

# 线天线辐射近区场强计算

张加坤 胡皓全 杨显清 赵家升

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

**【摘要】** 利用矩量法计算线天线的电流，再利用互易定理来计算线天线的近区辐射场。用这两种方法相结合，来解决线天线的近区场进行计算问题。计算的结果表明，该方法是处理天线辐射近区场强以及电磁兼容问题的一种有力工具。

**关键词** 线天线；辐射近区；矩量法；电磁兼容

线天线是一种广泛应用于广播、通讯领域内的一种天线，具有广泛的应用性。关于这种天线的远区场的计算，有很多成熟的理论和完善的算法。但是关于这种天线的近区场问题，研究的相对较少。但是随着近年来通讯事业的飞速发展，各种通讯设备大量增加，设备之间的共存性问题（也就是电磁兼容性问题）显的越来越重要。而且随着人们环保意识的增强，电磁污染问题开始受到人们的重视。因此就需要确定发射设备（主要是天线）的一个安全范围。这势必要解决辐射近区问题。本文具体结合一个对称振子天线的实例，说明具体的分析、计算辐射近区问题的过程。

## 1 理论模型

### 1.1 矩量法来求振子天线上的电流分布

首先，用矩量法来求振子天线上的电流分布。

图1是对称振子天线的物理模型。

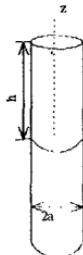


图1 对称振子天线

图中， $a$  是振子的半径， $h$  是振子的单臂长度。

计算线天线上的电流分布，用矩量法是一种比较好的方法，较其他的方法具有简单、计算速度快的优势，而且计算结果的准确性也比较高。

由天线理论可以知道，对称振子天线上的电流分布满足 Hallen 积分方程，即

$$\int_{-h}^h I(z) G(z, z') dz = B \cos kz - \frac{jV}{2\eta_0} \sin k|z| \quad (1-1)$$

式中， $I(z)$  是振子天线上的电流分布， $G(z, z')$  是自由空间的格林函数， $V$  是激励电压， $B$  为常数，由于线天线表面环绕电流很小，可以忽略不计，这样就认为振子天线上的电流只沿轴（ $z$ ）向分布。下面用整域基点匹配法，根据振子天线的臂长，选取两个不同的电流表达式对 Hallen 方程进行求解。

(1) 在  $-h \sim 0.0795 \lambda \sim 0.42993 \lambda$  范围，设

$$I(z) = \sum_{n=1}^N C_n \sin[nk(h - |z|)]$$

选配点分别选在激励点、 $h/2$ 、以及端点，将上式代入式(1-1)可得

$$\begin{Bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ -B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \end{Bmatrix}$$

其中

$$z_{i1} = \int_{-h}^h \sin k(h - |z|) G(z_i, z) dz \quad i = 1, 2, 3$$

$$z_{i2} = \int_{-h}^h \sin 2k(h - |z|) G(z_i, z) dz \quad i = 1, 2, 3$$

$$z_{i3} = \cos kz, \quad i = 1, 2, 3$$

$$V_i = \frac{-j}{\eta_0} \frac{V}{2} \sin k|z_i| \quad i = 1, 2, 3$$

(2) 在  $h=0.395\lambda=0.75\lambda$  的范围内，设

$$I(z) = c \sin k(h - |z|) + U(\cos kz - \cos kh) + D\left(\cos \frac{1}{2}z - \cos \frac{1}{2}kh\right)$$

选配点取在激励点、 $h/3$  点、 $2h/3$  点及端点，得到下列矩阵方程。求解此矩阵方程得 **C,U,D** 后，由上式可得电流分布。

$$\begin{Bmatrix} z_{11} & z_{12} & z_{13} & z_{14} \\ z_{21} & z_{22} & z_{23} & z_{24} \\ z_{31} & z_{32} & z_{33} & z_{34} \\ z_{41} & z_{42} & z_{43} & z_{44} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} C \\ U \\ D \\ -B \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \end{Bmatrix}$$

其中

$$z_{i1} = \int_{-h}^h \sin k(h - |z|) G(z_i, z) dz \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$z_{i2} = \int_{-h}^h (\cos kz - \cos kh) G(z_i, z) dz \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$z_{i3} = \int_h^h \left( \cos \frac{1}{2}kz - \cos \frac{1}{2}kh \right) G(z_i, z) dz \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$z_{i4} = \cos k z_i, \quad i = 1, 2, 3, 4$$

$$V_i = \frac{-j}{\eta_0} \frac{V}{2} \sin k |z_i| \quad i = 1, 2, 3, 4$$

## 1.2 互易定理求辐射近区场

由矩量法求得振子天线上的电流分布后，根据互易定理

$$\int \overline{E_1} \cdot \overline{J_2} = \int \overline{E_2} \cdot \overline{J_1} \quad (1-2)$$

