

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802439

一种新型端射天线单元的研究

时英龙 周志鹏 郭先松

(南京电子技术研究所 南京 210039)

摘 要: 设计了一种新型的端射天线单元。采用独特的串馈单极子形式,具有较好的带宽性能,基板采用液晶材料,使其基板的介电常数可控。通过改变单元的工作频率及基板的介电常数,使得天线单元具有水平相扫的能力。采用上下双层对称结构来抑制由于地板引起的波束上翘。通过对端射天线单元的建模仿真,验证其可行性。这样,串馈形式的天线易于实现天线的小型化、轻薄化。具有很好的共形的能力,适用于机载等高速运动的平台。

关键词: 端射天线;串馈;共形;单极子;液晶;机载平台;相控

中图分类号: TN911 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1025

Research on a new end-fire antenna element

Shi Yinglong Zhou Zhipeng Guo Xiansong

(Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210039, China)

Abstract: A new type of end-fire antenna element is designed. The unique series-fed monopole has good bandwidth performance. The LCD material is used in the substrate to make the dielectric constant of the substrate controllable. By changing the operating frequency of the element and the dielectric constant of the substrate, the antenna element has the ability of horizontal phase sweep. The symmetrical structure of the upper and lower layers is used to restrain the beam warping caused by the floor. The feasibility of the end-fire antenna element is verified by modeling and simulation. In this way, the series-fed antenna is easy to realize the miniaturization and thinning of the antenna. It has good conformal ability and is suitable for airborne platforms with high-speed motion.

Keywords: end-fire antenna; serial feed; conformal; monopole; liquid crystal; airborne platform; phase control

0 引 言

近些年来,随着高速飞行器的高速发展,对天线的要求也越来越严格。对于机载雷达来说^[1],需要更大的天线增益来扩大雷达探测的范围。传统的机载雷达阵列采用边射阵天线,因天线的口径尺寸受空气动力学的限制,故很难通过增大天线口径来提高天线增益。为了突破安装空间的限制,端射阵列天线具有的特性引起了人们的兴趣。端射天线的最大辐射波束的方向指向是沿着天线单元排布的轴向而不是法向,所以在最大辐射方向上没有与其增益成正比的口径尺寸,能够有低剖面、低空气阻力的特性^[2],这样其有着更好的空气动力性,能够满足较小风阻、较低安装高度的应用场合。而端射阵列天线的天线单元必须采用端射天线组阵^[3],故选择合适的端射天线单元至关重要。

从文献调研来看,国外对端射天线的研究有近百年历史,已经比较成熟,最早并且最为经典的端射天线便是八木

天线^[4],是一种由一个有源振子和平行的若干个无源振子组成的引向天线,其结构简单、馈电方便、成本低且能够提供较高的增益,但由于是基于谐振型有源振子发展而来,故频带较窄。在随后的发展研究过程中,八木天线按照其应用的需求环境,又得到了微带贴片八木天线、印刷八木天线、平板八木天线等多种衍变的八木结构,其应用范围也从一开始单纯的广播电视领域扩展到移动通信、卫星通信以及雷达探测电子对抗等领域^[5]。新的应用领域同时也给八木天线的要求带来新的挑战,其中最关键的便是带宽的问题。近年来,通过对频带可重构和宽带馈电等技术的研究应用,八木天线在平面化及扩展带宽等方面得到了较大的突破和提升,但是这种的功分网络及馈电较为复杂且昂贵,在成本和实施上具有局限性。介质杆或介质线能够对电磁波进行引导,但是这种作用是不完全的,会有一定的电磁波溢出杆壁而被辐射,故可以利用这种特性来实现端射的效应,即为介质杆天线,然而这种天线的效率较为低下^[6]。另外一种典型应用于宽带、超宽带端射天线领域的是渐变槽

线天线各种不同的渐变槽线天线在天线辐射区的槽线形状形成差异,例如指数渐变槽线天线、线性渐变槽线天线、固定宽度槽线天线等。对于天线的馈电来说,可采用馈线、共面波导等激励,也可以在基片的另一侧用微带线来激励。渐变槽线天线对于不同的工作频率会在不同部位发射或接收电磁波,而在各辐射部位所对应的电长度相当^[7]。可以看出在工作频带上,渐变槽线天线在各频率点是相对独立,这样改变某些特定的区域结构能够改变对对应频率上的阻抗特性和辐射特性,而不会很大程度上影响该频率外的特性^[8]。故可以看出,槽线天线有着较宽的工作频带,而且在频带内的也不会有大的波束宽度变化。

