

【信息科学与控制工程】

对反舰导弹无线电高度表的干扰途径分析

熊波¹, 曾鑫², 于德海¹, 邢永强³(1. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001; 2. 海军某工程建设指挥部, 北京 100036;
3. 92514 部队, 山东 烟台 264001)

摘要:反舰导弹无线电高度表天线方向图的水平方向增益很低, 如何对其实施干扰是电子对抗的一个难点。为了研究对导弹无线电高度表实施干扰的可能途径, 对某型导弹无线电高度表微带阵列天线进行了理论分析, 采用 Ansoft HFSS 进行了电磁仿真研究。结果表明: 微带天线具有多种传播模式, 在主模式下天线方向图的水平方向增益很低, 但在高次模式下天线的水平方向增益很高, 因此, 带外干扰信号可以从水平方向进入接收天线。

关键词:无线电高度表; 微带阵列天线; 电子干扰; 电磁仿真

中图分类号: TN974

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2012)08-0071-03

微带天线是 1 种使用微带贴片作为辐射源的天线, 具有剖面低、体积小、质量轻、可共形、易集成、馈电方式灵活、便于获得线极化和圆极化等优点, 目前已在移动通信、卫星通讯、导弹遥测、多普勒雷达等许多领域获得了广泛应用。但微带天线也具有功率容量小、方向图较宽的缺点^[1-2]。

反舰导弹一般采用无线电高度表作为导弹掠海飞行的高度指示, 为导弹飞行安全提供保障。导弹一般飞行高度较低, 这样可降低被雷达探测发现的概率。某型反舰导弹高度表采用微带天线阵列的方式来获得主瓣方向较窄的方向图和较高的增益, 其天线主瓣垂直向下, 水平方向增益很小。由于作战过程中, 很难从垂直方向对掠海飞行的导弹实施侦察和干扰, 而高度表天线在水平方向增益又很小, 因此导弹高度表具有很强的抗干扰能力, 对其实施干扰是电子对抗研究的一个难点^[3-5]。

通常情况下, 可认为微带天线工作在准 TEM 模式, 但事实上微带天线并非工作在严格的 TEM 波, 而是主模为 TM_{10} 模的 TM 波^[6]。为研究对导弹无线电高度表实施干扰的可能途径, 本文对某型导弹高度表进行了仿真分析。

1 微带阵列理论

1.1 矩形微带天线原理

对微带天线进行分析的方法主要有传输线法、空腔模法和全波法 3 种。传输线法与空腔模法可得到天线电性能与参数间简单的数学关系, 但精度较低。而以麦克斯韦方程时域解为基础的全波法则具有如下特点^[6]: ① 精确, 能对阻抗特性和辐射特性提供精确的结果; ② 完整, 结果包括介质损耗、导体损耗、表面波辐射、空间波辐射及外部耦合; ③ 可分

析任意形状单层和多层微带天线和阵列以及各种馈电方法; ④ 计算量大。

传输线模型认为矩形微带天线的辐射是由微带天线导体边沿和地板之间的边缘场产生的。假设电场沿微带结构宽度和厚度方向没有变化, 则辐射器的电场仅沿约为半波长的贴片长度方向变化。辐射基本上是由贴片开路边沿的边缘场引起的。在两端的场相对地板可分解为法向和切向 2 个分量, 由于贴片长度为 $\lambda/2$, 因此法向分量反相, 由其产生的远区场在正面方向上互相抵消; 但平行于地板的切向分量同相, 合成场增强, 从而使垂直于地板的切向分量同相, 合成场增强, 故垂直于结构表面的方向上辐射场最强。因此贴片可等效为 2 个相距、同相激励并向地板上半空间辐射的 2 个缝隙。对微带贴片沿宽度方向的电场变化也可采用同样的方法等效为同样的缝隙。这样, 微带贴片天线的辐射就等效为微带天线周围 4 个缝隙的辐射。

空腔模理论基于薄微带天线 ($h \ll \lambda$) 的假设, 将导电贴片与导电接地板的空间看成四周为磁壁、上下为电壁的谐振腔。这种方法把天线问题分成 2 部分: 求天线的场源分布即空腔封闭面内的场, 以及求天线的外场问题。空腔模型能对微带天线的工作特性有更深入的理解, 而矩形微带天线的传输线模型是空腔模型只有主模时的特例。

根据空腔模理论, 不同工作模式下矩形贴片天线的谐振频率为

$$f_{mn} = \frac{2}{2\sqrt{\epsilon_e}} \sqrt{\left(\frac{m}{l}\right)^2 + \left(\frac{n}{w}\right)^2} \quad (1)$$

式中: m, n 为工作模式序数; l 为矩形贴片长度; w 为矩形贴片宽度; ϵ_e 为等效介电常数

收稿日期: 2012-05-09

作者简介: 熊波(1975—), 男, 博士, 讲师, 主要从事信号处理, 电子对抗研究。

$$\varepsilon_e = \frac{\varepsilon_r + 1}{2} + \frac{\varepsilon_r - 1}{2} \left(1 + \frac{12h}{w}\right)^{-1/2} \quad (2)$$

