

一种小型化双频圆极化微带天线设计

程 益 福

摘要:本文通过分析双频圆极化微带天线,提出了一种覆盖北斗卫星导航系统频段的双频双圆极化微带缝隙天线。这是一个特例,因为它要求天线在两个工作频段内具有相反的圆极化旋向。根据设计要求,为了实现双频以及圆极化功能,采用了非常简洁的环形缝隙结构,简洁的结构也方便了后期对其进行加工。本文给出了该设计的具体步骤及实验结果,实测结果表明了该设计的可行性。

关键词: 圆极化天线; 双频天线; 微带天线

Abstract:Through the analysis of dual band circularly polarized microstrip antenna, the dual polarization microstrip slot antenna for coverage of the Beidou satellite navigation system of the dual frequency band. This is a special case, because it requires the antenna with circular polarization rotation instead of the two frequency range to. According to the design requirements, in order to realize the dual band circular polarization functions and, using the ring slot structure is very simple. Simple structure is convenient for later processing. This paper gives the specific steps and the experimental results of the design, experimental results show the feasibility of the design.

Key Words: Circularly Polarized Antenna; Dual-band Antenna; Microstrip Antenna

1. 引言

微带缝隙天线有很多种,而其中之一就是环形微带缝隙天线。一般情况下,它的结构都是比较固定的,即通过在介质基片的接地板上刻蚀出圆环形缝隙,并由微带线在介质基板另一侧对该环形缝隙耦合馈电。环形缝隙天线之所以能够被广泛地应用,得益于同心的环形缝隙阵能够获得一致的定向性且环缝之间耦合较小,所以常用来实现多频天线和组阵。传统的环形缝隙天线辐射的是线极化波,可以通过下式大概的计算出它的谐振频率:

$$f = \frac{2c_0}{2\pi\sqrt{\epsilon_e}(R_1 + R_2)} \quad (1-1)$$

其中, c_0 是用来表示光速, ϵ_e 是介质基板的有效介电常数, R_1 和 R_2 分别是环形缝隙的内缘半径和外缘半径。

传统的环形缝隙天线产生的是线极化场,若在环缝上引入“分离筒并单元”,或是采用等幅相位相差 90° 的双馈,则也可实现圆极化,这和微带贴片天线是一样的。微带环形缝隙天线的方向图在不添加反射板时是双向辐射的,它比微带贴片天线的带宽更宽,且寄生辐射和表面波激励都不严重。对制造公差的敏感性,微带缝隙天线要比微带贴片天线好很多。

2. 双频双圆极化微带缝隙天线的设计

在前期的设计中,通过采用环形缝隙结构我们成功实现了一个双频圆极化微带天线,该天线在两个频段均为左旋圆极化,而在实际应用中,手机等无线终端设备为了达到减小尺寸这一目标,一般都采用线极化的天线,因为即使采用线极化天线也能满足基本需求。我国现在使用的北斗卫星导航系统,就是一个很成功的范例,并且目前该系统已经开始为别的国家提供服务。该系统与GPS等早先建成的几大卫星定位系统的不同之处之一在于它具有短报文通信功能,也就是说,终端设备与卫星之间可以进行双工通信,而GPS等定位系统的终端设备仅仅是一个接受卫星信号的设备。这也使得北斗卫星导航系统的两个工作频段分别仅用于发射和接收信号,即一个是上行频段(1.600~1.616 GHz),另一个是下行频段(2.485~2.500 GHz)。而且为了进一步降低干扰,两频段的圆极化旋向相反,上行频段采用的是左旋圆极化,而下行频段采用的是右旋圆极化。这就需要设计一种能够实现双频双圆极化的天线,所谓双圆极化就是指在天线两个工作频段上的圆极化旋向相反,旋向相反的双频圆极化天线很难采用双馈的方式实现。本节在前期设计的基础上采用类似的同心环形微带缝隙结构设计了一种可应用于北斗卫星导航系统的双频双圆极化天线,对天线的性能进行了研究和分析,并给出了仿真与测试结果。

其设计目标如下:

