

文章编号: 2095-4980(2019)04-0627-05

一种水平全向平面偶极子阵列天线

苏金花, 陈 星

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610064)

摘 要: 基于偶极子组阵结构, 设计了一种具有水平全向辐射方向图和水平极化特性的平面天线。该天线由 3 只偶极子天线组成, 每只振子弯折 30° 并上下交错印刷在 PCB 板的表面上, 构成正六边形环, 环的直径为 $0.45\lambda_0$ (λ_0 为中心频率处的自由空间波长)。3 只偶极子天线均采用 SMA 接头直接顶馈, 从而省略了偶极子天线的馈电巴伦。通过优化偶极子天线振子长度和间距等结构参数, 以及控制馈电相位, 实现水平全向辐射。设计和加工制作了一只工作频率为 2.45 GHz 的天线样品, 测试与仿真结果吻合良好, 其 $|S_{11}| \leq 10$ dB 的相对阻抗带宽为 12.94% (2.367~2.684 GHz), 水平全向增益约为 1.42 dBi, 不圆度小于 ± 0.7 dB。

关键词: 偶极子阵; 全向天线; 水平极化; 平面天线

中图分类号: TN821⁺.4

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA201904.0627

A horizontally omnidirectional planar dipole array antenna

SU Jinhua, CHEN Xing

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

Abstract: Based on an array of dipole antennas, an antenna with the characteristics of horizontal omnidirectional radiation pattern, horizontal polarization and planar structure is proposed. The antenna is composed of three dipole antennas, whose radiators are bent 30° and printed on a PCB(Printed Circuit Board) in an alternative way(top and bottom), and forms a hexagon ring with a diameter of $0.45\lambda_0$ (λ_0 is the free-space wavelength). The three dipole antennas are directly fed through SMA(Small A Type) connectors, and thereby feeding baluns can be cut. By optimizing the structural parameters such as the dipole antenna's length and distance, as well as controlling the feeding phase, a horizontal and omnidirectional radiation pattern is realized. As a sample, such an antenna working at the frequency of 2.45 GHz is designed, fabricated and tested. The measured results agree well with the simulated ones, indicating the antenna has encouraging features such as the impedance bandwidth of 12.94%(2.367–2.684 GHz) with $|S_{11}| \leq 10$ dB, and a good horizontal omnidirectional radiation pattern with the gain of 1.42 dBi and gain variations within ± 0.7 dB.

Keywords: dipole array; omnidirectional antenna; horizontal polarization; planar antenna

全向天线^[1-5]在无线通信的基站系统中有广泛的作用。当前, 大多数全向天线属于垂直极化天线(如基站天线等), 水平极化天线相对较少^[6]。但在现代无线通信系统中, 水平极化全向天线是增加极化多样性和提高系统容量的必要补充形式^[7]。此外在无人机和飞艇等一些特殊应用中, 天线不仅要求具有水平极化特性和水平全向辐射方向图, 而且要求为平面结构和有一定的带宽。常见的水平极化全向天线有柱面缝隙天线^[8]、圆柱微带天线阵^[9-10]、Alford 环天线^[11-13]、电小尺寸环天线^[14-16]和多只偶极子组合形成的三角环或方形环天线^[17-18]等。其中柱面缝隙天线是将开了竖直缝隙的金属片弯折成直径足够小的圆柱形实现水平全向辐射; 圆柱微带天线阵利用多个环绕圆柱的同相馈电的水平极化微带天线组阵实现水平全向辐射^[19]; Alford 环天线采用 2 个“Z”字形金属带印刷在 PCB 板的正反面上, 2 个斜臂上的电流方向相反, 相互之间的电流相互抵消, 构造出 4 段首尾相接的电流模拟环电流, 从而实现水平极化全向辐射方向图; 电小尺寸环天线则可等效为磁偶极子, 在水平面上呈现均匀的电流分布, 具有水平极化全向辐射的特性。但上述天线中部分为立体结构^[8-10], 不满足平面天线的要求; 一些带宽较窄^[8, 11-13, 20];