式中  $\overline{J_1}$  和  $\overline{J_2}$  是激励源的电流密度  $\overline{E_1}$  和  $\overline{E_2}$  分别是激励源对应的激发的电场。做这样一个假设， $J_1$  是振子天线上已知的电流分布， $\overline{J_2}$  是一个放置在天线附近的一个尺寸为无限小的测试用的偶极子天线。如果我们用  $\overline{l_1}$  和  $\overline{l_2}$  来分别代表振子天线和测试天线放置的方向，由式 (1-2) 就可以得到

$$\int_{l_2} \overline{E_1} \cdot I_2 d\overline{l_2} = \int_{l_1} \overline{E_2} \cdot I_1 d\overline{l_1} \quad (1-3)$$

式中， $I_1$  和  $I_2$  是两天线上的轴向电流。因为偶极子天线是被假设为尺寸无穷小的，所以其上面的电流  $I_2$ ，我们可以认为是一个常数， $\overline{l_2} \rightarrow 0$  时，式 (1-3) 变为

$$(E_1)_{\text{along } l_2} = \frac{1}{I_2 l_2} \int_{l_1} \overline{E_2} \cdot I_1 d\overline{l_1} \quad (1-4)$$

式中，振子天线上的电流分布  $I_1$  可以用上面提到的矩量法求得，无穷小的偶极子天线的电场  $E_2$  可以很容易的算得。因此，利用式 (1-4)，可以振子天线在我们想要的方向上得电场。

$E_1$  可以通过下面得计算得到

$$\overline{E_1} = -j\omega\mu A_2 - \nabla\Phi_2 \quad (1-5)$$

$$\text{式中, } A_2 = \frac{I_2 \overline{l_2}}{4\pi R} \exp(-jkR), \Phi_2 = -\frac{1}{j\omega\epsilon} \nabla \cdot A_2 = \frac{I_2 \exp(-jkR)}{4\pi j\omega\epsilon R} \left\{ \frac{1}{R} + jk \right\} \overline{l_2} \cdot \hat{R}$$

$k = 2\pi/\lambda$ ， $R$  是从测试用的偶极子天线到振子天线上一点的距离。 $\hat{R}$  是  $\overline{R}$  的单位矢量。把式 (1-5) 代入式 (1-4) 中，得

$$(E_1)_{\text{along } I_2} = \frac{1}{I_2 I_2} \left\{ -j\omega\mu \int_{\text{h}} I_1 A_i \cdot dI_i + \int_{\text{h}} \Phi_2 \frac{dI_1}{dI_i} \right\} \quad (1-6)$$

最后，将  $\vec{A}_i$ ,  $\Phi_2$  以及用矩量法求得的振子天线电流  $I_1$  代入式 (1-6)，就可得振子天线的辐射近区场。

## 2 计算结果

下面是计算得到的结果图

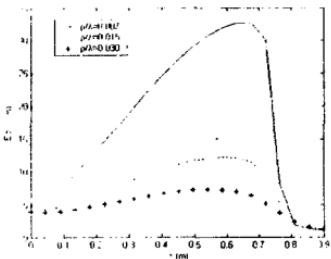


图 2 振子天线辐射近区场  $E\rho$  分布图

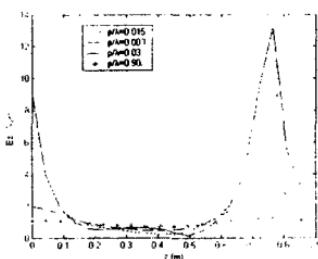


图 3 振子天线辐射近区场  $Ez$  分布图

在上面的计算当中，假设振子天线的激励电压是 1 伏。

## 3 结束语

通过矩量法和互易方法结合，可以得到线天线完整的辐射近区内的场强分布。这种方法不仅可以计算对称振子天线近区场，还可以计算其他形状线天线的近区场，只要结合相应的矩量法计算方法就可以了。

### 参 考 文 献

- 李世智，电磁辐射与散射问题的矩量法。北京：电子工业出版社，1985
- 楼仁海、蒋国行等，电磁理论。成都：电子科技大学出版社，1996
- Arlon T.A., Thomas E., Near Fields of Thin-Wire Antennas—Computation and Experiment. IEEE Trans on EMC, Vol.20, NO.1, February, 1978

## The Near Field Power of Wire Antenna

Zhang Jiakun Hu Haoquan Yang Xianqing Zhao Jiasheng

(CEE, UEST of China, Chengdu, 610054)

**Abstract** A method of MoM and reciprocity theory be used to calculate the near-field power densities of wire antenna is described in this paper. And an example will be provided to illustrate how to use the method in the actual engineering. The method can be applied to analyze the radiation near-fields of wire antennas and EMC.

## 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>