

# 超宽带引信天线时域建模与仿真

沈磊, 黄忠华

北京理工大学机电学院, 北京 100081

**摘要** 针对超宽带引信天线的带宽及体积因素, 利用电磁场仿真软件进行超宽带天线建模与仿真。在频域中分析超宽带引信天线的驻波比曲线、天线增益; 在时域中分析超宽带引信天线的辐射信号特性及天线方向图。通过两者结果可以得出, 针对超宽带引信天线, 采用时域分析法为主、频域分析法为辅的方法可得到理想的分析仿真结果。

**关键词** 超宽带引信天线; 驻波比; 天线增益; 辐射信号; 时域分析

**中图分类号** TJ43

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2015.09.013

## Time domain modeling and simulation of ultra wideband fuze antenna

SHEN Lei, HUANG Zhonghua

School of Mechatronical Engineering, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China

**Abstract** To aim at the ultra wideband fuze antenna bandwidth and the volume factor, modeling and simulation of the UWB antenna are studied with computer simulation technology. The UWB fuze antenna voltage standing-wave ratio and antenna gain are analyzed in the frequency domain, and the UWB antenna radiation characteristics of signals and antenna pattern are analyzed in the time domain. In comparison the time domain analysis method is more suitable for ultra wideband antenna. It is shown that for ultra wideband fuze antenna, priority should be given to the time domain method, with the frequency domain method as a supplement, in order to get an ideal simulation result.

**Keywords** ultra wideband fuze antenna; voltage standing-wave ratio; antenna gain; radiation signal; time domain analysis

近年来,超宽带探测技术被广泛应用于军事、医疗、救援、测量等领域。超宽带天线是超宽带探测器的关键部件,它的性能将直接影响整个探测系统的分辨率、定位精度及目标识别水平。目前的超宽带天线主要有双锥天线、喇叭天线、对数周期天线、振子天线(主要包括三角形偶极子天线、盘锥天线、套筒天线、锥形套筒天线)等,其中双锥天线、喇叭天线为三维结构,体积较大,对数周期天线不适合瞬态时变信号的辐射。振子天线带宽较宽、结构简单,是超宽带探测常用的一种天线<sup>[1-3]</sup>。

限制天线带宽的主要因素因天线形式不同而异。当振荡频率偏离中心频率时,振子的方向图及方向系数的变化并不明显,但天线的输入阻抗将出现电抗分量使天线与馈线失配,输入到天线上的电流减小。因此,阻抗特性的变坏是限制对称振子带宽的主要因素,阻抗带宽是振子天线带宽的主

要考虑因素。

天线的阻抗带宽是驻波比低于某一规定值(如驻波比 $< 2$ )的频带宽度,在天线工程中是一项最基本的指标。天线频带宽度通常以相对带宽表示:

$$B = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{(f_{\max} + f_{\min})/2} \quad (1)$$

式中,  $f_{\min}$  和  $f_{\max}$  分别为下限频率和上限频率。目前,天线的带宽习惯按相对带宽分类:窄带天线,  $0 \leq B \leq 1\%$ ;宽带天线,  $1\% < B \leq 25\%$ ;超宽带天线,  $25\% < B \leq 200\%$ <sup>[4-6]</sup>。

国内对于超宽带天线的研究在实用化方面仍存在一些问題,例如:天线驻波比与天线带宽相互制约,超宽带引信发射机与天线的匹配问題仍然存在,传统的频域分析方法无法分析超宽带无线电引信天线性能。针对带宽更宽的超宽带天线,应找出更加适合的研究方法。

收稿日期:2014-06-10;修回日期:2014-10-23

作者简介:沈磊,博士研究生,研究方向为超宽带无线电,电子信箱:matouzi417@bit.edu.cn;黄忠华(通信作者),副教授,研究方向为无线电、智能探测与控制,电子信箱:huangzh@bit.edu.cn

引用格式:沈磊,黄忠华.超宽带引信天线时域建模与仿真[J].科技导报,2015,33(9):74-77.

