



# 一种新型小型化宽带平面全向天线

## 摘要

在传统圆形单极子平面天线的基础上引入了 Wilkinson 功分器、渐变型微带馈线和瓶状接地板结构,设计了一款 3.4~7.4 GHz 频段的新小型化宽带平面全向天线.通过引入 Wilkinson 功分器来改善天线方向图不圆度,较好地实现全向辐射;天线背面采用瓶状结构的金属接地板,达到了良好的阻抗匹配效果.结果表明:该平面全向天线驻波比小于 2 的阻抗带宽为 4 GHz,中心频点 5.4 GHz 处的增益为 3.35 dB,中心频点 5.4 GHz 在天线辐射方向的不圆度小于 3.50 dB,整个阻抗带宽内的增益为 2.3~3.35 dB,仿真结果与实测结果基本吻合.

## 关键词

平面全向天线;小型化;宽带;不圆度;Wilkinson 功分器

中图分类号 TN820

文献标志码 A

收稿日期 2020-04-18

资助项目 国家自然科学基金(61601233);江苏省双创团队人才计划(SRCB201526);江苏省“信息与通信工程”优势学科建设工程项目

作者简介

陈军,男,硕士,研究方向为天线设计.960315052@qq.com

## 0 引言

随着通信技术的迅速发展,全向天线在卫星通信、移动通信和无线广播等领域得到了较为广泛的应用.同时,人们对全向天线的性能也提出了较高的要求,对体积小、带宽宽、不圆度低、增益高的全向天线需求量越来越大.因此,小型化宽带平面全向天线的研究与设计具有巨大的工程应用价值.

微带天线由于具有结构简单、制作方便和成本较低等优点,因而备受全向天线设计者的青睐.近年来,国内外学者设计了各式各样的微带全向天线,如文献[1]设计了一种新型宽带印制天线;文献[2]设计了一种用于 WLAN 的宽带全向平面微带天线;文献[3]设计的圆盘单极天线具有全向辐射特性,其背面采用了一块简单的矩形金属层作为接地板.为了提高天线的阻抗宽带,文献[4]提出了一种渐变型微带馈线结构的平面全向天线;文献[5]采用了方形接地板和改进型地板结构改善天线的驻波性能;文献[6]在天线表面加载了 4 个 T 型偶极子,并在振子馈电位置处增加梯形结构,从而达到了 2.5 GHz 的带宽,但是结构较为复杂,设计成本较高;文献[7]提出了一种工作在 2.6~4.1 GHz 频段的新小型化宽带全向天线,该天线使用平行耦合双线实现交叉馈电,并加载巴伦拓展了天线宽带,天线尺寸为 16 mm×90 mm;文献[8]采用巴伦馈电的偶极子作为天线基本单元,并引入平面喇叭和反射单元从而改善方向图不圆度,阻抗带宽为 3.5~6.5 GHz,介质基板是直径为 70 mm 的 FR4 板.上述平面全向天线均没有实现小型化的特性,并且带宽和增益都非常有限.文献[9]提出的小型化全向天线是在一片直径仅有 4 mm 的介质板上设计紧凑的车轮形辐射结构,产生了一组工作在 28 GHz 频段的相互平行的电磁偶极子;文献[10]通过在超表面天线的方形贴片上引入一对容性负载支节,有效地降低超表面单元的工作频率,从而将传统方形贴片超表面单元的尺寸减小 55%;文献[11]提出的天线辐射结构由一个 4 轴弧形贴片和直接馈电的金属柱组成,同时,贴片内环引入额外的弧形枝节,外环枝节的末端引入 4 个短路探针来实现天线的小型化.

