

Ku 波段超低交叉极化宽带双极化阵列天线

王彪

西南电子技术研究所

DOI:10.12238/ems.v5i12.6918

[摘要] 针对Ku波段雷达导引头相控阵天线的应用需求,设计了一种基于交叉缝隙耦合馈电的Ku波段宽带双极化阵列天线。对天线结构和加工方式进行了详细的介绍。利用电磁仿真软件对天线单元和天线阵列进行了仿真设计与分析。仿真结果表明,在14GHz~18GHz,天线单元两个极化端口隔离度高于23dB、交叉极化抑制度大于25dB;8×8规模的阵列天线可在方位360°、俯仰±60°范围内进行双极化扫描。扫描范围内,交叉极化抑制度大于60dB,且具有对称的方向图。该阵列可应用于Ku波段双极化相控阵,非常适用于雷达导引头平台。

[关键词] 相控阵; 双极化; 交叉缝隙耦合; 超低交叉极化; 宽带

中图分类号: TV42+1.1 **文献标识码:** A

Ku band ultra-low cross polarization broadband dual-polarized antenna array

Biao Wang

Southwest Institute of Electronic Technology

[Abstract] Aiming at the application requirement of Ku band radar seeker phased array antenna, a Ku band wideband dual-polarized antenna array based on cross slot coupling feed was designed. The antenna structure and processing mode were introduced in detail. Using electromagnetic simulation software, the antenna unit and array were simulated and analyzed. The simulation results show that the antenna operates at 14GHz to 18GHz, the isolation of the two polarization ports is greater than 23dB, and the cross polarization component is less than -25dB. The 8x8 array antenna can scan in the range of 60° and the azimuth of 360° with dual polarization. Within the scanning range, the cross polarization suppression of the array antenna is greater than 60dB, and the array has symmetrical pattern characteristics. The antenna can be applied to Ku band dual polarization phased array antenna and is very suitable for radar seeker platform.

[Key words] phased array; dual polarization; cross slot coupling; ultra-low cross polarization; broadband

引言

相控阵制导技术是一项在反隐身和抗干扰等方面具有突出体制优势的新技术。相控阵雷达天线作为关键技术之一,其研究成果有利于精确制导武器性能的持续提升。近年来,随着微电子行业的蓬勃发展,相控阵雷达天线正朝着双极化、双波段、共形、低成本、全数字等方向发展。

具有双极化特性的雷达天线能测量目标在不同极化下的散射特性,对发现、识别目标起着重要的作用。截至目前,双极化天线在国内外都有很大的发展,研究重点主要是展宽频带、提高端口隔离度和降低交叉极化水平^[1-3]。任何天线都会有不同程度的交叉极化分量,交叉极化对天线增益、辐射性能和抗干扰等有着较大的影响。通常,雷达系统对极化纯度都有较高的要求,而阵列天线是相控阵雷达天线的重要组成部分,所以降低阵列天线的交叉极化具有非常重要的工程意义^[4-7]。

阵列天线交叉极化的抑制通常可以从两个方面入手。一是采用低交叉极化的天线单元,二是通过优化阵列布局方式来改善交叉极化。

常见的双极化天线单元形式包括喇叭天线、磁电偶极子天线、探针激励的微带天线、缝隙耦合的贴片天线、以及采用混合结构进行激励的天线等。缝隙耦合的双极化贴片天线具有低交叉极化、低剖面、低成本、易加工等优点^[8-10],特别适用于导引头相控阵天线。

本文首先设计一种中心对称的H型交叉缝隙馈电宽带双极化单元天线,然后利用一种等幅反相馈电的对称布阵方式,设计出一个超低交叉极化阵列天线。该天线工作在Ku频段,相对阻抗带宽大于25%,具有良好的端口隔离度和交叉极化特性。阵列天线在扫描范围内,交叉极化抑制度大于60dB,且两种极化的E面和H面方向图都具有很好的对称性。对比同类天线研究结果,

本文设计的阵列天线在宽带宽角扫描范围内具有更高的交叉极化抑制度。

1 天线结构与制作方法

基于多层印制板加工技术,该天线从上至下共有四层RELONG RA300B芯板(介电常数为2.94,正切损耗为0.001),厚度分别为30mil,30mil,5mil,10mil。芯板之间用RELONG RLP30半固化片(介电常数为3,正切损耗为0.002)进行粘结。馈电端口与馈线之间通过金属化过孔实现板间垂直互联。天线印制板叠层关系如图1所示,PCB总厚度为2.3mm,约0.12λ₀(中心频率16GHz对应的波长)。在该多层板加工过程中,仅需两次压合,且不含背钻孔,工艺简单,制作容易。

