

DOI:10.16356/j.1005-2615.2015.06.018

## 小型化高增益微带差分天线设计

金魁<sup>1,2</sup> 詹大伟<sup>1</sup> 杨阳<sup>1</sup> 何小祥<sup>1</sup> 顾长青<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学电子信息工程学院, 南京, 210016; 2. 淮阴工学院电子信息工程学院, 淮安, 223003)

**摘要:**对微带偶极子天线加载引向器,使其定向辐射,实现了一款小型化高增益的差分端射天线。本文给出了该天线详细的设计思路和设计步骤,同时制作了实物并进行测试。结果表明:2~3 GHz 频带内实测回波损耗(S11)与仿真数据吻合较好,2.45 GHz 主辐射方向最大增益达到 8 dB。同时通过容差分析检验了天线的稳定性。以上结果证明该天线具有增益高、定向性强和尺寸小的优点,在 4G 移动通信和 WLAN 等领域有较好的应用前景。

**关键词:**微带偶极子天线;巴伦;引向器;高增益

**中图分类号:** TN823

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1005-2615(2015)06-0911-06

## Design of Compact and High Gain Differential Micro-strip Antenna

Jin Kui<sup>1,2</sup>, Zhan Dawei<sup>1</sup>, Yang Yang<sup>1</sup>, He Xiaoxiang<sup>1</sup>, Gu Changqing<sup>1</sup>

(1. College of Electronic Information Engineering, Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, Nanjing, 210016, China;

2. Faculty of Electronic and Information Engineering, Huaiyin Institute of Technology, Huai'an, 223003, China)

**Abstract:** Loading directors to micro-strip dipole antenna, a high gain (direct radiation) and compact differential micro-strip antenna is presented consequently. Mentality and procedure of the antenna design are give. The antenna is also manufactured and tested. Results show that the return loss is matched well with the simulational results within 2—3 GHz, and the maximum gain can reach to 8 dB at 2.45 GHz. Moreover, the result of fault-tolerant analysis indicates that the antenna has strong stability. With the advantages of high gain, strong directionality and small size, the antenna can be applied to the fourth generation mobile communication or WLAN.

**Key words:** micro-strip dipole antenna; balun; director; high gain

微带天线以其重量轻、体积小、成本低、低剖面和易于共形等优点,引领中外学者深入研究和发  
展<sup>[1-2]</sup>,其中微带偶极子天线已经广泛应用于通信、  
广播、数据传输和组建无线扩频网络等领域<sup>[3-6]</sup>。  
偶极子天线属于差分平衡天线,其双臂需馈入幅度  
相等、相位相反的奇模信号。相比单端天线,差分  
天线有较高的辐射效率和较强的谐波抑制能力,可  
以拓展带宽、实现与差分芯片的无缝对接以及实现

低损耗和小型化<sup>[7]</sup>。传统的微带偶极子天线为 H  
面全向天线,增益较小,理论上最大只能达到  
2.15 dB<sup>[8-9]</sup>,使其在要求高增益和定向辐射等场合  
应用受限。八木-雨田天线具有方向性强、增益高  
和结构简单等优点,这些优点已经被诸多研发人员  
引入微带技术领域,构建准八木天线<sup>[10-14]</sup>。但双  
臂共面的准八木天线中的功分移相电路及较长的  
双臂使其尺寸较大。

**基金项目:**江苏省普通高校研究生创新计划(CXLX11\_0198)资助项目;江苏高校优势学科建设工程资助项目。

**收稿日期:** 2015-04-30; **修订日期:** 2015-05-26

**通信作者:** 何小祥,男,博士,副教授, E-mail: eexxhe@nuaa.edu.cn。

结合八木-雨田天线中引向器原理,本文以微带偶极子天线为基础进行小型化高增益差分天线设计。该天线中微带偶极子双臂采取异面的结构形式,摒弃了功分移相电路,缩短了双臂长度,使其小型化;通过加载微带引向器,实现其定向性和提高增益。天线的实测结果与仿真数据吻合较好,在中心频率 2.45 GHz 处,最大辐射方向的增益达到 8 dB。该款天线增益高、定向性强和尺寸小的优势使其在 4G 移动通信和 WLAN 等领域中需要定向辐射的区域(如电梯间、隧道中)有较好的应用前景。