随着国家的科技快速发展及对于高速飞行器等的新的要求,国内的各个高校和研究机构开展了对与机载雷达天线的小型化、轻薄化等方向的研究^[9],在平面端射阵列天线技术上取得了可观的进展,并发表了很多相应的研究文献。如北京理工大学的一些学者们采用平板八木天线为单元进行组阵设计出了高增益的端射天线阵列,并通过研究设计以及仿真和实物加工测试,取得了一定的研究成果^[10]。考虑到国内起步较晚,就现状来说基本上还处于理论研究、仿真实验、原理样机的初步探索阶段,想要在实践中应用还有很长的路要走^[11]。

本文设计研究了一种新型的串馈端射阵列天线单元形式,采用类似微带天线的结构,使其具有结构简单、低剖面、带宽宽、匹配好等优点^[12]。并通过改变工作频率和基板的介电常数来实现单元的最大辐射方向的波束扫描。为了后续的加工研究验证方便,选择在X波段上进行研究^[13]。

1 天线单元的设计

1.1 天线单元的形式

天线单元采用独特的串馈极子形式,使其更好的匹配,为使方向图端射,每个单极子间距为 $\lambda/4$,使其每个单极子上的电流相位相差 90° ,以此使其最大辐射方向在轴向,形成端射方向。天线单元如图1所示。单元一端馈电,另外一端连接匹配负载,能量从输入端馈入后,每传输 $\lambda/4$ 就经过一个垂直方向的突变点,由于存在垂向电流产生辐射,最终传输到负载端,剩余能量被负载吸收。从单元形式可以看出,相邻的辐射点间隔 $\lambda/4$,并且相邻辐射点的电流传输方向相反。这样以这种独特的结构来满足其端射天线的辐射特性,将该结构放置在介质层中,类似于微带天线结构,使其具有慢波特性^[14]设计过程中需要考虑其天线匹配问题,使其能够以最大的效率辐射出去。天线的单层结构如图2所示。这种天线结构在加工时,工艺上比较困难,故采用双层印制板叠加的形式进行加工^[15],且用金属过孔的工艺方式来实现这种折叠的结构,使得金属上下连接成整体,可以大大的减小加工的难度及成本。



图1 天线单元示意图

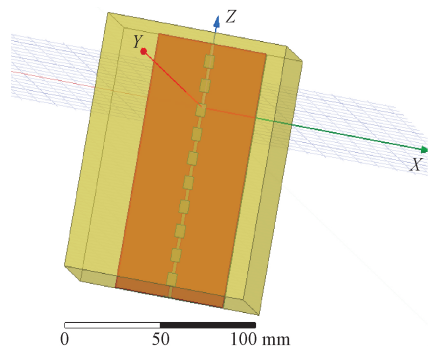


图2 天线单元立体图

1.2 天线单元的相扫

设计组成平面端射阵,通过改变频率或者基板的介电常数来实现相扫的功能,液晶的原理如图3所示,由于液晶可以通过改变外部电压来改变其介电常数^[16],故可以用液晶作为基板材料来实现相控的功能,这样端射阵可以做到轻薄化。

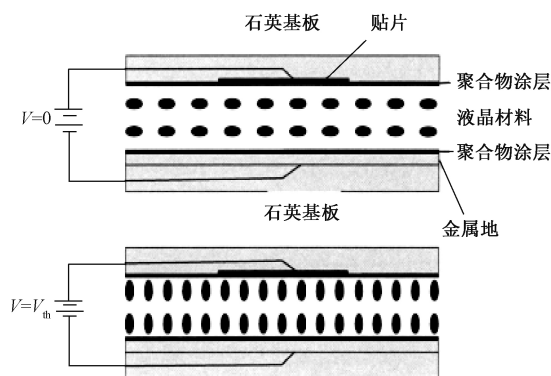


图3 液晶原理

采用串馈形式,每个辐射点的反射较小,天线单元具有较好的匹配特性^[16]。当工作频率偏离了中心频率后,天线单元方向图从端射方向图向测试方向图过渡,主瓣展宽,仿真得到的频扫方向图如图4所示。刚好满足宽角扫描需求,本文称之为频扫效应^[17]。

