FIGURE



$$F_{IF} = F_{AMP} + (F_{DET} - 1) / G_{AMP} \quad (\text{linear})$$

$$F_{RF}(\text{dB}) = L_{MXR}(\text{dB}) + F_{IF}(\text{dB}) = 11 \text{ dB}$$

HP8510B 中频检测器 (20MHz 输入) 其噪声系数 (F_{DET}) 为 24 分贝, 在 10KHz 中频带宽测量时, 平均基噪声为 -110 分贝毫瓦。增加一级噪声系数为 2.7 分贝, 增益为 25 分贝 (AVANTEK ACT-200) 的中频前置放大器, 根据方程 $F_{ZF} = F_{AMP} + (F_{DET} - 1) / G_{AMP}$, 将使中频噪声系数 (F_{ZF}) 减少到 4.2 分贝。射频噪声系数 (F_{RF}) 约等于中频噪声系数 (F_{ZF}) 加上混频器的变频损耗。采用 6.8 分贝变频损耗的基波混频器的射频噪声系数为 11 分贝。射频电缆损耗直接加到射频噪声系数上去。如采用低噪声射频前置放大器, 噪声性能会有更进一步的改善。

MEASUREMENT SENSITIVITY

AVERAGE NOISE FLOOR

$$P_n = -134 \text{ dBm} + F_{RF}(\text{dB})$$

$$= -123 \text{ dBm}$$

SENSITIVITY = PEAK Noise Floor

$$S_{MIN} = P_n + 13 \text{ dB}$$

$$= -110 \text{ dBm, (no averages)}$$

现在可以算出 HP8510B 的基噪声: $P_n = -123$ 分贝毫瓦 (-134 分贝毫瓦 + 11 分贝 F_{RF})。这里 P_n 代表平均噪声电平。峰值噪声电平要高得多。白热噪声的峰值功率比平均功率超出量不会大于 10 分贝 (这种估计的可靠性极高: > 99.96%)。此外, 采用减去背景噪声的标准方法时 (RCS 标准), 噪声影响增加了分贝。因此, 为了得到有用的射频测量灵敏度, 要在平均噪声电平上加 13 分贝, 或 $S_{min} = P_n + 13$ 分贝。对前面这个例子 $S_{min} = -110$ 分贝毫瓦。

EFFECT OF AVERAGING

- Similar to IF Bandwidth Reduction
- Improves Sensitivity by $10 \log_{10}(A)$
- Increases Measurement Time by 200 Microseconds/ Average

EXAMPLE: 1024 Averages

- Improves Sensitivity 30 dB
($S_{MIN} = -140$ dBm)
- Adds 205 msec to Measurement Time

取平均值使测量灵敏度改善为: $10 * \log(\text{平均值因子})$, 它与将中频带宽减少平均因子这么多倍的效果类似。每一次的平均对测量时间增加了 200 微秒 / 每点。平均因子为 128 中频灵敏度提高了 21 分贝, 即灵敏度为 -131 分贝毫瓦 (注: 原文为 -134), (等效于中频带宽从 10KHz 减少到 78Hz, 即减少了 128 倍,) 但测量时间却使每点增加了 25.6 毫秒。(注: 原文为 205 毫秒)。

DYNAMIC RANGE

UPPER LIMIT

$$S_{MAX} = \text{MAX IF INPUT} - G_{AMP} + L_{MXR}$$

$$= -10 \text{ dBm} - 25 + 6.8 = -28 \text{ dBm}$$

DYNAMIC RANGE (DR)

$$DR = S_{MAX} - S_{MIN}$$

$$DR = -28 - (-110) = 82 \text{ dB}$$

$$= -28 - (-140) = 112 \text{ dB} \quad (1024 \text{ avgs})$$

动态范围测量的上限(S_{max})可由 HP8510B 的最大中频输入电平(-10 分贝毫瓦)加上它所遇到的损耗, 减去增益来得到。因此, $S_{max} = -10$ 分贝毫瓦 (最大中频输入电平) + 7 分贝 (射频 / 中频变频损耗) - 25 分贝 (中频前置放大器增益) = -28 分贝毫瓦。测得的动态范围, $DR = S_{max} (-28 \text{ 分贝毫瓦}) - S_{min} (-113 \text{ 分贝毫瓦})$, 则 $DR = 82$ 分贝 (平均因子为零时) 或 112 分贝 (平均因子为 1024 时)。