## 1 天线结构设计

本文设计的差分天线的中心工作频率为 2.45 GHz,如图 1,2 所示。在厚度为 1.6 mm、相对介电常数  $\epsilon_r = 4.4$  的介质基片两侧面敷有良导体金属微带,分别构成微带传输线、微带巴伦、偶极子天线的两臂和引向器。结构参数如表 1 所示。

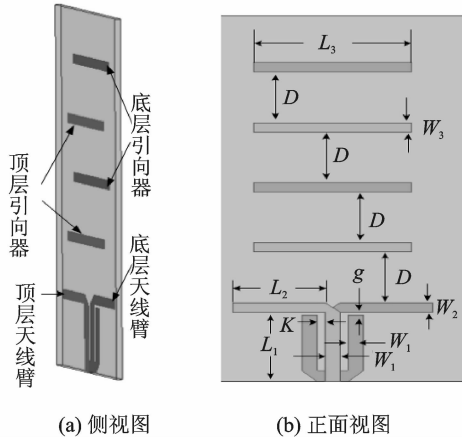


图 1 天线结构图

Fig. 1 Structure diagram of antenna

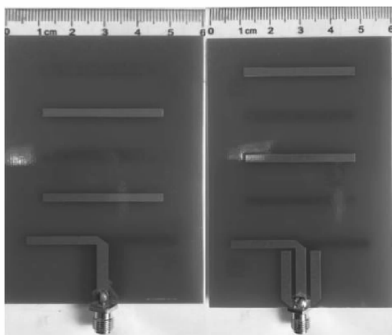


图 2 天线实物图

Fig. 2 Actual pictures of antenna

表 1 天线结构参数

Tab. 1 Structural parameters of antenna

mm									
$L_1$	$W_1$	$L_2$	$W_2$	$L_3$	$W_3$	$D$	$G$	$K$	
22	3.3	21	3	36	3	13	1.0	1.5	

### 1.1 天线激励单元设计

频率为 2.45 GHz 的电磁波在自由空间中波长为 122 mm,在相对介电常数为 4.4 的介质中波长为 58 mm。本设计中天线的激励单元为偶极子天线,其两臂如图 1 所示,分别置于介质基片顶层和底层,同轴馈线通过微带传输线对其差分馈电,与双臂共面的准八木天线相比省去了移相器电路<sup>[13-15]</sup>。天线两臂间场的耦合途径有相当一部分存在于基片介质中,所以设计双臂长度时的对应波长  $\lambda_c$  选择 122 mm 和 58 mm 的平均值,使本设计中的偶极子双臂长度比同频段的双臂共面结构短很多(如文献[14,15]中天线双臂总长均为 72 mm,本结构中双臂总长 45 mm)。去除移相器和缩短天线双臂,大幅度缩小了天线的尺寸,实现小型化(如本款设计中的偶极子单元部分面积为 945 mm<sup>2</sup>,远小于文献[14]中的准八木天线的对应面积 5 184 mm<sup>2</sup>)。偶极子天线为半波天线,微带天线臂宽度在一定程度上增加电流路径,所以实际双臂总长度应比理论值略小。根据偶极子双臂长度的经验值  $0.475\lambda_c$ <sup>[16]</sup>,本设计中天线单臂长度初始值设为 22 mm。天线臂宽度与微带传输线的初始宽度相同。

