
文章编号: 2095-4980(2019)04-0632-04

超宽带双极化平面交叉偶极子天线设计

李杰, 陈星

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘要: 设计了一种新型单层结构的超宽带双极化平面交叉偶极子天线。该天线采用2对方环偶极子正交排布实现双线极化, 在方环偶极子内部加载枝节, 外部加载寄生方环, 引入新谐振点, 大幅度扩展了天线带宽; 天线结构紧凑, 尺寸仅为 $0.25\lambda_L \times 0.25\lambda_L$ (λ_L 为低频截止频率对应的空间自由波长)。设计和加工制作了一件工作于甚高频(VHF)频段的天线样品, 测试结果表明, 该天线能够在55~155 MHz实现电压驻波比(VSWR)<2.5, 阻抗带宽达到96%, 同时天线在整个工作频带呈现良好的定向辐射特性, 增益大于7 dB。

关键词: 交叉偶极子天线; 宽带; 双极化; 紧凑

中图分类号: TN812^{+.4}

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201904.0632

Design of ultra-wideband dual-polarized planar cross-dipole antenna

LI Jie, CHEN Xing

(School of Electronic and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610064, China)

Abstract: A novel ultra-wideband dual-polarized planar cross-dipole antenna with single-layer structure is designed. The antenna utilizes two cross loop dipoles to achieve dual linear orthogonal polarization. The stubs inside the dipoles, parasitic square loops outside the dipoles and new resonance points significantly enlarge the impedance bandwidth. The proposed antenna has compact structure with the size only $0.25\lambda_L \times 0.25\lambda_L$, where λ_L is the wavelength corresponding to the lowest frequency within the whole working frequency band. As a sample, a Very High Frequency(VHF) antenna is designed, fabricated and measured. The measured results show that the antenna can achieve Voltage Standing Wave Ratio(VSWR)<2.5 at 55–155 MHz, and the impedance bandwidth reaches 96%. The antenna has good directional radiation patterns in the whole working frequency band, and the gain is above 7 dB.

Keywords: cross-dipole antenna; ultra-wideband; dual-polarized; compactness

近年来, 随着无线通信技术的发展, 基站与移动终端高速率的信息传输对天线设计提出了严苛的要求。天线需要同时具有超宽带、双极化、高隔离度和小型化特性。一般情况下, 上述提到的指标之间是相互矛盾的, 大多数超宽带天线(相对带宽大于25%)结构尺寸比较大, 接近或大于半个波长, 如对数周期天线^[1-2]、螺旋天线^[3-4]和平面倒锥天线^[5]等。而尺寸比较小的天线通常带宽比较窄, 只有百分之几甚至不足百分之一, 如小环天线^[6-8]、PIFA天线^[9-11]等。另外大多数天线只具备单一极化方式。因此, 设计一款同时具有超宽带、双极化、小型化特性的天线有一定的难度和挑战性。

在众多的天线结构形式中, 交叉偶极子天线是同时实现双极化和宽带特性的良好选择。2对偶极子正交排布, 实现双正交线极化。当一个极化的偶极子工作时, 另一个极化的偶极子可以作为环形谐振器, 反之亦然。因此双极化交叉偶极子工作频带得到拓宽^[12-13]。文献[14]提出一种交叉的折叠偶极子天线, 天线尺寸约为 $0.35\lambda_L \times 0.35\lambda_L$, 但阻抗带宽仅为12%(VSWR<1.5)。文献[13]提出一种雨滴形状的偶极子天线, 天线尺寸约为 $0.31\lambda_L \times 0.31\lambda_L$, 通过在介质板地面增加调谐板, 可以获得92%的阻抗带宽(VSWR<2), 但调谐板的存在增加了天线结构的复杂性。文献[15]中天线的尺寸约为 $0.38\lambda_L \times 0.38\lambda_L$, 通过在外围加载寄生方环和上面加载方形调谐片, 阻抗带宽达到44%(VSWR<1.5), 但该结构为3层结构, 大大增加了天线结构的不稳定性。