工作频段: BD1: 1.600~1.616 GHz BD2: 2.485~2.500 GHz

输入阻抗: 50Ω

驻波比: ≤ 2

极化方式: BD1 频段左旋圆极化, BD2 频段右旋圆极化

轴比: $\leq 3\text{dB}$

2.1 天线的结构

天线结构如图 2-1 所示,为印刷在介电常数为 4.4 的 FR4 介质板上、由阶梯微带线从背面耦合馈电的环形微带缝隙天线,但采用了结构更为简单的两个同心环形缝隙。天线外环缝隙在相对 x 轴 135° 和 315° 处向外刻蚀有一对方形槽,内环缝隙则在相对 x 轴 45° 和 225° 处向内刻蚀有一对方形槽。外环两刻蚀槽的连线与内环两刻蚀槽的连线相互正交,以获得两个频段处相反旋向的圆极化波。

在双频双圆极化天线的设计中,结构的简洁性是十分重要的,究其原因就是天线的尺寸参数不同对其性能的影响并非独立的,也就是说某些参数主要影响天线的阻抗匹配性能,但也会对其圆极化性能产生一定的影响,因此每减少一个参数,参数调节的工作量都会大幅下降。天线的尺寸参数越少,则天线越容易调试,也越具有通用性,可以较为容易的移植到其它频率使用。因此采用结构更为简单的环形缝隙对于双频双圆极化的实现更为有利。图 8 中各部分尺寸大小如表 1 所示。

表 1 双频双圆极化微带缝隙天线尺寸(单位: mm)

参数	W	L	h	R_0	R_i	w_0	w_i	t	s	L_s	L_t	W_t	W_f
尺寸	80	95	1.6	22.5	14	2	1	7.5	5	7	25.5	1.3	3

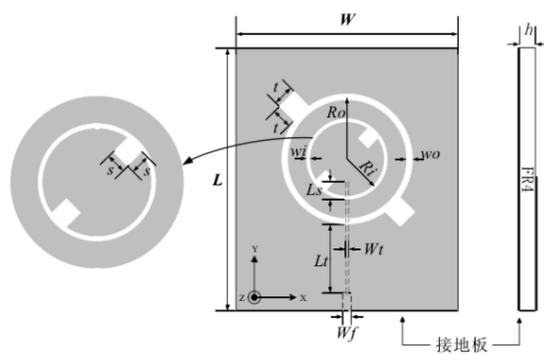


图 2-1 天线结构

2.2 天线参数的分析

本节提出的双频双圆极化微带缝隙天线结构均拥有多个几何参数。天线的两个工作频段大体上由内外两个环形缝隙所决定。在根据频率确定两环形缝隙的半径之后，需要调整一些关键参数以获得理想的双频双圆极化特性。所以，我们必须从由参数变化引起的天线阻抗匹配以及圆极化性能的改变开始研究，然后得到最佳理想的结果。

L_s 是微带馈线终端开路短截线的长度。在前期的设计中，我们了解了微带线缝隙耦合馈电的原理，该开路短截线的长度决定了其引入的电抗大小，从而影响最终的阻抗匹配。我们还根据仿真的结果，得出了 L_s 的变化会影响高低频段的反射系数。当然，它们之间存在不同点。在低频段， L_s 的变化引起反射系数在大小上的整体变化，而在高频段， L_s 的变化带来的则是反射系数相对于频率的平移。通过观察天线轴比曲线的变化情况时，我们会发现， L_s 对于圆极化性能的影响在高频段显得尤为明显，轴比曲线随 L_s 的增大略微向低频平移， L_s 的变化对于低频段圆极化性能的影响则可以忽略不计。总体上看，微带馈线终端开路短截线的长度 L_s 对于天线阻抗匹配的影响要大于其对圆极化性能的影响。

t 和 s 分别是天线内外环形缝隙上方刻蚀槽的边长。刻蚀槽实际上也是一种“分离简并单元”，其作用是激励起两个辐射正交极化的简并模从而实现圆极化，因此其尺寸大小主要决定天线的圆极化性能。但刻蚀槽的大小并非对于天线的阻抗匹配就没有影响。可以预见，刻蚀槽的尺寸越大，环形缝隙的平均周长就越大，环形缝隙的谐振频率就越低。然而，刻蚀槽的尺寸大小与于天线圆极化性能之间存在的关系，仍是我们必须关注的。我们根据前期设计的仿真图形，可以得出，当刻蚀槽边长取值向大或向小偏离某最优值时，轴比均产生整体上的恶化。