为了实现全向天线的小型化、低剖面、宽频带和馈电简单的特点,本文提出了一种新型小型化宽带全向天线,在 30 mm×30 mm×0.813 mm 的 Rogers RO4003C 基板上实现,整体结构简单、制作方便、成本低.基于 HFSS 电磁软件对平面全向天线进行仿真建模,引入 Wil-

1 中国移动通信集团江苏有限公司 泰州分公司,泰州,225300

2 南京信息工程大学 电子与信息工程学院,南京,210044

kinson 功分器改善天线的馈电网络,优化了微带馈线顶端的电流分布,提高了水平方向的电磁辐射,实现了较好的全向辐射特性.同时,本文也对背面的金属接地板进行改进,设计了一个瓶装接地板结构,实现了两个矩形贴片间良好的阻抗变换,从而提高了天线的阻抗带宽.实测结果表明:该天线可工作于 C 频段,具有良好的阻抗匹配特性,驻波比小于 2 的阻抗带宽为 4 GHz,阻抗带宽内的天线增益大于 2.3 dB,中心频点 5.4 GHz 处的增益为 3.35 dB,中心频点 5.4 GHz 在天线辐射方向的不圆度小于 3.50 dB,在天线辐射方向具有良好的全向辐射特性,可广泛应用于广播电视、卫星通信、移动通信和数据传输等领域.

## 1 天线结构

平面单极子天线是微带天线中比较简单的天线类型,传统圆形单极子天线的基础结构如图 1 所示,天线的大小为  $W \times L$ ,圆形辐射贴片直径为  $D$ ,微带馈线的宽度为  $W_1$ ,接地板高度为  $L_6$ ,馈电方式是微带馈电,辐射贴片是圆形辐射器,接地板为矩形结构.

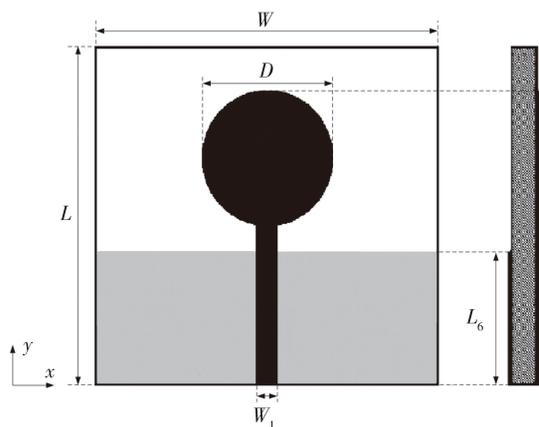


图 1 传统圆形单极子天线

Fig. 1 Traditional circular monopole antenna

本文以传统的圆形单极子平面天线为基础,引入了 Wilkinson 功分器、渐变型微带馈线和瓶装接地板结构,设计了一款新型小型化宽带平面全向天线,其几何结构如图 2 所示.该天线正面的金属层主要由圆形辐射贴片、Wilkinson 功分器、渐变型微带馈线组成,呈球拍状,背面为瓶装接地板结构.其中,矩形微带馈线确保天线与  $50 \Omega$  同轴接头阻抗匹配,渐变型微带馈线实现了阻抗变换的作用,将  $50 \Omega$  的微带线阻抗转化为  $100 \Omega$ .此外,引入 Wilkinson 功分器从而在天线表面产生较强的水平电流分布,以便实

现较好的全向辐射特性.

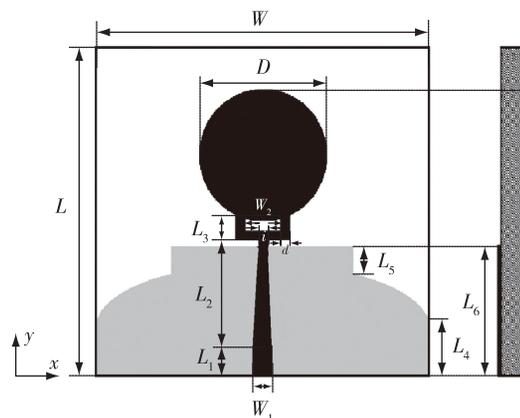


图 2 新型的平面全向天线结构

Fig. 2 Novel planar omnidirectional antenna structure

本文采用圆形单极子辐射贴片以便实现良好的全向辐射,对于单极子辐射贴片来说,金属接地板相当于阻抗匹配电路.该天线的金属接地板采用了弧形边缘的半椭圆形的瓶装金属接地板结构,从而实现了宽频段内良好的阻抗匹配.

