

文章编号:1009-3486(2007)06-0099-04

## 地网对垂直偶极子天线辐射特性的影响

李润贵, 郑龙根

(海军工程大学 电子工程学院, 武汉 430033)

**摘要:** 研究地网对垂直偶极子天线辐射特性的影响。建立了该天线的仿真模型,采用基于矩量法的仿真软件计算了铺设地网后垂直偶极子天线增益、输入阻抗、最大辐射仰角、3 dB波瓣宽度等辐射特性。结果表明,地网中心偏离天线振子正下方 $0.75\lambda$ 时能显著提高天线的增益,改变地网大小和铺设密度也能在一定程度上提高天线的增益。

**关键词:** 偶极子天线; 矩量法; 地网

**中图分类号:** TN82

**文献标志码:** A

## Influence of ground screen on vertical dipole antenna

LI Run-gui, ZHENG Long-gen

(College of Electronic Engineering, Naval Univ. of Engineering, Wuhan 430033, China)

**Abstract:** The influence of ground screen on vertical dipole antenna was studied. The model of the antenna was established, and the radiation characteristics of the antenna such as gain, impedance, elevation angle of the main lobe, 3 dB beam width, were calculated by means of antenna simulation software based on the moment of methods(MOM). The results indicate that when the ground screen is put  $0.75$  wave-lengths away from the dipole, the gain of the antenna will increase significantly. Increasing the size and the density of the ground screen can also improve the gain of the antenna on a certain extent.

**Key words:** dipole antenna; moment of method; ground screen

在短波波段,垂直对数周期天线<sup>[1]</sup>是一种增益较高、结构较简单的非频变天线,在通信、通信对抗等方面有着广泛应用。垂直对数周期天线的辐射单元有单极和偶极两种形式。对地面上的单极天线来说,振子高度较低,但地面是单极天线的组成部分,天线正下方必须铺设地网以减小地的损耗;而对地面上的垂直偶极天线<sup>[2,3]</sup>来说,天线高度较高,架设难度较大,但地面的影响相对单极天线要小得多,其正下方一般不需要铺设地网。文献[4]指出在垂直对数周期偶极天线前一定区域铺设地网,可以提高天线低仰角方向的增益,但未给出定量的数据结果。本文将研究地网对垂直偶极子天线辐射特性的影响,为短波垂直对数周期偶极子天线的设计提供依据。

### 1 天线模型

铺设地网后的垂直偶极子天线如图1所示,天线振子位于 $z$ 轴上, $xOy$ 平面为地平面, $a$ 为天线振子半径, $L$ 是天线振子全长, $H$ 为偶极天线振子底部距离地面的高度, $O'$ 是地网中心, $OO'$ 为天线振子

收稿日期:2007-06-25; 修回日期:2007-08-30。

作者简介:李润贵(1979-),男,助理工程师,硕士生。

正下方与地网中心的距离。NEC2<sup>[5]</sup>软件是采用分域基函数的矩量法<sup>[6]</sup>计算软件,其计算程序中自带一种以坐标原点为中心向四周呈辐射状的径向地网,该地网中心固定在坐标原点不能随意移动,形状不能改变,且对地面不能采用 Sommerfeld 法进行处理,使用非常受限。本文模型中的地网用金属导线铺设成方形,地网悬浮在地面上,高度不超过  $0.001\lambda$ ,此种处理方法能有效代替浅埋地网<sup>[5,7]</sup>。在用 NEC2 对此天线模型进行仿真计算时,将天线振子与地网视为一个整体,地网导线参与分段进行计算。