3. 模型的建立与仿真

3.1 天线的模型

根据前期的设计思路和具体的数据，在 HFSS 软件上画出双频双圆极化微带缝隙天线的模型图。刚开始做出来的模型，效果不太好，为了后期的仿真结果更加符合实际情况，对模型进行了多次的修改，最后的模型 3-1 中两个图形所示，分别呈现的是模型的上表面以及下表面的情况。

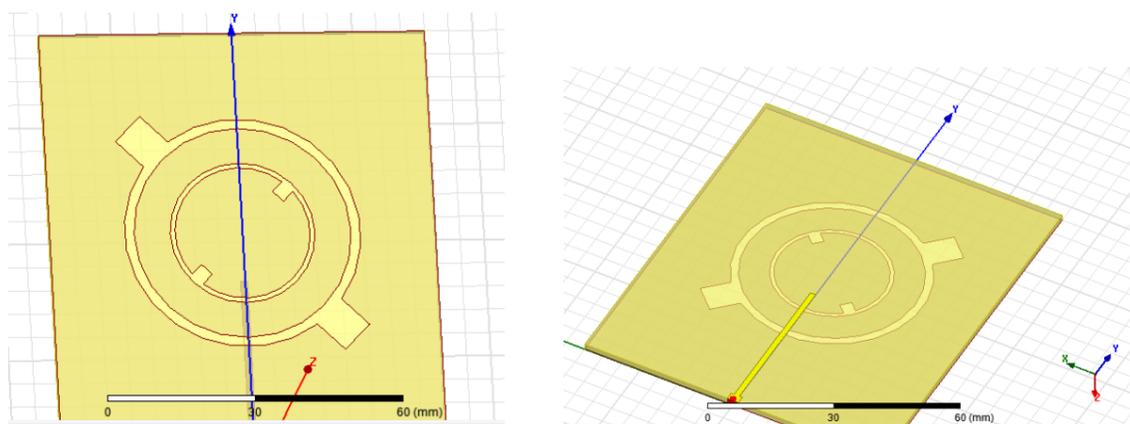


图 3-1 天线的模型

3.2 天线的仿真

在天线相关性能的描述中，S 参数是一个非常常见且十分重要的概念，它可以从一定的程度上反映出天线性能的好坏。正常而言，我们都参考 S_{11} 的值，通过观察它的大小，来分析相关天线的性能好坏。当 S_{11} 的值很大的时候，就证明天线的性能很一般。因此，我们就希望得到的 S_{11} 的值很小，这也就代表着设计的可行性^[5]。天线的驻波比描述的是天线的匹配状况，当天线的匹配情况不好时，反射的功率就多，驻波比越大，驻波比数值在 1 到无穷，一般工业要求驻波比小于 2 即可。

前期的仿真，因为设计的不严谨、操作的不科学以及没有进行优化等，仿真结果跟理想状态相去甚远，完全达不到设计要求，如下图 3-2 所示的是前期的仿真结果图。设计的是双频天线，但是在 S_{11} 上，我们却得到了三个频段，这一结果，明显不符合设计要求。

考虑到具体的实际情况，通过不断地分析比较，得到了上表 1 中的天线结构参数。根据这些参数，不断对模型进行优化，最终得到了图 3-3 所示的回波损耗以及驻波比的仿真图。

