

文章编号: 2095-4980(2016)04-0599-05

## 边缘开槽多频段天线设计

王 轲, 郑宏兴, 邓东民

(天津职业技术师范大学 天线与微波技术研究所, 天津 300222)

**摘要:** 针对手持无线设备的发展需求, 设计了一种能够用于北斗卫星导航系统、全球定位系统和无线局域网的多频段天线。采用平面倒F天线的结构方式, 在辐射片边缘开2个L形槽, 使它在1.575 GHz, 2.445 GHz和5.32 GHz三个频段能够有效工作, 且拥有足够的带宽, 满足上述3个系统对频率的要求。利用电磁仿真软件分析了辐射体的电流分布, 研究了槽的位置、形状和尺寸对天线性能的影响, 实验验证了所设计天线的性能。

**关键词:** 多频段天线; 平面倒F天线; 边缘开槽

**中图分类号:** TN823+.24

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11805/TKYDA201604.0599

## Design of multi-band antenna slotting on the edge

WANG Lu, ZHENG Hongxing, DENG Dongmin

(Institute of Antenna and Microwave Techniques, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** According to the development of handheld wireless devices, a multi-band antenna is designed. It can be applied to the Beidou satellite navigation system, Global Positioning System(GPS), and Wireless Local Area Networks(WLAN). The structure is based on Planar Inverted F-shaped Antenna(PIFA). Two L-shaped slots are grooved around the edge of the radiation patch. The antenna can work at 1.575 GHz, 2.445 GHz and 5.32 GHz with wide enough bandwidth, and meet the frequency requirements of above mentioned wireless systems. The distribution of the current on the patch surface is analyzed, and performance of antenna influenced by the location, shape and size of slots is investigated by using electromagnetic simulation software. Experimental results verify the properties of this design.

**Key words:** multi-band antenna; Planar Inverted F-shaped Antenna; edge slotting

随着手持无线设备的快速发展, 定位功能的使用越来越多。全球定位系统(GPS)是目前采用的主要系统, 由美国研制并维护, 对中国民用开放精确度有限, 不能满足日益增长的用户需求。其民用工作频率为  $1575.42 \text{ MHz} \pm 1.023 \text{ MHz}$ <sup>[1]</sup>。北斗卫星导航系统(以下简称“北斗”)是中国自主研发的全球卫星导航系统, 它的民用工作频率为  $1561.098 \text{ MHz} \pm 2.046 \text{ MHz}$ <sup>[2-3]</sup>。未来国内无线设备的定位从GPS过渡到北斗系统将成为必然趋势。此外, 无线局域网(WLAN)主要工作频率范围为  $2.4 \text{ GHz} \sim 2.485 \text{ GHz}$ ,  $5.1 \text{ GHz} \sim 5.35 \text{ GHz}$  和  $5.725 \text{ GHz} \sim 5.825 \text{ GHz}$ <sup>[4-5]</sup>。天线作为终端设备的关键部件, 对终端的性能至关重要, 同时具有上述功能的终端设备内部空间非常有限, 因此, 开展小型内置多频段天线的研究具有重要意义。

平面倒F天线(PIFA)通常作为无线设备的一种选择方式。它采用一个平面辐射单元作为辐射体, 并以一个较大的平面作为反射面, 辐射体上有2个相互靠近的引脚, 分别用于接地和馈电<sup>[6-7]</sup>。文献[8]利用1个变形的L贴片和2个寄生短截线设计了一种三频天线, 覆盖了WLAN的3个频段; 文献[9]利用该结构, 在辐射面上加载四分之一波长结构、寄生短路贴片等多个结构, 实现了三频特性, 缺点是结构过于复杂, 并且其各部分之间存在互相干扰, 降低了2个较高工作频率的辐射特性; 文献[10]设计了可用于全球移动通信系统的天线, 然而其接地面过大, 不便于手持移动设备中。为了克服上述不足, 本文以PIFA原理为基础, 在辐射片边缘开2个L形槽, 实现了天线在3个频段工作。调整附加阻抗匹配网络, 使带宽得以增加, 调整槽的位置和宽度使天线达到阻抗匹配。所设计的天线结构简单, 体积小, 拥有足够带宽, 阻抗匹配特性良好, 能够覆盖所需的各个频段。

收稿日期: 2015-11-09; 修回日期: 2016-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61371043); 天津职业技术师范大学科技发展基金资助项目(KJY14-04)

