

文章编号: 1001-4322(2007)06-0971-04

不同渐变方式的喇叭结构对电-磁振子组合型超宽带天线特性的影响*

原艳宁¹, 席晓莉¹, 樊亚军²

(1. 西安理工大学 自动化与信息工程学院, 西安 710048; 2. 西北核技术研究所, 西安 710024)

摘要: 电-磁振子组合型超宽带(UWB)天线的物理结构包括3部分:天线的馈电系统、TEM喇叭辐射单元和电流环辐射单元。采用CST MICROWAVE STUDIO电磁场数值计算软件,对该组合型天线的结构与端口S参数和时域辐射特性进行了分析。仿真结果表明:当TEM喇叭辐射单元和电流环辐射单元由3段金属板构成时,天线的端口S参数较小,主轴辐射功率较大,方向性较好。

关键词: UWB天线; 电-磁振子; 喇叭; S参数; 辐射特性; CST软件

中图分类号: TN822.8 **文献标识码:** A

超宽带(UWB)天线的设计需满足工程上对天线阻抗及辐射性能的要求。阻抗特性要求馈源的电压驻波比(VSWR)在足够宽的频带范围内足够小,使馈源具有较小的反射系数和高的效率。对于辐射脉冲信号的天线,辐射特性除了对方向性有要求外,还要求对脉冲信号辐射要有较好的保真性,脉冲展宽小^[1-3]。

由于TEM喇叭色散小,带宽一般可以做到10倍频程以上,是一种常用的超宽带天线。但是因为这种喇叭天线对低频反射较大。在低频率时,小张角的TEM喇叭天线可近似为电偶极子天线,而加载低频补偿回路可构成磁偶极子,这样电偶极子与磁偶极子构成组合振子天线,可改善天线的低频辐射性能^[4-5]。在这些基础上,V. I. Koshelev提出了电-磁振子组合型UWB天线^[6],该天线除金属板形成的喇叭外,还在上下部及后部附加了金属面,其辐射性能可视为一磁偶极子,以补偿低频辐射能力较差的缺点,此外还增加了一个电流环辐射单元,可以进一步改善天线的阻抗特性。

关于该组合天线的结构参数、电流环尺寸对天线性能的影响以及辐射带宽与天线尺寸的关系文献[7]已做详细讨论。本文在不改变组合天线基本结构和尺寸的情况下,分析了喇叭及电流环渐变方式对组合天线的阻抗特性及辐射特性的影响,为这种天线的设计提供参考。

1 数值计算模型的建立

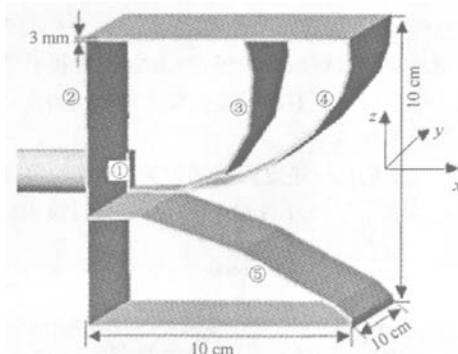
1.1 物理结构

组合天线的物理结构如图1所示,主要包括3部分:天线的馈电系统、TEM喇叭辐射单元和电流环辐射单元。电流环辐射单元由电流环调节器和外导体构成,其周长可以通过调节电流环调器来实现。TEM喇叭辐射单元由TEM喇叭上极板和下极板组成。

为了分析不同渐变方式的喇叭结构对电磁振子组合型UWB天线特性的影响,在保证辐射单元整体变化趋势一致的情况下,我们把电流环调器、TEM喇叭上极板和下极板都分别加工成2段、3段、6段和光滑弧面的模型进行分析,模型分别记为模型1、模型2、模型3和模型4,如图2所示。

1.2 数值计算模型

本文计算的天线尺寸为10 cm×10 cm×10 cm。同轴馈电线的内外导体选择理想导体,直径分别为3 mm



① feed-in; ② case; ③ adjuster of current loop; ④ upper part of TEM horn; ⑤ lower part of TEM horn
Fig. 1 Structure of electric-magnetic vibrator combined UWB antenna

