

减小平面近场测量中多次反射误差的新方法

张福顺, 焦永昌, 刘其中, 毛乃宏

(西安电子科技大学天线与电磁散射研究所, 陕西西安 710071)

摘要: 本文给出了用平面近场技术测量超低副瓣天线时, 平面近场测量总误差与天线远场方向图副瓣电平的误差方程, 并进行了计算机仿真; 提出了减小平面近场测量中探头天线与待测天线间多次反射误差和微波暗室电特性误差对超低副瓣天线所引入的测量误差的“自校准法”, 实验结果说明该方法是解决平面近场测量中多次反射和微波暗室电特性误差较为理想的方法。

关键词: 平面近场测量; 多次反射误差; 超低副瓣天线; 补偿方法

中图分类号: TN820 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2001)07-1003-03

New Approach for Reducing the Multiple Reflection Errors in Planar Near-Field Measurement

ZHANG Fu-shun, JIAO Yong-chang, LIU Qi-zhong, MAO Nai-hong

(Institute of Antennas and EMS Scattering Xidian University, Xi'an, Shanxi 710071, China)

Abstract: In this paper, the errors of planar near field scanning technique are analyzed for ultra low side lobe antennas, and the concept of the total planar near field amplitude and phase measured error is proposed. The relationship between the total errors and the far field pattern is then presented for the ultra low side lobe antennas under test in planar near field measurement, and the related computer simulations are carried out. Finally, a “self correction” method for reducing the multiple reflection errors and the measurement environment errors is presented, which can improve efficiently the measurement precision in planar near field measurement.

Key words: planar near field measurement; multiple reflection error; ultra low side lobe antennas; correction method

1 引言

众所周知, 平面近场技术是测量超低副瓣天线等一系列高性能天线最为理想的测试手段。为了保证这类天线的测量精度, 必须对平面近场测量所产生的误差进行分析, 提出相应的补偿措施。因此, 平面近场测量误差分析与补偿技术是平面近场技术测量超低副瓣天线能否实现的关键技术, 其研究具有十分重要的实用价值。

对平面近场测量而言, 其主要误差源有 18 项, 这些误差源大致分为四类, 即探头误差、测试仪表误差、环境误差以及计算误差^[7]。这些误差源所产生的误差对大多数常规天线测量的影响几乎可以忽略不计, 但对超低副瓣天线等一系列高性能天线的测量, 这些误差源所产生的误差几乎每项都必须予以补偿或修正。值得庆幸的是国内外的同行们对前述的误差与补偿问题都有一定的研究, 并取得了较多的研究成果^[1~7]。目前尚未完全解决的误差源主要是测试环境误差中待测天线与探头天线间的多次反射误差和微波暗室电特性不理想所产生的误差。

从平面近场测量的基本理论出发可以得出, 多次反射误差难以从理论上严格地建模并进行分析或补偿, 其主要原因

是该误差源产生的机理不但与探头天线的电特性有关, 而且与待测天线(Antennas Under Test, 即 AUT)的电特性以及微波暗室的电特性有关。正因为如此, 国外有学者采用实验方法研究此问题, 其基本方法是沿轴线移动 AUT 补偿此误差, 并取得了一定的进展^[2]。本文提出的“自校准”方法与其不同。实验结果表明: 这种方法能较好地补偿多次反射和微波暗室电特性对平面近场技术测量超低副瓣天线的影响。

为了分析平面近场技术所有误差源所产生的误差对超低副瓣天线测量所引入的误差, 本文将平面近场测量中所有误差源所产生的副瓣电平测量误差等效为近场测量幅相数据的误差^[1], 并称之为平面近场测量的总误差。根据随机误差理论, 利用随机误差等效平面近场测量的总误差, 给出了超低副瓣天线远场方向图副瓣电平的误差关系式, 并以超低副瓣阵列天线为例仿真了近场测量幅相误差对该天线远场方向图副瓣所引入的误差。

