

# 对天线副瓣电平测量误差的分析

雒向东<sup>1</sup>, 冯世儒<sup>2</sup>

(1. 兰州师范高等专科学校 物理系, 甘肃 兰州 730070; 2. 平凉第一中学, 甘肃 平凉 744000)

[摘要] 通过分析研究超低副瓣天线测量时的主要误差源, 并对天线测量时副瓣电平的误差进行分析, 以便为准确定量超低副瓣天线等高性能天线服务。

[关键词] 超低副瓣天线; 误差源; 电平测量误差

[中图分类号] O441.4 [文献标识码] A [文章编号] 1009-2102(2003)02-0021-04

谈到测量必须说明误差, 否则, 测量将变得无意义, 天线测量也不例外。在平面近场测量中为了表明其测量的精度, 必须对它的误差源所产生的误差进行分析, 以便给出误差定量化的结果。

## 1 超低副瓣天线测量时的主要误差源

平面近场测量的误差源分为四个部分: 第一部分是探头系统的误差源; 第二部分是测量仪器的误差源; 第三部分是测试环境的误差源; 第四部分是随机误差及计算误差源。其误差源对天线远场副瓣所产生的误差数量级如表 1 所示<sup>[1,2]</sup>。表 2 给出了国外误差分析方法的现状。

从表 1 可以看出影响超低副瓣天线测量的主要误差源为: 截断误差, 室内散射误差, 定位误差, 接收机幅度、相位的非线性误差和舍入误差(随机和计算误差)。从表 2 中可以看出, 除了 3 项误差源对天线远场方向图副瓣无影响外(带 \*), 其余 18 项误差源对副瓣电平(SLL)均有影响。对常规天线的近场测量而言, 如果只关心天线远场方向图的主瓣, 则这 21 项误差源中, 多项误差源所产生的误差对天线远场方向图的主瓣影响不大; 而对高性能天线测量时, 几乎每项误差都需要补偿<sup>[3]</sup>。

## 2 电场远场测量相对误差的定义

若  $\vec{E}(\vec{r})$  表示天线在自由空间的辐射场真值, 误差限为  $\pm \Delta \vec{E}(\vec{r})$ , 在误差较小的情况下, 电场的相对误差的模可定义为<sup>[4,6]</sup>:

$$\epsilon(\vec{r}) = \left| \frac{|\vec{E}(\vec{r}) \pm \Delta \vec{E}(\vec{r})| - |\vec{E}(\vec{r})|}{|\vec{E}(\vec{r})|} \right|_{r_{\text{near}}} \leq \frac{|\Delta \vec{E}(\vec{r})|}{|\vec{E}(\vec{r})|}. \quad (1)$$

## 3 副瓣电平(SLL) 的测量误差

依据式(1), 副瓣电平的相对误差定义为:

$$\epsilon_a = \frac{|\vec{E}_a(\vec{r}_s) \pm \Delta \vec{E}_a(\vec{r}_s)|^2}{|\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0) \pm \Delta \vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)|^2} - \frac{|\vec{E}_a(\vec{r}_s)|^2}{|\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)|^2} \quad (2)$$

[收稿日期] 2003-01-20

[作者简介] 雒向东((1965—), 男, 甘肃靖远人, 副教授, 主要从事信息传输与现代通信研究。

式中  $\epsilon_d$ ——副瓣电平的相对测量误差;  $\vec{r}_0$ ——主瓣峰值处的位置矢;  $\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)$ ——主瓣峰值电平;  $\vec{r}_s$ ——副瓣峰值处的位置矢;  $\vec{E}_d(\vec{r}_s)$ ——副瓣峰值电平。

表1 国外平面近场测量技术误差分析水平

误差源的类别	误差源名称	-30dB 副瓣测量误差	-55dB 副瓣测量误差
探头误差	探头方向图	0.10	
	探头极化比	0.05	
	探头增益	0.00	
	探头瞄准	0.20	
	归一化常数	0.00	
	阻抗失配因子	0.00	
定位及测量误差	待测天线瞄准	0.00	
	数据采样混叠误差	0.05	$\pm 0.50$
	扫描面截断误差	0.15	1.40 ~ -1.60
	探头 XY 定位误差	0.06	+2.20 ~ -2.90
	探头 Z 定位误差	0.21	
	多次反射误差	0.30	1.40 ~ -1.60
	接收机幅度非线性误差	0.07	1.40 ~ -1.60
	接收机相位非线性误差	0.23	1.40 ~ -1.60
	接收机动态范围	0.20	
测量环境误差	室内散射	0.05	
	漏失与交调	0.05	
	随机幅相误差	0.00	$\pm 0.40$
	总误差(均方根)	0.53	+3.2 ~ -5.1

将式(2)变形

$$\epsilon_d = \left| \frac{\vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)} \right|^2 \left| \frac{1 \pm \frac{\Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_d(\vec{r}_s)}}{1 \pm \frac{\Delta \vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)}{\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)}} \right|^2 - \left| \frac{\vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)} \right|^2. \quad (3)$$

通常,副瓣电平峰值的测量误差远大于主瓣峰值的测量误差,即

$$\frac{\Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_d(\vec{r}_s)} \gg \frac{\Delta \vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)}{\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)}. \quad (4)$$