图1 电-磁振子组合型UWB天线结构示意图

* 收稿日期:2007-01-22; 修订日期:2007-05-25

基金项目:国家863计划项目资助课题

作者简介:原艳宁(1982—),女,硕士研究生,现从事超宽带天线研究工作;ynn1982@126.com。

联系作者:席晓莉(1967—),女,副教授,主要从事天线设计和电波传播等方面的研究;xiaoli@xaut.edu.cn。

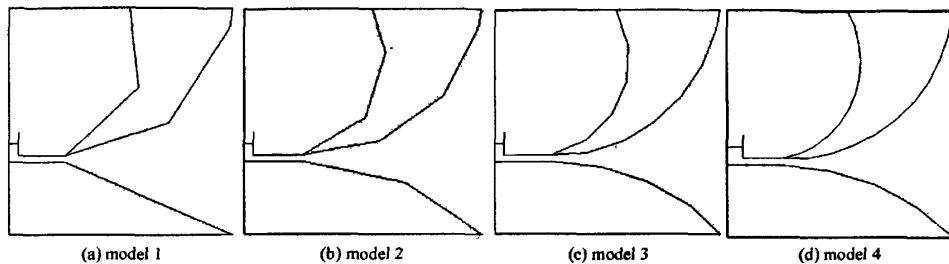


Fig. 2 Different physical models

图 2 不同的物理模型

和 10 mm, 填充介质为聚四氟乙烯, 其相对介电常数 $\epsilon_r=2.08$, 电导率 $\sigma=0$; 金属板为 3 mm 厚度的理想导体。采用 CST MICROWAVE STUDIO 电磁场数值计算软件分别对图 2 所示的 4 种模型进行仿真, 通过比较天线端口反射系数 (S_{11})、功率方向图及远区(距天线 10 m)辐射场波形, 对几种模型的性能进行分析。剖分网格的初始大小设置为 $\lambda/10$ (λ 是按照仿真给出的激励脉冲频谱的中心频率计算的波长), 采用自适应网格加密技术对计算模型进行剖分。本文模型计算中的计算结束条件设置为相邻两次计算结果的端口反射系数 (S_{11}) 差的绝对值小于 2% 或网格加密的次数大于 6(每次加密增加 50% 的网格)。采用高斯脉冲激励, 边界条件为 6 层理想吸收边界(PML6), 设置在离结构体 $\lambda/8$ 距离处。

1.3 参数描述

功率方向图^[4]是时间的函数, 通常用峰值功率方向图描述 UWB 天线时域辐射场的方向性。本文方向图计算方法如下: 以辐射口径面的中心为圆心, 半径为 10 m, 每隔 10° 间隔采样时域辐射波形。在任何观察位置, 远场 E_θ 和 E_ϕ 分量的峰值到达时间都不相同, 因为辐射场主要为 E_θ 分量, 用 $E_{\theta,p}$ 表示电场在 θ 方向时域辐射波形的峰峰值, 则辐射场的峰峰值功率可近似为 $P=E_{\theta,p}^2$ 。辐射场的半功率波束宽度 2θ 是描述天线时域方向性的一个重要指标。本文中, E 面即为辐射天线的对称平面, 即垂直平面($\varphi=0^\circ$); H 面即为包含辐射天线主轴的水平面($\theta=90^\circ$)。

2 数值计算结果及分析

图 3 是根据图 2 所示的 4 种模型计算的端口 S 参数结果。当激励脉冲半高宽为 0.24 ns 时(CST 中对应的频谱范围为 0~3.3 GHz), 图 4、图 5、表 1 分别是图 2 所示 4 种模型计算的时域辐射波形、功率方向图和半功率波束宽度的结果。时域辐射波形是天线主轴(x 轴)上 10 m 处的 E_θ 分量的采样结果。

天线的尺寸决定天线的带宽, 天线的尺寸与带宽的关系在文献[7]已经讨论过。从图 3 不同模型的端口 S 参数

表 1 不同模型的峰值功率和半功率波束宽度

Table 1 Peak power and half-power beam width of different model

model	peak power/W	$2\theta/(\text{°})$	
		E plane	H plane
model1	1.037 7	90	102
model2	1.201 6	81	90
model3	1.092 2	90	100
model4	1.100 5	86	93

