

文章编号: CN42-1564(2005)02-0028-03

考虑地面反射时单极天线方向性的矩量法分析

杨志荣¹, 傅文斌², 李有权¹

(1. 空军雷达学院研究生管理大队, 湖北 武汉 430019; 2. 空军雷达学院电子对抗系, 湖北 武汉 430019)

摘要: 在考虑地面反射的条件下, 利用矩量法(MoM)研究有限直径单极天线问题。分别采用脉冲基函数+点匹配、分段正弦基函数+点匹配方法, 先计算振子电流, 再得到天线远区方向图, 并讨论了振子粗细、振子距离地面的高度、实际地面电参数等对单极天线方向性的影响。通过仿真比较两种算法的优劣, 研究表明分段正弦基函数+点匹配的算法效率较高。

关键词: 单极天线; 矩量法; 地面反射

中图分类号: TN820.8

文献标识码: A

对实际单极天线问题的分析比理想单极天线要复杂得多, 如当需要考虑振子粗细的影响时, 就只能借助于数值方法求解所建立的边值问题。由于单极天线问题是天线研究的基础问题之一, 至今仍有大量文献反映这方面的研究进展, 特别是在改进数值计算的方法和效率方面^[1-4]。

本文着重讨论地面反射对垂直极化的实际单极天线方向性的影响, 主要是振子粗细的影响, 振子距离地面的高度的影响, 实际地面电参数的影响等, 采用矩量法(MoM)进行数值计算。为比较算法的效率, 所有的计算都采用了脉冲基函数+点匹配、分段正弦基函数+点匹配两种方法。

1 理论分析

实际地面上垂直极化的单极天线如图1所示, 图中坐标原点取在单极天线与地面的交点, 单极天线的电长度、半径、距离地面的高度分别用 L 、 a

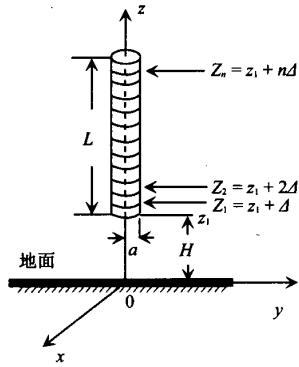


图1 地面上单极振子

和 H 表示。为便于分析各种不同的激励源, 采用Pocklington积分方程^[5]

$$\int_{-L/2}^{L/2} I(z) \left[\frac{\partial^2 G(z, z')}{\partial z^2} + k^2 G(z, z') \right] dz' = -j\omega \epsilon E_z \quad (1)$$

式中 $E_z(z)$ 是入射场, 并假定环绕圆柱体均匀分布, $I(z')$ 表示天线上的电流分布, k 是波数, ω 是电磁波的频率, ϵ 是介电常数, $G(z, z')$ 是自由空间的Green函数, 因为讨论细天线问题, 有

$$G(z, z') = \exp(-jkr) / 4\pi r \quad (2)$$

其中 $r = \sqrt{(z-z')^2 + a^2}$, z 和 z' 分别为场点和源点的坐标。

为进行矩量法分析, 需要把积分方程离散成如下联立线性代数方程组

$$[Z(f)][I(f)] = [V(f)] \quad (3)$$

式中 $[Z(f)]$ 是 $N \times N$ 阶阻抗矩阵, $[V(f)]$ 是激励电压向量, $[I(f)]$ 是待求的电流系数向量。

所采用的离散方法不同, 得到的算法也不同。本文给出两种方法的离散结果, 以便对不同的算法进行比较。

1.1 脉冲基函数+点匹配方法

将天线分为 $(N+1)$ 分段, 分段编号为 n , 每分段长度 $\Delta = L/(N+1)$, 如图1所示。于是脉冲基函数可表示为

$$I(z) = \begin{cases} I_n & z \in \Delta z_n \\ 0 & z \notin \Delta z_n \end{cases} \quad (4)$$

对分布式激励源, 也进行分段, 分段编号为 m 。采用点匹配后, 得到阻抗矩阵为

$$Z_{mn}(f) = \eta [k^2 \Delta \cdot \Delta \phi(m, n) - \phi(m^+, n^+) - \phi(m^-, n^-) + \phi(m^+, n^-) + \phi(m^-, n^+)] \quad (5)$$