本研究从影响超宽带天线的因素出发,在分析超宽带天线带宽、辐射特性的基础上,构建超宽带引信天线,分析其天线驻波比、天线增益、天线辐射信号及方向图,比较频域、时域分析法对超宽带引信天线的适用性。

### 1 影响超宽带天线性能的因素

#### 1.1 带宽

超宽带探测器收发天线需要具有较好的宽带特性,能够满足系统带宽要求。天线的各个参数,包括方向图、主瓣宽度、副瓣电平、方向性系数、增益、极化、输入阻抗等都和频率有关。天线的频带宽度是根据天线参数的允许变动范围来确定的,根据不同的应用要求,可以是方向图、主瓣宽度、副瓣电平、方向性系数、增益、极化、输入阻抗中的任意一种或几种的组合<sup>[7,8]</sup>。

#### 1.2 方向性和辐射有效区

天线的方向性是天线辐射性能的重要指标,然而天线的方向性是远场的概念,在超宽带无线电引信应用中,目标处于天线的近场区,因此采用方向图并不能完全描述天线的性能。其实对超宽带探测器而言,更重要的是探测器的辐射有效区域,形象的说法是“脚印”,发射天线的“脚印”和接收天线的“脚印”要重合,或者说有尽可能大的交集。

#### 1.3 时域辐射波形

对于理想电偶极子,远区场的表达式为

$$\begin{cases} E_{\theta} = \frac{\mu_0 l}{4\pi R} \sin\theta \frac{\partial I(t - \frac{R}{c})}{\partial t} \\ H_{\phi} = \frac{E_{\theta}}{120\pi} \end{cases} \quad (2)$$

式中,  $E_{\theta}$  为电场,  $H_{\phi}$  为磁场,  $I$  为电流主电流;  $R$  为观察点与天线的距离,  $t$  为起始时刻,  $R/c$  为延迟时间,  $l$  为天线长度,  $\mu_0$  为常数。

由式(2)可以看出,距离天线  $R$  处的观察点,辐射场与源点相比要滞后  $R/c$ ,且辐射波形为电流的微分,对于非正弦波信号而言,辐射场必然与激励电流不同。

对于任意形状的振子天线,某一点的电流为  $J(r', \tau)$ , 其中,  $r'$  为该点位置矢量,延迟时间变量  $\tau = t - R/c$ , 如图1所示。

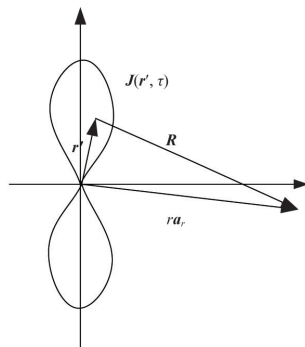


图1 振子天线表面电流

Fig. 1 Dipole antenna surface current

由空间时间积分方程(space time integral equation)可知,  $r = ra_r$  处的远区磁场为

$$H(r, t) = \frac{1}{4\pi rc} \int \frac{\partial}{\partial \tau} J(r', \tau) \times a_r dV \quad (3)$$

式中,  $a_r$  为指向辐射方向的单位矢量。

远区电场为

$$E = -\eta_0 a_r \times H \quad (4)$$

式中,  $\eta_0 = 120\pi$ , 为自由空间特性阻抗。从式(3)和式(4)可以看出,电场  $E$  和磁场  $H$  与天线表面电流时延的偏导有关。任意形状的振子天线均可看作是由若干个理想电偶极子组成,式(3)中的积分可看作所有电偶极子辐射场的叠加,这种叠加既要考虑各个电偶极子辐射场的幅度和波形,还要考虑因位置不同引起的时延,因此振子天线辐射波形更加复杂。由于超宽带天线带宽的问题,传统使用频域对天线分析的方法已经不适用于超宽带天线,超宽带天线需要在时域中进行建模与分析。

