

文章编号 :1001 - 2486(2005)01 - 0047 - 04

一种近地面工作时域天线特性分析*

周蔚红,刘培国,何建国

(国防科技大学 电子科学与工程学院,湖南 长沙 410073)

摘要 :由于无载频探地雷达是一种近地面时域毫微秒脉冲探测系统,受半无限大有耗媒质界面的限制,所以对近地面时域天线的辐射特性的分析与计算极为困难。研制了一种贴片电阻加载的振子天线,用 FDTD 方法对其进行的分析和实际应用结果表明天线具有良好的波形保真度、良好的辐射特性和屏蔽效果,可以广泛地应用于探地雷达和其它超宽带系统。

关键词 :超宽带;FDTD;探地雷达

中图分类号:TN82 文献标识码:A

Analysis of the Time-domain Antenna Operating Adjacent to the Ground

ZHOU Wei-hong, LIU Pei-guo, HE Jian-guo

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract :Carrier-free GPR(Ground-penetrating Radar) is a near-ground-time-domain detecting system using nanosecond pulse, influenced by half-infinite lossy media interface, therefore the analysis of scattering features of the near ground time-domain antenna is extremely difficult. This paper designs a bow-tie antenna loaded with patch resistors. Results of FDTD(Finite-difference Time-domain) calculation show good fidelity of the wave, and exciting radiation features as well as fine effect of shielding. It can be widely used in GPR and other UWB(Ultra-wide-band) systems.

Key words :UWB; FDTD; GPR

无载频探地雷达是一种近地面时域毫微秒脉冲探测系统,天线是探地雷达中的关键部件,探地雷达天线比一般超宽带天线的要求更为严格,因为它架设在离地面很小的高度上,地面反射波很强,因此要求天线辐射波形的拖尾要小,否则地下目标的回波可能被掩盖而难以被发现。地面处在天线工作的近场,天线为近场区工作,在近场区天线的特性不同于远场区,所以必须考虑地面的影响,一方面尽量减小地表面的反射影响,另一方面尽量将辐射能量耦合到大地内。目前使用的超宽带天线主要有各种振子^[1]、TEM 喇叭^[2~5]以及它们的变形^[6~8]等。本文研制了一种新型探地雷达天线,是基于 TEM 喇叭的改进型,体积小、重量轻,具有良好的波形保真度、良好的辐射特性和屏蔽效果。

1 天线结构

本天线是以 TEM 喇叭为原型的加载天线,其结构如图 1、图 2 所示。

楔体的底板为接地板,斜面为电阻加载面,底板和斜板之间用硬质泡沫填充。由于接地板与同轴电缆的屏蔽层相连,接地板的影响可以用天线的镜像来考虑,这样避免了不平衡馈电,因而不需要附加任何额外的巴仑。倾斜的一面敷铜的印制板上刻制许多平行槽,槽的两端用贴片电阻横跨,进行阻抗加载,以吸收从馈电传向天线终端的电流,实现天线上电流的行波特性。

* 收稿日期 2004 - 09 - 23

基金项目:国家 863 计划资助项目(2001AA132020)

作者简介:周蔚红(1972—),女,博士生。

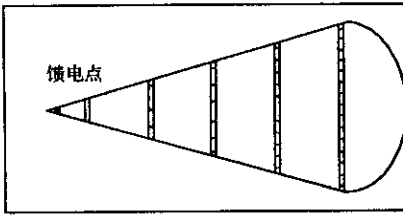


图 1 天线的侧视图
Fig.1 Side view of antenna

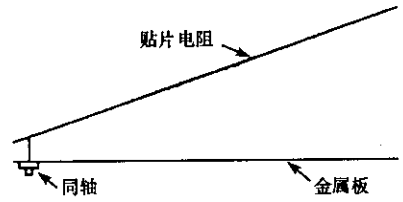


图 2 天线的俯视图
Fig.2 Top view of antenna

2 计算方法

将 FDTD 法用于天线的分析和设计的研究很早就开始了^[9~11]。结果表明它可以很好地模拟天线的近场,对天线的辐射过程和机理有一个比较透彻的理解,还可以处理比较复杂的天线结构。