本文提出一种单层结构的新型超宽带双极化天线。通过在交叉环偶极子内部加载枝节和外部加载寄生方环,分别在高频段和低频段引入新的谐振模式;通过调整天线结构,使引入的2个谐振模式和偶极子本身固有的谐振模式在同一个工作频带内,从而获得较宽的阻抗特性。天线在工作频带内具有良好的辐射特性和稳定的增益。此外,该天线结构简单,易于加工。

1 天线结构和设计

图1为宽带双极化交叉偶极子天线结构。该天线主要由2对内部加载枝节的偶极子和1个寄生方环构成。采用同轴馈电,内导体接偶极子其中的一个臂,外导体接另一个臂。为避免2对偶极子馈电结构产生交叉,2个馈电端口的内导体存在一定的高度差。同时通过调节高度差,实现阻抗匹配。天线结构参数见表1。

为分析天线的工作机理,选用商业电磁软件CST中的特征模态分析(Characteristic Mode Analysis, CMA)工具对天线结构进行特征模态仿真分析。图2为3个谐振模式的特征角和各个谐振点对应的电流分布,特征角为 180° 时,天线结构在该频点发生谐振。从图中可以观察到,在55~155 MHz内存在3个谐振点,而且谐振点之间的距离比较近,为超宽带天线的实现提供了可能性。从图中3个谐振模式对应的电流分别可以看出,模式1在频点56 MHz发生谐振时,寄生环上分布电流最强,内部寄生枝节电流最弱。因此,寄生环对模式1的谐振频点影响比较大,对谐振频点在140 MHz的模式3贡献较小。当模式3发生谐振时,电流主要集中在偶极子内部的寄生枝节上,而外围寄生方环电流比较弱。基于上述分析,外围寄生方环主要影响偶极子天线工作频带的低频段,内部寄生枝节主要影响偶极子天线工作频带的高频段。

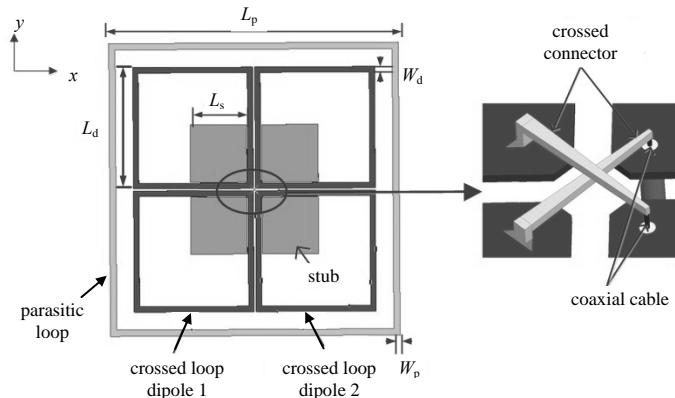


Fig.1 Top view of the antenna structure

图1 天线结构俯视图

表1 天线结构参数

Table1 Structural parameters of the proposed antenna

parameter	L_p/m	W_p/m	L_d/m	W_d/m	L_s/m
value	1.3	0.02	0.56	0.025	0.24

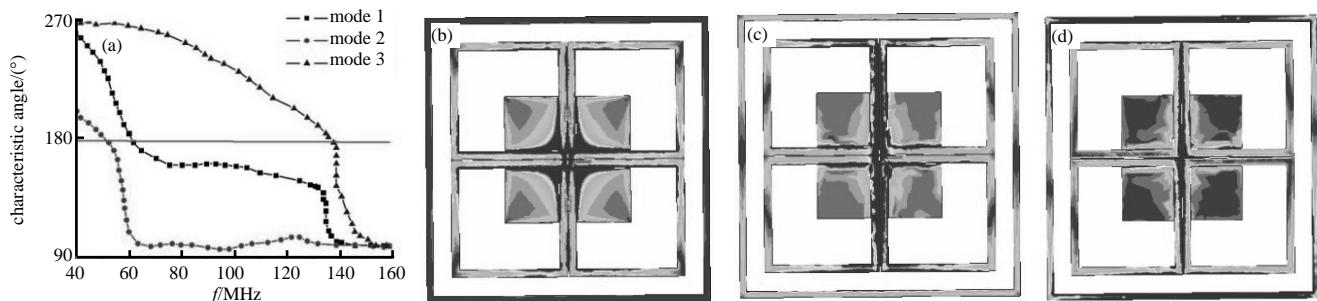


Fig.2 (a) Characteristic angle of three modes; (b) Current distribution of mode 1 at its resonance frequency of 56 MHz; (c) Current distribution of mode 2 at its resonance frequency of 62 MHz; (d) Current distribution of mode 3 at its resonance frequency of 140 MHz