### 2 超宽带引信天线时域建模

在振子天线的基础上,创建三角形对称振子天线。由2个对称的金属三角形振子组成,馈电点为等腰三角形的顶点,振子平面与弹纵轴方向垂直,如图2所示,其中  $ox_m y_m z_m$  为弹体坐标系,  $ox_m$  表示弹纵轴方向。平面三角形对称振子天线通过将偶极子天线展宽为平面来达到扩展带宽的目的,使天线上的电流沿  $y_m$  方向流动,保证  $y_m$  方向的辐射。为便于固定和安装,可将三角形金属振子印制在介质板上,介质板相对介电常数为 2.65,厚度为 1 mm。

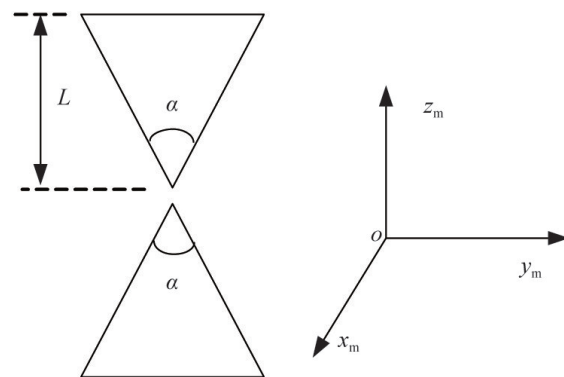


图2 三角振子天线示意

Fig. 2 Triangular dipole antenna

根据图2所示的平面三角形对称振子天线结构,利用电磁场仿真软件(CST MWS),采用时域有限积分法(finite integration time domain, FITD)对平面三角形对称振子天线进行建模。模型如图3所示,其中  $L$  为 3 cm,  $a$  为  $60^\circ$ 。图3中红色部分为超宽带引信天线的馈电点。

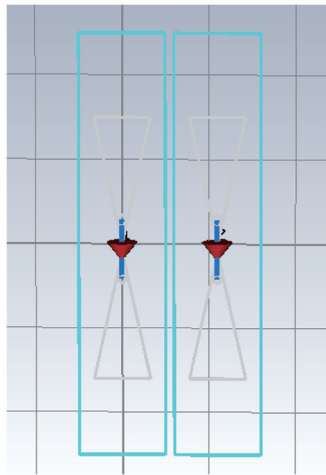


图3 三角天线模型

Fig. 3 Triangle dipole antenna modeling

### 3 仿真结果与分析

超宽带引信天线驻波比、天线增益如图4、图5所示。

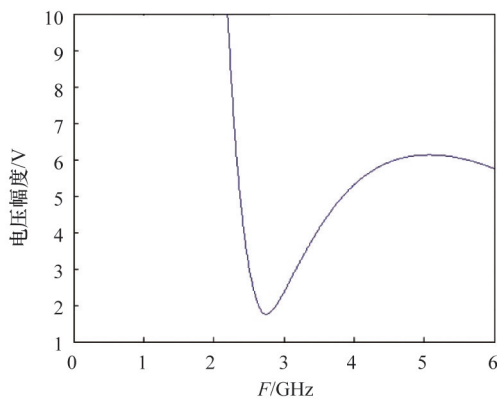


图4 天线驻波比曲线

Fig. 4 Antenna voltage standing-wave ratio curve

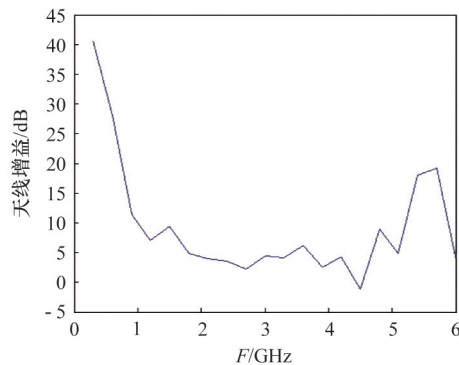


图5 天线增益

Fig. 5 Antenna gain curve of feed point

天线输入阻抗、驻波比、增益都可用来描述天线的带宽,在实际运用中,常常利用驻波比低于某一规定值的频带宽度衡量天线的带宽,称为天线的阻抗带宽。由图4可以看出超

宽带三角天线驻波比小于2的频带范围在2.6~2.9 GHz。

图4和图5是在频域中对超宽带引信天线性能进行分析,由于超宽带引信天线带宽较宽,而影响超宽带天线的因素还有天线方向性、辐射有效区及时域辐射波形,以前仅用频域分析法不太适用于超宽带引信天线。