式中 η 为自由空间的波阻抗, n^+ 、 n^- 分别为第 n 小段的终点和始点, m^+ 、 m^- 分别是第 m 小段的终点和始点. 元素 $\phi(s, t)$ ($s = m, m^+, t = n, n^+$), 可表示为

$$\phi(s, t) = \begin{cases} \frac{1}{4\pi} + \frac{j}{2\pi k\Delta} \ln\left(\frac{\Delta}{a}\right) & s = t \\ \frac{j e^{-jk r_{st}}}{4\pi k r_{st}} & s \neq t \end{cases} \quad (6)$$

若采用在单极天线下端集中激励且记激励源的位置为 M , 则激励电压向量为

$$V_m(f) = \begin{cases} 1 & m = M \\ 0 & m \neq M \end{cases} \quad (7)$$

1.2 分段正弦基函数+点匹配

分段正弦基函数可表示为

$$I_n(z' - Z_n) = \begin{cases} \frac{\sin[k(\Delta - |z' - Z_n|)]}{\sin k\Delta} & |z' - Z_n| \leq \Delta \\ 0 & |z' - Z_n| \geq \Delta \end{cases} \quad (8)$$

采用点匹配, 得到的阻抗矩阵为

$$Z_{m,n}(f) = - \int_{z_{m-1}}^{z_{m+1}} \delta_m(z - z_m) \cdot E_n dz \quad (9)$$

式中 E_n 的表达式^[6]为

$$E_n = \frac{j30}{\sin k\Delta} \left[\frac{e^{-jkR_{n+1}}}{R_{n+1}} - 2\cos(k\Delta) \frac{e^{-jkR_n}}{R_n} + \frac{e^{-jkR_{n-1}}}{R_{n-1}} \right]$$

式中各符号的意义见图 1, 且有

$$R_{n+1} = \sqrt{a^2 + (z - z_{n+1})^2}$$

$$R_n = \sqrt{a^2 + (z - z_n)^2}$$

$$R_{n-1} = \sqrt{a^2 + (z - z_{n-1})^2}$$

在第 M 个分段上集中激励时, 得激励电压向量为

$$V_m(f) = \begin{cases} \int_{z_{m-1}}^{z_{m+1}} E_n(\delta_m(z - z_m)) dz & m = M \\ 0 & m \neq M \end{cases} \quad (10)$$

1.3 天线远区场的计算

单极天线的远区场的电场表达式^[7]为

$$E(\theta) = jn \frac{ke^{-jkz}}{4\pi r} \sin \theta \int_0^L I(z) e^{jkz \cos \theta} dz \quad (11)$$

由于上述两种方法所求得的电流都是数值离散形式的, 所以必须用数值方法完成上式的积分.

1.4 地面反射对方向图的影响

当考虑地面的有限导电率时, 只要表面波的影响可以忽略不计, 即可用空间波来确定其辐射场, 表达式^[8]为

$$E = E_0 e^{-j\theta r} [1 + R_s e^{-j2\theta H \sin \alpha}] \quad (12)$$

式中 R_s 为地面反射系数. α 为由天线到观察点的射线与地面的夹角. 对于垂直极化波

$$R_s = \frac{\epsilon_c \sin \alpha - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \alpha}}{\epsilon_c \sin \alpha + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \alpha}}$$

式中 $\epsilon_c = \epsilon_r - j\epsilon_i$ 是土壤的相对介电常数, $\epsilon_i = \frac{\sigma}{\omega \epsilon_0}$, ϵ_r 为相对介电系数, σ 为电导率, ϵ_0 为真空中的介电系数.

方数据

2 数值仿真

首先对两种算法的优劣进行分析比较. 考虑一种实际雷达的天线单元, 取 $L = 0.56\lambda$, $a = 5 \times 10^{-3}\lambda$, 地面电参数取 $\epsilon_r = 15$, $\sigma = 600$, $H = 0$. 天线分段数 N 分别取不同值时, 天线方向图如图 2 所示. 由图可见, 采用分段正弦基函数且 N 的取值为 250 时即可得到较好的方向图, 而用脉冲基函数得到同样精度的方向图则 N 至少 500(如图 2 中实线所示). 分段数 N 不同, 占用计算机资源的多少也不同, 具体见表 1.