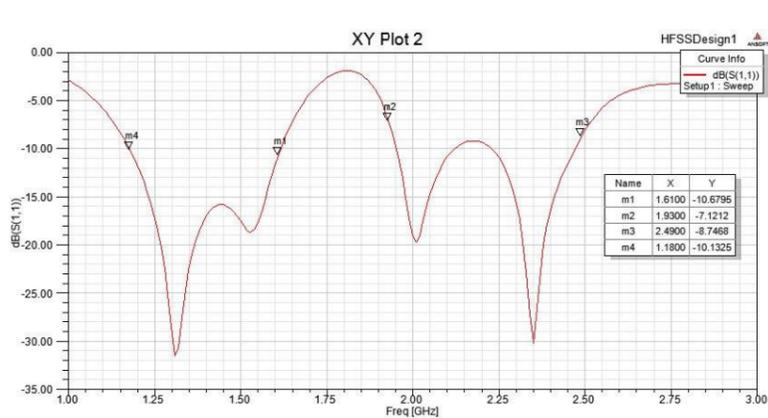


图 3-2 优化前的 S_{11}

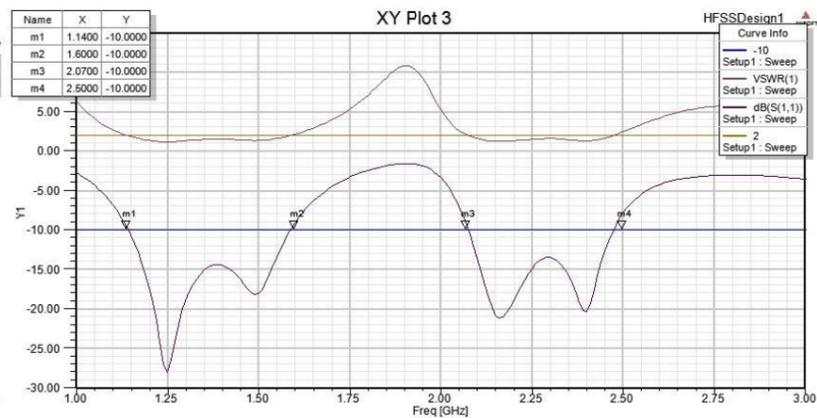


图 3-3 优化后的回波损耗以及驻波比的仿真曲线

图 3-4 给出了天线 S_{11} 的仿真曲线,我们从图上可以看出来,天线在低频段和高频段的 10-dB 回波损耗带宽分别 45.9% (1.141GHz---1.60GHz) 和 43% (2.07GHz---2.50GHz), 已经基本覆盖了设计频段。此外,在覆盖的频段内,天线的驻波比小于 2。因此,可认为此次设计的仿真结果符合要求。

天线方向图,是指在离天线一定距离处,辐射场的相对场强(归一化模值)随方向变化的图形,图3-4右边为天线的图,方向图上任意一点的角度对应了实际辐射的角度,而对对应点的矢径对应该方向上的辐射场大小。从图上可以看出,天线阵的主要辐射方向集中在X方向上,这是因为阵元本身的最大辐射方向在垂直于贴片表面的方向上。此外,最大辐射方向在 X 方向上,而Z方向上辐射最小。

