

超宽带 TEM 天线口径极化方向研究

邹倩颖 王绪本 汪刘艳

(成都理工大学 地球探测与信息技术教育部重点实验室 成都 610059)

1. 引言

超宽带天线研究对于短电磁脉冲在瞬态雷达及电磁兼容等领域的应用有意义。关于超宽带 TEM 天线口径的研究近年来已有许多成果^[3-7]，而针对矩形口径的超宽带天线极化方向的研究工作却很少。本文利用惠更斯等效原理的数学表达式克希荷夫公式，计算超宽带天线口径辐射场外任意一点的电场大小与极化方向的关系，为理解超宽带 TEM 天线口径极化并为进一步设计该类天线提供理论依据。

2. 超宽带天线口径的极化方向研究

利用惠更斯等效原理的数学表达式克希荷夫公式：

$$\vec{E}_p = \frac{1}{4\pi} \int_S [\vec{E} \frac{\partial}{\partial n} (\frac{e^{-jkr}}{r}) - \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{\partial \vec{E}}{\partial n}] ds$$

其中， $\vec{E}$ 为入射电场强度， $\vec{E}_p$ 为空间中任意一点的电场强度， $\vec{n}$ 为表面 S 的法线方向；利用该公式可以求出包围辐射源的封闭面外任一点的电场强度。

经过一系列的变换，克希荷夫公式可化简为

$$\vec{E}_p = \frac{j\vec{E}_i}{2\lambda} \int_S \frac{e^{-jkr}}{r} (1 + \cos\theta) ds \quad (1)$$

其中，

$$\vec{e}_i \cdot \vec{n} = 1, \vec{e}_r \cdot \vec{n} = -\cos\theta, k = \frac{\omega}{v}, \omega = \frac{2\pi}{T}, v = \frac{\lambda}{T}。$$

下面我们来求矩形口径外一点 p (x, y, z) 的场强，如图 1。由 Maxwell 方程有 $\vec{J} = \sigma \vec{E}$ ，假设辐射器在一瞬间产生 $\vec{E}$ ，则有 $\vec{E} = \frac{1}{\sigma} \vec{J}$ 。

定义 $\vec{E}_i = \vec{E}$ ，其中 $\vec{E}_i$ 为入射场强，加载在矩形口径面上，其尺寸为 $2a \times 2b$ 。经过计算，可得到 P 点的电场为：

$$\vec{E}_p = \frac{j2ab\vec{E}_i}{\lambda R} (1 + \cos\theta) e^{-jkr} \cdot \frac{\sin(k a \sin\theta \cos\varphi)}{k a \sin\theta \cos\varphi} \cdot \frac{\sin(k b \sin\theta \sin\varphi)}{k b \sin\theta \sin\varphi} \quad (2)$$

在 $\varphi = 0^\circ$ 平面上，矩形天线口径辐射场电场强度为

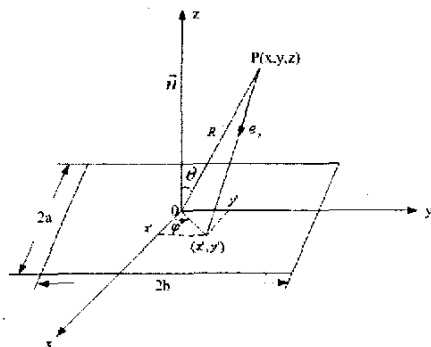


图 1 无限大金属板矩形口径辐射场模型

$$\vec{E}_{p(\varphi=0^\circ)} = \frac{j2ab\vec{E}_i}{\lambda R} (1 + \cos\theta) e^{-jkR} \cdot \frac{\sin(ka\sin\theta)}{ka\sin\theta} \quad (3)$$

在 $\varphi = 90^\circ$ 平面上, 矩形天线口径辐射场电场强度为

$$\vec{E}_{p(\varphi=90^\circ)} = \frac{j2ab\vec{E}_i}{\lambda R} (1 + \cos\theta) e^{-jkR} \cdot \frac{\sin(kb\sin\theta)}{kb\sin\theta} \quad (4)$$