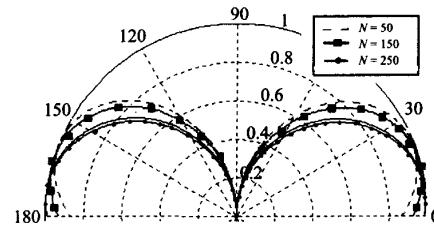


图 2 分段数对方向图的影响

表 1 分段数对计算时间的影响

分段数 N	计算时间/s	
	脉冲基函数	分段正弦基函数
50	2.74	2.74
150	9.22	9.34
300	42.9	35.9
400	87.4	60.9
500	156.6	98.4

在讨论中发现长细比 L/a 太小时, 得到方向图与实际相差较大. 这是由于本文中所采用的模型假设天线只有纵向电流的缘故.

由上面的讨论可知, 采用分段正弦基函数的 MoM 计算效率较高, 因此在以下的讨论中, 仅采用这种方法, $N = 250$. 分段数的确定主要考虑的是最小分段数, 即达到一定精度的情况下, 选取尽量少的分段数.

2.1 天线半径的影响

取 $L = 1.5\lambda$, $H = 0$, $\epsilon_r = 15$, $\sigma = 600$. a 分别为 $3 \times 10^{-3}\lambda$, $6 \times 10^{-3}\lambda$, $1.8 \times 10^{-2}\lambda$, 如图 3 所示. 由图可以看出在强辐射区方向图基本不受导线半径尺寸的影响, 然而随着导线半径的增加, 副瓣的强度会降低. 对于其他长度的振子, 诸如 $L = 0.5\lambda$, λ 和 2λ 会观察到同样的特性.

2.2 天线高度的影响

取 $L = 0.56\lambda$, $a = 5 \times 10^{-3}\lambda$, $\epsilon_r = 15$, $\sigma = 600$. H 分别等于 0.25λ , 0.5λ , 1.0λ , 10λ , 计算结果见图 4. 由图

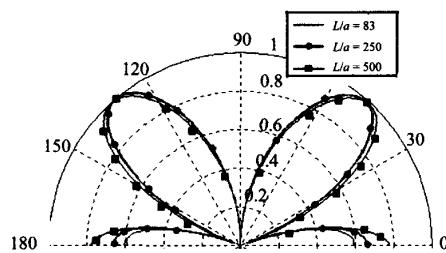


图3 振子粗细对方向图的影响

可以看出,随着天线架设高度的增大,方向图的波瓣数目将增多,当 $H = 10\lambda$ 时,(见图 4(b))分裂的波瓣数是非常多的,而米波雷达的架设高度一般都大于 10λ ,因此讨论天线高度对方向性的影响显得更加重要.

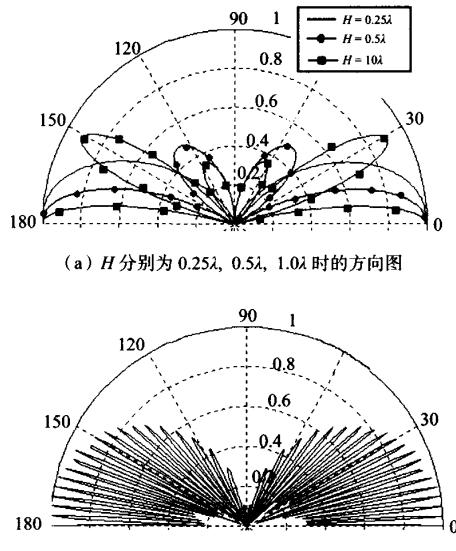


图4 天线地面高度对方向图的影响

2.3 地面电参数的影响

采用分段正弦基函数,取 $H = 0.5\lambda$, $L = 0.56\lambda$, $\alpha = 5 \times 10^{-3}\lambda$,选取几种实际地面的电参数,分别是海平面($\epsilon_r = 80, \sigma = 4$),干土($\epsilon_r = 20, \sigma = 10^{-2}$),湿土($\epsilon_r = 4, \sigma = 10^{-3}$),见图 5.由图 5 可以看出,地面电参数对方向图的影响是巨大的.随着电导率的减小,方向图主波瓣会减小,两个波瓣间的零点也会被低电平代替.因为天气的缘故,米波雷达阵地的电参数会变化,如下雨(湿土),晴天(干土)等,方向图会有很大的变化,因此研究实际地面电参数

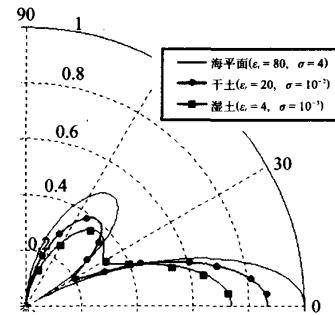


图5 地面电参数对方向图的影响

对方向图的影响对于米波雷达尤为重要.

