

# 细螺旋天线的近场分析

The Near-Field Analysis of Thin Helical Antenna

华中科技大学电信系 钱小虎 董天临

**摘要** 用矩量法得到螺旋天线的电流分布，并在此基础上进一步确定了螺旋天线的近场分布。提出了用来度量天线近场耦合强度的一种方法。针对螺旋天线的近场计算并描绘出了耦合度随收发间距变化的曲线图。

**关键词** 矩量法 细螺旋天线 电流分布 近场耦合 电磁兼容

**Abstract** MoM is used to analyze current distribution on helical radiator, and then ascertain its near-field distribution. Based on above work, a trial method in order to measure the couple intensity of thin linear antenna's near field is put forward. In the end, a curve graph of the couple intensity which is the dependent variable of the distance between the helical antenna and the receiving antenna is computed and painted.

**Keywords** MoM, thin helical radiator, current distribution, near-field couple, EMC

## 1. 螺旋天线上的电流分布

直细圆柱截面天线，如对称振子导体上的电流为类正弦分布<sup>[1][3][4]</sup>。然而具体到弯曲的直细圆柱截面天线，则问题的复杂性有本质上的增加。弯曲天线的空间分布对其辐射的电磁场分布带来的影响远比直线分布带来的影响复杂。

这里采用了K.K.MEI在《关于细径天线的积分方程》<sup>[5]</sup>中通过引入曲线坐标系（见图1）从而推导出一般细圆柱截面天线上电流分布的广义积分方程：

$$\int_L \mathcal{J}(s') \pi(s, s') ds' = B \cos ks + C \sin ks - \frac{j}{Z_0} \int_0^s E_{\xi}^{in}(t) \sin k(s-t) dt \quad (1)$$

式中  $\pi(s, s') = G(s, s') \hat{s} \cdot \hat{s}'$

$$\begin{aligned} G(s, s') &= \int_0^s \left\{ \frac{\partial G(t, s')}{\partial t} \hat{t} \cdot \hat{s}' + \frac{\partial G(t, s')}{\partial s'} + G(t, s') \frac{d\hat{t}}{dt} \cdot \hat{s}' \right\} \cos k(s-t) dt, \\ G(s, s') &= \frac{e^{-jk|\vec{r}-\vec{r}'|}}{4\pi |\vec{r}-\vec{r}'|} \end{aligned}$$

本文所研究的螺旋天线如图2所示，设其全长为  $L_1$ ，水平面投影圆的半径为  $a$ ，螺旋的节距为  $h$ ，天线导体的截面半径为  $r_0$ 。并设其激励源是Dirac函数型的冲击电压源  $V_0 \delta(s)$ 。

采用点匹配法，将螺旋天线分割成  $N$  段，并选择全域基正弦函数，则有  $\mathcal{J}(s) = \sum_{n=1}^N a_n \sin \frac{n\pi(L_1-s)}{L_1}$ ；再选取Dirac函数  $\delta(s-s_m)$  为权函数，在  $[0, L_1]$  上有  $N+1$  个匹配点，

$$S_m = \frac{2m-1}{2N+1} \cdot L_1 \quad (m=1, \dots, N+1)$$

最后可得到矩阵方程：

$$[Z][I]=[V] \quad (2)$$

其中的矩阵  $[Z]$  的元素  $Z_{mn}$  和右边的向量  $[V]$  如下：

$$Z_{mn} = \begin{cases} \int_0^{L_1} \frac{\sin n\pi(L_1-s')}{L_1} K(s_m, s') ds' & (1 \leq n < N+1), \\ \cos ks_m & (n=N+1) \end{cases}$$

$$[V] = -\frac{JV_0}{2Z_0} [\sin ks_1, \dots, \sin ks_m]^T,$$

最后进行矩阵反演即可求出电流分布的系数矢量  $[I]$ 。

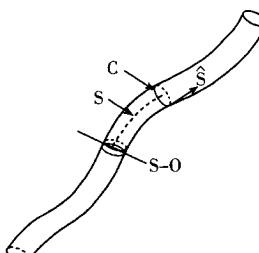


图1 曲线坐标系

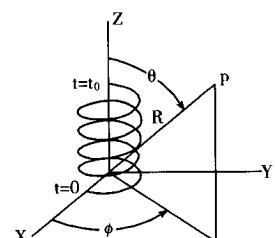


图2 坐标系中的螺旋天线

## 2. 近场耦合度的计算

确定了螺旋天线上的电流分布，则可以直接计算电流产生的场。由矢量位与场强的关系可得：

$$\vec{E} = \frac{1}{j\omega \epsilon_0 \mu_0} \left( k_0^2 \vec{A} + \nabla (\nabla \cdot \vec{A}) \right) \quad (3)$$

这里考虑的是近场耦合。关于两天线间的近场耦合  $A.D.$  Yaghjian 曾在《近场区内天线间耦合的高效计算》<sup>[5]</sup> 中做了较系统的阐述和建模。但是根据他的推导可以看出，该模型更适合解决平面天线之间的近场耦合问题，因为他的模型中天线对近场范围

的下限 $(D+D')/2$ 对于线天线对的间距来说太大了些,实际上线天线对的近场范围比上面的下限要小得多。所以要研究线天线的近场耦合问题就要专门针对具体形状的线天线去建模与分析。本文考虑的细螺旋天线的近场耦合问题就属于这种情况。