1.3 双层设计

端射天线单元的单板方向图如图5所示,可以看出由于地板的反射效应,使得单板的单元形成约 20° 的波束上翘。故采用双板对称结构来抑制单层反射板引起的方向图的上翘问题。其双板排布的方向图如图6所示,可以看出这种排布方式很好的解决了波束上翘的问题。

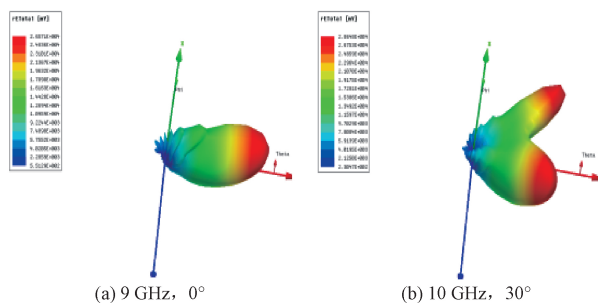


图 4 频扫方向图

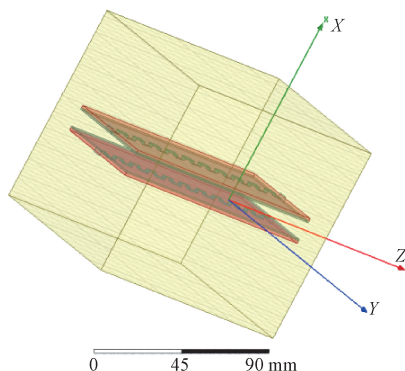


图 7 端射天线单元模型

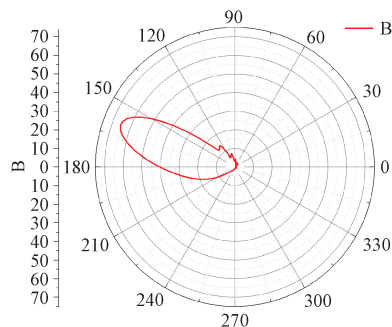


图 5 单板端射天线单元

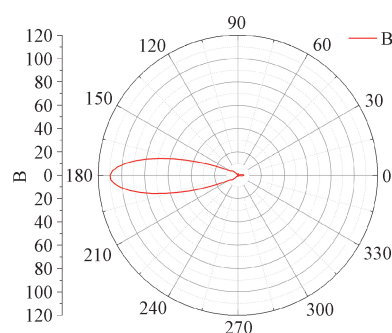


图 6 双板端射天线单元

线组阵的需求,在选择了合适的端射天线单元,可以充分的发挥出端射其具有独特优势。后期可以展开对该端射天线的单元的组阵设计分析并加工出样件对其进行研究,为以后的实际工程应用铺垫道路^[19]。端射天线阵前景广阔,如果可以突破原有限制,设计出高增益,低空阻,结构简单的端射阵列,那么就可以获得广泛应用。

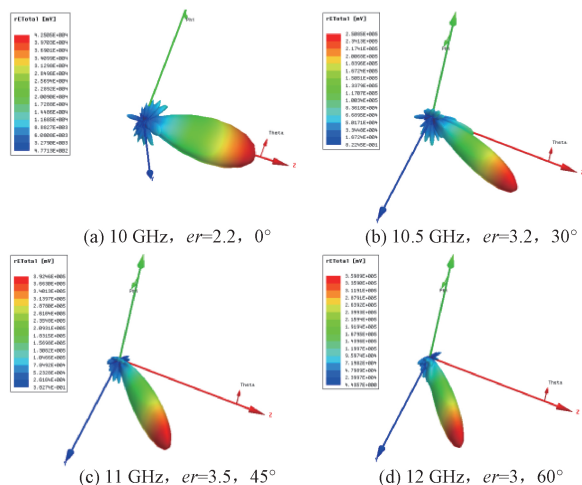


图 8 不同频率与介电常数组合的方向图

2 单元仿真结果及分析

通过对端射天线单元的仿真优化,中心频率设为 10 GHz,范围 9~12 GHz,极子之间距离取 5.5 mm,基板厚度取 1.6 mm,双板之间间距取 10 mm,其仿真模型如图 7 所示。

不同频率与介电常数组合的方向图如图 8 所示,由图 8 可以看出,该端射天线在不同频率及介电常数下可以实现波束的扫描,通过频率扫描和改变介电常数的方式结合,可以实现单元的大角度扫描。可以看出当频率及基板的介电常数改变时,其天线单元方向图从端射方向图向测试方向图过渡,主瓣展宽,可以很好的满足宽角扫描需求^[18],可知当频率范围进一步加大,对于的角度会变大,该天线单元具有很好的频扫效应。该天线结构可以很好的满足端射天

