

一种新型超宽带磁天线

赵波 张晓娟 方广有
(中国科学院电子学研究所 北京 100190)

摘要: 该文设计制作了一种新型实用的超宽带磁天线。天线采用平衡馈电,文中对天线的回波损耗、辐射性能和时域响应进行了数值仿真和实验测试。在驻波比小于2时天线有107%的阻抗带宽,大约100%的方向图带宽,工作频段完全覆盖超宽带通信频谱。研究表明,天线有大于5dB的平稳增益,能够不失真地传播脉冲波形。而且由于磁场能量占优,不易于与近场物体互耦,特别适合于室内等物体繁杂的地方应用,有非常强的实用价值。

关键词: 磁天线; 超宽带; 脉冲; 平衡馈电

中图分类号: TN826

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)04-1004-03

A Novel UWB Magnetic Antenna

Zhao Bo Zhang Xiao-juan Fang Guang-you
(Institute of Electronics, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China)

Abstract: A novel compact UWB magnetic antenna is designed and manufactured. This antenna has a balanced feed, moreover, numeric simulations and experiments are carried out to investigate its return loss, radiation behavior, and time-domain response. The antenna offers 107% impedance bandwidth under $VSWR < 2$ and 100% radiation bandwidth, which covers ultra wideband frequency spectrum applications. The achieved performance in the band has fairly constant $> 5\text{dB}$ gain, and suitability for pulse transmission with minimized distortions. Further more, it has relatively large magnetic near-fields that are difficult to undesired coupling with near-by objects, so it is very suitable for application to some environment cluttered up with objects such as home. It makes some sense to the application.

Key words: Magnetic antenna; Ultra-wideband; Pulse; Balance-fed

1 引言

2002年2月,美国联邦通信委员会(FCC)批准了UWB运用于商业通信,工作在3.1-10.6GHz的免授权频谱,这一举措有力地推动了UWB的发展。UWB技术特别适合于短距离高数据率传输,在前8m内的网络连接速度惊人,差不多是IEEE802.11a的10倍,未来它将成为短距离无线通信的主流技术^[1,2]。现有的UWB技术一般采用短脉冲传输信息,分数带宽达到了110%,设计出相应的天线成为一个技术难题。在许多脉冲雷达体制中,有用信息包含在脉冲回波的波形中,因此设计天线必须要求最小化脉冲失真。而传统的宽带天线不太满足脉冲激励:(1)非频变天线:例如螺旋天线,通常体积大而且是频率色散的;(2)TEM喇叭天线:体积大而且方向性系数很高,无法对一个比较大的范围进行监测;(3)阻抗加载天线:如偶极子加载天线,虽然带宽增加了,但损耗增加,效率明显下降^[3,4]。因为超宽带天线在系统中类似于一个带通滤波器,从频域来说,最小化脉冲失真等同于传输函数增益平稳和相位线性,表现在天线特性参数:(1)

宽的阻抗带宽;(2)方向图不随频率变化^[5]。由于磁天线的磁场能量在近场占优,而磁场比电场的耦合能力弱,所以在许多复杂环境中磁天线比电天线更适用^[6]。

本文介绍了一种新型的适合脉冲激励的超宽带磁天线。综合现有的几种磁天线结构优点,先改进了磁天线结构,再用仿真软件对天线结构进行优化,然后制作天线原型,最后测量天线的特性参数,在UWB频段内有5dB的方向性增益和-10dB的回波损耗。

2 天线结构模型

1983年, Harmuth 设计出 large current radiator 基本结构,即金属片在接地板上,采用平衡馈电^[7]。1999年, Farr 等人在此基础上进行改进,将平的辐射片改成了圆弧形,采用一端馈电一端接匹配负载的方式^[8]。2003年, Boryssenko 设计出 tongue 天线,将辐射片改成了渐变形状,采用同轴馈电,无需接负载^[9]。Harmuth 和 Farr 的天线没有大的阻抗带宽,而且方向图也只有一个狭窄的频率范围不错。Tongue 天线采用渐变结构,极大地提高了阻抗带宽,但是由于结构本身的不对称性,方向图随频率变化明显,最大辐射方向也不在天线的正交轴上,使用时必须倾斜一定角度,