由式(1)可以看出,不同模式下贴片天线具有不同的谐振频率。

1.2 微带阵列理论

微带天线单元的增益较小,一般单个贴片单元的辐射增益只有 6~8 dB,为了实现远距离传输和获得更大的增益,尤其是对天线的方向性要求比较苛刻的场合,常采用由微带辐射单元组成的微带天线阵列。如果对增益要求更高,则可采用大型微带阵列天线结构^[7]。

假设由若干相同微带天线元组成的平面阵结构以原点天线单元为相位参考点,为了简化分析,假设阵列中各单元间互耦影响忽略不计,天线阵在远区的辐射总场 $E(\theta, \varphi)$ 为

$$E(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) \cdot S(\theta, \varphi) \quad (3)$$

其中: $f(\theta, \varphi)$ 为阵元的方向性函数; $S(\theta, \varphi)$ 为平面阵的阵方向性函数。

2 HFSS 仿真设计平台

HFSS 是 Ansoft 公司推出的三维电磁仿真软件,是世界上第 1 个商业化的三维结构电磁场仿真软件,也是业界公认的三维电磁场设计和分析的电子设计工业标准。HFSS 软件拥有强大的天线设计功能,可以计算天线参量,如增益、方向性、远场方向图剖面、远场 3D 图和 3 dB 带宽,也可以绘制极化特性,包括球形场分量、圆极化场分量、Ludwig 第三定义场分量和轴比。

使用 HFSS 可以计算:① 基本电磁场数值解和开边界问题,近远场辐射问题;② 端口特征阻抗和传输常数;③ S 参数和相应端口阻抗的归一化 S 参数;④ 结构的本征模或谐振解。而且,由 Ansoft HFSS 和 Ansoft Designer 构成的 Ansoft 高频解决方案,是目前唯一以物理原型为基础的高频设计解决方案,提供了从系统到电路直至部件级的快速而精确的设计手段,覆盖了高频设计的所有环节^[8-10]。

3 基于 HFSS 的高度表天线建模仿真

某型导弹无线电高度表采用 2×2 贴片天线阵列,在 Ansoft HFSS 中建立天线模型如图 1 所示。

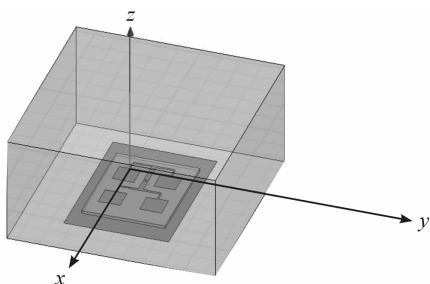


图 1 天线模型

扫频得到 S 参数如图 2 所示。

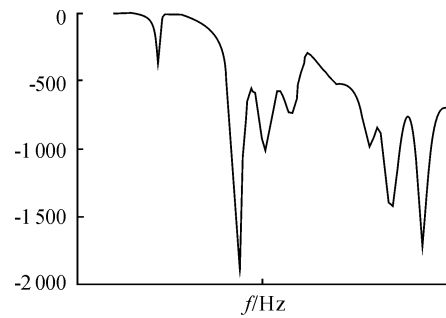


图 2 S 参数

从图 2 可以看出,在中心频率及其 2 倍频率处 S 参数均小于 -15 dB,说明贴片天线具有多种电磁波传播模式,在不同模式下具有不同的中心频率,这与空腔模理论分析是吻合的。