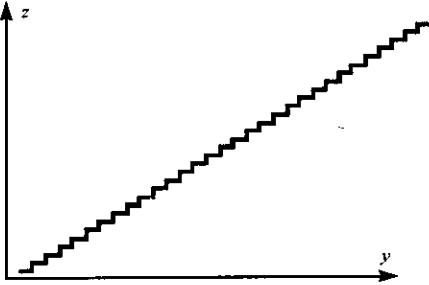


图 3 天线的阶梯近似
Fig.3 Ladder approximation of antennas

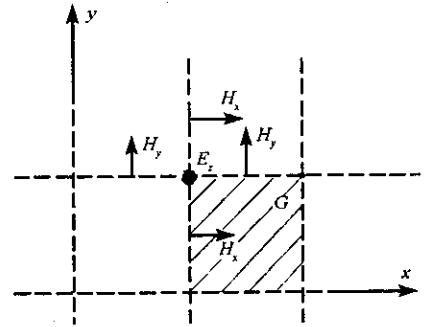


图 4 非均匀电导电场迭代示意图
Fig.4 Sketch map of iterating for non uniform conductor electric field

2.1 阶梯模型

基于 Yee 网格并结合完全匹配层(PML)技术的时域有限差分(FDTD)方法,已经得到了广泛的应用。天线沿 y, z 方向伸展,阶梯近似的结果如图 3 所示。

2.2 加载方式

对于脉冲探地天线,希望辐射场的波形和激励波形相比不产生大的失真,特别是不应有长的拖尾。为实现上述要求,在天线中沿 y 向加载电阻,每隔几个理想导体网格加入一个电导按指数规律变化的电阻加载段:

$$G_y = Ae^{-\alpha y} \quad (1/\Omega)$$

式中 A, α 为常数,当 $\alpha=0$ 时为均匀加载, y 为加载电阻在斜面上的 y 轴坐标。按前面的设定 $y=3, 7, 11, 15, \dots$ 。

2.3 加载电阻元件的 FDTD 迭代公式

如图 4, 设 z 方向上有集中电阻加载元件 R , 下面推导基于电导 G 的 FDTD 迭代公式:

$$(\nabla \times H)_z = \epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} + \sigma E_z \quad (1)$$

$$\epsilon \frac{\partial E_z}{\partial t} + \sigma E_z = \frac{\partial H_y}{\partial x} - \frac{\partial H_x}{\partial y} \quad (2)$$

$$\Delta x \Delta y (\nabla \times H)_z = c \Delta z \frac{E_z^{k+1} - E_z^n}{\Delta t} + G \Delta z E_z^n$$

其中 $\epsilon = \frac{\epsilon \Delta x \Delta y}{\Delta z}$ 为单位面积、单位高度电容, $G = \frac{\sigma \Delta x \Delta y}{\Delta z}$ 为单位面积、单位高度电导。

如果 $\Delta x = \Delta y = \Delta z$, 则

$$(C \frac{\Delta z}{\Delta t} + G\Delta z)E_z^{n+1} = C \frac{\Delta z}{\Delta t} E_z^n + \Delta x \Delta y (\nabla \times H)_z \quad (3)$$