半波偶极子天线的辐射阻抗约为  $73.2 \Omega$ <sup>[16]</sup>。偶极子天线属于平衡天线,要求对双臂进行平衡馈电。本款天线设计采用特性阻抗为  $50 \Omega$  的同轴馈线馈电,同轴馈线属于不平衡馈线,这就需要在同轴线馈电端口与天线双臂之间设计能够实现不平衡-平衡(Balun)转换,及阻抗转换的  $1/4$  波长微带匹配传输线。参照文献[17,18]中相关参数的设计,本天线微带传输线的长度和宽度初始值分别设置为 22 mm 和 3 mm。

不平衡同轴馈线直接馈电,会引起平行传输线中电流不平衡,从而产生交叉极化。为此在底层微带线两侧平行加载下端短路,上端开路,约为  $1/4$  工作波长的寄生微带线,引入附加阻抗,构成巴伦结构。底层微带传输线中的大于顶层微带线的不平衡电流在该寄生微带线在短路连接处反射抵消,从而提高天线两臂激励电流的平衡性。寄生微带

线的宽度设计与微带传输线相等,其初始值设置为 3 mm。

## 1.2 引向器设计

对于 H 面全向辐射的偶极子天线,在合适位置放置与天线两臂平行的引向器可以改变辐射场的分布,使其成为在引向器排列方向上辐射增强的端射天线,并提高增益。理论上,天线增益随着引向器个数增加而增加,但不成线性关系。因为离偶极子天线臂距离越远,引向器中的感应电流越小,对辐射的影响越小。考虑到天线的整体尺寸,结合仿真软件对引向器数量影响的分析,本款天线采用 4 个引向器。

本款天线为端射天线,偶极子的两臂分布在介质基片的两侧,将引向器依次与天线臂平行相间分布在介质基片两侧,在一定程度上提高天线辐射的对称性。参照文献 [16],引向器长度  $L_3$  取  $0.428\lambda_c$ ,初始值设计为 38 mm。引向器与天线臂间、引向器之间电磁能量主要集中在介质基片中,频率为 2.45 GHz 的电磁波在相对介电常数为 4.4,基片中波长  $\lambda_g$  为 58 mm,图 1 中  $D$  应大于  $0.2\lambda_g$ ,初始值设计为 12 mm。引向器的宽度与天线臂宽度初始取值设计相同。

## 2 数据结果与分析

### 2.1 仿真与实测结果

按照图 1 所示的结构和表 1 所示的参数建模仿真分析,并制作了实物(见图 2)进行测试。在 2~3 GHz 频带内天线回波损耗( $S_{11}$ )如图 3 所示,仿真结果与测试结果吻合较好。仿真和实测的  $S_{11}$  在 2.35~2.51 GHz 频率范围内低于 -10 dB,满足工程需要;在频率低于 2.35 GHz 和高于 2.51 GHz 的带外区域稍有误差,但其随频率变化的规律一致。

2.45 GHz 的天线仿真与实测增益方向图如图 4 所示,可以看出:(1)该天线实际辐射的主瓣与天线设计的辐射方向一致,主瓣增益远远超过传统偶极子天线的增益,最大值达到 8 dB。实测主瓣宽度稍大于仿真主瓣宽度,这种现象是由于测试中暗室尺寸和背景噪声影响所致。(2)E 面无旁瓣,后瓣增益最大值为 -1.5 dB,远小于主瓣增益的最大值 8 dB。H 面存在两个增益值远远小于主瓣的对称旁瓣和后瓣。该旁瓣和后瓣是天线中 4 个引向器产生的二次辐射与偶极子天线臂辐射相干叠