SUMMARY: FRONT END FORMULAS

- IF Noise Figure: $F_{IF} = F_{AMP} + (F_{DET} - 1) / G_{AMP}$
- RF Noise Figure: $F_{RF} = L_{MXR}(\text{dB}) + F_{IF}(\text{dB})$
- Average Noise Floor: $P_n = KTFB/A$
 $P_n(\text{dBm}) = -134 \text{ dBm} + F_{RF}(\text{dB}) - 10 \log_{10}(A)$
- RF Sensitivity: $S_{MAX} = P_n + 13 \text{ dB}$
 $S_{MIN}(\text{dBm}) = -121 \text{ dBm} + F_{RF}(\text{dB}) - 10 \log_{10}(A)$
- Max RF Input:
 $S_{MAX}(\text{dBm}) = -10 \text{ dBm} + L_{MXR}(\text{dB}) - G_{AMP}(\text{dB})$
- Dynamic Range:
 $DR = 111 \text{ dBm} - F_{IF}(\text{dB}) - G_{AMP}(\text{dB}) - 10 \log_{10}(A)$

这张幻灯片总结了外部混频器前端性能的计算公式。

EXTERNAL MIXER PERFORMANCE

Parameter	Avg.	Mixing Type	
		Fundamental (7 dB Loss)	Harmonic (x4) (18 dB Loss)
Max Input:		-28 dBm	-17 dBm
Sensitivity:	0	-110 dBm	-99 dBm
	1024	-140 dBm	-129 dBm
Dynamic Range:	0	82 dB	82 dB
	1024	112 dB	112 dB

这张表列出了使用基波和 4 次谐波混频时,外部混频器前端,在平均因子为零和 1024 时的测量性能。测量平均改善了灵敏度,改善值为: $10\lg(\text{平均因子})$ 。同时增加了测量时间。增加的时间为: $200 \text{ 微秒} * (\text{平均次数}) * (\text{测量点数})$ (不包括 RAMP 扫描模式,这里平均因子要乘以扫描时间)。

COMPARISON OF FRONT ENDS

Parameter	Ranking		
	Fundamental Mixers	Harmonic Mixing	HP 8511A
Sensitivity	1	2	3
RFI Immunity	1	2	3
Dynamic Range	1	1	2
Cost	3	2	1

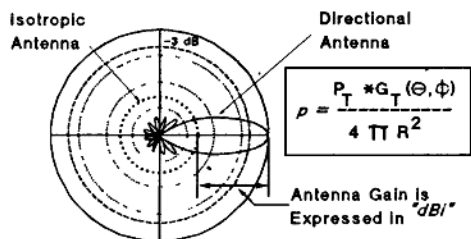
这张表列举了 HP8511A、基波混频、谐波混频三种情况时混频器前端在灵敏度,射频干扰抑制度,动态范围以及费用方面的比较。理解了这些考虑因素之后,我们现在开始讲解天线和 RCS 的测量。

II. ANTENNA TESTING

- A. ANTENNA BASICS
- B. CONVENTIONAL RANGES
- C. FAR-FIELD REQUIREMENTS
- D. OTHER ANTENNA TEST TECHNIQUES

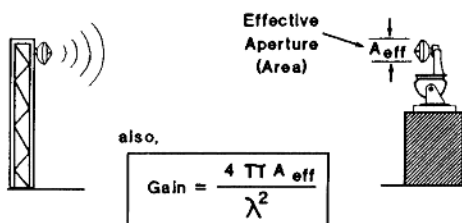
在讨论特定的天线测试配置之前,简单地回顾一下天线基础知识是有用的。接下来看看常规的天线测试场,复习一下远场测试要求,然后再讨论其它的天线测试技术。