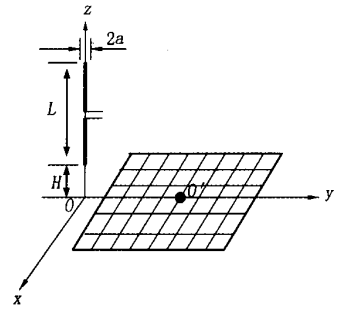


图 1 垂直偶极子天线与地网

2 计算结果及分析

以某型垂直偶极子天线为例,天线工作在  $9.678\text{ MHz}$ ,振子全长  $L=15\text{ m}\approx\lambda/2$  ( $\lambda$  为自由空间波长),半径  $a=3.33\times10^{-5}\lambda$ ,振子底部距地面高度  $H=0.01\lambda$ ,振子分为 37 段即  $\Delta l_1=0.0135\lambda$ ,地面为有耗地面,采用 Sommerfeld 法进行处理, $\epsilon_r=15,\sigma=0.01$ 。

2.1 考虑地网导线分段长度对计算结果的影响

地网由 42 根长  $\lambda$ 、半径  $3.33\times10^{-5}\lambda$  的细导线铺设成正方形,地网中心位于天线振子的正下方即  $OO'=0$ (见图 1),改变地网分段长度  $\Delta l$ ,结果如表 1 所示。

表 1 地网不同分段长度时天线的辐射特性

地网导线分段长度 $\Delta l$	最大增益/dBi	最大辐射值 仰角/(°)	输入阻抗/ $\Omega$	E 面 3 dB 波瓣宽度/(°)
$\Delta l=0.05\lambda$	0.85	18/19	$105.80+j\times0.97$	32
$\Delta l=0.025\lambda$	0.85	19	$105.82+j\times0.99$	32
$\Delta l=0.0167\lambda$	0.85	18/19	$108.85+j\times1.00$	32
$\Delta l=0.0125\lambda$	0.85	18/19	$105.86+j\times1.02$	32
$\Delta l=0.01\lambda$	0.85	18/19	$105.88+j\times1.03$	32
$\Delta l=0.0083\lambda$	0.85	18/19	$105.90+j\times1.05$	32

从表 1 可以看出,地网导线分段长度对天线辐射特性计算结果影响甚微,考虑运算量的问题,在后面的运算中,对地网分段长度均取  $\Delta l=0.05\lambda$ 。

2.2 地网铺设位置对天线辐射特性的影响

地网用 42 根长度为  $1\lambda$ 、半径为  $3.33\times10^{-5}\lambda$  的细导线铺设正方形,地网导线分段长度  $\Delta l=0.05\lambda$ ,改变地网的位置即  $O'$ (见图 1),其结果如表 2 所示。

表 2 地网不同位置时天线的辐射特性

地网中心与振子的水平距离 $OO'$	最大增益/dBi	最大辐射值 仰角/(°)	输入阻抗/ $\Omega$	E 面 3 dB 波瓣宽度/(°)
0	0.85	18/19	$105.80+j\times0.97$	32
$0.25\lambda$	1.21	18/19	$100.72+j\times2.42$	31
$0.5\lambda$	1.34	18/19	$101.47+j\times1.65$	31
$0.75\lambda$	1.45	18/19	$97.75-j\times0.04$	30
$1\lambda$	1.23	18/19	$97.79+j\times1.26$	30
$1.5\lambda$	0.89	18	$97.85+j\times1.06$	28

从表 2 知,当地网铺设位置发生变化时,天线增益最大值变化比较明显,天线振子与地网之间距离有一最佳值,天线增益随着地网位置远离振子而增大,到距离振子正下方  $0.75\lambda$  时增益达到最大,当距离继续增大时,天线增益下降;而天线的最大辐射值仰角、E 面 3 dB 波瓣宽度随地网位置的变化很小。

2.3 地网大小对辐射特性的影响

地网中心距离天线振子正下方  $OO'=0.75\lambda$ ,地网铺设成正方形,地网导线半径  $3.33\times10^{-5}\lambda$ ,地网大小变化,其结果如表 3 所示。

