

文章编号: 1001-4322(2008)07-1134-03

## 高功率楔形介质填充天线设计\*

郭 晨, 张安学, 蒋延生, 汪文秉

(西安交通大学 微波与光通信研究所, 西安 710049)

**摘要:** 针对高功率超宽带天线应用中的绝缘性及方向性等关键问题, 设计了一种基于 TEM 喇叭天线形式的楔形介质填充天线, 并利用时域有限差分数值方法分析了这种新型介质填充天线的辐射性能。数值模拟与测试结果表明, 所设计的这种楔形介质填充天线不仅可以满足高功率天线的绝缘性要求, 而且在主轴方向上具有较强的辐射场。

**关键词:** 高功率超宽带电磁脉冲; 时域有限差分; TEM 喇叭天线; 楔形介质填充天线

**中图分类号:** TN82      **文献标志码:** A

近年来, 超宽带(UWB)电磁脉冲技术的发展迅速, 超宽带高功率技术的应用潜力日益突出, 其中超宽带高功率天线的设计是其关键问题。超宽带高功率天线除满足辐射效率和带宽要求外, 还需满足方向性和绝缘性等要求。本文针对目前高功率脉冲天线设计中的关键问题, 采用时域有限差分(FDTD)数值模拟方法<sup>[1]</sup>, 在 TEM 喇叭天线<sup>[2]</sup>的基础上设计了一种新型介质填充天线, 使其在满足高功率绝缘性的前提下, 能具有更好的辐射特性。

### 1 楔形介质填充 TEM 天线设计

平面 TEM 喇叭天线是一种结构简单, 性能优良的超宽带平面天线, 目前许多 UWB 天线都采用这一形式<sup>[3]</sup>。考虑到高功率脉冲天线的特殊性, 本文对平面 TEM 喇叭天线进行了结构改进。图 1(a)为所设计天线的立体模型, 为了减小天线尺寸, 只保留 TEM 喇叭上面的辐射板, 改用可近似为无限大接地平板的导电金属板。馈电端采用垂直同轴馈电, 激励方式为 TEM 平面波垂直入射, 激励脉冲  $-10 \text{ dB}$ , 脉宽为  $1 \text{ ns}$ , TEM 喇叭天线长度为  $60 \text{ cm}$ , 口径尺寸为  $W \times 2H = 50 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ , 如图 1(c)所示。

由于此天线设计为高功率用途, 因此必须首先考虑高压绝缘。利用特定的绝缘材料可以起到绝缘的作用, 但喇叭天线中填充绝缘材料后由于反射等因素, 天线的辐射性能会受到较大影响。为了尽量减少绝缘材料对天线辐射的影响并利用介质填充来改善天线性能以满足设计要求, 天线的介质填充结构将是一个关键的问题。考虑到无辐射介质波导(NRD)具有辐射方向性集中且侧向泄漏小, 易于组阵的特性<sup>[4]</sup>, 本文中设计出了一种基于 NRD 波导理论的楔形介质填充天线。具体结构如图 1 所示, 在天线金属板与接地导电平板间填充了一定形状的绝缘材料作为 NRD 波导理论中起到束缚电场作用的介质块, 形状及尺寸如图 1(b)所示, 区域 1 表

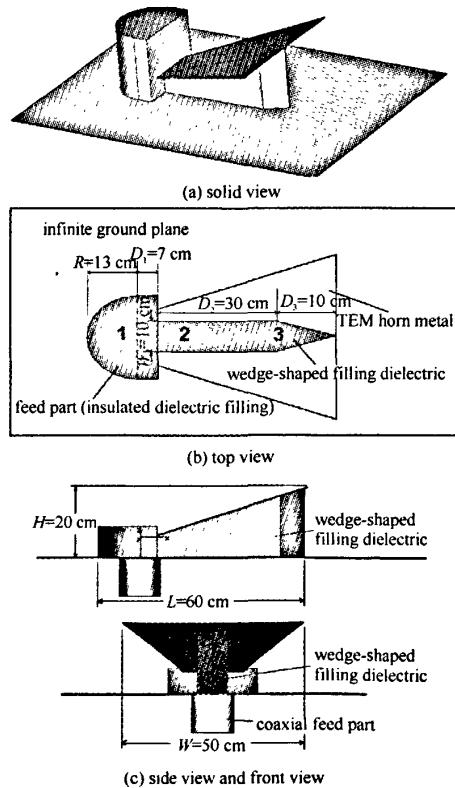


Fig. 1 Structure and dimension of dielectric-filling horn antenna

图 1 楔形介质填充天线结构示意图

\* 收稿日期: 2007-06-07; 修订日期: 2008-03-18

基金项目: 国家自然科学基金项目(60501004)

作者简介: 郭 晨(1984—), 女, 江苏人, 博士, 现从事高功率超宽带天线及其阵列研究工作; chanekwok@gmail.com.