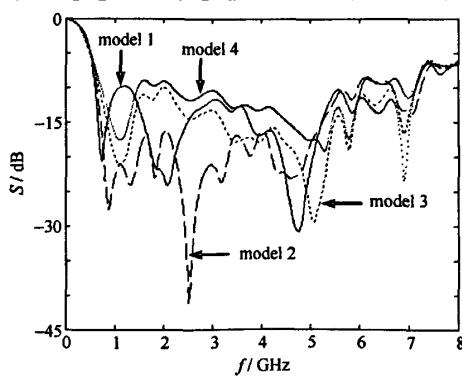


Fig. 3 Port S parameter of different model

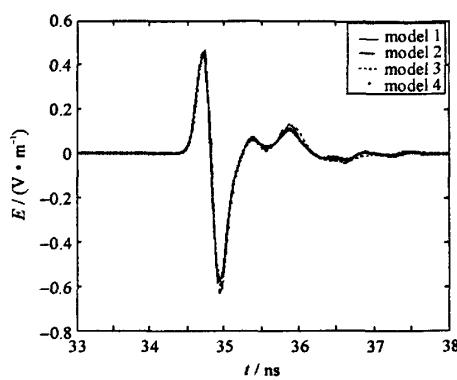
图 3 不同模型的端口 S 参数

Fig. 4 Radiated waveform of different model at main axis

图 4 不同模型主轴上的时域辐射波形

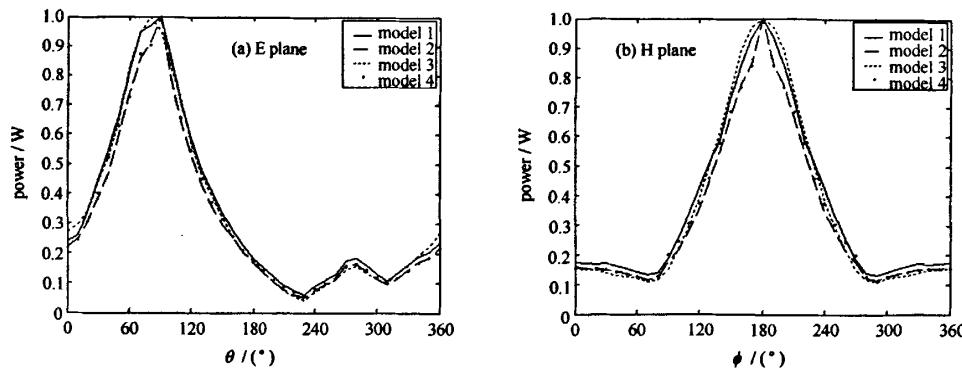


Fig. 5 Power pattern of different model

图5 不同模型的功率方向图

比较可以看出,模型1只是在个别的频率具有较小的反射系数,带内的平坦度也比较差;模型2的S参数在较宽的频带内具有较小的反射系数;随着分段数的增多,反射系数整体上变差,比如模型3;同时可以发现当喇叭及电流环辐射单元为光滑的弧面时,其反射系数不如用6段近似的好。

从图4可以看出,当激励脉冲的半高宽为0.24 ns时,模型1、模型2、模型3和模型4的时域辐射脉冲的半高宽分别为0.24, 0.24, 0.23和0.24 ns, 波形基本没有展宽, 说明渐变方式对天线的辐射波形的展宽影响不大。

从图5和表1来看,渐变方式对方向图的影响不是很大。相对而言,模型2的主轴辐射场最大, 其峰值功率大约为1.2 W, 无论是在E面还是H面, 其半功率波束宽度都有所减小, 方向图变窄。由于模型的对称性, 组合天线的H面方向图具有对称性, 而E面的方向图不对称, 向有电流环辐射单元方向偏7°左右。