从时域来说,除了驻波比等因素外,主要影响超宽带引信天线的还有天线的辐射特性。将超宽带引信天线的时域方向函数定义为

$$F(t, r', \theta', f') = \frac{E(t, r', \theta', f')_{p-p}}{E(t, r')_{p-p, \max}} \quad (5)$$

式中,  $\theta'$  为弹体球坐标的方位角,  $\phi'$  为弹体坐标系的俯仰角,  $r'$  为距原点的距离,  $E(t, r')_{p-p, \max}$  为最大辐射方向上电场强度时域波形峰值,  $E(t, r', \theta', f')_{p-p}$  为同一距离处  $(\theta', f')$  方向上电场强度时域波形峰值。

图6为天线辐射信号图。

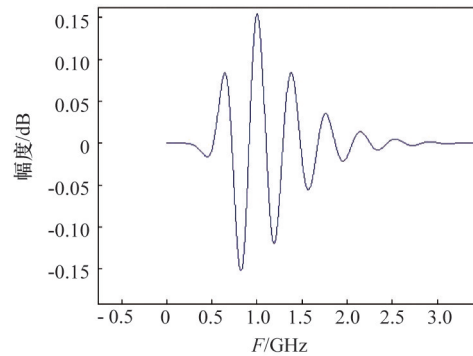


图6 天线辐射信号

Fig. 6 Antenna radiation signal

图7、图8为超宽带引信天线E面 ( $y_m o z_m$  平面)和H面 ( $x_m o y_m$  平面)中关于  $E_{z_m}$  分量的方向图。由图7、图8可以看出,在E面上,平面三角形对称振子天线在  $z_m$  方向没有辐射,  $x_m$  轴(即弹纵轴方向)为其最大辐射方向,半功率波束宽度(场强等于最大值的0.707倍的两辐射方向之间的夹角,又叫3 dB波束宽度)约为  $60^\circ$ ;在平面三角形对称振子天线的H面上,方向图近似为圆,  $F_H(\phi') \approx 1$ 。

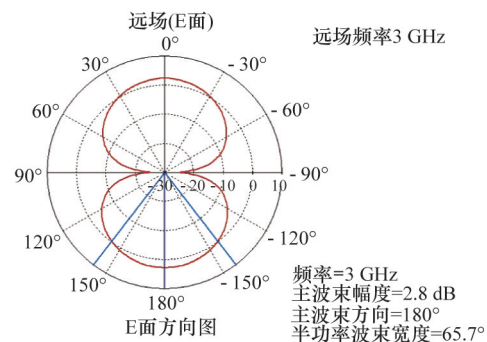


图7 E面方向

Fig. 7 E pattern

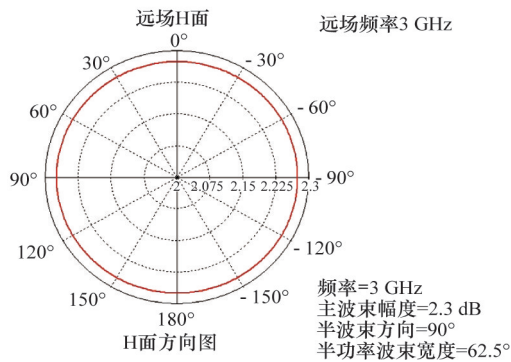


图8 H面方向  
Fig. 8 H pattern

#### 4 结论

1) 超宽带天线带宽与驻波比相互制约。超宽带天线带宽越宽,驻波比越高,天线效率低;带宽越窄,驻波比越低,天线效率高。因此传统的仅用频域方法不适用于超宽带引信天线分析。