## 2 平面全向天线的设计与分析

Wilkinson 功分器的结构如图 3 所示<sup>[12]</sup>,它与传统功分器的区别在于引入了一个隔离电阻  $R$ ,可实现各端口的阻抗匹配、输出端口的高度隔离.其中,输入和输出的三端口特性阻抗均为  $Z_0$ ,功分器的二分支路是长度为  $L_3$  的微带线.

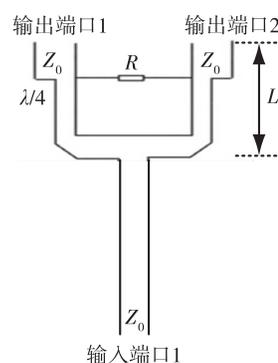


图 3 Wilkinson 功分器

Fig. 3 Wilkinson power divider

由于  $L_3$  为 Wilkinson 功分器二分支路的竖直长度,会影响平面全向天线的阻抗匹配,因此本文对参数  $L_3$  的尺寸进行了优化.图 4 为  $L_3$  分别取 2.0、2.2、2.4 mm 时对应的驻波比仿真结果,明显可以看出,当  $L_3 = 2.0$  mm 时,该天线的驻波比特性最佳.

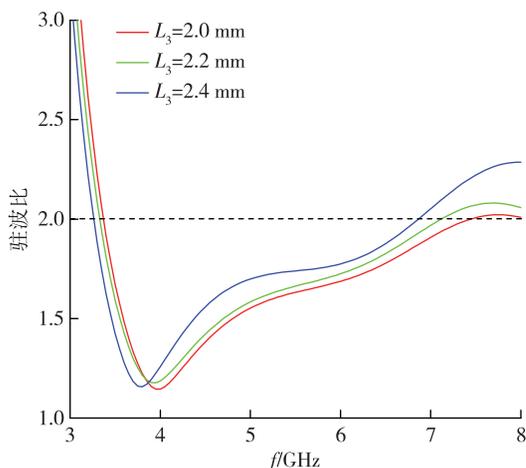


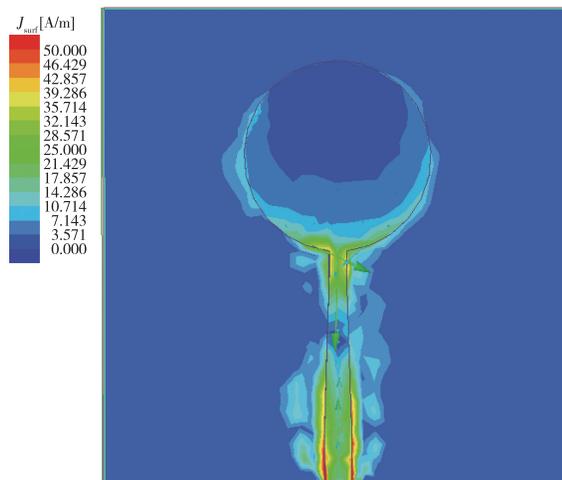
图4 不同 $L_3$ 下驻波比随频率变化曲线

Fig. 4 VSWR curve varied with frequencies under different  $L_3$

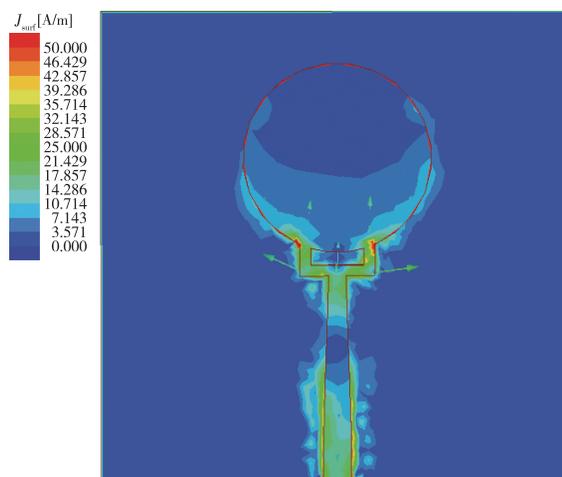
基于 HFSS 软件获得了金属辐射贴片表面电流的分布情况,如图 5 所示,图 5a 和图 5b 分别为引入 Wilkinson 功分器前后的表面电流分布.如图 5a 所示,渐变型微带馈线与圆形单极子贴片连接处的表面电流分布不均匀,连接处左侧电流明显大于右侧电流,将导致该天线左侧的辐射特性优于右侧,天线方向图的不圆度将会恶化.明显可以看出:引入 Wilkinson 功分器之后, Wilkinson 功分器与圆形单极子贴片连接处两侧的表面电流分布加强,两侧电流几乎相等,并且在天线表面产生较强的水平电流,提高了天线的全向辐射特性,降低了天线方向图的不圆度.