示在 TEM 喇叭天线的馈电结构处包裹了介电常数为 2.3 的介质绝缘材料, 以防止击穿; 区域 2 所填充的矩形介质材料连接于天线上臂与无限大导电板之间, 用于束缚电场辐射能量, 形成文献中所提出的 NRD 波导结构, 将能量集中于 TEM 喇叭天线内的中心区域; 区域 3 所填充的介质块采用楔形设计过渡, 减少口径面处能量反射, 以利于在口径处充分辐射。

## 2 数值模拟分析

本文利用 FDTD 方法对所设计的高功率脉冲天线进行数值分析, 激励脉冲如图 2 所示, 激励脉冲  $-10 \text{ dB}$ , 脉宽为 1 ns, 中心频率约为 1 GHz。

### 2.1 天线内部电场分布

为了便于更直观地观察天线内部电场的变化情况, 图 3 分别给出了无填充介质天线和楔形介质填充天线在口径面电场最强时的场分布。

图 3 的电场分布图中, 颜色的不同深度表示了场强的分布程度, 颜色越深, 场强越强。图中分别用数字 1, 2 标示出不同程度的场强区域。从图 3(a)中可以看出, TEM 喇叭天线中无填充介质时, 电场最强处出现在天线的两侧边缘, 并渐渐聚集于天线金属板的两侧端角处, 如区域 1 所示; 区域 2 代表较弱的场强。图 3(b)给出了本文所设计楔形介质填充天线中的电场分布, 可以看出由于中间填充了介质材料, 电场能量主要被束缚在中间区域, 如区域 1 所示, 可以有效地增强前向辐射和减少侧向泄漏辐射。

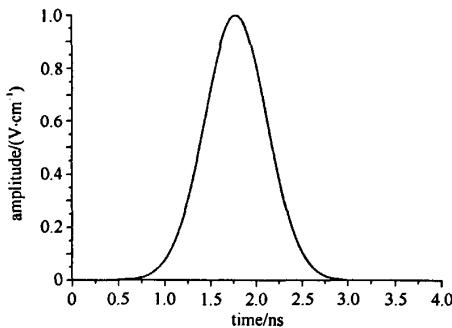
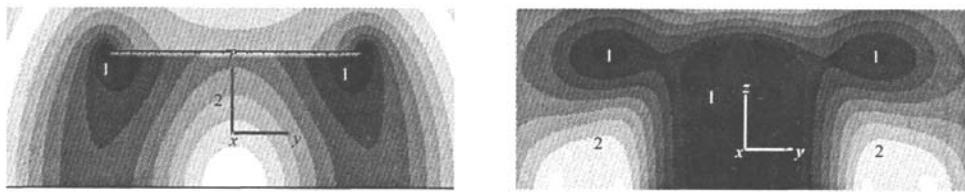


Fig. 2 Excitation signal

图 2 激励脉冲信号



(a) horn antenna without dielectric-filling

(b) horn antenna with dielectric-filling

Fig. 3 Field distribution of horn antennas

图 3 两种天线在某一时刻的口径面电场分布图

### 2.2 前向辐射远场峰值比较

图 4 给出了这种楔形介质填充天线在单极高斯脉冲信号激励下主轴方向上辐射远场  $E_z$  的曲线(距天线口径 4.2 m 处), 同时给出了无填充介质天线的数值模拟结果。可以看出, 远区场中无填充介质天线辐射电场峰-峰值( $z$  方向)为 0.262 7 V/m, 而本文所设计的楔形介质填充天线辐射电场峰-峰值为 0.497 4 V/m, 后者比前者的辐射强度大大提高。

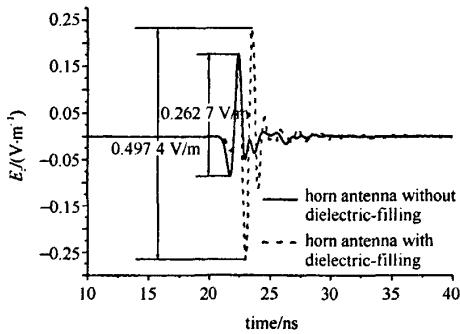


Fig. 4 Peak value comparison of front field

图 4 前向辐射电场峰-峰值比较

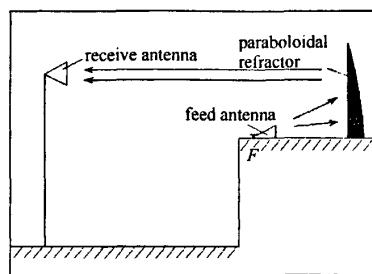


Fig. 5 Structure of testing system

图 5 实测结构示意图

### 3 实测结果

天线设计完成后为了对比数值模拟结果,利用实测条件对其进行测量。实测示意图如图 5 所示。文中所设计的介质填充喇叭天线作为馈源置于一抛物反射面的焦点上,形成抛物反射面型脉冲辐射天线(IRA)<sup>[5]</sup>,左端的接收天线接收到的是通过抛物面反射到达的辐射场。实测曲线如图 6 所示。

