

一种宽带高效率透射型极化转换器的设计与仿真

张炜麟 赵贝贝 盖俊峰 宦爱奇

(中国人民解放军91206部队 山东 青岛 266109)

【摘要】随着通讯和导航的发展,天线系统对整个通讯设备的意义越来越突出。具备低截面,极化选择转换,高增益和适当的带宽特点的天线,将成为现代通信系统发展的必然趋势和特点。本文中提供了一个多层频率选择表面的极化转换方法,在实现效率较高的同时,还可以克服了电调极化转换器结构复杂和消耗能量高及生产成本高等的问题。本方案还可以利用旋转调整极化转换器和入射线极化波的极化方向及夹角角度,从而达到可以把入射波依次转换成左旋圆极化、右旋圆极化以及线极化等各类透射波特征。

【关键词】微波通信;极化转换;频率选择表面;极化方向夹角

一、研究背景与研究意义

近年来,由于信息通讯技术和天线科技的飞速发展,天线对元器件的电气性质和技术等方面的标准要求也愈来愈严格。极化是电磁波的主要特征之一,因此控制电磁波的极化十分关键。由于单纯依赖天线结构设计谋求指定的极化存在一定困难,极化转换器应运而生。极化转换器是具备转变为极化方式能力的关键设备,特别是在纳米光子器件和新型电子传感器领域,有着巨大的使用价值^[1]。在通讯导航应用领域,由于各类通讯导航载体上需要承载的天线数量也将更多,其所承载的重量也将相应增大,同时又因为受承载平台的空间约束,各个天线的配置也将影响各个天线特性乃至整个系统的工作特点,因此通常都必须进行在各种极化状态间的调整切换,利用极化转换器,可得到需要的极化信号。

在这样的场合和环境条件下,若将极化转换器运用于天线控制系统上,则可使天线控制系统具备极化可重建特征,有助于减轻天线控制系统的体重,减少其复杂性,并可改善天线控制系统的保密性,对通信系统具有极其重要的意义。但是电调极化转换器中的监测电路和集总电极等,都提高了极化交换器的设计复杂度和极化交换器的能量损耗,同样也提高了极化交换器的生产成本。论文中给出了一个采用多级频率选择表面的极化转换方法,在实现效率更高的时候,还可以克服传统电调极化转换器结构复杂、费用巨大和成本过高等方面的问题。

二、极化转换方法的原理分析

(一)极化转换原理

就接收天线来说,想要正确接收到来波信息,

接收信号的极化特征就应该和来波信息的极化特征相同,以便进行极化匹配。接收到信息的天线的极化特性必须与发送天线的极化特征相一致,当发送天线的极化特征和收到天线的极化特征不相同,就要进行信息的发送和收集,这也涉及到了极化转换。电磁波的极化是指在空间的某一个点,或与电磁波传输方向正交的平面上,电场矢量的运动轨迹。当入射波作用在极化变换器上时,其水平矢量和垂直度矢量的相位、幅度将依次被加权平均,然后再转变成任何所要求的极化类型的波^[2]。两正交极化的相位差,依次相对于左旋圆极化波和右旋圆极化波。要达到把入射波特征依次转变成左旋圆极化、右旋圆极化或线极化的各类透射信号特征,就必须能调整反射波的两正交信号极化的幅值和相位。

(二)极化转换器

当来波信号的极化特性与发送天线极化特征一致时,而发送天线的极化特征与接收天线的极化特征又不相同时,要进行信息的传送和接收,这也涉及到了极化转换的范畴。本文研究对象主要为线极化、左旋极化及其中右旋极化的选择与转化。直线极化波,也有水平极化波与垂直极化波之分。当电场矢量之间同相或反相时,此电磁波称为直线极化。当电场强度方位也垂直于地球表面时,此电磁波为垂直极化波;而当电场强度方位也平交于地球表面时,此时为水平极化波。若当电场矢量在空间状态下的轨道是一个圆时,形成圆极化波。圆极化波也可由二个相互正交的,且有九十度相位差的矢量合成产生,但按照所产生的矢量端点运动方式的差异,圆极化可能是左旋极化波,也可能是右旋极化波。

对于任何极化方向相同的波，都能够分解成个旋方向相反的圆极化波。因此，圆极化天线能够接收到任何极化角度的光波，因而圆极化波也能够被任何极化角度的天线所接受。

由于圆极化波的这一特性，使它在电子对抗、雷达、通信等领域中具有巨大的使用价值，极化转换器正是在这个需求下的产物。极化变换器基本是通过FSS改进优化得到的，当入射波照射到极化变换器上后，其水准矢量和垂直度矢量的频率和相位也各自被经过了加权，然后再转换成任何所要求的极化类型的光波。根据电磁波的传输特性可以将极化转换器分为反射型和透射型。