## 1 天线结构设计

PIFA 基本结构包括 4 个部分：接地平面、辐射单元、短路金属片和同轴馈线。其中，接地平面作为反射面，辐射单元是与接地面平行的金属片，短路金属片用于连接辐射单元和接地平面，同轴线用于信号传输。

如图 1 所示，对一个  $L_1 \times W_1$  的矩形金属片，从边缘向中心开一个 L 形槽，槽的两臂长度分别为  $L_2$  和  $W_2$ 。其中， $L_1 \times W_1$  的金属片作为辐射单元 1，产生低频频点  $f_1$ ； $L_2 \times W_2$  的矩形区域作为辐射单元 2，产生高频频点  $f_2$ ，则  $f_1$  和  $f_2$  可以分别估算为：

$$f_i = \frac{c}{4(H + L_i + W_i)} \quad (i=1,2) \quad (1)$$

式中： $c$  表示光速； $H$  表示辐射片与接地平面之间的距离。开槽前，电场方向垂直于辐射片，电流从馈点流向宽度较窄的边缘，加长了表面电流的有效路径。开槽后，改变了原本的电流分布和路径，一部分集中在馈点附近，另一部分集中在槽与金属片边缘之间，形成了 2 个相对独立的电流回路，从而实现了天线的双频工作。在实际的工程设计中，式(1)并不能精确给出所需的尺寸，天线的工作频率会受到多个参数的影响，因此需要反复测试，才能得到理想的结果。下面采用电磁场仿真软件对天线结构进行分析。

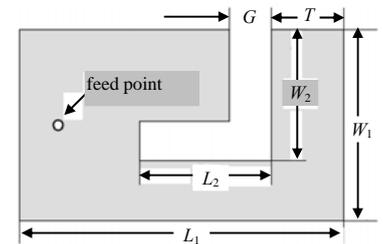


Fig.1 Diagram of PIFA with L-shaped slot  
图 1 具有 L 形槽的 PIFA 示意图

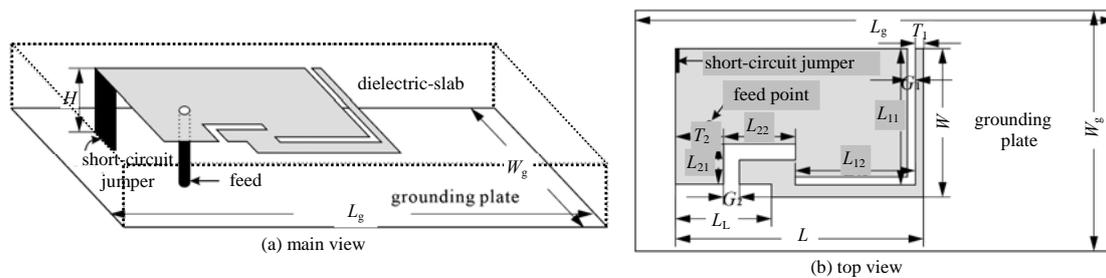


Fig.2 Antenna structure of proposed design  
图 2 天线结构示意图

按照需要，这里设计的三频段天线需要开 2 个 L 形槽，如图 2(a)所示。考虑尺寸为  $L_g \times W_g \times H$  的介质基板，背面为接地面，辐射片在介质板正面的左侧，其形状为  $L \times W$  的矩形。首先根据所需 3 个频段中的最低频率确定参数  $L$  和  $W$ ，然后在辐射片的右侧开一个 L 形槽  $L_1$ ，臂长分别为  $L_{11}$  和  $L_{12}$  以实现双频操作特性。第 2 个槽  $L_2$  则开在辐射片左侧且与  $L_1$  相对的位置，靠近短路金属片一侧，臂长分别为  $L_{21}$  和  $L_{22}$ ，如图 2(b)，进而实现三频操作。对上述结构进行仿真，观察辐射电流密度分布可以发现，在仅有槽  $L_1$  时，辐射片上电流主要分布在槽  $L_1$  和辐射片右侧边缘之间以及短路金属片附近，中间区域的电流密度较低，如图 3 所示。此时在辐射片中央再开槽，对天线整体性能的影响较小。如果在辐射片左下角裁掉一个长度为  $L_L$  的矩形，可以使从槽  $L_1$  与边界之间流出的电流汇聚在槽  $L_2$  内，有效地增加槽  $L_2$  内部的电流密度，使三频特性更加有效，如图 4 所示。