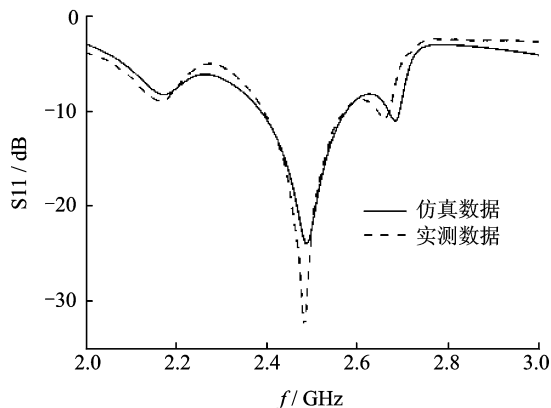
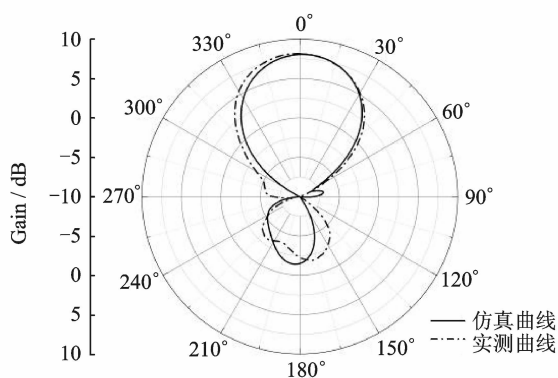
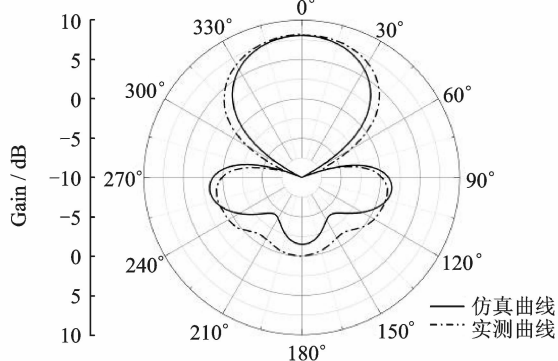


图 3 天线仿真和实测回波损耗

Fig. 3 Simulated and measured return loss of antenna



(a) E面增益方向图



(b) H面增益方向图

图 4 天线增益方向图

Fig. 4 Radiation patterns of antenna

加形成。(3)图 4(a)中 E 面增益实测方向图偏离主轴只有  $1^\circ$  左右,图 4(b)方向图对称非常好,这说明天线中的巴伦结构基本能够实现不平衡到平衡的转换。

本天线的仿真和实测的回波损耗低于 -10 dB 的频带带宽覆盖了 4G 通信所需频带,主辐射方向达到 8 dB 的高增益,这使该款天线在 4G 通信领

域中进行基站天线组阵、电梯间和隧道等需要高增益定向辐射场所有较好的应用前景。

## 2.2 结构参数扫描与容差分析

使用商用电磁仿真软件 HFSS,按照本文 1.1 节和 1.2 节设计的各结构参数构建图 1 所示天线,采用集总端口激励,在 2~3 GHz 范围内扫频分析比较关键的结构参数对天线的回波损耗 S11 的影响,并给出相应的容差分析。

根据本文 1.1 节激励单元设计,微带传输线主要实现同轴馈线与天线间阻抗匹配,半波偶极子的臂长决定天线工作频率。从扫频仿真结果图 5,6 可以看出,微带传输线长度  $L_1$  和宽度  $W_1$  取不同值时,天线的谐振频点几乎不变,只是回波损耗 S11 的幅值随着这两个参数发生变化。从图 7 可以看出,天线的谐振频率随臂长  $L_2$  变化显著,从而方便通过改变  $L_2$  的长度进行天线的谐振频点调试。另外, $L_1$ , $W_1$  和  $L_2$  参数在相对较大范围内变化时,相应的回波损耗曲线 S11 没有发生突变或