即

$$\begin{aligned} E_{zx}^{n+1} &= \frac{C \frac{\Delta z}{\Delta t}}{C \frac{\Delta z}{\Delta t} + G\Delta z} E_{zx}^n + \frac{\Delta x \Delta y}{C \frac{\Delta z}{\Delta t} + G\Delta z} \frac{\partial H_x}{\partial y} \\ &= \frac{\varepsilon \Delta x \Delta y / \Delta t}{\varepsilon \Delta x \Delta y / \Delta t + G\Delta z} E_{zx}^n + \frac{\Delta x (H_{xy}^{n+\frac{1}{2}}[i, j + \frac{1}{2}, k] - H_{xy}^{n+\frac{1}{2}}[i, j - \frac{1}{2}, k])}{\varepsilon \Delta x \Delta y / \Delta t + G\Delta z} \\ &\quad + \frac{\Delta x (H_{xz}^{n+\frac{1}{2}}[i, j + \frac{1}{2}, k] - H_{yx}^{n+\frac{1}{2}}[i, j - \frac{1}{2}, k])}{\varepsilon \Delta x \Delta y / \Delta t + G\Delta z} \\ &= \frac{\varepsilon \Delta x / \Delta t}{\varepsilon \Delta x / \Delta t + G} E_{zx}^n + \frac{H_{xy}^{n+\frac{1}{2}}[i, j + \frac{1}{2}, k] - H_{xy}^{n+\frac{1}{2}}[i, j - \frac{1}{2}, k]}{\varepsilon \Delta x / \Delta t + G} \\ &\quad + \frac{H_{xz}^{n+\frac{1}{2}}[i, j + \frac{1}{2}, k] - H_{yx}^{n+\frac{1}{2}}[i, j - \frac{1}{2}, k]}{\varepsilon \Delta x / \Delta t + G} \\ &= B_1 E_{zx}^n + B_2 (H_{yz}^{n+\frac{1}{2}}[i + \frac{1}{2}, j, k] - H_{yz}^{n+\frac{1}{2}}[i - \frac{1}{2}, j, k] \\ &\quad + H_{yx}^{n+\frac{1}{2}}[i + \frac{1}{2}, j, k] - H_{yx}^{n+\frac{1}{2}}[i - \frac{1}{2}, j, k]) \end{aligned} \quad (4)$$

其中

$$B_1 = \frac{\varepsilon \Delta x / \Delta t}{\varepsilon \Delta x / \Delta t + G}, \quad B_2 = \frac{\Delta t}{\varepsilon \Delta x + G \Delta t}$$

同理:

$$\begin{aligned} E_{zy}^{n+1} &= B_1 E_{zy}^n + B_2 (H_{xy}^{n+\frac{1}{2}}[i, j + \frac{1}{2}, k] - H_{xy}^{n+\frac{1}{2}}[i, j - \frac{1}{2}, k] + \\ &\quad H_{xz}^{n+\frac{1}{2}}[i, j + \frac{1}{2}, k] - H_{yx}^{n+\frac{1}{2}}[i, j - \frac{1}{2}, k]) \end{aligned} \quad (5)$$

3 计算及实验结果

采用 FDTD 上述计算方法得到的天线波形与在时域紧凑场暗室系统(AMCCC)测得的波形对比如图 5、图 6。入射脉冲为高斯微分脉冲:

$$f(t) = -\frac{2(t-t_0)}{\tau} \exp\left[-\frac{(t-t_0)^2}{\tau^2}\right] \quad (6)$$

在探地雷达中,因为天线工作在近场区,天线辐射的波形保真性对于埋地目标的识别十分重要。从图 5 可以看出,计算结果与测量结果比较吻合,证明了模型的有效性。

从图 6 可以看出,天线从 170MHz 到 1.5GHz 之间的频带驻波小于 2,所以天线具有很宽的阻抗频带特性,而天线的尺寸只有 170mm × 210mm × 480mm,相对于 170MHz 时的波长,天线的电尺寸是相当小的。

在探地雷达系统中,由于收发天线之间距离很近,收发之间的耦合是很强的。如图 7 所示,收发天线之间用两块金属隔板隔开,且两块隔板之间用阻性吸波材料填充,以吸收收发天线之间的耦合波。在计算中,地面的影响用对消法消除。图 8 中实线为没有阻隔层时接收天线接收到的波形,与虚线表示的中间有吸波材料的结果相比较,可以看出吸波材料不仅大大减小了收发之间的耦合,而且对电磁波有延迟作用。