收稿日期: 2019-01-14; 修回日期: 2019-02-22

基金项目: 装备预研教育部联合基金资助项目(6141A0202504)

一些天线的阻抗匹配困难^[17-18,21]且馈电结构较为复杂^[17]；电小尺寸环天线的辐射电阻小，电抗大^[6]，带宽窄。这些缺点极大地限制了它们在实际工程中的应用。本文设计了一种具有水平全向辐射方向图和水平极化特性的平面偶极子阵列天线。该天线由 3 只弯折的偶极子天线上下交错印刷在 PCB 板的表面上组阵形成正六边形环，通过对偶极子天线结构参数的优化和馈电控制调节环上电流流动，形成均匀同相环状电流，实现水平全向辐射方向图。

1 天线结构

为使天线在满足水平极化特性和全向辐射方向图的同时，还具有一定的带宽和满足平面化设计，本文设计了工作频率为 2.45 GHz，结构见图 1 的正六边形环形结构的平面天线。该天线由 3 只弯折的偶极子天线组成，3 只偶极子均匀排布构成正六边形环形结构，并作为辐射体。每只偶极子天线弯折 30°并上下交错(图 1 黑色部分为天线正面的偶极子，灰色部分为天线背面的偶极子)地印刷在圆形 PCB 板(图 1 白色大圆)的表面上，PCB 板的相对介电常数为 2.65，损耗角正切为 0.002，PCB 板的厚度 $h_{\text{substrate}}=2.5\text{ mm}$ ，白色大圆的直径为 $0.45\lambda_0$ (λ_0 为中心频率处的自由空间波长)，结构简单紧凑。每只偶极子天线均采用 SMA 顶馈，其中天线的正面与 SMA 的内导体相连(图 1 白色小圆圈)，天线的背面与外导体相连，省略了偶极子馈电中的巴伦结构，馈电结构比较简单。采用电磁仿真软件 HFSS 对天线结构参数进行优化，其优化后的尺寸见表 1。

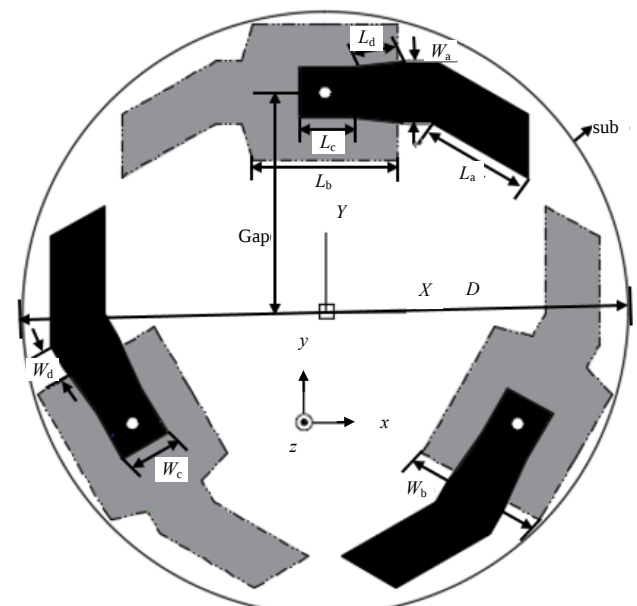


Fig.1 Geometry of the proposed antenna
图 1 天线结构示意图

表 1 平面偶极子阵列天线的参数(单位: mm)
Table1 Parameters of planar dipole array antenna(unit:mm)

parameter	L_a	W_a	L_b	W_b	L_c	W_c	Gap	L_d	W_d	D
value	10.4	6	14	13	5	5	21.3	3.64	2.5	58

2 天线的设计原理及参数分析

2.1 天线的设计原理

单只水平放置的偶极子天线呈现垂直面“8”字形辐射方向图，完全不同于水平全向辐射的要求。由于振子弯折 30°和受邻近 2 只偶极子天线的反射影响，3 只偶极子天线独立馈电时，在水平面上的辐射方向图见图 2，可以看到它们的最大辐射方向均指向环外，并形成 120°夹角，这有助于合成水平全向方向图。