三、一种新型极化转换器的设计

文中给出了一个多层频率选择表面的宽带高效率透射式极化转换方法，用以缓解电调极化转变器构造繁杂和消耗高等的实际问题，在实现效率更高的时候，也可以克服电调极化转变器构造繁杂、消耗低和成本高等的实际问题。实现出入射波的线极化、左转圆极化和右转圆极化特征的选取以及变换。从而减少了电调控极化转换器中引入的偏置电路，以及集总元件所产生的复杂度、额外损耗和额外成本等的问题。

（一）方法设计指标

进行极化的控制手段主要包括机械控制、电控制、光控制等，现阶段采用的极化转换器的极化切换方法多是利用是电子调控的方法进行的，这种方法特征在于：不要求旋转极化转换器，只依靠导入偏置电路和集总元电子器件并对它们加以控制，就能够完成极化切换。但是由于电调极化转换器中的监测线路和集总电子元器件，提高了极化变换的复杂性和极化变换的能量损耗，同时也提高了极化变换的成本。

为满足现代通讯设备的需要，天线工程设计正向着小体积、宽频带和多波段的工程设计方向迈进，高性能的微波天线正是起到了简化作用。主要技术指标包括如下三个层面：一是效率高，转化后的极化波有很大的极化隔离度，更贴近于所要求的理想极化状况；二是低损耗，有很大的能源转化效率，以达到节能降耗的目标；三是器件尺寸较小，不会占据过多空间。

（二）设计方案

根据电磁波极化理论，其设计思想是通过改变偏振转换器和入射的偏振信号的偏振方向夹角位置，从而进行电磁波的线极化、左转圆极化和右转

圆极化特性的确定与变化。

1. 透射型频率选择表面

频率选择表面(FSS)是一个二维周期阵列单元，其基本单元可分成贴片型和孔径型。就最典型的贴片型FSS来说，当电磁波入射后，对于在谐振频率周围相似于一种理想的传导平面，对低频电磁波呈现为全反射特性，对其余频段电气波则呈现为辐射特征。对于孔径型FSS而言，在谐振频率处呈全透射特征，对其他频段的电磁波也显示出了反射功能。我们选择的是孔径类型FSS，又叫做开槽型、波导型。也就是说在金属表面上周期性的有一个金属单元的小沟口，从频率特性上来说是光带通的主要频率选择方式，低频反射，高频透射^[3]。

多层介质基板上的金属贴片或者槽孔按照特定规律排列。在第一、二、四介质板的上表面或者下表层，依次印刷有由 8×8 个切角型长方形贴片所构成的贴片阵，如图1显示；第一、三介质板的下表面，依次印刷有由 8×8 个金属方环所构成的栅极阵，如图2所示。

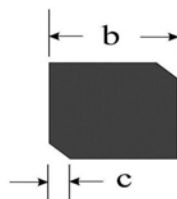


图1 切角型正方形贴片示意图

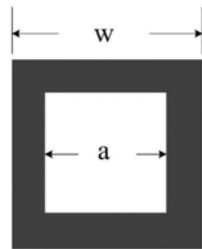


图2 金属方环结构示意图

2. 宽带高效率的设计

根据电磁波传播原理和微波极化传输特性，通过选择适当的方法，扩大了频率选择表面的谐振频率范围，可以使频率选择表面的工作谱带获得很大展宽，进而使极化转换器的工作谱带获得很大展宽。且在工作谱带内对入射电磁波功率所产生的影响基本是由介质板的介质影响。采用多层宽带通FSS，指的是拥有高阶滤波功能的带通FSS，它有着良好的带宽展宽度和通带的上升特点。另外，它具备通带时插入损耗低、带外抑制好及陡降性能好的特点。因此，选择合适宽频段FSS，可以增加频率选择表面的谐振频率范围。

本文设计一种宽带的高效透射式极化转换器,包括介质基板和周期模块,如图3所示。介质基板主要由一、二、三、四介质板构成,并全部使用了聚四氟乙烯材质,其相对介电常数 $\epsilon_r=2.6\pm 0.05$,相对介电损耗 $\tan \delta=0.015$,基板厚 $t=1.5\text{mm}$ 。四块介质板,自上而下分别采用了绝缘的粘接材质热压并经过介质螺栓加以紧固,从而构成了上下层叠构,利用这样多层构造可以有效地展宽了极化转换器的工作宽度。