ANTENNA RADIATION PATTERN



天线辐射图描述了能量的定向是以方位和俯仰角为函数分布的。天线图的重要特性包括主波束的定位, -3 分贝(半功率点)波束宽度以及相对旁瓣电平。幅射场密度是由它的功率密度方程(单位面积上的功率)来描述的。天线增益描述了天线能量集聚的能力,并以相对于全向辐射器(dBi), (它在各个方向辐射相同)的相对分贝数来表示。

ANTENNA EFFECTIVE APERTURE



被辐射的波阵面在相位上是球形的,但是大部分能量却被集中在最高增益方向,在测试场的另一端,接收天线内能遇到被辐射波阵面的一部分,该部分与接收天线的有效开口面积成比例,这种有效开口面积描述了天线对入射场来说它的电尺寸有多大。有效开口面积与天线增益的关系由所列公式给出。

RECEIVED POWER EQUATION

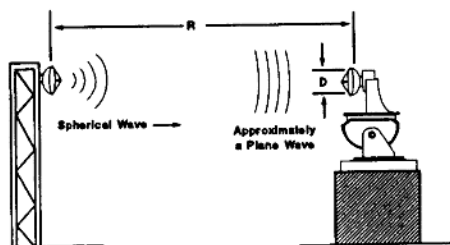
$$P_R = \frac{P_T G_T}{4 \pi R^2} \cdot A_{\text{eff}}$$

or, Since $A_{\text{eff}} = \frac{G_R \lambda^2}{4 \pi}$

$$P_R = P_T G_T G_R \cdot \frac{\lambda^2}{4 \pi R^2}$$

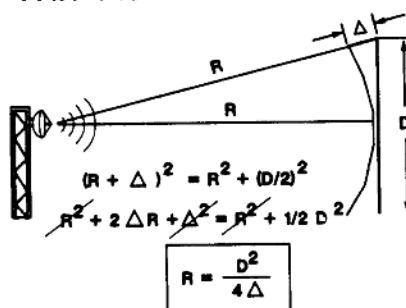
接收功率方程是发射功率密度与接收天线有效开口面积的乘积。利用天线开口面积与增益的关系,功率方程可以被写成:接收功率与发射功率,收发天线增益成正比,与表示成波长单位的距离平方成反比。由于接收到的功率与两个天线的距离平方(R^2)成反比。因此,在不违反远场测试要求的情况下,尽可能保持两天线的距离越近越好。

FAR-FIELD REQUIREMENTS



虽然发射天线辐射的是球形波阵面,但是对大多数应用来说,接收天线离发射天线都很远。因此它的开口面积接收到的是波阵面的一部分,基本上是一个平面波。由于这个原因,对天线图形来说,通常希望用平面波照射。大多数天线测试场的发射和接收天线距离都很远,以保证在接收天线的开口面积上看,入射场看上去是平面场。这种测试被称之为远场测试。

FAR-FIELD DERIVATION



远场测试所需要的两个天线之间的距离与相位差(Δ)量有关。对于给定的被测天线 Δ 量应被认为是可以接受的。用Pythagorem原理,在场地几何关系中忽略微小项 Δ^2 就会发现距离 R 与天线的最大尺寸直径 D 成正比,与 Δ 成反比。