表 3 地网不同面积时天线辐射特性

地网大小/ $m^2$	最大增益/dBi	最大辐射值 仰角/ $^{\circ}$	输入阻抗/ $\Omega$	E 面 3 dB 波瓣宽度/ $^{\circ}$
$1\lambda\times1\lambda$	1.45	18/19	$97.75-j\times0.04$	30
$1.5\lambda\times1.5\lambda$	2.12	18/19	$98.13+j\times2.65$	30
$2\lambda\times2\lambda$	2.23	18/19	$99.02+j\times3.54$	28
$2.5\lambda\times2.5\lambda$	2.49	18/19	$100.70+j\times2.21$	28
$3\lambda\times3\lambda$	2.57	17/18	$99.50+j\times3.28$	28

从表 3 可知,天线增益随着地网面积的增大而增大,当地网面积小于  $1.5\lambda\times1.5\lambda(m^2)$  时,天线增益增大较明显,当地网面积大于  $1.5\lambda\times1.5\lambda(m^2)$  天线增益随着地网面积的增大而略微增大。

2.4 地网铺设密度对天线辐射特性的影响

振子正下方与地网中心距离  $OO'=0.75$  个波长,地网轮廓为正方形,考虑到计算量的问题,此处仍采用  $1\lambda\times1\lambda(m^2)$  地网,由长度为  $\lambda$ 、半径  $3.33\times10^{-5}\lambda$  的导线铺设而成,地网铺设密度变化, $M$  表示地网所用导线数量,结果如表 4 所示。

表 4 地网导线不同数量时天线辐射特性

地网导线数量 $M$ /根	最大增益/dBi	最大辐射值 仰角/ $^{\circ}$	输入阻抗/ $\Omega$	E 面 3 dB 波瓣宽度/ $^{\circ}$
42	1.45	18/19	$97.75-j\times0.04$	30
62	1.64	19	$97.93-j\times0.41$	31
122	1.77	19/20	$98.40-j\times0.70$	32

由表 4 数据可知,地网铺设的疏密程度对输入阻抗、最大辐射值仰角、3 dB 波瓣宽度影响不大,增益随着铺设密度的增加而增大,当  $M=122$  时,增益相对  $M=42$  增大了 0.32 dB(约 22.07%),相对  $M=62$  时增益增大了 0.13 dB(约 7.93%)。

综合上面计算结果,地网对天线辐射特性的影响主要体现在增益上,地网的大小、相对于辐射体的位置以及地网导线的铺设密度都在一定程度影响天线的增益。地网的铺设实质上改善了地面电导率,降低了地的损耗。当地网偏离振子正下方铺设时,地网对天线周围的地面改善状况是不一样的,在铺设地网的方向,地面反射能力得到加强,增益有所增加;地网偏离振子正下方过远时,地网铺设的区域离天线振子有一定的距离,电波到达此区域进行反射时的入射角非常小,而在有限电导率地面上,电波入射角非常小时地面反射系数近似为  $-1^{[8]}$ ,即在非理想地面上,电波入射角非常小的反射区域的地面损耗始终非常大,所以地网偏离振子正下方过远对增益没有明显的改善。当地网面积增大时,地面反射能力得到加强的区域进一步增大,因此增益增大;地网面积继续增大时,地网的一部分已铺设在电波入射角非常小的反射区域,由上面结论知改善电波入射角非常小的反射区域的地面反射能力对天线增益没有明显改善,因此地网面积继续增大时天线增益没有继续显著增大。当地网导线铺设密度增大时,地网对地面的改善程度相对于铺设密度小时得到加强,因而对天线增益有一定的提高。在实际工程中,可以根据地形与造价合理设计地网。

下面给出近地垂直偶极子天线不铺地网、地网在偶极天线正下方和地网偏置偶极天线  $0.75\lambda$  三种情况下的各项特性指标(见表 5)及方向图(见图 2、3),工作频率 9.678 MHz,振子全长  $15\text{ m}\approx\lambda/2$ ,底部距地面  $0.01\lambda$ ,半径  $3.33\times10^{-5}\lambda$ ,地网大小为  $2.5\lambda\times2.5\lambda(m^2)$ ,由 102 根长度  $2.5\lambda$ 、半径  $3.33\times10^{-5}\lambda$  的导线铺设成正方形。