2 副瓣电平测量误差分析与仿真

2.1 平面近场测量误差方程

根据平面近场测量的近远场变换理论^[2], 有限截断平面近场扫描所得的波谱函数 $D(k_x, k_y)$ 具有如下形式

$$D(k_x, k_y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} P_{rmn} \exp(jmk_x \Delta x + jnk_y \Delta y) \quad (1)$$

其中 k_x, k_y 分别是 x, y 方向波传播的波数; $\Delta x, \Delta y$ 分别是扫描面 ($z = d$) 上 x, y 方向的取样间隔; P_{rmn} 是近区探头的输出电压。

我们认为, 平面近场技术中所有误差源所产生的超低副瓣天线副瓣电平测量误差都可等效为近场测量幅相数据的误差, 且平面近场测量的总误差具有随机性。据此, 令 $P_{rmn} = |P_{rmn}| \exp(j\phi_{mn})$, $\phi_{mn} = mk_x \Delta x + nk_y \Delta y + \xi_{mn}$, 并将式(1)中的近区探头输出电压 P_{rmn} 的幅度和相位分别加上随机误差 δ_{mn} 和 φ_{mn} 。假定 $\delta_{mn}, \varphi_{mn}$ 均为独立的随机变量, 都服从正态分布, 均值都为 0。于是可得如下关系式

$$D(k_x, k_y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |P_{rmn}| (1 + \delta_{mn}) \exp(j\phi_{mn} + j\varphi_{mn}) \\ = [D_1(k_x, k_y) + jD_2(k_x, k_y)] \quad (2)$$

其中

$$D_1(k_x, k_y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |P_{rmn}| (1 + \delta_{mn}) \cos(\phi_{mn} + \varphi_{mn}) \quad (3a)$$

$$D_2(k_x, k_y) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |P_{rmn}| (1 + \delta_{mn}) \sin(\phi_{mn} + \varphi_{mn}) \quad (3b)$$

定义天线近场分布(扫描面上)的口径效率为

$$\eta = \left| \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} P_{rmn} \right|^2 \left(MN \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} |P_{rmn}|^2 \right)^{-1} \quad (4)$$

式中 M, N 分别是扫描面上 x, y 方向采样点的总点数。根据随机误差理论, 可得出天线远场方向图副瓣电平的误差方程^[3]

$$\sigma' = \frac{\left| \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} P_{rmn} \right|}{SLL(1 - \sigma_{\phi}^2/2)} \sqrt{\sigma_{\delta}^2 + \sigma_{\varphi}^2} \quad (5)$$

其中 σ' 表示天线远场方向图副瓣电平的误差方差, $\sigma_{\delta}^2, \sigma_{\varphi}^2$ 分别表示幅度和相位误差的方差; SLL 表示天线远区方向图的副瓣电平。

由式(5)可得出如下结论: 对于超低副瓣天线, 副瓣设计越低就意味着天线在扫描面上的近场分布的口径效率就越低; 扫描点数 M, N 小, 测量误差就会增大; 幅相测量误差越大, 则副瓣电平的测量误差也随之变大。在前两项误差一定时, 要得到满意的测量精度, 必须精确测量扫描面上采样点的幅度和相位, 控制近场幅度和相位的测量误差 $\sigma_{\delta}^2, \sigma_{\varphi}^2$ 。

2.2 计算机仿真

为确定平面近场幅相测相误差对超低副瓣天线方向图影响的数量级, 下面以超低副瓣阵列天线为例进行计算机仿真。

如图 1 所示, 分析一个置于无穷大理想导体平面 ($z_0 = 0.25\lambda$, z_0 为天线阵到无穷大理想导体平面的距离) 上以半波偶极子为单元组成的 51×25 个单元天线阵 (x 方向电流分布为 -55dB 的泰勒分布; y 方向电流分布为均匀分布)。近场幅相测量误差的仿真条件是: 工作频率是 9375MHz ; 天线阵元间距 $d_x = d_y = 0.5\lambda$; 取样面点数为 125×61 ; 取样间隔 $\Delta x = \Delta y = 0.4\lambda$; 取样面与天线之间的距离 $d = 6.5\lambda$ (λ 为波长)。