很不方便。

根据天线设计理论，一个性能优良的天线可视为从馈电端电流到辐射场的匹配网络，并可以进行辐射能量的合理分布^[10]。综合以上结构，本文设计制作宽度渐变的辐射片，用宽度不变的铜片做为天线基座即反射板。如图 1 所示，反射板正面轮廓线由分段的反正切函数描述，辐射板三维结构可以分为正面曲线和侧面宽度渐变的二维结构。辐射板宽度对驻波比影响很大，用函数描述制作前铜片的宽度，如图 2 所示。形状函数为

$$W(q) = \begin{cases} W_{\min} + \left[\frac{2q}{L}\right]^m (W_{\max} - W_{\min}), & q \leq \frac{L}{2} \\ W(q) = W_{\max} + \left[\frac{2q-L}{L}\right]^m (W_{\min} - W_{\max}), & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

其中参量 W_{\min} 和 W_{\max} 定义辐射片的最小和最大宽度， L 是辐射片弯折前长度， m 是变形因子。

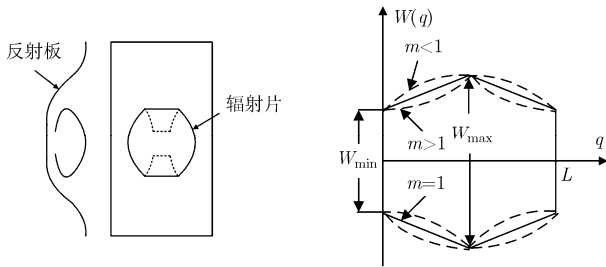


图 1 天线几何结构

图 2 辐射板宽度函数

3 天线仿真与设计

本文选用 Ansoft 公司的软件 HFSS10.0 来优化设计天线，它是基于有限元法的三维高频电磁场仿真软件。图 3(a) 是天线模型的正视图，图 3(b) 是用 HFSS 仿真的网格划分图。

天线优化的主要的目标是在工作带宽内达到 50Ω 的输入电阻和接近 0 的输入电抗，最后再从中挑选辐射方向图优良的参数值。主要的优化参数如下：(1)辐射片宽度函数(见式(1))中的 3 个参数 ω_{\min} ， ω_{\max} 和 m ；(2)在馈电点处辐射片与反射片的高度差 H ；(3)反射板的宽度和高度。

优化的约束条件主要是天线的尺寸大小，一般要求天线的尺寸越小越好，这里设定小于 10cm。当然最后还需要考虑方向图。依据仿真结果，在天线传播实验室制作并测量

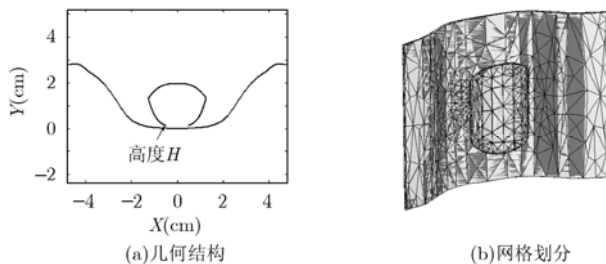


图 3

了一个超宽带天线，如图 4 所示。天线元设计成一个相当紧凑的结构 $9\text{cm} \times 7\text{cm} \times 2.8\text{cm}$ ，最低工作频率可达 3GHz，最高频主要由天线大小和馈电高度决定，这里设计成 10.6GHz。