FAR-FIELD RULE OF THUMB

For 22.5°
Phase Taper

$$R > \frac{2D^2}{\lambda}$$

or, since $\lambda = c/f$

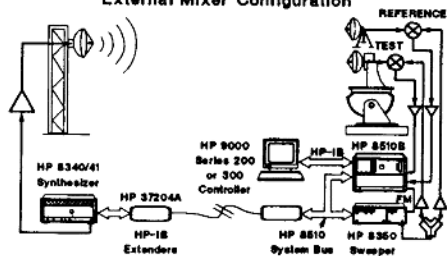
$$R(m) > 6.7 D^2 f \text{ (GHz)}$$

*Range Size Requirement Increases
With Frequency and Antenna Size*

令 Δ 等于 $1/8$ 波长(22.5°),得到一经常使用的远场距离条件经验公式, $R = 2 * D^2 / \text{波长}$,这里 D 是天线口径的最大尺寸。该距离也可以写成: $6.7 * D^2 * \text{频率}$ 。从这个式子看出远场距离随着天线尺寸和工作频率的增加而增加。该公式是个近似式,它仍然允许在天线开口面积上的相位差为: 22.5° ($1/8$ 波长)。

CONVENTIONAL OUTDOOR RANGE

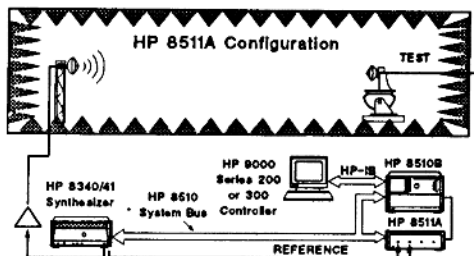
External Mixer Configuration



用基波或低次谐波混频技术的外部混频前端的 HP8510B 配置特别适合于长场地天线测试的应用。这种配置提供了高灵敏度和高的射频干扰抑制制度,这时非常长的室外场地距离是很重要的。锁相基准信号是采用独立的基准天线接收从辐射源来的恒定的信号中获得的。这种配置适合于大多数的室外测试应用。

CONVENTIONAL INDOOR RANGE

HP 8511A Configuration



对于室内天线测试,射频灵敏度不是什么问题,也不需要高度的射频干扰抑制制度。因此,HP8511A 配置通常是最好的解决办法。在这种情况下,如果不是距离太长的话,锁相基准信号可以用一根射频电缆来提供(否则可以用一个基准天线)。为了得到好的相位测量稳定度,测试信号路径与基准信号的电缆部分要做到电平衡,这一点是非常重要的。当需要较高的灵敏度和动态范围时,也可以使用谐波混频器方案。

POSITIONER INTERFACE FOR AUTOMATIC ANTENNA TEST

- Requires Programmable Positioner Controller
- Use Computer to Read Position and Output HP-IB Triggers to HP 8510B
- Have Positioner Controller Output "Record Increment Pulse" (TTL) to Trigger HP 8510B

对于自动图形测量,数据的获得可以使用 HP-IB 或者用硬件触发控制进行。采用 HP-IB 触发,频率列表,单点,步进扫描以及 RAMP 扫描各种模式都可以使用。对于硬件触发控制,许多可编程的位置控制器可以提供“记录增量脉冲”不希望的天线位置去直接触发 HP8510B 的快速连续波模式。在每一个 TTL 触发器中,获得一个数据点之后,马上送到计算机中去处理,所用总的时间周期少于 1 毫秒。

INTERFACE FOR MANUAL ANTENNA TEST

- HP 8510B Analog Output and Single Point Mode
- Displayed Parameter is Converted to DC Voltage Compatible with Antenna Pattern Recorder Input
- Can Output Any Parameter/ Rectangular Format
- Analog Output Updates Every 30 msec (Firmware Rev. 4.0)

大多数天线图形记录仪都是模拟输入。HP8510B 有一个模拟输出可直接与它们连接。当 HP8510B 的模拟输出处在开启状态时, 显示的参数转换成直流电压后输出到 BNC 接头上, 然后提供给图形记录仪的测量输入端。任何被测参数和任何直角座标格式(包括幅度和相位), 都可以被选择做为模拟输出。HP8510B 工作在单位模式, 这种模式连续地更新被测参数(每 30 毫秒一次)。见文献 5。