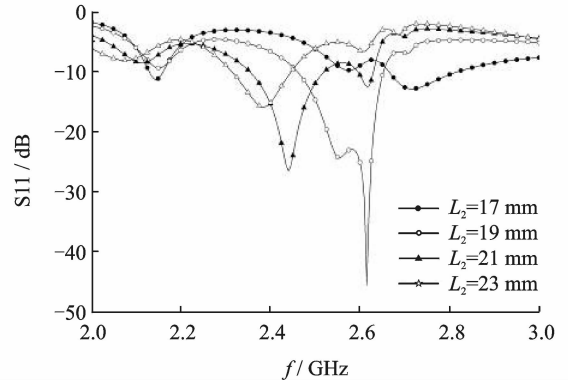


图 7  $L_2$  对 S11 的影响

Fig. 7 S11 of various  $L_2$  parameter

畸变,验证了天线激励单元部分设计思路的正确性。

与天线臂平行放置时,引向器与偶极子激励单元结合构成天线整体,其上感应电流产生的二次辐射改变场的分布,使局部方向辐射加强,其他方向辐射减弱。对引向器长度  $L_3$ ,及图 1 中参数  $D$  仿真扫频结果如图 8,9 所示。图 8 中, $L_3$  变化引起天线谐振频点显著变化,说明  $L_3$  也是决定天线工作频率的关键参数。图 9 中, $D$  值变化对天线的工作频点和 S11 的幅值都稍有影响。如同参数  $L_1$ , $W_1$  和  $L_2$  的影响, $L_3$  和  $D$  在相对较大的范围内变化时,S11 波形没发生突变和畸变。另外,对引向器数量的仿真分析如图 10 所示。图 10 给出了 H 面辐射场的 Theta 从  $-90^\circ$  到  $90^\circ$  范围内 0 到 5 个引向器增益图。可见,最大增益并不随引向器个数线性增加,该天线中引向器增加的 4 个时,增益增加不再明显,所以本设计中只采用 4 个引向器。