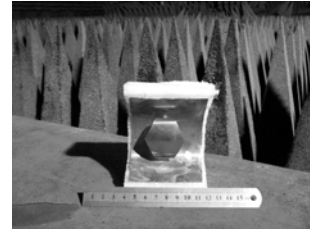


图 4 天线原型

4 仿真和测量结果

用仿真软件 HFSS10.0，计算图 3 的模型。图 5 和图 6 是仿真和测量的驻波比和增益。天线阻抗带宽主要受低频影响，这是由馈电点和辐射片形状决定的。在频率范围内有大于 5dB 的平稳增益，变化小于 1dB。由图 7 可见，天线的主瓣方向保持在 Z 轴方向，3dB 宽度都 80 度左右，方向图的一致性良好，随频率变化小。天线主极化是线极化。

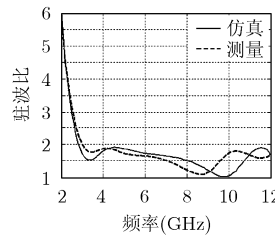


图 5 驻波比

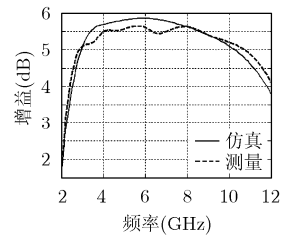


图 6 天线增益随频率的变化

图 4 的天线尺寸是 9cm 长(E 面), 7cm 宽(H 面)和 2.8cm 高。3GHz, 6GHz, 10GHz 仿真和测量的 E 面和 H 面方向图如图 7 所示。驻波比和方向图的测量与仿真值有差异，主要原因是数值仿真工具都是基于用网格划分物体，本天线又是三维曲面建模，逼近实物程度始终有限。另外馈电点处的网格划分对结果影响尤其巨大，为了减少仿真时间，对结构进行了简化，没有对实际馈电网络建模。

5 时域特性分析 $\theta(^{\circ})$

在微波暗室中对天线的时域特性进行了测量，发射和接收都采用本文设计的天线。由瑞利距离知，如要测量远场，两天线的距离至少要大于 $R = 2D^2 / \lambda$ ，此处 D 为 9cm， λ 取 0.0283m。用脉冲发生器产生一个脉冲信号接到发射天线，接收天线连到抽样率为 20GS/s 的数字示波器。

比较发射信号和接收的脉冲信号，观察信号幅度、半功率宽度和持续时间的变化。发射信号持续时间 0.5ns，半功率宽度 0.08ns，频率覆盖范围 3.6-11GHz。E 面 $\theta = 90^{\circ}$ 时两信号如图 8 所示。由图可知，接收信号幅度为 0.75，1.2ns