表 5 无地网与铺设地网时天线辐射特性

	最大增益/dBi	最大辐射值仰角/(°)	输入阻抗/ $\Omega$	E 面 3 dB 波瓣宽度/(°)
无地网	0.16	18	$97.81+j\times 0.97$	29
地网位于偶极天线正下方	1.46	18	$97.87+j\times 2.39$	29
地网中心距离偶极天线 $0.75\lambda$	2.49	18/19	$100.70+j\times 2.21$	28

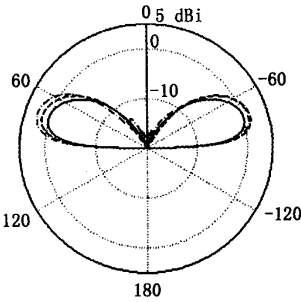


图 2 E 面方向图( $\varphi=0$ )

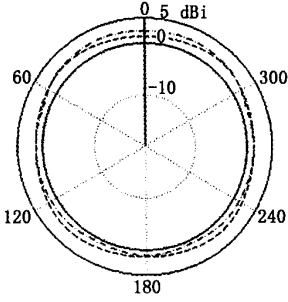


图 3 最大辐射值仰角 H 面方向图

图 2、3 中实线表示没有铺设地网的辐射方向图,虚线表示地网铺设在天线振子正下方的辐射方向图,点划线表示地网中心在偏离天线振子正下方  $0.75\lambda$  的辐射方向图,从图中可看出,未铺设地网与地网在振子正下方时方向图都是全方向性的,而地网中心偏离振子铺设后的方向图呈现方向性。只要铺设地网,无论是铺设在振子的正下方,还是偏置铺设,都能提高天线的增益系数。相同的地网面积,地网偏置铺设可得到更高的增益(比非偏置铺设高约 1 dB),这主要是方向图不再对称引起的。也可以减小偏置铺设时的地网面积(如将边长从  $2.5\lambda$  减小至  $1\lambda$ ,参见表 3),来获得与非偏置铺设相同的增益。

3 结 论

当偶极子天线垂直地面架设时,铺设地网能有效地降低大地的损耗。本文应用矩量法对一般土壤上方垂直架设的偶极子天线铺设地网后的辐射特性进行了计算。适当调整地网的位置与大小以及铺设导线的数量,能有效的提高天线增益,而对最大辐射值仰角和 3 dB 波瓣宽度影响不大,这对短波垂直对数周期偶极天线地网的设计具有一定的指导意义。

参考文献:

[1] 邓 鹏,柳 超,张志刚.集合线对对数周期偶极子天线的影响[J].海军工程大学学报,2006,18(2):19-22.  
[2] 肖志文,马嘉俊,王 硕.偶极子天线矩量法分析[J].信息技术,2005,29(1):35-37.  
[3] KAR M, WAHID P. Evaluation of polarization diversity schemes using dipole antennas[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2002,33(4):277-284.  
[4] Andrew Corporation. A Guide to Antenna Slection[EB/OL]. <http://www.andrew.com>,1993-09-28/2007-06-25.  
[5] BURKE G J, POGGIO A J. Numerical electromagnetics code (NEC) - method of moments[R]. Rep. UCID 18834, Lawrence Livermore Laboratory, CA, 1981.  
[6] 哈林登 R F. 计算电磁场的矩量法[M]. 北京:国防工业出版社,1981.  
[7] CEBIK L B, W4RNL. Vertical Dipoles and Ground Planes What Antenna Modeling Reports[EB/OL]. <http://www.cebik.com/radio.html>,1998-09-22/2007-06-25.  
[8] 周朝栋,王元坤,杨恩耀.天线与电波[M]. 西安:电子科技大学出版社,1994.

## 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,一直致力和专注于微波、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>