因此,可以忽略主瓣峰值的误差,即  $\frac{\Delta \vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)}{\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)} \approx 0$ . 这时式(3)简化为

$$\begin{aligned} \epsilon_d &\approx \frac{|\vec{E}_d(\vec{r}_s) \pm \Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)|^2}{|\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)|^2} - \left| \frac{\vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)} \right|^2 \\ &= \frac{1}{|\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)|^2} [ |\vec{E}_d(\vec{r}_s) + \Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)| - |\vec{E}_d(\vec{r}_s)| ] [ |\vec{E}_d(\vec{r}_s) + \Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)| + |\vec{E}_d(\vec{r}_s)| ] \\ &= \left| \frac{\vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)} \right|^2 \left[ \left| 1 \pm \frac{\Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_d(\vec{r}_s)} \right| - 1 \right] \left[ \left| 1 \pm \frac{\Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_d(\vec{r}_s)} \right| + 1 \right]. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\Leftrightarrow \left| \frac{\vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)} \right|^2 = SLL, \text{ 则式(5) 可近似为}$$

$$\epsilon_d \approx SLL \left( \pm \frac{\Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_d(\vec{r}_s)} \right)^2 \pm 2SLL \frac{\Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_d(\vec{r}_s)}. \quad (6)$$

$$\text{令 } \epsilon(\vec{r}_s) = \left| \frac{\Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)}{\vec{E}_d(\vec{r}_s)} \right|, \text{ 并忽略高次项, 则式(6) 可简化为}$$

$$\epsilon_d \approx \pm 2SLL\epsilon(\vec{r}_s). \quad (7)$$

其中,  $\epsilon(\vec{r}_s)$  —— 副瓣峰值的相对误差。

由式(7)可以看出, 副瓣电平的测量误差不仅与副瓣电平的大小有关, 而且与副瓣峰值的测量误差有关。

通常副瓣电平的误差用 dB 表示, 式(7)dB 表示式为

$$\epsilon_d = 20 \log_{10} \left[ \frac{|\vec{E}_d(\vec{r}_s) \pm \Delta \vec{E}_d(\vec{r}_s)|^2 - |\vec{E}_d(\vec{r}_s)|^2}{|\vec{E}_{\max}(\vec{r}_0)|^2} \right].$$

## 2 平面近场测量误差分析方法的现状

误差源的名称	误差估计的基本方法与实施情况			影响的电参数
	计算机模拟	误差方程	测量系统实施	
1. 探头方向图		✓		SLL
2. 探头极化		✓		SLL
3. 探头增益		✓		SLL
4. 探头对准误差		✓		Gain/SLL
5. 探头 xy 位置向误差	✓	✓		SLL
6. 探头 z 向误差	✓	✓		SLL
7.归一化常数		✓		SLL
8. 阻抗失配因子 *		✓		Gain
9. AUT 对准误差 *		✓	✓	视轴
10. 混叠误差		✓	✓	SLL
11. 取截断误差	✓	✓		SLL
12. 多次反射误差			✓	SLL
13. 接收机幅度误差 *	✓	✓	✓	Gain
14. 接收机的相位误差		✓	✓	SLL
15. 电缆弯曲 / 旋转关节误差		✓	✓	SLL
16. 温度变化误差		✓	✓	SLL
17. 接收机动态	✓	✓	✓	SLL
18. 室内散射			✓	SLL
19. 泄露与交调		✓	✓	SLL
20. 随机误差	✓	✓	✓	SLL
21. 计算误差			✓	SLL

表中, “✓”—— 已完成; Gain—— 增益; SLL—— 副瓣电平。

## 4 结束语

超低副瓣天线平面近场测量的误差分析与补偿技术是我国高技术领域急需攻关的项目之一。国外研究机构耗费了大量的人力财力投入此项研究, 他们用平面近场测量技术不仅可以测出超低副瓣天线等一系列高性能天线的电指标, 而且能测量复杂目标的 RCS 绝对值, 但公开报道的文献上仅给出了部

分误差源的误差估计方法和补偿原理，并未阐明关键误差源误差的分析与补偿方法。因此，误差分析与补偿方法的研究是近场测量提高精度的关键，只有解决好这一问题，才能为准确测量像超低副瓣天线等这样的高性能天线服务。本文导出的天线副瓣电平误差公式在推导过程中并未涉及天线的具体形式，因而该公式具有普遍实用意义，它对超低副瓣天线平面近场的测量有一定的指导作用。

#### 参考文献：

- [1] J. Res. Planar near field measurement of low - side lobe Antennas[J]. Journal of Research of the National Institute of Standards and technology, 1994, 99(2):143 – 170.
- [2] A. C . Newell. Errors Analysis Techniques for Planar Near Field Measurement[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1988, (36)6:754 – 768.
- [3] 张福顺. 超低副瓣天线平面近场测量误差分析与补偿技术研究[D]. 西安：西安电子科技大学, 1999.
- [4] G. P. Rodrigue. An Investigation of The Accuracy of Far – Field Radiation Patterns Determined From Near – Field Measurements[M]. 1973, 15 – 62.
- [5] A. D. Yaghjian. Upper – Bound Errors in Far – Field Antenna Parameters Determined From Planar Near – Field Measurements – Part I: Analysis[M]. NBS TechniqueNote TN667, 1975. 8 – 69.
- [6] A. D. Yaghjian. Planar Near – Field Measurement Techniques on High Performance Arrays – Part I: Error Analysis for Nonscanning Beam Patterns. FAL – TR – 75 – 67, pp.1975. 18 – 26.

## Measurement Error Analysis of Antenna SLL

LUO Xiang – dong

(1. Physics Dept of Lanzhou Teachers' College, Lanzhou Gansu 730070, China; 2. No 1 Middle School of Pingliang City, Pingliang Gansu, China 744000)

**[Abstract]** This paper studies the main error sources of ultralow – sidelobe – antenna, and analyzes measurement errors of antenna's sll.

**[Key words]** ultralow – sidelobe – antenna; error sources; errors of antenna's sll

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>