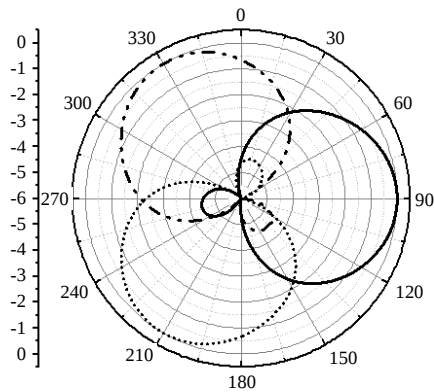


Fig.2 Horizontal radiation direction of 3 bending dipole antennas independently fed
图 2 3 只弯折偶极子天线独立馈电的水平面辐射方向图

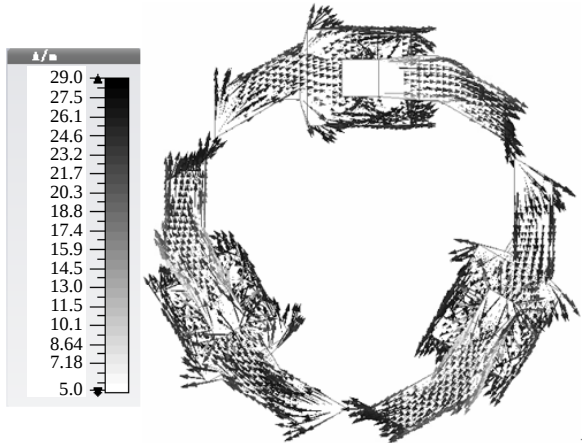


Fig.3 Current distribution on the surface of the antenna
图 3 天线表面电流分布图

图3显示了当3只偶极子天线同相馈电时,正六边形环表面的电流流动。可以看到3只偶极子天线表面上电流首尾相逐,方向一致(即同相),形成了较均匀的同相环状电流。3只偶极子天线组成的六边形环在电尺寸上属于电大环,但其表面均匀同相电流分布类似于电小环,因此形成了在垂直面“ ∞ ”字形、水平全向的辐射方向图。

2.2 天线的参数分析

通过仿真优化可知:平面偶极子阵列天线的 $|S_{11}|$ 与介质板的厚度 $h_{\text{substrate}}$ 、每只偶极子弯折的长度 L_a, W_d 以及天线的弯折角度 θ 有较为密切的关系。图4(a)中,当该天线的其他参数保持不变时,天线的 $|S_{11}|$ 随介质板厚度的增大而逐渐向低频移动,且 $|S_{11}|$ 的深度先变深再变浅。天线的 $|S_{11}|$ 与 L_a, W_d 和 θ 的关系分别见图4(b)~图4(d)。当天线的厚度 $h_{\text{substrate}}=2.5\text{ mm}$, $L_a=10.4\text{ mm}$, $W_d=2.5\text{ mm}$ 时,该天线具有良好的性能。