将方程式 (10) 与方程式 (11) 相比, 则有

$$\frac{\vec{E}_{p(\varphi=0^\circ)}}{\vec{E}_{p(\varphi=90^\circ)}} = \frac{b}{a} \cdot \frac{\sin(ka\sin\theta)}{\sin(kb\sin\theta)} \quad (5)$$

其中, $k > 0$, $\theta \in [0, 90)$, $\sin\theta \in [0, 1)$, 因此 $\left\{ \frac{\sin(ka\sin\theta)}{\sin(kb\sin\theta)} \right\} \in [0, 1)$ 。由方程式 (5) 可得,

当 $b > a$ 时, 有 $\vec{E}_{p(\varphi=0^\circ)} > \vec{E}_{p(\varphi=90^\circ)}$, 即电场 E 沿 X 轴方向 (长边极化) 加载所产生的电场强度大于向 Y 轴 (短边极化) 加载所产生的电场强度。

3. 模拟结果及讨论

本模型放置在 XOY 面的无限大的中间开口的金属板, 开口形状为矩形。归一化加载入射

电压为双高斯性型单极脉冲波形: $V(t) = \frac{\tau_2}{\tau_2 - \tau_1} \exp\left[-\frac{(t - t_0)^2}{\tau_1^2}\right] - \frac{\tau_1}{\tau_2 - \tau_1} \exp\left[-\frac{(t - t_0)^2}{\tau_2^2}\right]$,

其中 $0 < \tau_1 < \tau_2$, $t_0 = 10\text{ns}$, $\tau_1 = 800\text{ps}$, $\tau_2 = 1\text{ns}$ 。因为模型及考察问题的关系, 本文将只考察天线口径辐射的一个主轴面即 XOZ (E 面) 平面上且分别与 Z 轴交角为 $\theta = 30^\circ$ 和 X 轴交角 $\varphi = 0^\circ$ (即电场极化方向沿 X 轴正方向) 的辐射场的情况, 矩形口径的尺寸分别为 1.0m (X 轴方向, 以下同) $\times 0.4\text{m}$ (Y 轴方向, 以下同), $0.4\text{m} \times 1.0\text{m}$, $0.8\text{m} \times 0.5\text{m}$, $1.2\text{m} \times 0.4\text{m}$, $0.8\text{m} \times 0.4\text{m}$ (如图 2, 图 3, 图 4), 所得结果均为电场归一化电场强度。由图 2 可知, 在面积相同的口径情况下, 对长边极化电场波形幅度比对短边极化电场强度大。由图 3 可知, 在面积相同的口径且都对长边极化的情况下, 矩形口径长边与短边的比值越大, 电场强度越大。由图 4 可知, 在同对长边极化且短边相等的情况下, 矩形口径长边越长即矩形口径面积越大, 电场强度越大。由图 5 可知, 在 $1.0\text{m} \times 0.4\text{m}$ 的矩形口径下, 观察点 P 与 Z 轴交角 $\theta = 30^\circ$ 时, 比观察点 P 与 Z 轴交角 $\theta = 45^\circ$ 时的电场强度大。由图 6 可知, 在 $1.0\text{m} \times 0.4\text{m}$ 的矩形口径且观察点 P 与 Z 轴交角 $\theta = 30^\circ$ 的情况下, 加载在矩形口径面上瞬态电压脉冲上升时间 $t = 100\text{ps}$ 时所产生的电场幅度大于 $t = 500\text{ps}$ 时所产生的电场强度。

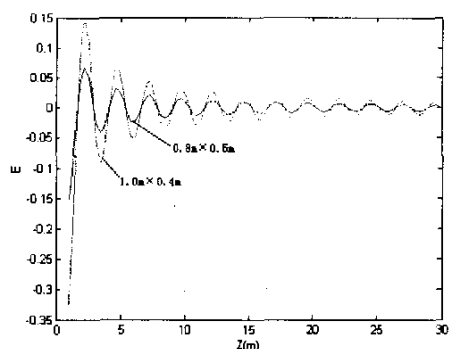
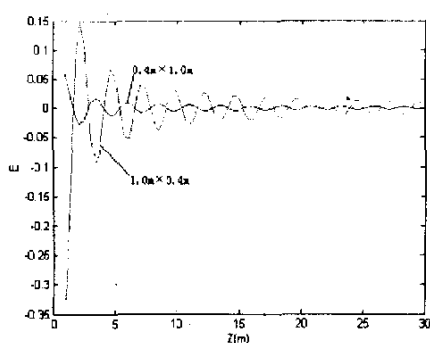