引入 Wilkinson 功分器前后,天线在 5.4 GHz 处全向辐射面(H 面)的辐射方向图仿真结果如图 6 所示.明显可以看出:该平面全向天线未引入 Wilkinson 功分器时,天线的右侧辐射特性劣于左侧辐射特性;引入 Wilkinson 功分器后,天线全向辐射面的方向图不圆度降低了约 1 dB,实现了较好的全向辐射特性.

此外, $L$  和  $W$  分别表示介质基板的长度和宽度,  $D$  是圆形单极子贴片的直径,圆形单极子辐射贴片用于实现良好的全向辐射.对于单极子辐射贴片来说,金属接地板起到了阻抗匹配电路的作用,  $L_6$  是金属接地板的长度,不同尺寸的  $L_6$  将会改变 Wilkinson 功分器与金属接地板顶端的间隙.因此,参数  $D$ 、 $L_6$  对该平面全向天线的驻波比特性影响较大,因此本文对参数  $D$  和  $L_6$  进行了优化.参数  $D$  分别取 11.5、12.0、12.5 mm 时对应的驻波比仿真结果如图 7 所示,当  $D$  为 12.0 mm 时,天线驻波比小于 2 的带宽较好.确定  $D$  为 12.0 mm 后,参数  $L_6$  分别取 12.5、13.0、13.5 mm 时对应的驻波比仿真结果如图 8 所



a. 未引入Wilkinson功分器



b. 引入Wilkinson功分器

图5 天线表面电流分布

Fig. 5 Current distribution on antenna surface without (a) or with (b) the introduction of Wilkinson power divider

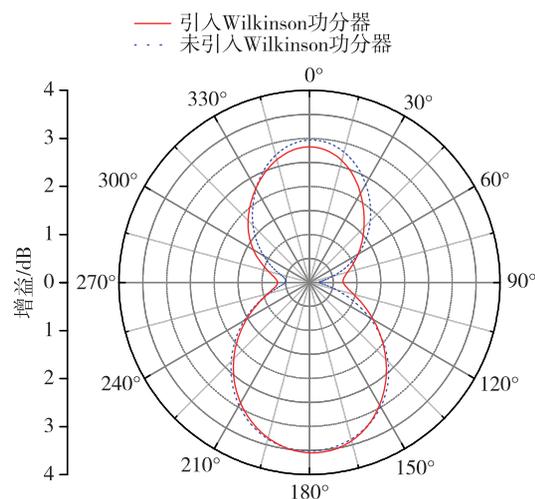


图6 辐射方向图仿真结果

Fig. 6 Simulated results of radiation pattern

示,明显可以看出,当 $L_6$ 为13.0 mm时,天线驻波比小于2的带宽达到4 GHz,此时该天线的驻波比特性最佳,具有较好的阻抗带宽.