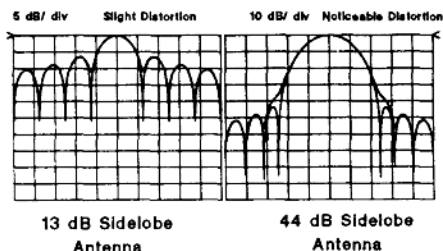
EFFECTS OF VIOLATING THE FAR-FIELD RULE

- The $\frac{2D^2}{\lambda}$ Rule is Still an Approximation
- Non-Planewave Illumination Distorts Measured Sidelobes, Nulls, Beamwidth, and Gain
- Effect is Worse for Low Sidelobe Antennas

对于大型高频率的天线, 用常规测试场得到足够的平面波照射会越来越困难。违反远场测试条件引起的影晌, 可以通过对被测天线图非平面波照射的影响的确定来加以考虑。一般来说, 这种影响引起被测天线旁瓣, 零点, 波束宽度及增益的失真。对低旁瓣的天线来说, 这种影响更加严重。

EFFECTS OF PHASE TAPER

$$R = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (22.5^\circ \text{ Taper})$$



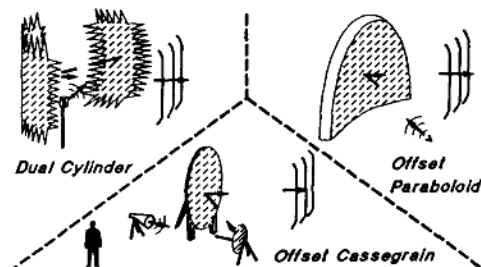
这张幻灯片说明了不同的相位差对高旁瓣 (-13dBc) 和低旁瓣 (-44dBc) 天线图的影响是多么的不同。最主要的影响是掩蔽了离主瓣最近的旁瓣。对于旁瓣为 -13 分贝的天线, 相位差的影响不是很显著。只有在相位差量超过 $2D^2/\lambda$ 公式所允许的 $1/8$ 波长时, 影响才会显著。然而, 对于低旁瓣天线, 失真是非常严重的。为了达到可以接受的天线特性, 需要极大地减少相位差量。(这会增加远场距离)

OTHER TECHNIQUES FOR ANTENNA TEST

- COMPACT ANTENNA TEST RANGE (CATR)
- NEAR-FIELD ANTENNA TEST RANGE

因此,为了对高性能天线做平面波测试,常规的测试场地需要比熟悉的 $2D^2/\lambda$ 远场经验公式所确定的距离更大。当然,有其它的测量技术可以在较小的几何空间来测试如此高性能的天线。下面一节,将描述紧凑天线测试场和近场天线测试场。

COMPACT ANTENNA TEST RANGE



紧凑天线测试场(CATR)允许大型天线在相对小的距离内做平面波测试。CATR 涉及的技术是使用大型弯曲的金属板(大约为抛物面形)将天线发出的球形波阵面变成平面波。由于它是室内测试场,因此,它具有对天气不敏感的优点并增加了安全性。三种主要的 CATR 设计是使用一个偏置卡塞格伦(哈里斯公司),两个圆柱体表面(前进微波公司),或偏置抛物面(科学亚特兰大公司)反射面的设计。

CATR REQUIREMENTS

- Required Sensitivity Depends on CATR "Transfer Function"
- Frequency Range Depends on Reflector Size and Surface Finish
- The HP 8510B Has Versatility to Meet Broad Range of Requirements

很多 CATR 性能问题已经超出了本文的讨论范围,但是两个影响到测试设备的问题是频率范围和 CATR“转移函数”。频率范围是由反射面的尺寸和表面光洁度决定的;CATR“转移函数”描述了对给定的 RCS 目标尺寸,接收功率与发射功率之比。较高的 CATR“转移函数”需要较低接收机灵敏度。一般说来,适当选择 HP8510B 的前端将满足许多 CATR 的要求。