现假设在螺旋天线的近场区内有一个 $\lambda/4$ 长的处于接收状态(不辐射功率)的直细天线Rx,其线径可忽略不计,则耦合度可表示成:

$$IDL = \frac{P_{ind}}{P_T} \quad (4)$$

式中 $P_{ind}$ 为螺旋天线在接收天线上的耦合功率, $P_T$ 为螺旋天线自身的功率。但是在计算场强的过程中已经将 $P_T$ 归一化了,所以耦合度就是 $P_{ind}$ 。而

$$P_{ind} = \frac{U_{ind}^2}{Z_0} \quad (5)$$

式中 $U_{ind}$ 是螺旋天线在接收天线Rx上产生的感应电动势, $Z_0$ 是自由空间波阻抗。而在确定电场分布后,很容易利用(3)进一步求出感应电动势,这样整个近场耦合度也就确定下来。设天线 $r_0=0.0015\lambda$ , $L1=0.59\lambda$ , $\mu=0.06\lambda$ , $h=0.673\lambda$ , $\lambda$ 为天线工作波长;接收天线的描述如上。对此螺旋天线运用矩量法求出电流分布,然后用上面的公式即可求出在不同收发间距时耦合度的变化曲线。如图3所示,横坐标为 $d/\lambda$ ,纵坐标为耦合度,单位为dB。

由图3可以看出,随着d的增加,耦合度是逐渐呈非线性减小的,在d靠近 $0.6\lambda$ 处耦合度是相当大的,说明这时螺旋天线上的绝大部分能量都耦合到接收天线上了,在d大于 $0.75\lambda$ 后耦合度降到-20dB以下。

### 3. 结论

从上面的研究过程可以看出,螺旋天线的近场耦合度在

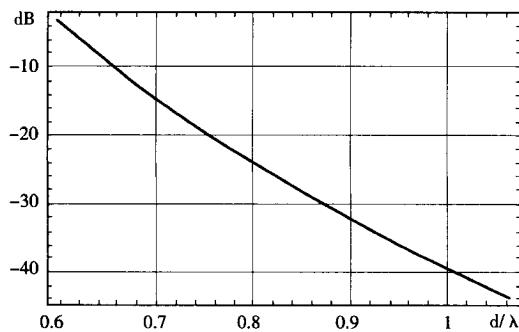


图3 耦合度随天线对间距变化示意图

收发间距很小(接近 $0.6\lambda$ )时是相当大的,这时候从满足通信系统的电磁兼容角度来说是非常不利的,要想使得螺旋天线对接收天线的近场耦合较小,就必须保证间距不小于 $0.75\lambda$ ,图3为实际的电磁兼容工程应用提供了必要的指导意义。

### 参考文献

- 1 任朗,天线理论基础,人民邮电出版社,1980
- 2 R.F.Harrington, 王尔杰等 翻译,计算电磁场的矩量法,国防工业出版社,1980
- 3 李世智,电磁辐射与散射问题的矩量法,电子工业出版社,1985。
- 4 刘圣民,电磁场的数值方法,华中理工大学出版社,1991
- 5 A.D.Yaghjian, Efficient computation of antenna coupling and fields within the near-field region, IEEE Trans. Vol. AP-30, NO.1, pp113-127, JANUARY 1982
- 6 K.KMei, On the Integral Equations Of Thin Wire Antennas, IEEE Trans. Vol. AP-13. pp374-378, May, 1965

编辑:刘青 E-mail:liuqing@cesi.ac.cn

## CNAL电气分技术委员会举办“第一届电气实验室认可和检测技术研讨会”

2004年11月23日~25日 中国实验室国家认可委员会(CNAL)电气分委员会在三亚主办了“第一届电气实验室认可和检测技术研讨会”,会议就电气领域检测实验室认可和检测技术的热点和焦点问题进行了研讨和交流。参加本次大会的共有36位代表,分别来自国内的认证机构、电气领域认可实验室、检查机构、制造商实验室等。

CNAL秘书长魏昊到会并做了《国际实验室认可动态》的专题报告,介绍目前国际上实验室认可、实验室认可多边互认协议、各国政府对实验室认可结果的利用及对实验室认可国际互认协议的利用情况,分析了实验室认可的国际趋势及其影响。

CNAL电气分技术委员会主任委员吴国平在会上做了《经济全球化与合格评定的发展》的专题报告,以全球各主要经济区为主线,分析了检测市场和实验室认可的环境变化,并探讨了国际合格评定的发展趋势。

会议期间安排的主题报告如下:

福建出入境检验检疫局检验检疫技术中心林森《实验室检测业务分包问题的研究》、信息产业部电子第五研究所何国峰《实验室比对试验的设计、实施和技术要点探讨》、广州日用电器检测所陈伟升《CB评审体系与试验室认可结果的利用》、厦门出入境检验检疫局检验检疫技术中心王水生《实验室仪器设备检查方式的特点》、上海出入境检验检疫局机电中心徐胜《采用可燃制冷剂的制冷器具安全试验方法研究》、深圳出入境检验检疫局工业品检测技术中心谢晋雄《计算机辅助测量法准确测量灯座的爬电距离》、广州电气安全检验所王智霖《检测机构的客户意识及其产品质量内涵》。

系列主题报告引起与会代表的浓厚兴趣,针对其中的一些主题如实验室分包、计算机辅助测量等,代表们纷纷发表了自己的意见和观点;对一些未能在会场形成共识的焦点难点问题,今后分委会将再组织研讨。

## 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>