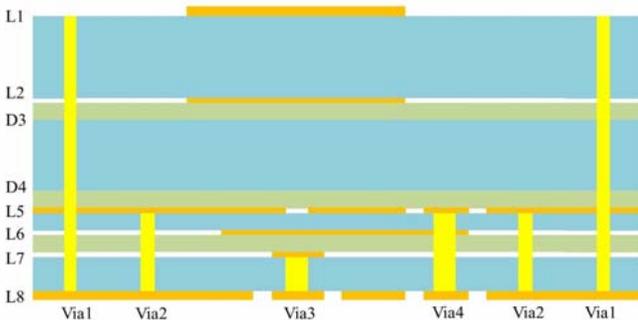


图1 天线印制板叠层关系

其中,L1层为方形寄生贴片,用于展宽带宽;L2层为辐射贴片;D3层与D4层为假层,作为辐射贴片的支撑介质;L5层蚀刻了交叉缝隙;L6层为水平极化馈线;L7层为垂直极化馈线;L8层为接地层,可通过压接或焊接的方式与金属腔体紧密结合。Via1为金属化屏蔽孔,从L1层至L8层,在天线阵列中,可提高阵元之间的隔离度,阻断阵元与阵元之间板间串扰。Via2为金属化屏蔽孔,从L5层至L8层。Via3为金属化信号孔,连接馈电端口与垂直极化馈线。Via4为金属化信号孔,连接馈电端口与水平极化馈线。图2给出了天线仿真模型的俯视图。

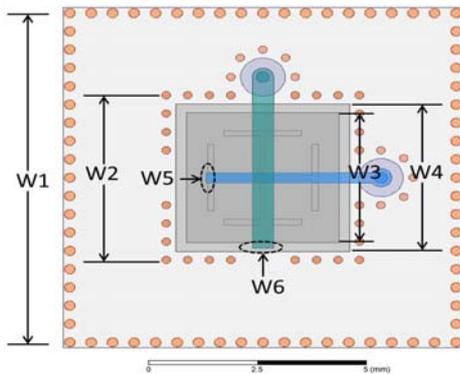


图2 天线俯视图

2 双极化天线单元设计与仿真

本文提出的宽带双极化天线属于缝隙耦合天线。该天线采用双层方形贴片,两个不同尺寸的辐射贴片叠加,增加谐振点,

以此扩展带宽。同时,方形贴片具有良好的正交极化特性和结构对称性。侧馈缝耦合方贴片为双极化缝隙耦合天线最常见的形式,该类天线的方向图对称性较差,应用于天线阵列时,扫描至两侧的增益有明显的差别。对称交叉缝耦合方贴片则可改善方向图的对称性问题,且更有利于在阵列天线设计中采用对称方式布阵。利用三维电磁仿真软件对天线单元进行优化仿真。本文设计的天线单元主要参数如表1所示。

表1 天线单元设计参数

参数	W1	W2	W3	W4	W5	W6
尺寸(mm)	9.3	4.5	3.55	4.04	0.28	0.5

仿真结果表明,两个端口的相对阻抗带宽都达到25%以上,极化端口隔离度在整个频带内大于23dB;天线单元具有对称性很好的方向图,交叉极化抑制度>25dB,非常适合作为双极化天线阵列的阵元,应用于双极化相控阵雷达。

3 阵列天线设计与仿真

相控阵天线的主要性能指标与天线阵列息息相关。通过天线阵列的优化设计,可直接改善天线增益、副瓣电平、波束宽度、最大扫描角、交叉极化分量等相控阵雷达天线关键的电性能指标。本文设计的天线阵列如图3所示,阵列间距取9.3mm,约0.5λ₀。

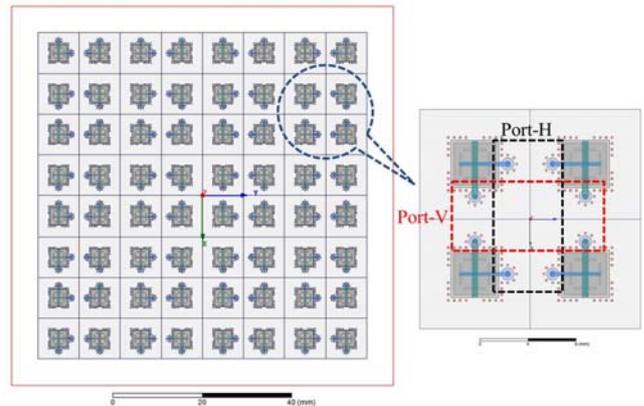


图3 天线阵列设计

将双极化单元按照图3所示对称布阵,对单元采用等幅反相馈电,可进一步减小交叉极化分量,同时,2×2阵列中心有相对集中的空白区域,有利于“瓦式”TR组件的设计。运用仿真软件,对规模为8×8的等间距矩形阵列进行了电磁仿真,并按公式1馈入相位。