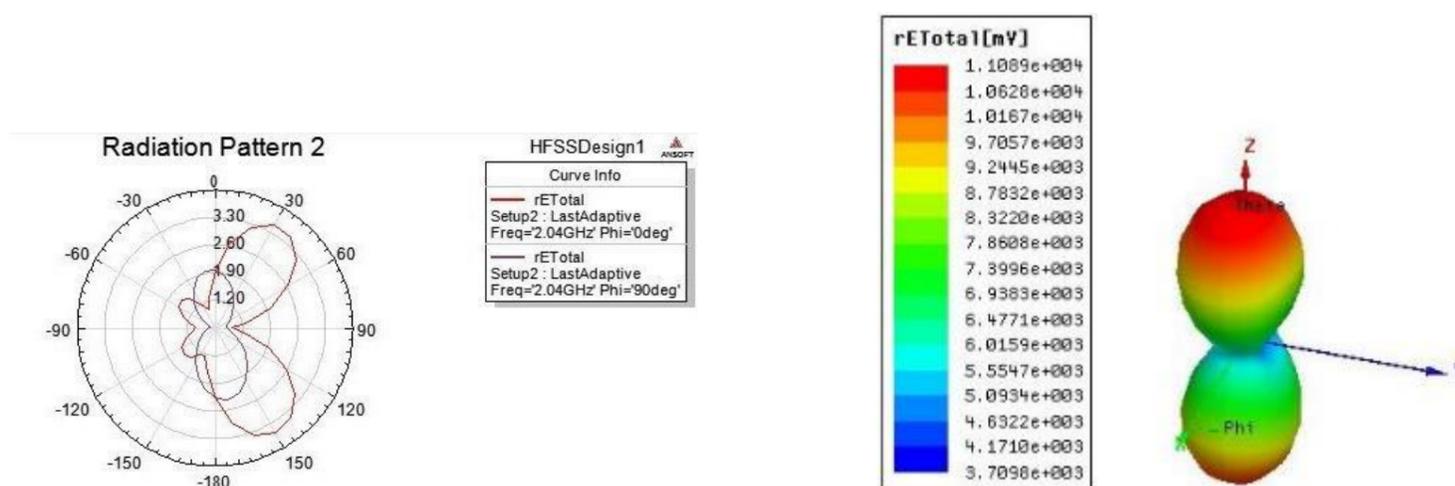


图 3-4 天线的方向图

4. 天线的加工与测试分析

4.1 天线的加工

本次将要加工的天线,我们选用的材料是介电常数为 4.4, 厚度为 1.6mm 的 FR4 的板子。图 4-1 所示的是初步加工结束后的双频双圆极化圆极化缝隙天线。

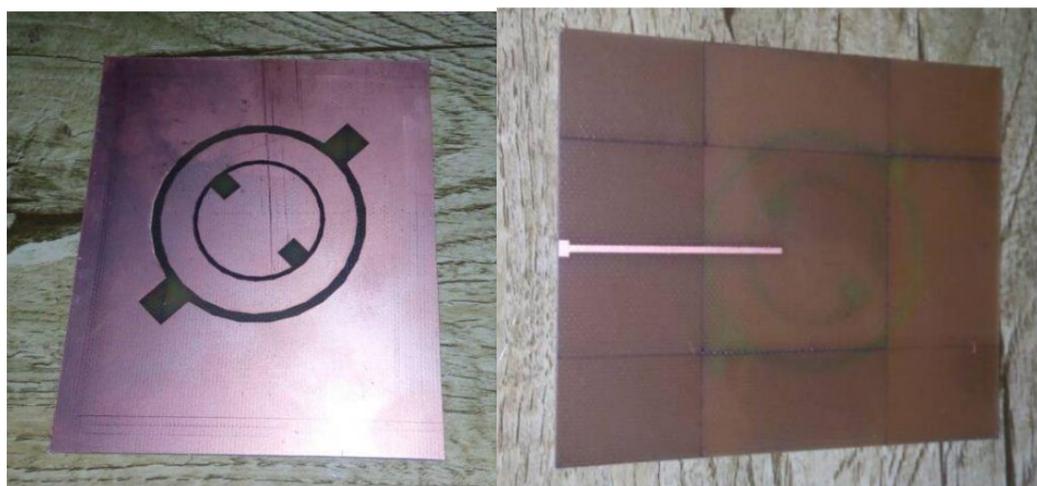


图 4-1 初步加工的天线

4.2 天线的测试

理想状态下,对天线的测试,需要在一个无限大的空间。显然,在实际生活中,并不是这么操作的。一般情况下,我们可以利用人工模拟的办法,建造一个可以理解为无限大的空间,而我们经常谈论到的微波暗室就是模拟这个空间的测试场所。通常微波暗室内有无数个纸质的尖状物,可以有效的吸收波。安徽大学就有微波暗室,我们在老师的带领下前往安大的微波暗室进行天线的测量工作。