在主模 TM_{10} 模式下,天线 3D 方向图如图 3 所示。

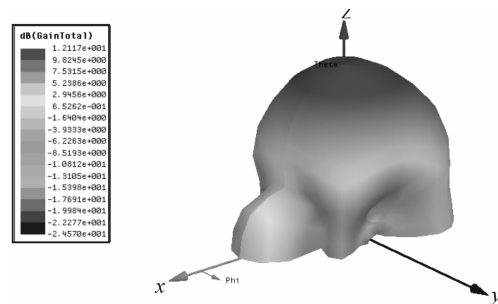


图 3 主模式下天线 3D 方向图

从图 3 可以看出,阵列天线具有很好的方向性,主瓣最大增益为 12 dB,指向垂直方向。

在高次模式下,天线 3D 方向图如图 4 所示。

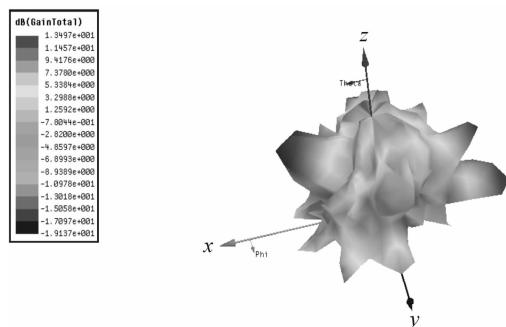


图 4 高次模式下天线 3D 方向图

从图 4 可以看出,高次模式下,贴片天线在几个不同方向均有很大增益,其中包括水平方向,增益达到 13 dB。

4 仿真结果分析

根据空腔模理论,微带天线具有多种传播模式,而通常采用的矩形微带天线的传输线模型是空腔模型只有主模时

的特例^[11]。本文对某型高度表微带阵列天线进行了仿真,从S参数可以看出:天线具有多种传播模式,不同模式对应不同的中心频率;在主模式下,微带阵列天线具有很好的方向性,天线方向图在垂直方向具有最大增益;在高次模式下,贴片天线在包括水平方向在内的几个不同方向都有很大的增益,因此带外干扰信号有可能从水平方向对高度表造成干扰。

5 结束语

反舰导弹无线电高度表为导弹提供巡飞高度指示,一旦对其干扰成功,导弹就会掉入海中坠毁。某型反舰导弹采用微带阵列天线,在主模式下,天线主瓣指向垂直向下,干扰信号很难通过水平方向进入高度表。但在高次模式下,天线在水平方向具有较大的增益,因此带外干扰信号可以通过天线进入接收机。至于带外干扰信号对高度表接收机的干扰效果是下一步要研究的内容。

参考文献:

- [1] 丁毅,王光明,苏文然.一种新型单层单贴片宽带圆形微带天线[J].弹箭与制导学报,2007,27(5):274-276.
- [2] Matin M A, Sharif B S, Tsimenidis C C. Dual layer stacked rectangular microstrip patch antenna for ultra wideband ap-

plications[J]. IET Microwaves, Antennas and propagation, 2007,1(6):1192-1196.

- [3] 安红.雷达高度表干扰仿真研究[J].系统仿真学报,2005,17(5):1221-1225.
- [4] 张功学,田宝杰,李建强.一种扩频高度表的载波跟踪方案[J].计算机测量与控制,2010,18(1):202-204.
- [5] 张洪涛.脉冲雷达高度表干扰模式研究[J].电子对抗,2006(5):11-14.
- [6] 张祖稷,金林,束咸荣.雷达天线技术[M].北京:电子工业出版社,2007:56-66.
- [7] 惠鹏飞,夏颖,周喜权,等.基于HFSS的4×24微带阵列天线的研究与设计[J].齐齐哈尔大学学报,2010,26(5):9-12.
- [8] 谢拥军,王鹏,李磊,等. Ansoft HFSS 基础及应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007:1.
- [9] 张天瑜.基于HFSS的不同形状微带贴片天线的仿真设计[J].吉林师范大学学报,2008,11(4):121-125.
- [10] 李艳,戴亚文.基于HFSS矩形微带贴片天线的仿真设计[J].机电工程技术,2010,39(10):40-41.
- [11] 施建洪,张兆宝.某型战术导弹机内测试方法[J].海军航空工程学院学报,2010(4):439-442.

(责任编辑 鲁进)

(上接第65页)

链轮安装处的轴径 $d = 29 \text{ mm}$, 经查表 $d_{k \max} = 30 \sim 37 \text{ mm}$ 。 $d_{k \max} > 29 \text{ mm}$, 故满足条件。

3.2.3 滚子链链轮轴向齿廓尺寸

齿宽 $b_{f1} = 0.95b_1$ (b_1 —内链节内宽), 计算得 $b_{f1} = 9 \text{ mm}$

3.2.4 链轮的结构和材料

一般来说,主动链轮的直径小,故制成整体式,从动链轮的尺寸大些,制成孔板式。链轮的材料应能保证轮齿有足够的耐磨性和抗冲击强度。主动小链轮一般用低碳合金钢制造,从动链轮一般低碳钢、低碳合金钢或中碳钢制造。因此链轮的材料采用40Cr,齿面硬度可达HRC40~50。

4 结束语

新款三轮运动车主要面向欧美的运动车爱好者,对动力性能和经济性能要求较高,在保证功率,同时兼顾油耗、噪声等指标,且可靠性好,排放达标,因此分析选择了川崎1100cc汽油机作为试样机;根据空间位置的限制和结构布置的需要,着重计算分析二次传动系统,并对链传动的主要零件进

行了设计,使摩托车与发动机得到较好的匹配性。

参考文献:

- [1] 李德宽.汽车工程手册·摩托车篇[M].北京:人民交通出版社,2000.
- [2] 胡建华.中国家用轿车发动机选型探讨[J].世界汽车,1997(5):13-15.
- [3] 刘惟信.汽车设计[M].北京:清华大学出版社,2001.
- [4] 余志生.汽车理论[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [5] 董敬.摩托车结构设计[M].北京:人民邮电出版社,1997.
- [6] 《汽车工程手册》编辑委员会.汽车工程手册摩托车篇[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [7] 王义行.自行车链条与摩托车链条[M].北京:机械工业出版社,1999.

(责任编辑 周江川)