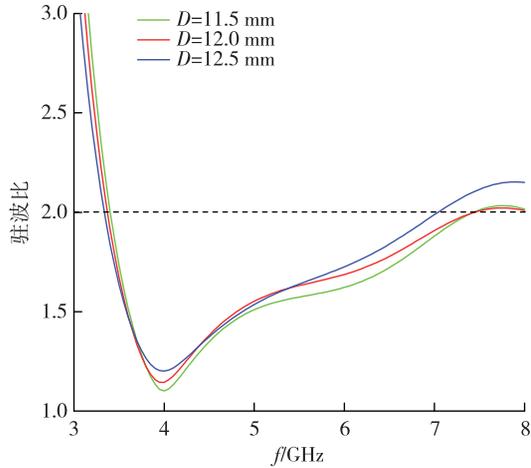


图7 不同 $D$ 下驻波比随频率变化曲线

Fig. 7 VSWR curve varied with frequencies under different  $D$

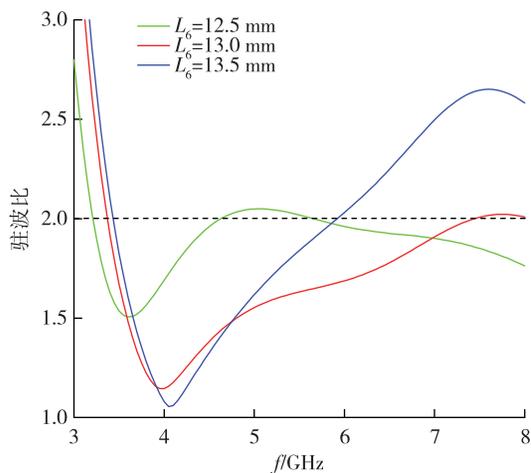


图8 不同 $L_6$ 下驻波比随频率变化曲线

Fig. 8 VSWR curve varied with frequencies under different  $L_6$

为了满足平面全向天线体型小、带宽宽、增益高和不圆度低的设计要求,本文基于HFSS软件对微带馈线段、阻抗过渡段、Wilkinson功分器、圆形单极子贴片和金属接地板的结构参数进行优化设计,得到了天线结构的最佳尺寸如表1所示.

表1 天线结构尺寸

Table 1		Structure size of antenna						mm
参数	$W$	$L$	$W_1$	$L_1$	$W_2$	$L_2$	$W_3$	
数值	30.0	30.0	1.75	3.4	3.4	9.8	16.0	
参数	$L_3$	$L_4$	$L_5$	$L_6$	$D$	$i$	$d$	
数值	2.0	5.0	2.5	13.0	12.0	1.1	0.7	

### 3 平面全向天线的实验研究

平面全向天线的仿真优化完成后,在30 mm×30 mm×0.813 mm的Rogers 4003C基板上加工实物,该天线的实物图如图9所示.



图9 平面全向天线的实物图

Fig. 9 Picture of the omnidirectional antenna

使用矢量网络分析仪测得的驻波比曲线如图10所示,可以看出该平面全向天线驻波比小于2的阻抗带宽是3.4~7.4 GHz,实测结果与仿真结果基本吻合.天线增益的实测结果与仿真结果如图11所示,整个阻抗带宽内的增益为2.3~3.35 dB,5.4 GHz的增益为3.35 dB.由于介质基板和射频接头存在功率损耗,故实测结果略低于仿真结果.