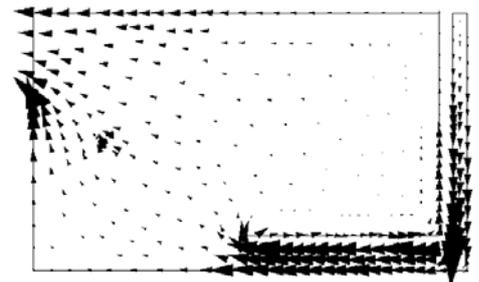


Fig.3 Current distribution with  $L_1$  only  
图 3 仅有  $L_1$  时的电流分布

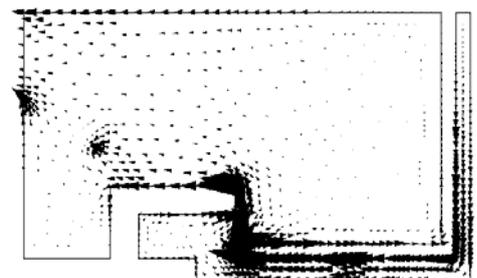


Fig.4 Current distribution with  $L_1$  and  $L_2$   
图 4 有  $L_1$  和  $L_2$  时的电流分布

## 2 参数分析

为了寻找开槽形状和位置对天线的的作用规律，使用电磁仿真软件对槽的尺寸变化状况进行分析。天线最初为平面倒 F 结构的单频天线，为了能够同时兼容北斗和 GPS 系统，根据二者的频率范围，设定低频辐射频率为 1.568 GHz，带宽至少为 20 MHz。根据式(1)可固定辐射片的轮廓尺寸  $L \times W$ ，然后对其进行开槽处理，产生其余工作频点。再根据式(1)计算槽  $L_1$  的总长，即  $L_{11}$  和  $L_{12}$  之和。计算机仿真给出天线的回波损耗  $|S_{11}|$  与这些臂长尺寸的关系，结果发

现改变  $L_{11}$  与  $L_{12}$  的大小对 1.5 GHz 附近的频点并没有太大影响, 随着  $L_{11}$  的增大(同时减小  $L_{12}$ ), 可使 2.4 GHz 附近的频点向低频方向移动, 带宽也会有所增加, 如图 5 所示。

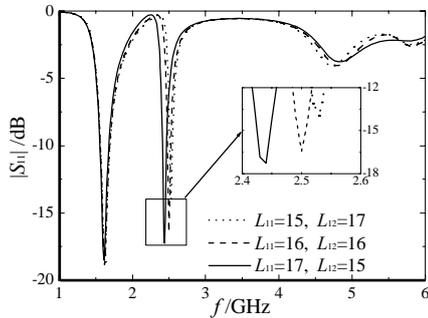


Fig.5  $|S_{11}|$  with  $L_{11}$  and  $L_{12}$  changed  
图 5 改变  $L_{11}$  和  $L_{12}$  时,  $|S_{11}|$  的变化曲线

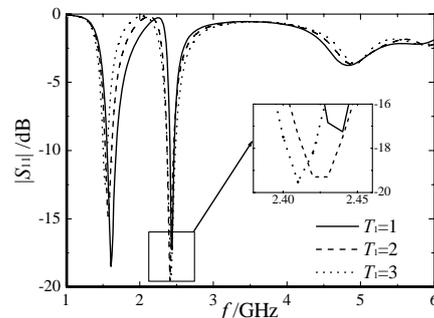


Fig.6  $|S_{11}|$  with  $T_1$  changed  
图 6 改变  $T_1$  时,  $|S_{11}|$  的变化曲线

参数  $T_1$  表示槽  $L_1$  与辐射片右边界的距离, 改变这个参数, 会影响槽  $L_1$  与辐射片右边界之间的电流密度, 从而影响天线的性能。如图 6 所示, 增大  $T_1$ , 会使 2 个频点均向低频方向移动, 其中 2.4 GHz 附近的频点移动的范围略大于 1.5 GHz 附近的频点, 因此起到了减小二者频率间隔的作用, 有效弥补了之前的频率误差。为了使观察更加清楚, 图 6 中给出了局部放大的结果。