图2 1.0m×0.4m 与 0.4m×1.0m 矩形口径的辐射场(E 面) 图3 1.0m×0.4m 与 0.8m×0.5m 矩形口径的辐射场(E 面)

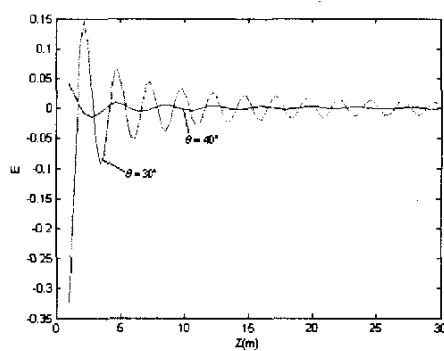
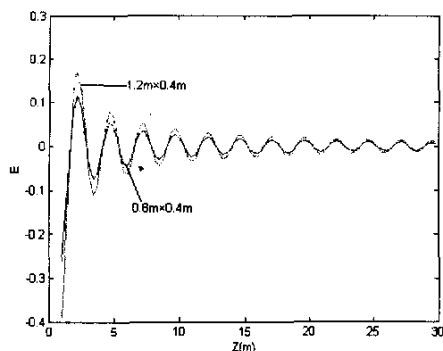


图4 1.2m×0.4m 与 0.8m×0.4m 矩形口径的辐射场 (E 面) 图5 1.0m×0.4m 的矩形口径, 观察点与 Z 轴交角 $\theta = 30^\circ$ 与 $\theta = 40^\circ$ 的辐射场 (E 面)

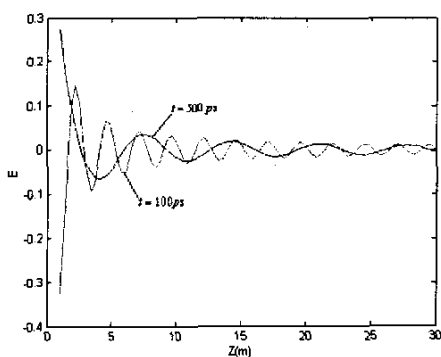


图6 1.0m×0.4m 口径, 与 Z 轴交角 $\theta = 30^\circ$, 脉冲上升时间 $t = 100ps$ 与 $t = 500ps$ (E 面)

参考文献

- [1] Wu.T.T. Electromagnetic missiles J.Appl.Phys. 1985,57:2370
- [2] Ruan Chengli and Wan Changhua. Choice of excitation in electromagnetic missiles. Electrom.Lett,1989,25(19):1321
- [3] 王向晖, 蒋延生, 汪文秉.超宽带天线口径辐射效应的时域研究.现代雷达, 2003, 第9期: 38-41
- [4] 王建国, 田春明, 刘小龙, 葛德彪.超宽带 TEM 天线的数值模拟.强激光与粒子束, 2001, 13(4): 493-497
- [5] 刘小龙, 刘治国, 汪文秉.恒阻 TEM 喇叭辐射特性. 强激光与粒子束, 2002, 15(11): 1127-1129
- [6] 王向晖, 蒋延生, 汪文秉.口径天线瞬态辐射特性的研究.西安交通大学学报, 2004, 38(2): 170-173
- [7] 刘小龙, 王向晖, 蒋延生, 汪文秉.单极性亚纳秒脉冲激励口径的辐射特性. 强激光与粒子束, 2003, 15(11): 1103-1106 傅君眉, 冯恩信.高等电磁理论.西安交通大学出版社.2000, 12

Research on Polarize Direction of Ultra-wide Band TEM Antennas aperture

Zou Qianying, Wang Xuben, Wang liuyan

The key Lab of Geological Exploration & information, Chengdu University of Technology 610059

Abstract: this paper, using Fresnel-Kirchhoff formula, calculate the electric strength and polarize direction from any point of space away different TEM antennas aperture radiation. The conclusions are that, in radiation field, electric strength polarization loading on long border is bigger than short one at the same point. The more ratio of long border and short border, the bigger electric strength. In the condition of the same short border, the longer the long border of aperture, the bigger electric strength. At last, this paper presents the 2D simulation on XOZ flat and the results testify the conclusions' accuracy and authenticity.