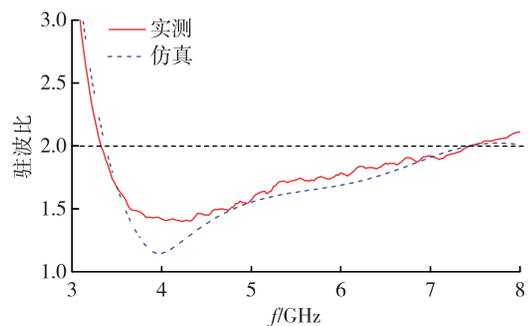


图10 天线驻波比曲线

Fig. 10 Antenna VSWR curve

在全向辐射面 $xoz$ 面内,该平面全向天线5.4 GHz的辐射方向如图12所示.仿真结果表明,5.4 GHz的增益为3.52 dB,不圆度为2.88 dB.实测结果

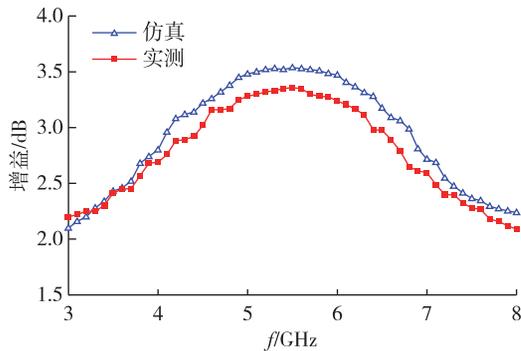


图 11 天线增益曲线

Fig. 11 Antenna gain curve

表明,5.4 GHz 的增益为 3.35 dB,不圆度为 3.47 dB.由于天线加工误差的存在,实测结果略差于仿真结果.

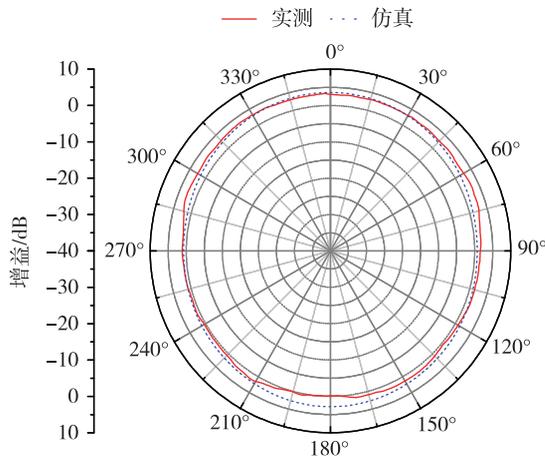


图 12 全向辐射面的辐射方向图

Fig. 12 Radiation pattern at the omnidirectional plane

#### 4 结束语

本文提出了一种新型小型化宽带平面全向天线,天线尺寸仅有 30 mm×30 mm×0.812 mm,该天线正面金属层采用渐变型微带馈线馈电,引入 Wilkinson 功分器改善了天线的馈电网络,优化了微带馈线顶端的电流分布,从而提高了天线的全向辐射特性;金属接地板呈瓶状结构,实现了宽带内良好的阻抗匹配.实测结果表明该平面全向天线实现了 4 GHz 的阻抗带宽,全向辐射特性较好,不圆度较低.