图2 (a) 特征角度分布图; (b) 56 MHz 处模式 1 电流分布图; (c) 62 MHz 处模式 2 电流分布图; (d) 140 MHz 处模式 3 电流分布图

因此该天线实现宽带工作特性的机理为:偶极子外围的寄生方环,在低频段产生谐振,突破偶极子低频段的限制;内部的寄生枝节,在高频段产生谐振,使带宽向高频段扩展。环偶极子作为初级谐振器,而外围寄生方环和内部寄生枝节作为二级谐振器。通过优化寄生方环和寄生枝节的尺寸,使新引入的2个谐振模式和偶极子本身固有的谐振模式在同一个工作频带内,将会大大拓宽该天线的带宽。

由于天线结构的对称性,本文只取其中一个端口进行分析。图3为寄生方环外围尺寸变化,其余结构参数均保持不变,天线端口VSWR的变化情况。从图中可以看出,寄生方环外围尺寸对低频影响比较大,随着参数 L_p 的增大,低频截止频率向左移动,高频基本保持不变,从而使低频可以拓宽。当 $L_p=1.4$ 时,频带内有个别频点大于2.5,选择一个合适的值满足设计要求。从图4可以看出,随着结构参数 L_s 减小,高频截止频率向右移动,低频基本保持不变,从而使高频得到拓宽。图5为无加载的交叉偶极子和加载后的交叉偶极子端口驻波的对比,表明通过在偶极子外围加载寄生方环和内部加载寄生枝节,环形交叉偶极子的相对带宽可以从60%提高到96%,偶极子带宽得到大大拓宽。

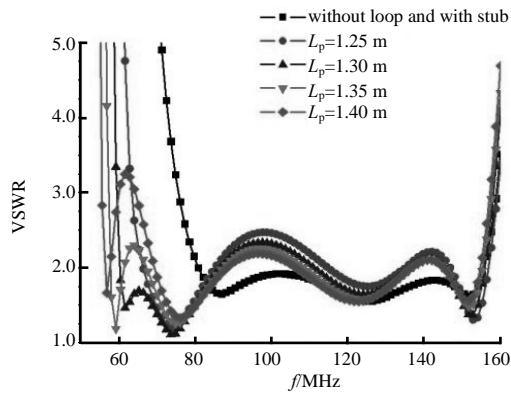


Fig.3 VSWR with different sizes of the outer rim of the square loop
图 3 驻波比随方环外侧边长尺寸变化曲线