Key words: ultra-wide band (UWB) TEM antenna Ground Penetrating Radar

1. Introduction

It is significance to study the TEM antennas aperture for radiating UWB electromagnetic pulse in Impulse Ground Penetrating Radar. This paper, using Fresnel-Kirchhoff formula, calculate the electric strength and polarize direction from any point of space away different TEM antennas aperture radiation.

2. Research the polarize direction of UWB antennas aperture transient radiation

The method of calculating electric strength of point in space is to use Fresnel-Kirchhoff formula:

$$\vec{E}_p = \frac{1}{4\pi} \int_S [\vec{E} \frac{\partial}{\partial n} (\frac{e^{-jkr}}{r}) - \frac{e^{-jkr}}{r} \frac{\partial \vec{E}}{\partial n}] ds \quad (1)$$

Where, $\vec{E}$ = incident electric strength

$\vec{E}_p$ = the electric strength of point in space, and

$\vec{n}$ = normal direction of surface S.

After a series of transform, equation (1) changes as follows:

$$\vec{E}_p = \frac{j\vec{E}_i}{2\lambda} \int_S \frac{e^{-jkr}}{r} (1 + \cos\theta) ds \quad (2)$$

Where,

$$\vec{e}_i \cdot \vec{n} = 1, \vec{e}_r \cdot \vec{n} = -\cos\theta, k = \frac{\omega}{v}, \omega = \frac{2\pi}{T}, v = \frac{\lambda}{T}.$$

First, we solve the problem about the space electric strength $p(x,y,z)$ away rectangle aperture.(Fig.1).

We assume the radiation $\vec{E}$ is transient radiated. We

can write $\vec{E} = \frac{1}{\sigma} \vec{J}$ from Maxwell's equation.

We assume $\vec{E}_i = \vec{E}$, loading on the rectangle aperture which the size is $2a \times 2b$. Through the calculation, we obtain the electric strength p :

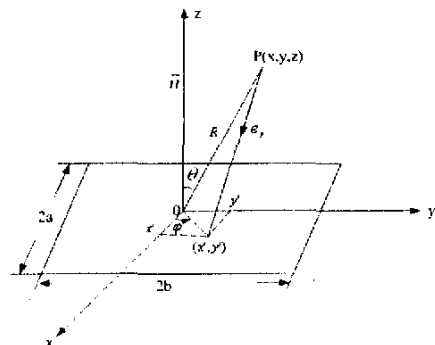


FIG.1 Rectangle Aperture Radiation Filed Model of infinite metallic plate

$$\vec{E}_p = \frac{j2ab\vec{E}_i}{\lambda R} (1 + \cos\theta) e^{-jkR} \cdot \frac{\sin(ka \sin\theta \cos\varphi)}{ka \sin\theta \cos\varphi} \cdot \frac{\sin(kb \sin\theta \sin\varphi)}{kb \sin\theta \sin\varphi} \quad (3)$$

when $\varphi = 0^\circ$, the electric strength of rectangle aperture radiation filed as follows:

$$\vec{E}_{p(\varphi=0^\circ)} = \frac{j2ab\vec{E}_i}{\lambda R} (1 + \cos\theta) e^{-jkR} \cdot \frac{\sin(ka \sin\theta)}{ka \sin\theta} \quad (4)$$

when $\varphi = 90^\circ$, the electric strength of rectangle aperture radiation filed as follows:

$$\vec{E}_{p(\varphi=90^\circ)} = \frac{j2ab\vec{E}_i}{\lambda R} (1 + \cos\theta) e^{-jkR} \cdot \frac{\sin(kb \sin\theta)}{kb \sin\theta} \quad (5)$$

We compare the equation (4) with equation (5) to obtain:

$$\frac{\vec{E}_{p(\varphi=0^\circ)}}{\vec{E}_{p(\varphi=90^\circ)}} = \frac{b}{a} \cdot \frac{\sin(ka \sin\theta)}{\sin(kb \sin\theta)} \quad (6)$$

Where, $k > 0$, $\theta \in [0, 90]$, $\sin\theta \in [0, 1]$, $\left\{ \begin{array}{l} \sin(ka \sin\theta) \\ \sin(kb \sin\theta) \end{array} \right\} \in [0, 1]$. It shows that $b > a$ means

$\vec{E}_{p(\varphi=0^\circ)} > \vec{E}_{p(\varphi=90^\circ)}$. It means that, in radiation field, electric strength polarization loading on long border is bigger than short one at the same point.