$$F(\varphi, \theta) = \sum_{n=0}^7 \sum_{m=0}^7 f_{mn}(\varphi, \theta) \cdot a_{mn} \cdot \dots \quad (1)$$

$$e^{j \frac{2\pi}{\lambda} [d_m (\cos \varphi \sin \theta - \cos \varphi_0 \sin \theta_0) + d_n (\sin \varphi \sin \theta - \sin \varphi_0 \sin \theta_0)] + j \phi_{mn}}$$

其中,(φ₀,θ₀)为扫描目标角度,φ_{mn}为阵元初始相位,根据阵元的位置分别取0°或180°。两种极化的天线阵列具有相

似的电扫描方向图特性, 仿真结果表明, 该阵列天线具有超低交叉极化分量的特性, 规模 8×8 的矩形阵列, 在扫描范围内, 交叉极化抑制度大于60dB。

本文设计的天线主要性能参数与文献中同类型天线对比的结果如表2所示。相较于其他文献的设计, 本文设计的天线交叉极化抑制度性能优异, 而且水平极化和垂直极化具有几乎相同的扫描性能。

表2 本文的天线与同类型天线对比

文献	波段	馈电形式	相对带宽	交叉极化抑制度
[1]	Ku	微带边馈+缝隙耦合	26.5%	30 dB
[3]	Ku	临近耦合+缝隙耦合	<10%	40 dB
[8]	Ku	侧馈缝隙耦合	>21%	30 dB
本文	Ku	交叉缝隙耦合	25%	60 dB

4 结论

本文以Ku波段双极化雷达导引头相控阵天线为应用背景, 采用对称H型交叉缝隙耦合馈电的方式, 设计了一种宽带双极化天线单元。该单元以等幅反相馈电的对称组阵方式形成的 8×8 天线阵列具有超低交叉极化分量的特性。通过天线单元与天线阵列的仿真结果证明了该天线的性能, 阻抗带宽达到25%, 交叉极化小于-25dB, 极化端口隔离度大于23dB, 阵列天线交叉极化抑制度大于60dB。该阵列天线可作为子阵组成更大规模的天线阵列。本文提出的天线结构简单, 加工容易, 可推广应用于双极化相控阵天线设计, 在Ku频段相控阵雷达领域有着广泛的应用前景, 具有重要的工程应用价值。

[参考文献]

[1]赵璐,李峰,于慧娟.宽带高隔离度双极化多层微带阵列

天线研制[J].电子元件与材料,2015,34(3):45-48.

[2]于大群,孙磊,吴鸿超.一种高隔离度低交叉极化等相位中心双极化开槽天线设计[J].微波学报,2020,36(3):26-30.

[3]易翀,刘涓,王洋,等.一种Ku波段双极化微带阵列天线的设计[C].//2014年全国军事微波技术暨太赫兹技术学术会议论文集.2014:317-319.

[4]王进凯.天线交叉极化对雷达抗干扰的影响[J].中国新通信,2019,21(24):61.

[5]张闻涛,张晓辉.一种低交叉极化相控阵单元的设计[J].舰船电子对抗,2020,43(6):101-104.

[6]张诚,毛臻,杨兵,等.低交叉极化水平的宽带滤波贴片天线[J].电子与封装,2019,19(4):45-48.

[7]张涛,江涛,赵香妮,等.一种Ka频段超低交叉极化宽频带波纹喇叭天线[J].微波学报,2017,33(1):45-52.

[8]Li Sijia, Gao Jun, Cao Xiangyu, et. al. Broadband and High-isolation Dual-polarized Microstrip Antenna with Low Radar Cross Section[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters,2014,13:1413-1416.

[9]金秀梅,叶顺涛,李运志,等.C波段宽带双极化微带贴片天线设计[J].无线电工程,2020,50(9):792-796.

[10]李琳,万继响.Ku波段双极化缝隙耦合微带天线设计[J].电子设计工程,2016,24(7):182-185.

作者简介:

王彪(1988—),男,汉族,四川省广元市人,硕士,工程师,中国西南电子技术研究所,研究方向:毫米波相控阵天线。