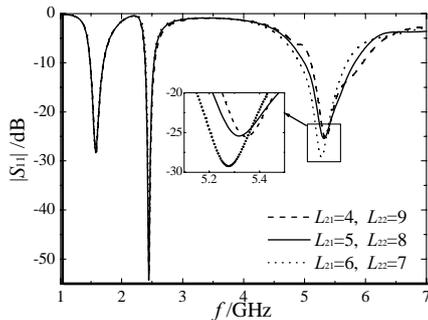


Fig.7  $|S_{11}|$  with  $L_{21}$  and  $L_{22}$  changed  
图 7 改变  $L_{21}$  和  $L_{22}$  时,  $|S_{11}|$  的变化曲线

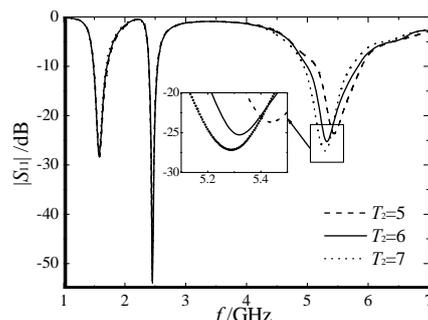


Fig.8  $|S_{11}|$  with  $T_2$  changed  
图 8 改变  $T_2$  时,  $|S_{11}|$  的变化曲线

利用相同的方法, 用式(1)计算槽  $L_2$  的长度, 并考察不同臂长尺寸带来的影响。保持  $L_{21}+L_{22}$  不变, 增大  $L_{21}$  同时减小  $L_{22}$  的尺寸, 会使 5.5 GHz 附近的频点向低频移动, 带宽会逐渐减小, 如图 7 所示。参数  $T_2$  表示槽  $L_2$  与辐射片左边界的距离, 改变这个参数, 会影响  $L_2$  的电流密度, 如图 8 所示。随着  $T_2$  的增大, 5 GHz 附近的频点向低频方向移动, 带宽有所减小, 对低频处的 2 个频点几乎没有任何影响。图 7~图 8 中给出了工作频率点局部放大的结果, 使结论看得更清楚。以上各图几何尺寸单位均为 mm, 辐射体和接地面间为空气填充。

### 3 设计结果

为了验证上述设计, 实验在辐射体和接地面之间选择填充介质材料, 它的相对介电常数  $\epsilon_r=1.06$ , 将图 5~图 8 中效果最优的参数在表 1 中给出, 根据表中的尺寸制作的天线实物如图 9 所示, 使用本实验室的 AV3629 矢量网络分析仪测试, 将所得到的结果与最终的仿真结果对比, 如图 10 所示。天线可以工作在 1.485 GHz~1.7 GHz, 2.39 GHz~2.53 GHz 和 5 GHz~5.82 GHz 三个频段内, 频点分别为 1.575 GHz, 2.445 GHz 和 5.32 GHz, 相对带宽分别为 14.29%, 6.13% 和 15.60%, 频率范围覆盖了北斗、GPS 和 WLAN 全部工作频段, 能够满足其工作要求。在高频段, 实测结果与仿真结果稍有偏差, 但是能够满足实际需要。

表 1 天线参数  
Table1 Parameters of antenna

$W_0$ /mm	$L_0$ /mm	$W$ /mm	$L$ /mm	$L_{11}$ /mm	$L_{12}$ /mm	$T_1$ /mm	$G_1$ /mm	$L_{21}$ /mm	$L_{22}$ /mm	$T_2$ /mm	$G_2$ /mm
30	60	18.5	31	17	15	1	1	5	8	6	2

如果介质板的厚度  $H$  增加, 天线的相对带宽也会显著增加, 但同时也会增大天线的体积。考虑到现在手持无线设备的尺寸, 选择  $H=6$  mm, 这样能够保持一定的带宽, 又能有效降低天线的回波损耗。

对天线的远场辐射特性进行仿真,分别选取 3 个频点,通过观察天线的电场( $E$ 面)和磁场( $H$ 面)辐射特性,得到方向图如图 11 所示。可以看出,在低频段,天线具有良好的全向辐射特性。随着频率的升高,个别方向增益略有下降,但是结果在可接受范围。