从图 2 所示仿真结果来看, 在工作频率为 9375MHz 时, 当 $SLL = -55\text{dB}$, 扫描面大于 2 倍待测天线口径面, 要使远

场方向图副瓣测量误差小于 5dB (国外的测量误差也是此数量级), 则近场幅度测量的总误差 $\sigma_{\delta} < 0.3\text{dB}$, 相位测量的总误差 $\sigma_{\varphi} < 2.0^\circ$; 图 3 的仿真结果说明此时的近场幅相测量误差太大。

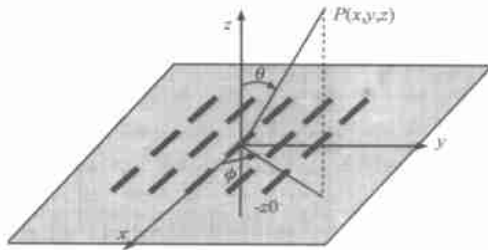


图 1 无穷大理想导体平面上天线阵及坐标系

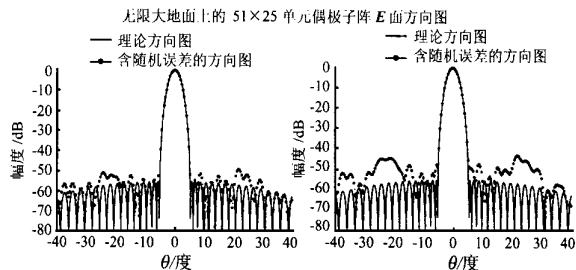


图 2 理论及含幅相误差 E 面方向图 ($\sigma_{\delta} < 0.3\text{dB}, \sigma_{\varphi} < 2.0^\circ$)

图 3 理论及含幅相误差 E 面方向图 ($\sigma_{\delta} < 1.0\text{dB}, \sigma_{\varphi} < 5.0^\circ$)

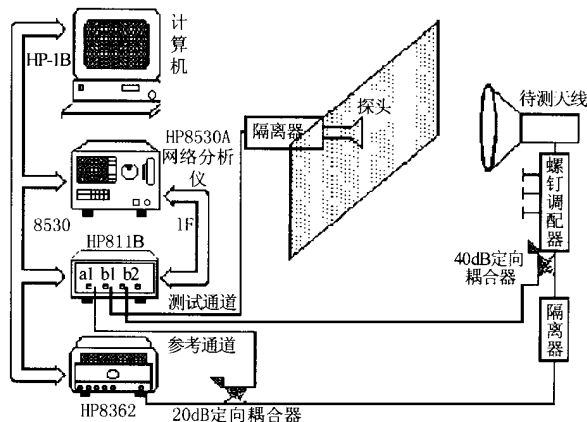


图 4 “自校准”法平面辐射近场测量系统框图

3 “自校准”方法

为了减小多次反射误差对近场测量数据的影响, 文献[5]提出了用散射体测量低副瓣天线的方法, 该方法使天线与散射体间的多次反射降低, 但并不能减小测量环境对近场测量数据的影响, 为此, 本文提出了“自校准”方法。

3.1 “自校准”方法基本思想

根据“单发单收”测量目标散射特性的基本思想^[6], 可将发射天线与接收探头之间的多次反射场以及测量环境的散射场等效为发射天线端的散射场。根据互易原理, 发射端接收到的散射信号与探头端接收到的散射信号是相等的; 因此将探头接收到的总信号与发射端接收到的散射场信号进行矢量相

减, 即得到没有多次反射和环境散射影响的近场接收信号, 然后, 利用平面近场测量中探头响应与波谱的关系, 就可以确定出待测天线波谱, 这就是“自校准”方法的基本思想(原理框图如图 4 所示)。