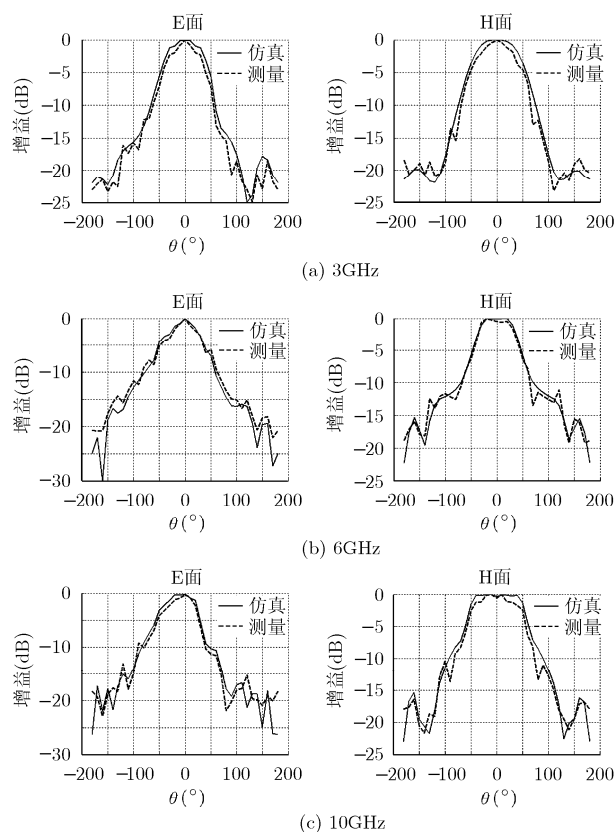


图7 仿真和测量的方向图

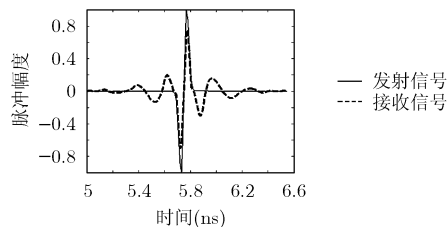


图8 参考和测量信号

的持续时间, 半功率宽度 0.09ns 。脉冲主瓣变化不大, 但是产生了一点波纹。不过脉冲失真很小, 因此本天线完全可以用于传输短脉冲。

6 结束语

本文设计制作了一种新型超宽带磁天线。使用 HFSS 对天线结构进行了仿真优化, 制作了天线原型, 并在微波暗室中测量了天线的频域和时域特性。

天线结构紧凑, 原型只有 $9 \times 7 \times 2.8\text{cm}^3$, 分数带宽达到 107%。在整个 UWB 频率范围内驻波比小于 2, 天线增益比较平稳, 从低频的 5dB 变到高频的 6dB。对覆盖 UWB 频段的几个频点进行远场测量, 结果表明辐射方向图基本不随

频率变化。对发射和接收的脉冲信号波形进行了测量比较, 天线对脉冲波形失真很小。此天线造价低廉, 性能良好, 非常适合于 UWB 系统采用。

参考文献

- [1] Siwiak K and McKeown D. Ultra-Wideband Radio Technology. 1st ed, New York: John Wiley & Sons, 2004: 2-5.
- [2] O'Donnell I. A baseband, impulse ultra-wideband transceiver front-end for low power applications. [Ph. D. dissertation], Dept. Electrical Engineering and Computer Sciences, UC Berkeley, Berkeley, 2006.
- [3] Kuroda S and Yamaura T. Wide band antenna. US Patent 6, 914, 561, 2005.
- [4] Barnes M A, Gilbert C G, Fluhler H U, and Schantz H G. Impulse radar antenna array and method. US Patent 6, 922, 177, 2005.
- [5] Duroc Y, Tan-Phu Vuong, and Tedjini S. A time/frequency model of ultrawideband antennas. *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, 2007, 55(2): 2342-2350.
- [6] Schantz H. UWB magnetic antennas. IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Munich Germany, Jun. 2003, Vol.3: 604-607.
- [7] Harmuth H. Frequency independent shielded loop antenna. US Patent 4, 506, 267, 1983.
- [8] Farr E, Baum C, Prather W, and Tran T. A two-channel balanced-dipole antenna with reversible antenna pattern operating at 50 ohms. International Sensor and Simulation on Broadband Communications, Zurich Switzerland, 1999, 44: 1-7.
- [9] Sostanovsky D L and Boryssenko A O. A novel tongue UWB antenna. Patent of Ukraine 65488A, 2004.
- [10] Schantz H. Introduction to ultra-wideband antennas. IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies, Lausanne Switzerland, 2003: 1-9.

赵波: 男, 1983年生, 硕士生, 研究方向为超宽带天线的设计、分析和优化和微波电路设计。

张晓娟: 女, 1964年生, 副研究员, 硕士生导师, 从事电磁场与微波技术、电磁散射与遥感、天线、计算电磁学等方面的研究工作。

方广有: 男, 1963年生, 研究员, 博士生导师, 从事超宽带电磁学理论及其应用、损耗介质中隐蔽目标的电磁探测、超宽带成像雷达技术、微波成像新方法和新技术等方面的研究工作。