上述分析天线关键结构参数对 S11 的影响,不

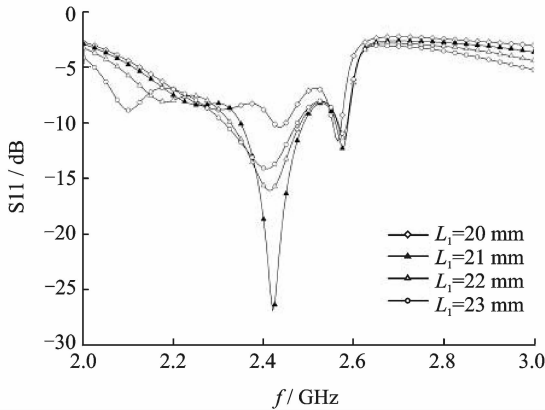


图 5  $L_1$  对 S11 的影响

Fig. 5 S11 of various  $L_1$  parameter

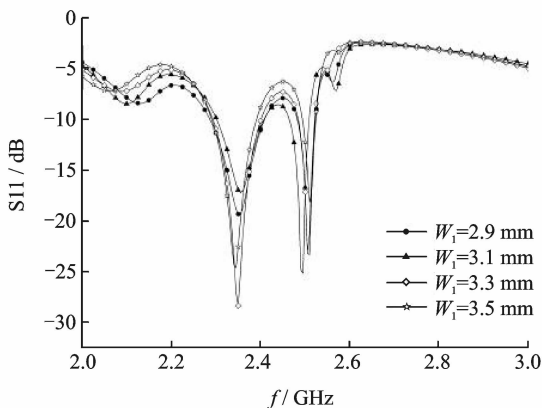


图 6  $W_1$  对 S11 的影响

Fig. 6 S11 of various  $W_1$  parameter

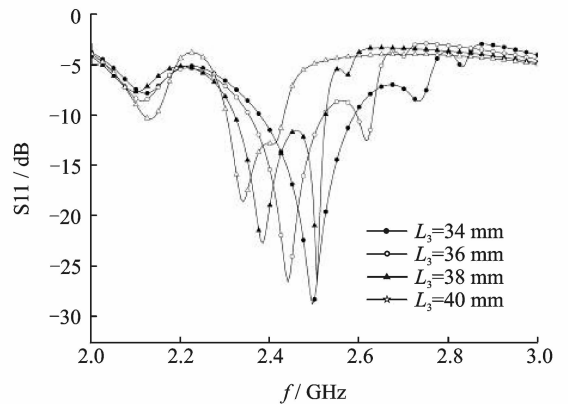


图 8  $L_3$  对 S11 的影响

Fig. 8 S11 of various  $L_3$  parameter

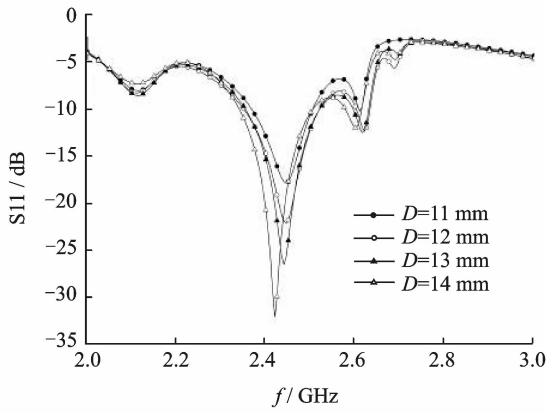
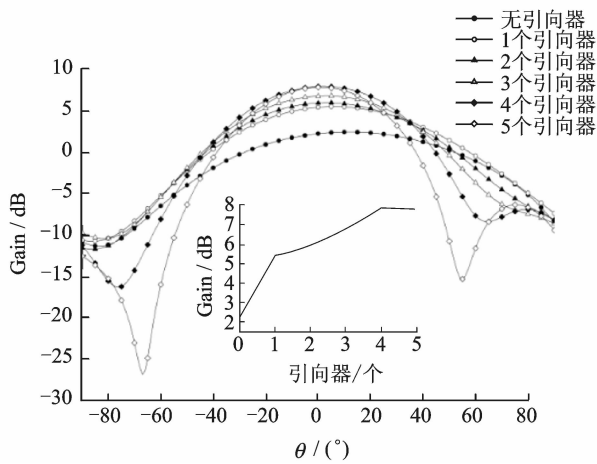
图 9  $D$  对  $S_{11}$  的影响Fig. 9  $S_{11}$  of various  $D$  parameter图 10 H 面  $\theta$  从  $-90^\circ$  到  $90^\circ$  增益

Fig. 10 Gain of H plane

仅确定了对应工作频率为 2.45 GHz 时表 1 中的结构参数,验证了本款天线设计思路的正确性和其工作的稳定性,而且可以预测,由于各结构参数较大的容差,在实物制作过程中即使出现加工误差也不会较大程度影响天线的性能。

### 3 结 论

本文设计并制作了一款中心工作频率为 2.45 GHz 的小型化高增益差分天线。2~3 GHz 频带内该天线的  $S_{11}$  仿真与测试数据吻合较好,中心频率处最大增益达到 8 dB。结果表明:(1)在微带振子结构中引入引向器可以实现定向辐射,提高增益;(2)在平行微带传输线中加载寄生结构,改变其特性阻抗可以实现不平衡-平衡转换的巴伦。同时本文还通过容差分析验证了该天线结构的稳定性。