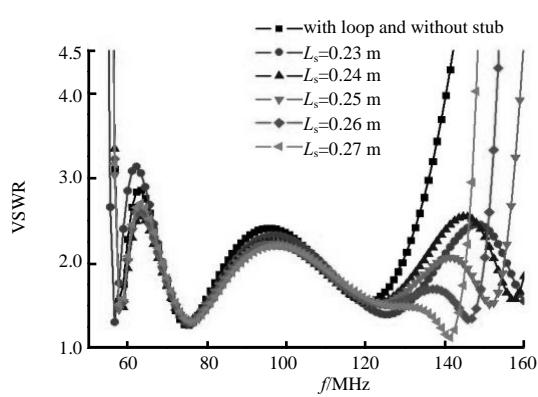


Fig.4 VSWR with different sizes of the stubs
图 4 驻波比随寄生枝节变化曲线

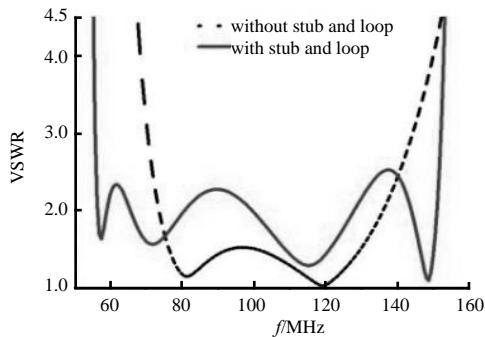
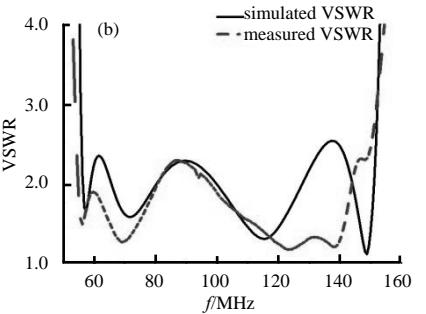


Fig.5 Simulated VSWR with/without stubs and loops
图 5 有无加载方环和枝节驻波对比



Fig.6 (a) Photo of the proposed antenna; (b) Simulated and measured VSWR
图 6 (a)加工实物图; (b) 仿真与实测驻波对比



2 天线仿真与测试对比

为验证设计的准确性,对设计模型进行加工测试,加工模型如图 6(a)所示,测试时,天线置于 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 的地网上方。支撑柱的高度为 0.8 m。为增强稳定性,支撑柱的上半部分采用介电常数为 2.8 的玻璃钢,下半部分采用金属杆。实际加工过程中,为减轻天线的质量,内部寄生的枝节采用金属网制成。图 6(b)为仿真和测试的 VSWR 曲线,二者吻合良好,可以看到,该天线在 55~155 MHz 频段内 VSWR 值均小于 2.5,相对带宽达到 96%。

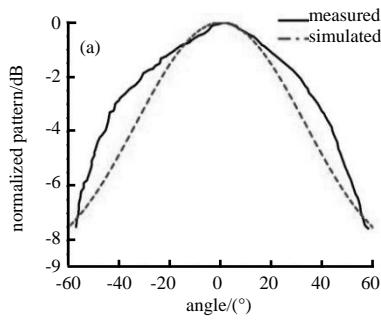


Fig.7 (a) Radiation patterns at 57.5 MHz; (b) Radiation patterns at 140 MHz
图 7 (a) 57.5 MHz 时的方向图; (b) 140 MHz 时的方向图

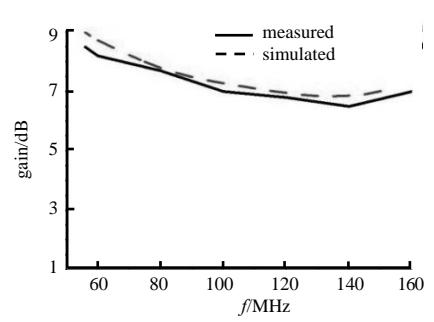
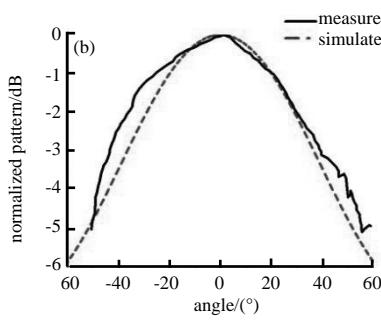


Fig.8 Measured and simulated gains
图 8 测试和仿真增益对比

由于天线尺寸比较大,不具备在暗室内进行测试的条件,因此采用无人机进行天线方向图和增益测试。将天线放置在水平地面上,以天线为中心点,无人机在距地面 100 m 等高度空中进行“十”字飞行。无人机下腹悬挂电磁功率接收探头,测试接收功率并换算获得天线增益值。由于结构的对称性,取天线工作在 57.5 MHz 和 140 MHz 的 YOZ 面的方向图与仿真方向图进行对比分析。从图 7 中可以看出,测试得到的归一化方向图和仿真得到的归一化方向图趋势基本一致,由于测试环境不尽理想(地面不够平整并且不远处有小土丘)和无人机飞行轨迹不稳定,仿真与测试方向图有一定差异。图 8 为测试得到的天线增益和仿真增益对比,可以看出,两者基本吻合,在