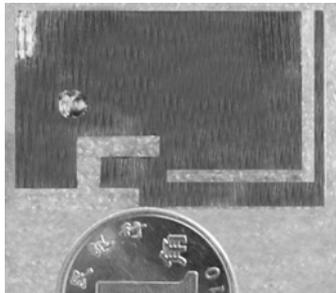


Fig.9 Fabricated antenna  
图 9 天线实物图

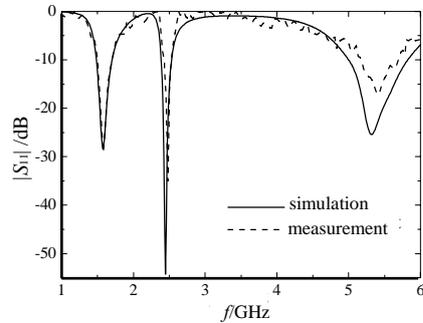


Fig.10  $|S_{11}|$  chart comparison of simulation and measurement  
图 10 仿真和实验的 $|S_{11}|$ 对比图

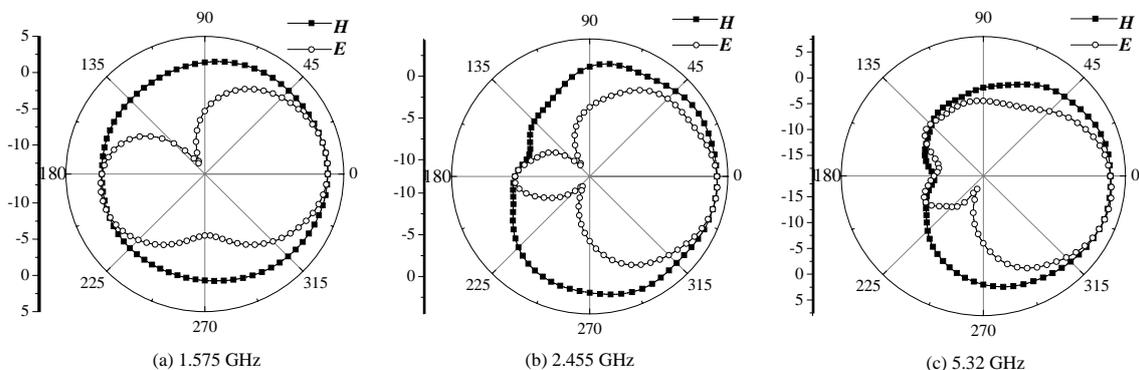


Fig.11 Far field radiation pattern  
图 11 天线远场辐射方向图

#### 4 结论

在倒 F 天线结构的基础上,通过在辐射片边缘开槽的方法实现了三频特性。设计样品的测试结果表明其在北斗、GPS 和 WLAN 的工作频段内性能很好,能够在这些系统中稳定工作,同时将定位系统和无线局域网有效结合起来,增加了定位的精准度,提高了定位的效率。实际应用中,调节槽的尺寸可以对频率进行微调,还可以选择  $\epsilon_r$  更大的介质基板来进一步减小天线的尺寸,使它符合小型手持无线设备的要求。因此,本文的设计在工程实践中具有较强的实用性。

#### 参考文献:

- [1] 高阳,董树荣,王德苗. GPS 天线技术及其发展[J]. 无线通信技术, 2008(4):34-39. (GAO Yang,DONG Shurong,WANG Demiao. Development of antenna for global position system[J]. Wireless Communication Technology, 2008(4):34-39.)
- [2] 刘基余. 北斗卫星导航系统的现况与发展[J]. 遥测遥控, 2013,34(3):1-8. (LIU Jiyu. Status and development of the Beidou navigation satellite system[J]. Journal of Telemetry Tracking and Command, 2013,34(3):1-8.)
- [3] 杨元喜. 北斗卫星导航系统的进展、贡献与挑战[J]. 测绘学报, 2010,39(1):1-6. (YANG Yuanxi. Progress,contribution and challenges of Compass/Beidou satellite navigation system[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2010,39(1):1-6.)
- [4] 盖硕,焦永昌,朱沛,等. 一种新颖的应用于无线局域网的小型化单极子天线[J]. 微波学报, 2010,25(3):172-174. (GAI Shuo,JIAO Yongchang,ZHU Pei,et al. A novel compact monopole antenna for WLAN applications[J]. Journal of Microwaves, 2010,25(3):172-174.)
- [5] 万小凤,郑宏兴,张玉贤. 多分支平面印刷天线的设计[J]. 天津职业技术师范大学学报, 2014,24(4):6-10. (WAN Xiaofeng,ZHENG Hongxing,ZHANG Yuxian. Design of multi-branch printed antenna[J]. Journal of Tianjin University of Technology and Education, 2014,24(4):6-10.)

(下转第 620 页)