2) 时域分析法综合了驻波比、天线带宽、天线增益及最重要的天线辐射信号的幅度等参数,针对超宽带引信天线,采用时域分析法为主,频域分析法为辅的方法可得到理想的分析仿真结果。

#### 参考文献 (References)

- [1] Muklas B, Rahim N S, Abdul K, et al. A design of compact ultra wideband coupler for butler matrix[J]. Wireless Personal Communications, 2013, 70(2): 915-926.
- [2] 刘建军, 钟顺时. 无线多频通信系统超宽带引信天线研究[D]. 上海: 上海大学, 2010  
Liu Jianjun, Zhong Shunshi. Study on super-wideband antennas for multi-band wireless communication systems[D]. Shanghai: Shanghai University, 2010.
- [3] Ye L H, Chu Q X. 3.5/5.5 GHz dual band-notch ultra-wideband slot antenna with compact size[J]. Electronics Letters, 2010, 46(5): 325-327.
- [4] Lin S, Cai R N, Huang G L, et al. A miniature UWB semi-circle mono printed antenna[J]. Progress in Electromagnetic Research Letters, 2011, 23: 157-163.
- [5] Yildirim B S, Cetiner B A, Roqueta G, et al. Integrated bluetooth and UWB antenna[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, 2009, 8: 149-152.
- [6] Sapuan S Z, Kazemipour A, Jenu Z M. Direct feed biconical antenna as a reference antenna[C]//2011 IEEE International RF and Microwave Conference. Seremban, Negeri Sembilan, Malaysia, December 12-14, 2011.
- [7] Nie W R, Xi Z W, Xue W Q, et al. Study on inertial response performance of a micro electrical switch for fuze[J]. Defence Technology, 2013, 9(4): 187-192.
- [8] Yu Ding, Zhai Weigang, Xie Guitao, et al. A novel omni-directional UWB biconical antenna with band-notched[C]//2011 IEEE CIE International Conference on Radar. Chengdoun, China, October 24-27, 2011.

(编辑 陈华姣)

#### ·学术动态·



中国科学技术协会

### 科技工作者期待拓宽发展空间

2013年下半年,中国科协组织开展了第三次全国科技工作者状况调查。

调查表明,科技工作者期待拓宽个人职业发展空间。调查发现,科技工作者对目前工作总体满意率为54.9%,其中职称、职务晋升(26.3%)、收入(25.2%)、单位学术氛围(32.3%)、单位组织进修培训(28.5%),20.0%的科技工作者明确表示对个人发展空间不满意。17.8%的科技工作者没有职称,比2008年调查高出9.6个百分点;其中大型企业18.5%、中小企业45.7%没有职称,远超过2008年的10.1%、20.9%。初级、中级、副高级职称人员中分别有30.3%、33.8%、22.7%对职称职务晋升不满意。26.2%的科技工作者考虑过更换目前的职业或工作单位,大型企业、中小企业中这一比例分别为31.2%、30.2%,35岁以下青年群体则为30.1%,表现出相对较强的流动意愿。

生活幸福感有待提高。调查表明,中国科技工作者2012年平均收入为74137元,比2007年的41159元增长了80%,略低于全国城镇单位就业人员平均工资的增幅(89%),有30.5%的科技工作者对自己的收入状况不满意。54.4%的科技工作者认为自己的社会地位在当地属于中下层或下层,感觉生活很幸福或比较幸福的不足四成(37.5%)。50.2%的科技工作者认为自己身体非常健康或比较健康,低于2008年调查的54.1%,另外38.1%认为一般,11.7%认为自己不健康,表明当前科技工作者队伍的平均健康状况不容乐观。44.4%的科技工作者感到压力大,其中大学教师、科研人员中感到压力大的比例更高,分别为55.2%、52.7%,49.1%的硕士、58.1%的博士感到压力大。

详见中国科协网<http://www.cast.org.cn/n35081/n35473/n35518/16322411.html>。