#### 参考文献

##### References

[ 1 ] 蒋芹,洪伟.一种新型宽带印制天线[J].微波学报,2001,17(3):17-23

- JIANG Qin,HONG Wei.A new type of broadband printed antenna[J].Journal of Microwares,2001,17(3):17-23
- [ 2 ] Wang L,Wei K P,Feng J F,et al.A wideband omnidirectional planar microstrip antenna for WLAN applications [ C ] // IEEE Electrical Design of Advanced Packaging and Systems Symposium ( EDAPS ),2011:1-4
- [ 3 ] Liang J X,Chiau C C,Chen X D,et al.Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems [ J ]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation,2005,53(11):3500-3504
- [ 4 ] Niu J W,Zhong S S.A CPW-fed broadband slot antenna with linear taper [ J ]. Microwave and Optical Technology Letters,2004,41(3):218-221
- [ 5 ] Zhang C M,Fathy A E.Development of an ultra-wideband elliptical disc planar monopole antenna with improved omni-directional performance using a modified ground [ C ] // IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium,2006:1689-1692
- [ 6 ] 马汉清,褚庆昕,仵大奎.一种平面结构的宽带 E 面全向天线[J].电波科学学报,2008,23(2):344-347  
MA Hanqing, CHU Qingxin, WU Dakui. A wideband E-plane omni-directional planar antenna [ J ]. Chinese Journal of Radio Science,2008,23(2):344-347
- [ 7 ] 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):47-50,107  
ZHANG Yunqi, WANG Liang, LI Xi, et al. Design of a novel broadband omnidirectional antenna [ J ]. Journal of Xidian University,2014,41(4):47-50,107
- [ 8 ] 马天鸣,杨魁,袁晓兵.印刷偶极子天线实现全向辐射的一种设计方法 [ J ]. 微波学报,2010,26(6):46-49,53  
MA Tianming, YANG Kui, YUAN Xiaobing. Design of an omni-directional radiating antenna using printed dipoles [ J ]. Journal of Microwaves,2010,26(6):46-49,53
- [ 9 ] 蔺炜.全向及定向圆极化天线的小型化研究 [ J ]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2019,11(1):1-7  
LIN Wei. Miniaturization techniques for omnidirectional and unidirectional circularly polarized antennas [ J ]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition),2019,11(1):1-7
- [ 10 ] 隽月,车文荃,杨琬琛.基于支节容性加载的小型化低剖面超表面天线[J].南京信息工程大学学报(自然科学版),2019,11(1):23-29  
JUAN Yue, CHE Wenquan, YANG Wanchen. Miniaturized low-profile metasurface antenna using capacitive loading [ J ]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition),2019,11(1):23-29
- [ 11 ] 王晨阳,刘英,贾永涛,等.一种用于 GPS 的小型化全向圆极化天线设计 [ J ]. 南京信息工程大学学报(自然科学版),2019,11(1):53-56  
WANG Chenyang, LIU Ying, JIA Yongtao, et al. A miniaturized omnidirectional circularly polarized antenna design for GPS applications [ J ]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology (Natural Science Edition),2019,11(1):53-56
- [ 12 ] Tzeng R H,Chen C L.A low-consumption regulated gate

driver for power MOSFET [ J ]. IEEE Transactions on

Power Electronics, 2009, 24(2) : 532-539

## A novel miniaturized wideband planar omnidirectional antenna

CHEN Jun<sup>1,2</sup> WAN Fayu<sup>2</sup>

1 China Mobile Group Jiangsu Co., Ltd. Taizhou Branch, Taizhou 225300

2 School of Electronic & Information Engineering, Nanjing University of  
Information Science & Technology, Nanjing 210044

**Abstract** A novel miniaturized wideband plane omnidirectional antenna with 3.4–7.4 GHz band is designed in this paper. Based on traditional circular monopole planar antenna, the antenna introduces a Wilkinson power divider, a tapered microstrip feeder, and a bottled floor structure. A Wilkinson power divider is introduced at the microstrip feeder to improve the unroundness of pattern, which achieves better omnidirectional radiation; and a metal ground floor of bottle shaped structure is printed on the back of this antenna to achieve good impedance matching effect. The results show that the planar omnidirectional antenna has impedance bandwidth of 4 GHz, the gain at the center frequency of 5.4 GHz is 3.35 dB, the unroundness of radiation pattern at the center frequency of 5.4 GHz is less than 3.50 dB, and the gain at the whole impedance bandwidth is 2.3–3.35 dB. The simulation results are basically consistent with the measured results.

**Key words** planar omnidirectional antenna; miniaturization; broadband; unroundness; Wilkinson power divider