3. Simulation and discussion

As the relationship between model and our work, we consider radiation filed on XOZ (E) flat, and the angle of depression X and Z respectively are $\varphi = 0^\circ$ and $\theta = 30^\circ$. The sizes of rectangle aperture respectively are 1.0m (X axial) $\times$ 0.4m (Y axial), 0.4m $\times$ 1.0m, 0.8m $\times$ 0.5m, 1.2m $\times$ 0.4m, 0.8m $\times$ 0.4m (Fig.2, Fig.3, Fig.4).

Fig.2 shows the electric strength polarization loading on long border is bigger than short one at the same point under the same area radiation aperture.

Fig.3 shows that the more ratio of long border and short border, the bigger electric strength under the same circumstance.

Fig.4 shows that, in the condition of the same short border, the longer the long border of aperture, the bigger electric strength.

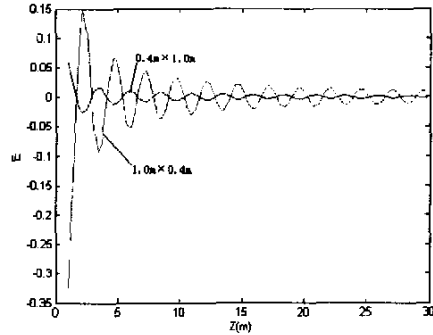


FIG.2 compare of the rectangle aperture radiation filed

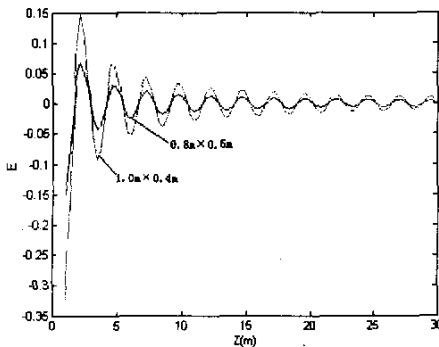


FIG.3compare of the rectangle aperture radiation filed

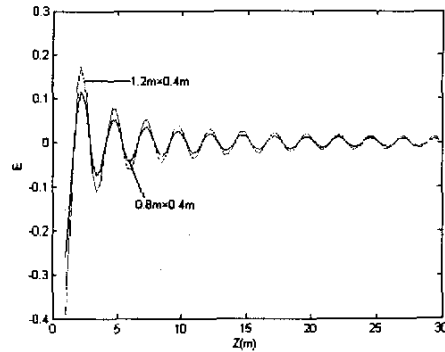


FIG.4compare of the rectangle aperture radiation filed

4. Conclusion

In radiation field, electric field polarization loading on long border is bigger than short one at the same point. The more ratio of long border to short border, the bigger electric strength. It is accuracy and authenticity that the 2D simulation on XOZ flat results.

References

- [1] Wu.T.T. Electromagnetic missiles J.Appl.Phys. 1985,57:2370
- [2] Ruan Chengli and Wan Changhua. Choice of excitation in electromagnetic missiles. Electrom.Lett,1989,25(19):1321
- [3] Wang Xianghui, Jiang Yansheng, Wang Wenbin. A research on the radiation effect of ultra-wide band aperture in time domain. Modern Radar, 2003, 9: 38 – 41
- [4] Wang Jianguo, Tian Chunming, Liu Xiaolong, Ge Deibiao. Numerical simulations of ultra-wide band TEM antennas. High Power Laser and Particle Beams, 2001, 13 (4); 493-497
- [5] Liu Xiaolong, Liu Zhiguo, Wang Wenben. Radiant characteristics of TEM horn with constant impedance. High Power Laser and Particle Beams, 3002, 15 (11); 1127-1129
- [6] Wang Xianghui, Jiang Yansheng, Wang Wenbin. Research on transient radiated characteristics of aperture antennas. Journal of Xi'an Jiao Tong University, 2004, 38 (2); 170-173

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)，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>