55~155 MHz 工作频段内，该天线增益值在 7 dB 以上。

3 结论

本文提出了一种基于多层加载的新型交叉偶极子，通过在交叉偶极子外围增加寄生方环，内部加载寄生枝节，引入新的谐振模式，使该偶极子的带宽能够被大大拓宽；基于多层加载技术的宽带双极化交叉偶极子天线能够在 55~155 MHz 频段内实现 $VSWR < 2.5$ (相对带宽 96%)，相比没有加载的交叉偶极子天线，阻抗带宽提高了 36%。在整个频带内有具有良好的辐射特性，增益大于 7 dB。

参考文献：

- [1] SEVSKIY S,WIESBECK W. Ultra-broadband omnidirectional printed dipole arrays[C]// Antenna and Propagation Society International Symposium. [S.l.]:IEEE, 2005:545–548.
- [2] LI Jian,HUANG Yongjun,WEN Guangjun. A six-octave wideband and low profile log-period monopole end-fire antenna[C]// 2018 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation & USNC/USRI National Radio Science Meeting. San Diego,CA,USA:American Institute of Physics, 2018:843–844.
- [3] HINOSTROZA I,GUINVARC'H R,HAUPT R. Low frequency bandwidth in connected spiral arrays[C]// 2016 IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology(PAST). Waltham,MA,USA:IEEE, 2016:1–3.
- [4] TZANIDIS I,SERTEL K,VOLAKIS J L. Interwoven Spiral Array(ISPA) with a 10:1 bandwidth on a ground plane[J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2011(10):115–118.
- [5] SUH S Y,STUTZMAN W L,DAVIS W A. A new ultrawideband printed monopole antenna:the Planar Inverted Cone Antenna (PICA)[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004,52(5):1361–1364.
- [6] PARSCHE F E. An electrically small loop antenna with usefully isotropic radiation and common mode feed[C]// 2016 International Workshop on Antenna Technology(IWAT). Cocoa Beach,FL,USA:IEEE, 2016:95–98.
- [7] CHEN L Y,WONG K L. Small-size half-loop frame antenna integrated with a USB connector and having a narrow ground clearance for the LTE metal-framed smartphone[C]// 2016 International Symposium on Antennas and Propagation. Okinawa, Japan:IEEE, 2016:718–719.
- [8] LIU Haitao,CHENG Yuhua,YAN Michael. Electrically small loop antenna standing on compact ground in wireless sensor package[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2016(15):76–79.
- [9] CHO Y J,SHIN Y S,PARK S O. Internal PIFA for 2.4/5 GHz WLAN applications[J]. Electronics Letters, 2006,42(1):8–13.
- [10] YURDUSEVEN O,SMITH D. A solar cell stacked multi-slot quad-band PIFA for GSM,WLAN and WiMAX networks[J]. IEEE Microwave and Wireless Components Letters, 2013,23(6):285–287.
- [11] YAN S,VOLSKIY V,VANDENBOSCH G A E. Compact dual-band textile PIFA for 433 MHz/2.4 GHz ISM bands[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2017(16):2436–2439.
- [12] BAO Z D,NIE Z P,ZONG X Z. A broadband dual-polarization antenna element for wireless communication base station[C]// 2012 IEEE Conference on Antennas and Propagation. Singapore:IEEE, 2012:144–146.
- [13] 吴锐. 小型多模宽带基站天线研究[D]. 广州:华南理工大学, 2018. (WU Rui. Researches on miniaturized multi-mode broadband base station antennas[D]. Guangzhou,China:South China University of Technology, 2018.)
- [14] SUH S Y,STUTZMAN W L,WALTHO A,et al. A novel low-profile,dual-polarization,multi-band base-station antenna element – the four point antenna[C]// IEEE 60th Vehicular Technology Conference. [S.l.]:IEEE, 2004:225–229.
- [15] LIU Ying,YI Hao,WANG Fuwei,et al. A novel miniaturized broadband dual-polarized dipole antenna for base station[J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2013(12):1335–1338.

作者简介：



李 杰(1992-), 男, 山东省聊城市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为电磁场与微波技术.email:jie_sdde@163.com.

陈 星(1970-), 男, 四川省巴中市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为电磁场与微波技术.