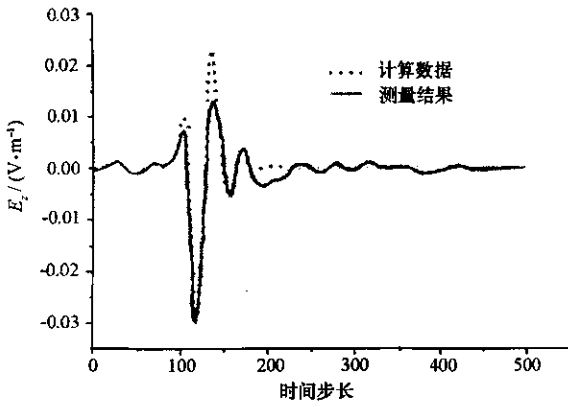


图 5 天线正前方的辐射波形

Fig. 5 Radiation waveform of the antenna in its right ahead

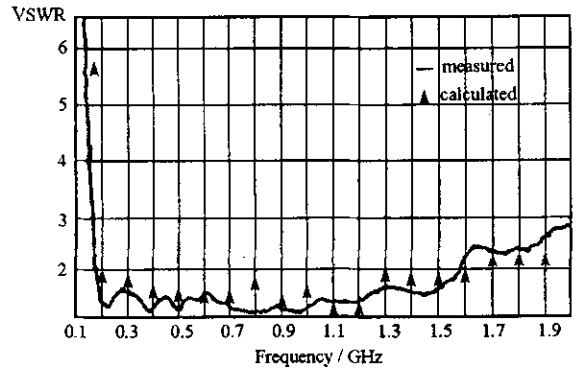


图 6 天线的驻波特性

Fig. 6 Feature of standing wave for the antenna

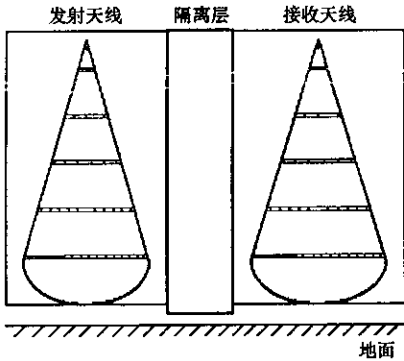


图 7 蝶形振子天线在脉冲探地雷达工作示意图

Fig. 7 Sketch map of bow-tie antenna when working in pulse GPR

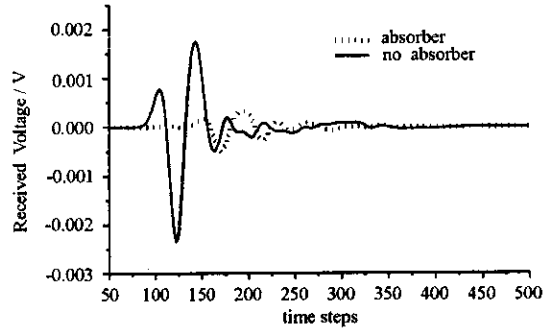


图 8 接收天线的耦合波形

Fig. 8 Coupled waveform of the receiving antenna

4 结束语

理论分析和实际应用都证明本文研制的探地雷达天线具有良好的波形保真性和辐射特性,结构简单,体积小,重量轻。它结合了振子类 and 喇叭类天线的优点,并克服了它们的一些缺陷。

参考文献:

- [1] Maloney J G , Smith G S. Optimization of a Conical Antenna for Pulse Radiation : An Efficient Design Using Resistive Loading[J]. IEEE Trans. on AP 1993 41(7) 940 - 947.
- [2] Farr E G , Baum C E. Impulse Radiating Antennas Ultra-wide Band Short-pulse Electro-magnetic[M]. America :Plenum Press ,1995.
- [3] Katz D , Picket-May M , Taflove A , Unahankar K. FDTD Analysis of Electromagnetic Wave Radiation from Systems Containing Horn Antenna[J]. IEEE Trans. on AP 1991 39(8) :1203 - 1212.
- [4] LIU K C , HE J G. Analysis and Design of UWB TEM Horn with Waveform High Fidelity[J]. 国防科技大学学报 ,1994 ,16(1).
- [5] 袁乃昌 ,何建国,等. 新型集成超宽带开槽天线的研制及其应用[J]. 电子学报 ,1997 25(9) :43 - 46.
- [6] Darden W H , Burnside W D. An Ultra-wide Band Antenna for Pulse Application[J]. Microwave Journal ,1993 9 :136 - 143.
- [7] Shlager K L , Smith G S , Maloney J G. Optimization of Bow-tie Antenna for Pulse Radiation[J]. IEEE Trans. AP ,1994 42(7) 975 - 982.
- [8] 刘克成 ,何建国 ,尹家贤,等. 超宽带圆锥 TEM 喇叭天线的分析与设计[J]. 微波学报 ,1995 ,11(1) 66 - 70.