测试地点:微波暗室;测试仪器:Agilent 8722ET 矢量网络分析仪(频率 40Mhz-10Ghz);测试内容:天线的 E 面方向图

图 4-2 所示的就是在微波暗室测试的结果图。

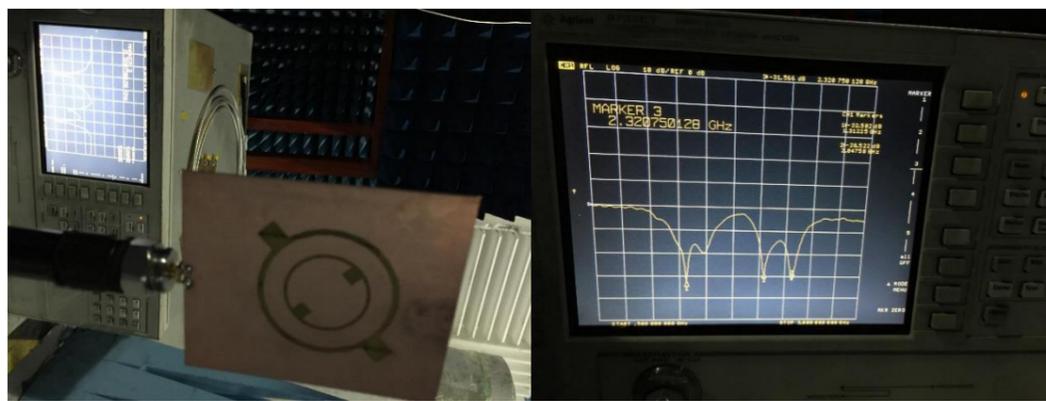


图 4-2 在微波暗室测试得到的天线的 E 面方向图

4.3 实测结果与误差分析

下面的 4-3 图所示的是双频双圆极化天线的回波损耗与驻波比的实测图，4-4 图所示的是天线的 E 面方向图

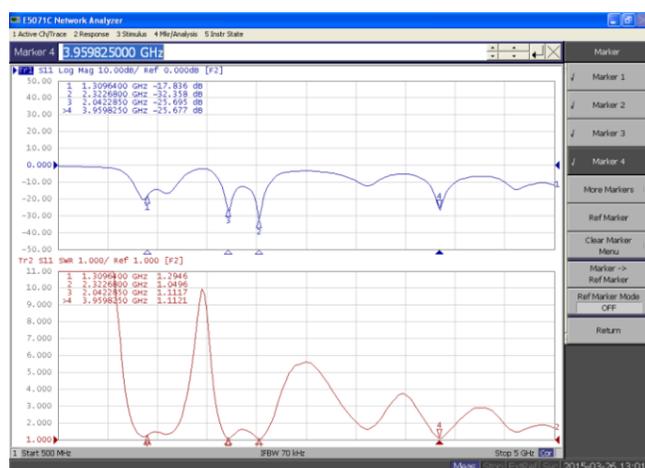


图 4-3 天线的回波损耗与驻波比的实测图

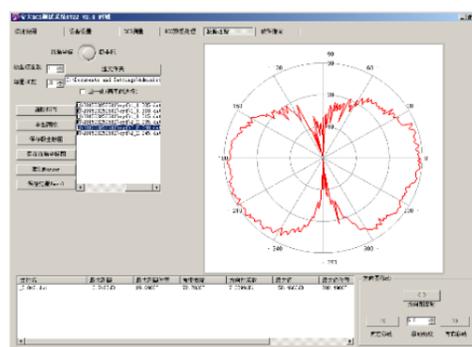


图 4-4 天线实测的 E 面方向图

通过观察对比图 3-3 和图 4-3、图 5-5 和 4-4，我们发现，天线的仿真结果与实测结果存在较大的误差，其原因主要有以下几点：

- 1、实际选择的介质的介电常数跟 HFSS 的 FR4 的板材定义为 4.4 的介电常数不一致，导致了回波损耗以及驻波比的仿真图与实测图存在较大误差。
- 2、天线加工的时候，考虑到机器以及人员问题，对天线的加工制造，必然会存在一定的误差。
- 3、测试时候，当手接触 SMA 接头焊接部分时，会对天线的测量结果产生较大的影响，因此可推断接头焊接存在问题，从而导致了误差的出现。
- 4、理论上，天线测量时，对测量环境的要求比较严。我们测试时候的环境跟仿真模拟的环境之间存在巨大的差异，这个差异也直接导致了误差的产生。

5. 结语

本论文提出了小型双频双圆极化微带缝隙天线的研究设计方法。对设计思路做了详细阐述，对天线功能做了深入分析，最后通过对天线模型的仿真结果以及对加工后实物的测量结果，做出了误差分析。

参考文献

- [1]钟顺时.微带天线理论与应用[M].西安:西安电子科技大学出版社,1991.
- [2]李明洋,刘敏.HFSS 电磁仿真技术从入门到精通[M]北京:人民邮电出版社,2013.
- [3]管伯然,曹建伟.一种小型超宽带微带天线[J].微波学报,2011.12-14.
- [4]邵建兴,蒋泽.一种新型双频微带天线的分析与设计[J].重庆邮电大学,2008.54-56.
- [5]I.J.鲍尔,P.不哈蒂亚.微带天线[D].电子工业出版社,1984.