3 结 论

通过对该单元的仿真优化设计,可以看出,该天线结构能够很好符合预期的要求,满足了端射天线的组阵需求。但是对于该天线来说同样具有着端射天线的缺点,当作为雷达天线时,需要具有扫描功能,当扫描到一定角度时,其天线方向图会出现畸变,不再适用,故后续希望通过对结构的进一步优化及对天线单元的组阵,以频相扫结合的方式来实现该天线组阵后的大幅度波束扫描。

传统相控阵雷达的天线受到机载平台的安装空间限制,端射天线技术需求日益强烈。本文针对需求,研究了一种新型端射天线单元,仿真和实验结果验证了天线原理可行性。同时,该天线单元具有结构简单、剖面低、带宽宽、可

相扫描等优点。通过后续对于端射天线的创新性研究,希望通过对单元进行组阵来实现端射天线的全向扫描,并抑制其副瓣,以达到运用于实际工程的标准,这对于机载等高速运动的平台具有革命性的意义。

参考文献

- [1] 张光义.相控阵雷达原理[M].北京:国防工业出版社,2009.
- [2] 张国忠,刘锋,李伟.Ka波段波导-带状线转换结构[J].电子测量技术,2017,40(12):64-67.
- [3] 林洪潮.端射天线的研究与设计[D].西安:西安电子科技大学,2012.
- [4] 李娜,冷文,王安国,等.一种双频段方向图可重构的方形天线的设计[J].电子测量技术,2016,39(1):1-4.
- [5] Munk B. Finite antenna arrays and FSS[J]. Finite Antenna Arrays & FSS, 2003, 18(1):94-94.
- [6] SKOLNIK M. Opportunities in radar-2002 [J]. Electronics & Communication Engineering Journal, 2002, 14(6):263-272.
- [7] WARREN L, STUTZMAN, GARY A. Antenna Theory and Design[M]. 2nd Ed. Beijing: Posts and Telecom Press, 2006.
- [8] Mailloux R J. Phased Array Antenna Handbook[J]. Systems Engineering & Electronics, 2011, 28(12): 1816-1818.
- [9] MA T G, WANG C W, HUA R C, et al. A modified quasi-yagi antenna with a new compact microstrip-to-coplanar strip transition using artificial transmission lines [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2009, 57(8):2469-2474.
- [10] WU J, ZHAO Z, NIE Z, et al. Bandwidth enhancement of a planar printed quasi-Yagi antenna with size reduction [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(1):463-467.
- [11] GUO, QIN. Frequency switchable quasi-Yagi dipole array for base station antennas[C]. IEEE International Symposium on Antennas & Propagation, 2011.
- [12] SUN M, QING X, CHEN Z N. 60-GHz end-fire fan-like antennas with wide beamwidth [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61(4):1616-1622.
- [13] 姚国伟,薛正辉,李伟明,等.增强端射天线阵列的研究[J].电波科学学报,2010,25(3):538-542,609.
- [14] 刘忠凯.端射天线辐射机理和实现高增益的研究[D].北京:北京理工大学,2007.
- [15] GORBACHEV A P, EGOROV V M. A modified planar quasi-Yagi antenna for wireless communication applications [J]. IEEE Antennas & Wireless Propagation Letters, 2009, 8(4):1091-1093.
- [16] 陈志贤.PBG结构圆柱形微带贴片天线的设计与仿真[J].电子测量技术,2016,39(1):54-56.
- [17] 张安荣,尹静,李宏,等.小型化宽频带平面单极天线的研究[J].移动通信,2007(11):83-85.
- [18] QIN P, DING C, GUO Y. A high-gain beam-steering quasi-Yagi antenna [C]. International Symposium on Antennas & Propagation, IEEE, 2012, 122-125
- [19] DAMON E. The near fields of long end-fire dipole arrays [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1962, 10(5):511-523.

作者简介

时英龙,1993年出生,硕士研究生,主要研究方向为相控阵天线技术。

E-mail:1453792143@qq.com

周志鹏,1967年出生,研究员级高级工程师,主要研究方向为相控阵雷达技术、微波电路技术、散射抑制技术。

郭先松,1973年出生,研究员级高级工程师,主要研究方向为机载预警雷达相控阵天线设计。