由于文献中关于振子电长度的影响讨论较多,这里从略.

3 结论

本文采用 MoM 法讨论了地面反射对单极天线方向性的影响.首先进行算法选择研究,即采用脉冲基函数+点匹配,分段正弦基函数+点匹配两种算法计算了各种条件下单极天线的方向图并着重讨论了两种算法的优劣.然后,分别研究了振子粗细、距离地面的高度以及地面有限电导率对单极天线方向图的影响.研究表明:对本文的问题,分段正弦基函数+点匹配算法的计算效率较优;文中的工作为以后研究米波雷达天线打下较好的基础.

参考文献:

- [1] 曹毅. MoM 结合 AWE 技术分析高斯曲线天线[J]. 电子对抗技术, 2003, 18(2):41-44.
- [2] 刘芸江, 等. 矩量法结合 AWE 技术分析阵列天线[J]. 无线电通信技术, 2003, 29(4):46-48.
- [3] 孙保华, 等. 一种有效提高天线矩量法计算速度的新方法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2001, 28(4): 487-491.
- [4] 姚定一. 地面附近垂直天线的复镜像 Green 函数解[J]. 信息工程学院学报, 1995, 14(4):1-9.
- [5] R. 米特拉. 计算机在电磁学中的应用[M]. 金元松译. 北京: 人民邮电出版社, 1983.
- [6] 刘刚. 单极粗振子天线的超宽带分析[J]. 现代雷达, 2002, 24(1):77-80.
- [7] C.A. 巴拉尼斯. 天线理论—分析与设计[M]. 钟顺时, 等译. 北京: 电子工业出版社, 1988.
- [8] 谢处方, 邱文杰. 天线原理与设计[M]. 西安: 西北电讯工程学院出版社, 1985.

识算法是一种值得推广的辨识算法。

3 结论

仿真结果证明,利用直接辨识算法可以求出直流电机的传递函数模型参数,通过与传统方法的比较,可以明显地看出,利用直接辨识算法求得的直流电机传递函数模型参数更精确。实践证明直接辨识算法是一种很好的辨识算法,能够解决很多以往难以克服的困难,能够简单、方便地求出比较精确的直流电机数学模型参数,因此直接辨

参考文献:

- [1] 王修中,等.二阶加滞后连续模型的直接辨识[J].自动化学报,2001,27(5):728-731.
- [2] 高东杰,等.应用先进控制技术[M].北京:国防工业出版社,2003.
- [3] 朱忠尼,等.现代伺服系统[M].成都/乌鲁木齐:四川科学技术出版社/新疆科技卫生出版社,2001.
- [4] 胡祐德,等.伺服系统原理与设计[M].北京:北京理工大学出版社,1993.

Direct Identification of DC Motor Parameters

ZHOU Ru-xun¹, QI Ying-chuan²

(1. Department of Graduate Management, AFRA, Wuhan 430019, China; 2. Department of Electronic Warfare, AFRA, Wuhan 430019, China)

Abstract: Calculations of the math model of DC motor is one of the very important links in the design of DC speed regulating systems. This paper gives a direct identification algorithm of working out a DC motor math model, and simulates the motor's experimental curve. By comparing with the traditional method, it shows that the given algorithm is available for improving the accuracy of the model.

Key words: direct identification; DC motor; transfer function

(上接第30页)

Methods of Moment on Monopole Antenna Directivity With Ground Reflection

YANG Zhi-rong¹, FU Wen-bin², LI You-quan¹

(1. Department of Graduate Management, AFRA, Wuhan 430019, China; 2. Department of Electronic Warfare, AFRA, Wuhan 430019, China)

Abstract: In the case of ground reflection, a monopole with finite diameter is studied by method of moment (MoM). The current on monopole is calculated, and far-zone patterns are obtained with the pulse-basis functions + point match method and the subsection-sine-basis functions + point match method respectively. The effects of the diameter of monopole and its height from ground, and the electrical parameter of actual ground are discussed respectively. The performances of two arithmetics are compared by emulation. The results show that the subsection-sine-basis functions + point match arithmetic is of higher efficiency.

Key words: monopole; method of moment (MoM); ground reflection

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)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)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),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>