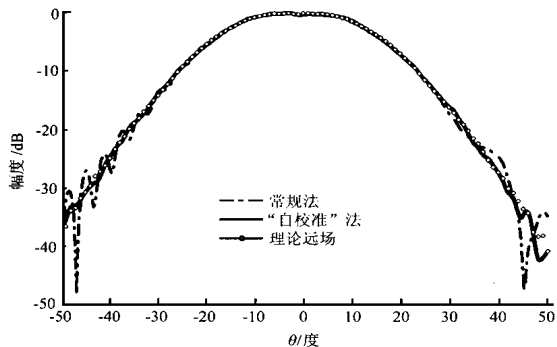


图 5 -40dB 低副瓣天线 E 面方向图

3.2 “自校准”方法实验验证

用“自校准”方法对 3 公分-40dB 低副瓣标准圆波纹喇叭天线(口径直径 25cm)在西安电子科技大学近场测量系统上进行了实际测量。测试频率 9375MHz, 扫描面尺寸 $100 \times 100 \text{ cm}^2$, 测量结果如图 5 所示。

实验结果表明, 与常规方法相比, “自校准”方法得到的天线远场方向图与理论远场方向图吻合较好, 只是在方向图-40dB 以下电平个别点与理论远场方向图稍有差异。

4 结束语

本文将近场测量幅相误差等效为平面近场测量的总误差, 导出了超低副瓣天线平面近场测量中远场方向图副瓣电平的误差方程, 以超低副瓣阵列天线为例进行了仿真, 以确定平面近场幅相测量总误差对超低副瓣天线远场方向图副瓣电平的影响。文中所涉及的公式与具体的天线形式无关, 因而具有普遍的适用意义。

针对多次反射和测量环境误差对平面近场测量的影响, 本文提出了“自校准”方法。这种方法在理论上具有一定的可行性, 在实验上具有可操作性。本文采用实验的方法验证该法的有效性。实验结果表明, 这种方法能较好地补偿这两项误差, 从而进一步有效地提高了超低副瓣天线的测量精度。有关这种方法的严格理论证明尚需进一步讨论。

参考文献:

- [1] A C Newell. Effect of random errors in planar Near Field measurement [J]. IEEE Trans., 1988, 36(6): 769-780.
- [2] A C Newell. Error analysis techniques for planar Near Field measurement [J]. IEEE Trans., 1988, 36(6): 754-768.
- [3] 张福顺. 超低副瓣天线近场测量误差分析与补偿技术研究[D]. 博士学位论文. 西安: 西安电子科技大学研究生部, 1999 年.
- [4] K R Grimm. Optimum probe design for near field scanning of ultra low side lobe antenna [R]. Allerton Antenna Application, 1984: 346-351.
- [5] T Calazans. Antenna radiation pattern measurement using a near field wire scattering technique [A]. IEE Proc. Microwave, Antennas and Propagation [C], 1998, 145(3): 263-267.
- [6] 张福顺, 王胜, 毛乃宏. 用近场测量研究目标散射特一种新方法[J]. 西安电子科技大学学报, 1997, 24, (2): 217-220.
- [7] 张福顺, 焦永昌, 毛乃宏. 天线近场测量的综述[J]. 电子学报, 1997, 25, (9): 74-77.

作者简介:



张福顺 男, 副教授, 1960 年生于西安, 1995 年获硕士学位, 1999 年获博士学位。长期从事天线理论与工程的教学和科研, 从 1995 年至今, 共发表学术论文 30 余篇, 获部级奖 3 项, 主持 10 余项科研项目, 主要著作有天线测量、天线工程手册、近场测量误差分析与系统。



焦永昌 男, 教授, 博士生导师, 1964 年生于山西芮城, 1987 年获理学硕士学位, 1990 年获工学博士学位。长期从事天线 CAD 优化设计及天线理论与工程的教学和科研工作, 先后应邀赴香港、日本做访问学者。近年来, 共发表学术论文 40 余篇, 其中有 20 余篇被 SCI, EI 和 ISTP 检索; 主持和参加多项科研项目, 曾获国家级和省部级科技进步奖 4 项。