### 参考文献:

- [1] 李海林,周建江,谭静,等. 圆柱相控阵天线的功率分级和极化控制[J]. 南京航空航天大学学报, 2013, 45(3): 410-414.  
Li Hailin, Zhou Jianjiang, Tan Jing, et al. Radiated power classification and polarization control of cylindrical phased array antenna[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2013, 45(3): 410-414.
- [2] 陈加海,周建江. 机载天线 RCS 减缩及其布局设计[J]. 南京航空航天大学学报, 2014, 46(6): 845-850.  
Chen Jiahai, Zhou Jianjiang. Airborne antennas RCS reduction and layout design[J]. Journal of Nanjing University of Aeronautics & Astronautics, 2014, 46(6): 845-850.
- [3] Malekpoor H, Jam S. Enhanced bandwidth of shorted patch antennas using folded-patch techniques[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2013, 12(1921): 198-201.
- [4] Sandeep B S, Kashyap S S. Design and simulation of microstrip patch array antenna for wireless communication at 2.4 GHz[J]. International Journal of Scientific & Engineering Research, 2012, 3(2): 1-4.
- [5] Lee K F, Tong K F. Microstrip patch antennas—basic characteristics and some recent advances[J]. Proceedings of the IEEE, 2012, 100(7): 2169-2180.
- [6] Shafai L. Low-cost, microstrip-fed printed dipole for prime focus reflector feed[J]. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 2012, 60(11): 5428-5433.
- [7] Zhang Y P. Design and experiment on differentially-driven microstrip antennas[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2007, 55(10): 2701-2708.
- [8] Divya M, Vidya J S, Shrivastava P, et al. Microstrip-fed dipole antenna for UWB wireless communications[C]//Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI), 2013 International Conference on. [S. l.]:IEEE, 2013: 671-674.
- [9] Balanis C A. Antenna theory: Analysis and design [M]. 3rd Ed. [S. l.]:John Wiley and Sons, 2012.
- [10] 杨绍麟,柯亨玉,侯杰昌,等. 一种八木天线前向增益优化的改进处理方法[J]. 电波科学学报, 2001, 16(2): 162-167.  
Yang Shaolin, Ke Hengyu, Hou Jiechang, et al. An

- improved method of optimization for forward gain of Yagi-Uda antenna[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2001,16(2): 162-167.
- [11] 刘芸江, 甄蜀春, 李曼, 等. AWE 技术结合矩量法分析某型八木天线[J]. 电波科学学报, 2003, 18(3): 337-340.
- Liu Yunjiang, Zhen Shuchun, Li Man, et al. A new technical for analyzing a yagi antenna based on the MOM in conjunction with AWE technique[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2003, 18(3): 337-340.
- [12] 倪国旗, 倪围, 张涛. 一种超宽带平面准八木微带天线的设计[J]. 现代雷达, 2013(2): 48-51.
- Ni Guoqi, Ni Wei, Zhang Tao. Design of planar UWB quasi-yagi microstrip antenna[J]. Modern Radar, 2013(2): 48-51.
- [13] 李文学. 准八木天线的隐身设计[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2011.
- Li Wenxue. Stealth design of quasi-yagi antenna[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2011.
- [14] 刘棋. 超材料在超高频 RFID 天线中的应用研究[D]. 南京: 南京航空航天大学, 2015.
- Liu Qi. Research on metamaterials in UHF RFID antennas application[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2015.
- [15] Wang C, Ge Y. Broadband printed dipole antenna with T-shape loadings[C]// Antenna Technology: "Small Antennas, Novel EM Structures and Materials, and Applications" (iWAT), 2014 International Workshop on. [S.l.]: IEEE, 2014: 322-324.
- [16] 钟顺时. 天线理论与技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [17] 张运启, 王亮, 栗曦, 等. 一种新型宽频带全向天线的设计[J]. 西安电子科技大学学报, 2014, 41(4): 47-50.
- Zhang Yunqi, Wang Liang, Li Xi, et al. Design of a novel broadband omnidirectional antenna[J]. Journal of Xidian University, 2014, 41(4): 47-50.
- [18] 黄乘顺, 李星亮, 蔡益宇. 传输线阻抗匹配模型及精确计算[J]. 通信技术, 2008, 41(11): 119-120.
- Huang Chengshun, Li Xingliang, Cai Yiyu. Impedance matching model and its precise computing of transmission line[J]. Communications Technology, 2008, 41(11): 119-120.