渐变方式不同, 则金属板的厚度与宽度变化的趋势不同, 从而导致TEM喇叭和电流环辐射单元的阻抗特性变化不同。将TEM喇叭和电流环辐射单元等效为分段传输线来看, 模型1阻抗的突变性较大, 这将产生比较大的反射, 这种情况可能对某些频率点匹配好, 但较难做到宽频带的匹配。通过用多段近似, 一是可以做到阻抗缓慢变化, 使反射减小; 二是不同位置的反射波可能相互抵消, 使反射减小。这可能就是模型2在较宽的频带范围具有较小反射、主轴远场辐射强度大和方向图窄的原因。理论上分段数越多, 阻抗变化越缓慢, 反射会降低。但是, 随着分段数增多, 阻抗突变面数目也随之增多, 反射波数量就会增多, 如果反射波不能有效地相互抵消, 就起不到降低反射的作用。这可能就是模型3反射增大的原因。此外, 分段数的增加, 导致传输线的总长度随之增加, 也增加了导体的损耗。分段数越多, 越和模型4的情形近似, 则两者计算的结果越接近。从图3我们可以看出, 模型3与模型4的S参数变化趋势基本一致, 模型3的S参数相对好些, 估计是分段产生的部分反射波相互抵消的原因。根据图3中模型2的计算结果可以估计出, 如果要求 $S < 10$ dB(VSWR大约为2), 带宽大约为10倍频程, 天线具有超宽带的特性。

3 结论及存在的问题

从以上的分析可以看出: 喇叭及电流环渐变方式对天线的端口参数影响比较大, 对辐射特性影响较小。在本文的数值计算中, 我们发现分段数过少, 带内的平坦度较差, 反射较大, 但分段数越多, 对端口S参数和远场辐射特性改善也不是最好, 所以要合理选择分段数。对于本文建立的4种模型, 当电流环调器、TEM喇叭上极板和下极板加工成3段时, 即模型2, 组合天线具有较好的阻抗特性和辐射特性。

在数值计算时, 本文主要是在保证不改变组合天线基本结构情况下, 得出模型2好的结论; 如果改变分段处的位置, 上述结论是否还成立还需进一步讨论。

参考文献:

- [1] Pochanin G P, Kholod P V. Large current radiator with S-diode switch[J]. *IEEE Trans on Electromag Compat*, 2001, 43(1): 94-100.
- [2] Yarovoy A G. The dielectric wedge antenna[J]. *IEEE Trans Antenna and Propagation*, 2002, 50(10): 1460-1472.
- [3] 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.

- [4] Koshelev V I, Andreev Y A, Buyanov Y I, et al. Ultrawideband transmitting antennas, arrays, and high-power radiation sources[C]//Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics 6. New York: Plenum Press, 2003, 357-367.
- [5] Koshelev V I, Buyanov Y I, Andreev Y A, et al. Multichannel antenna systems for radiation of high-power ultrawideband pulses[C]//Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics 4. New York: Plenum Press, 1999, 181-186.
- [6] Koshelev V I, Buyanov Y I, Andreev Y A. Ultrawideband radiators of high-power pulses[C]//Proc 13 IEEE Inter Pulsed Power Conference. 2001, 1661-1664.
- [7] 席晓莉, 原艳宁, 易超龙, 等. 电-磁振子组合型超宽带天线数值分析[J]. 强激光与粒子束, 2007, 19(1), 103-106. (Xi X L, Yuan Y N, Yi C L, et al. Numerical analysis of electric-magnetic vibrator combined UWB antenna. *High Power Laser and Particle Beams*, 2007, 19(1), 103-106)

Influence of horn structure on electric-magnetic vibrator combined UWB antenna characteristic

YUAN Yan-ning¹, XI Xiao-li¹, FAN Ya-jun²

(1. School of Automation and Information Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China;

2. Northwest Institute of Nuclear Technology, P. O. Box 69, Xi'an 710024, China)

Abstract: The electric-magnetic vibrator combined ultrawideband antenna consist of three parts: feed-in system, TEM horn radiation unit and current loop radiation unit. Applying CST electromagnetic software, the relation between physical structure and port S parameter and the radiation characteristic in time domain of the electric-magnetic vibrator combined ultrawideband (UWB) antenna were investigated. The results indicate that when the TEM horn radiation unit and current loop radiation unit are divided three parts, the antenna has smaller port S parameter, larger power on main axis and it has better direction.

Key words: UWB antenna; Electric-magnetic vibrator; Antenna; S parameter; Radiated characteristic; CST software

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>