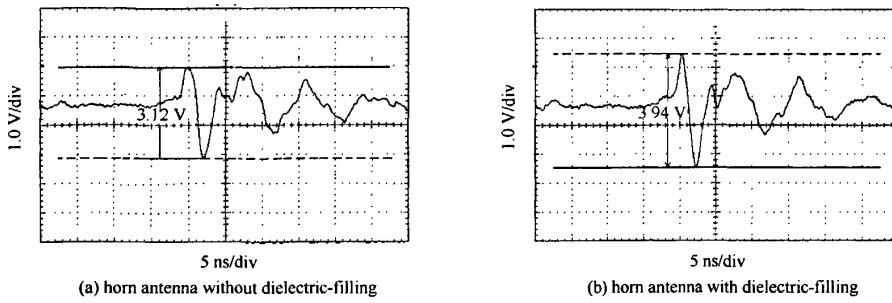


Fig. 6 Experimental results of radiation field

图 6 两种天线的辐射场实测曲线比较

比较图 6 中的测试结果,图 6(a)为未填充介质的 TEM 喇叭天线辐射场波形,接收电压峰-峰值为 3.12 V,图 6(b)为填充楔形介质的 TEM 喇叭天线辐射场波形,测得的接收电压峰-峰值为 3.94 V,后者比前者辐射强度提高约 25%,验证了所设计楔形介质填充天线仿真结果的正确性。

### 4 结 论

本文通过数值模拟及实测,对 TEM 喇叭天线填充介质前后辐射性能的测试对比,设计出了可使天线主轴方向上辐射增大,及满足高压绝缘要求的新型高功率楔形介质填充天线。普通 TEM 喇叭天线中电场的分布主要集中于金属喇叭板的边缘及两侧,且总体呈发散状,能量损耗较大,辐射效率相对较低;而本文中所设计的楔形介质填充天线由于填充了适当结构的绝缘介质材料,不仅可以起到高压绝缘的作用,而且有效地将电场束缚于介质体内,将能量集中于天线前端,有效增强了前向辐射场。

### 参 考 文 献:

- [1] 吴锋涛,张光甫,张伟军,等. FDTD 分析时域平面 TEM 喇叭天线阵[J]. 国防科技大学学报,2006,28(4):54-58. (Wu F T, Zhang G F, Zhang W J, et al. Analyze time domain planar TEM horn antenna array based on FDTD. *Journal of National University of Defense Technology*, 2006,28(4):54-58)
- [2] Kanda M. The effects of resistive loading of "TEM" horns[J]. *IEEE Trans Electromagnetic Compatibility*, 1982,24(2):245-255.
- [3] 廖勇,孟凡宝,周海京,等. TEM 喇叭天线阵列单元互耦对阵列辐射特性的影响[J]. 强激光与粒子束,2003,15(12):1213-1216. (Liao Y, Meng F B, Zhou H J, et al. Influence of the mutual coupling between the element of TEM horn arrays on far-field radiation. *High Power Laser and Particle Beams*, 2003,15(12):1213-1216)
- [4] Wang X H, Jiang Y S, Wang W B. A novel UWB antenna with small side-leakage[J]. *The International Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2004,25(9):1325-1335.
- [5] Baum C E, Farr E G. Ultra-wideband/short-pulse electromagnetics[M]. New York: Plenum Press, 1993, 144-147.

## Design of a high-power wedge-shaped dielectric antenna

GUO Chen, ZHANG An-xue, JIANG Yan-sheng, WANG Wen-bing

(Institute of Microwave Communication, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

**Abstract:** A novel UWB horn antenna based on TEM horn structure with wedge-shaped dielectric-filling is investigated. For the wedge-shape dielectric-filling horn antenna, it is found that the radiation energy converged in the dielectric-filling region, thus the radiation field in the direction of the horn axis is improved. Moreover, the appropriate filling of insulating dielectric could prevent the antenna from electric breakdown. The finite difference time domain(FDTD) numerical analysis approach has been adopted to simulate the proposed antenna and the results indicate that it is well suited to high power UWB applications.

**Key words:** High-power; Ultra-wideband; Finite difference time domain; TEM-horn antenna; Wedge-shaped dielectric-filling

## 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>