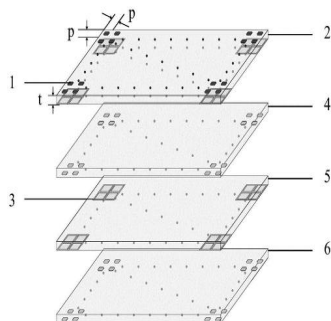


图3 整体结构示意图

3. 优化设计, 提高极化转化的稳定性

为使极化转换器的工作性能得以提高,可以按照实际需要调整周期单元的长度以及周期单元之间的工作周期,从而大大改善了极化转换器的工作频率,并确保了入射信号在沿极化转换器有一个较大的入射角度或者垂直入射的状态下,所进行的极化变换功能正常基本一致。

周期单元通常包含切角型正方形贴片和金属方环,同时,在第一个介质板的上表层、第二个、四介质板的下表面,依次印刷有由 $M \times N$ 个切角式长方形金属贴片构成的贴片阵列;在第一、三介质板的下表面则依次印刷有由 $M \times N$ 个金属方环所构成的栅极阵,其中 $2 \leq M \leq 128$, $2 \leq N \leq 128$ 。所述贴片阵列的栅格阵在行上与列上周期均为 $p=10\text{mm}$,且其各层与对应周期单元的中心对齐且与对应边彼此平行,这种排布方法要求该极化转换器极化稳定性与入射角的性能都较好。由于使用简便快捷,相较于采用光电调控改变工作时间的方法,生产成本和复杂性都可以大大降低^[4]。

四、计划转换器的仿真验证

(一) 仿真内容

利用 AnsysHFSS13.0 软件,对如图4所给出的仿真模式进行了全信号模拟,在 $8.5\text{GHz}-11\text{GHz}$ 谱带范围内,使用标准的增益效果为辐射源,将发出的线极化信号垂直投射在极化转换器上,并以此为基准轴。

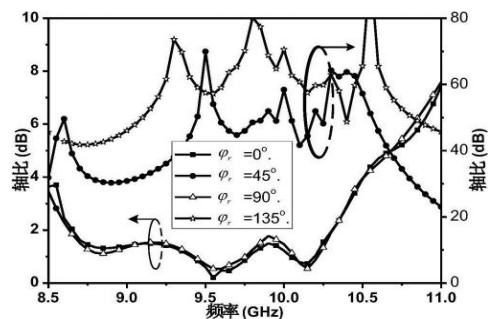


图4 仿真模型图

(二) 仿真结果

当调整极化转换器分别位于 ψ_r 时,产生的透射波轴比特性进行了仿真,其仿真结果如图5所示。根据本发明极化转换器结构的对称性,当旋转角度为 ψ_r 时,穿透极化转换器的电磁波特性分别与 ψ_r 相同。

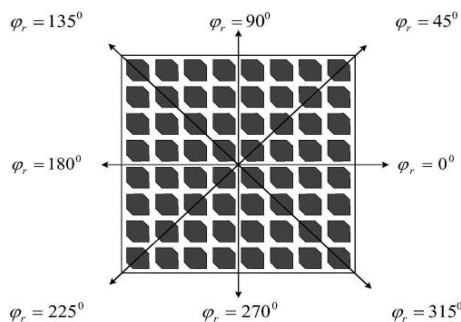


图5 仿真结果

由仿真结果可以看出,调整极化转换器与入射线极化波的极化方向夹角角度,仅通过机械调控转该极化转换器,即可使出射波获得线极化、左旋圆极化以及右旋圆极化特性。

五、小结

本文提出一种多层频率选择表面的极化转换方法,用于解决电调极化转换器结构复杂和损耗高的问题,本方法可通过旋转调整极化转换器与入射线极化波的极化方向夹角角度,实现将入射波分别转换成左旋圆极化、右旋圆极化或线极化的各种透射波特性。

参考文献:

- [1]冒晨阳.基于电磁超表面的极化转换器及其应用研究[D].南京:南京航空航天大学,2018.
- [2]张厚,尹卫阳.频率选择表面在天线及微波技术中的应用[J].空军工程大学学报(自然科学版),2019,20(5):70-75.
- [3]查华.可重构频率选择表面应用研究[D].西安:西安电子科技大学,2017.
- [4]王泉,李鹏凯.一种新型线-圆极化转换反射阵天线设计[J].电子技术应用,2016,42(12):85-88.