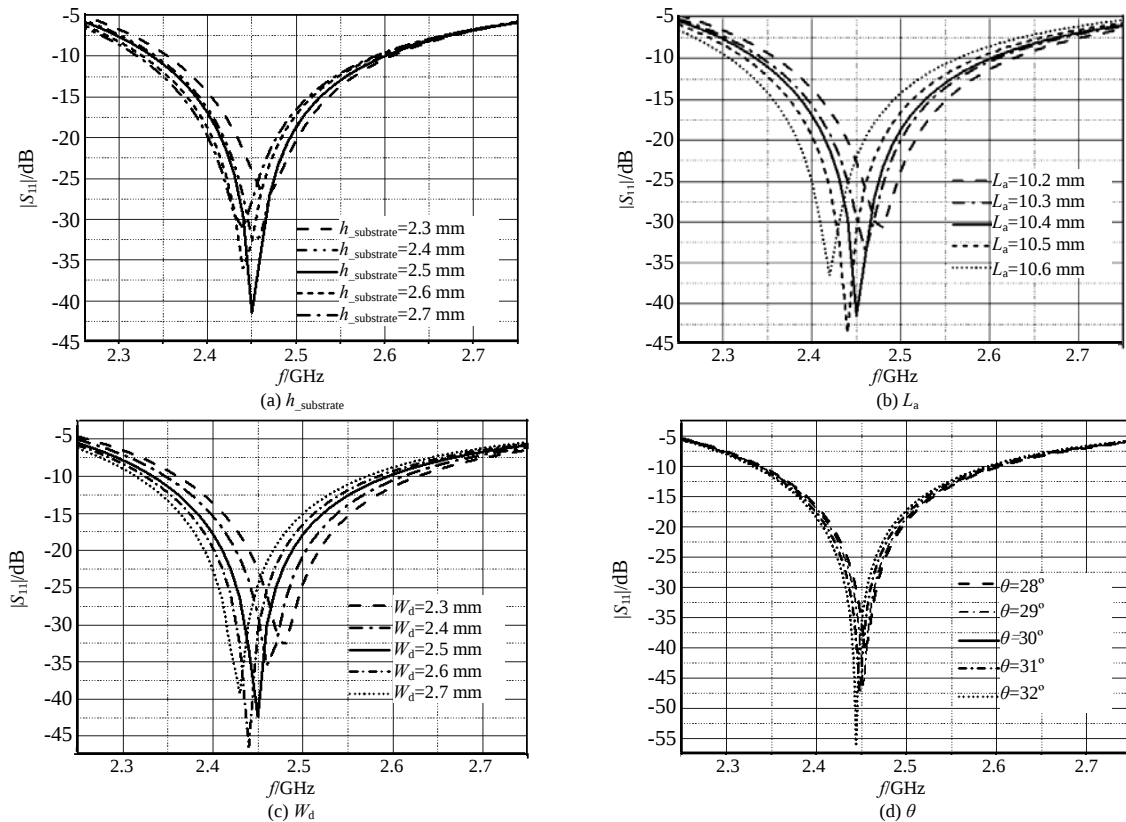


Fig.4 Performances of different structural parameters on $|S_{11}|$ pattern

图4 不同结构参数对 $|S_{11}|$ 曲线的影响

3 测试与分析

对设计的变形偶极子天线进行加工和测试,加工的实物图见图5。图6给出了偶极子阵平面天线测试与仿真的 $|S_{11}|$ 对比结果,从图6可知,测试结果与仿真结果的谐振点吻合良好,其中 $|S_{11}| \leq -10\text{ dB}$ 的阻抗带宽测试值为12.94%(2.367~2.684 GHz)。

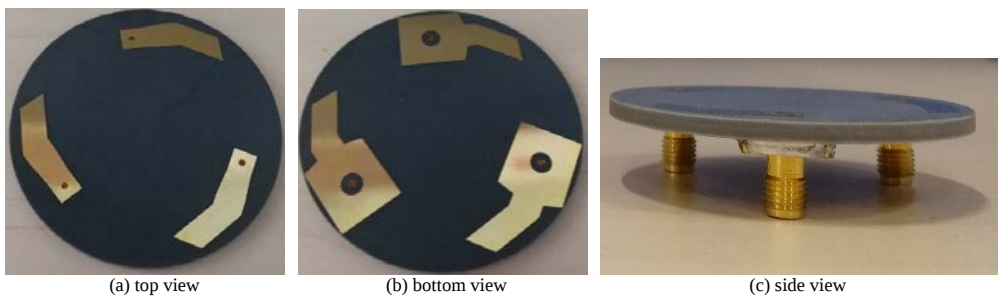


Fig.5 Prototype
图5 加工实物图

图 7 和图 8 分别给出了该平面偶极子阵列天线在 2.35 GHz, 2.45 GHz 和 2.65 GHz 这 3 个频点的仿真和测试方向图。可看到仿真与测试的方向图吻合良好, 该天线在水平面(XOY)呈现良好的水平全向辐射特性, 在垂直面(XOZ)呈现“ ∞ ”字形的辐射方向图。测试得到的水平全向方向图的不圆度为 ± 0.7 dB, 略大于仿真的不圆度 ± 0.2 dB。在中心工作频点 2.45 GHz, 测得天线水平增益约为 1.42 dBi, 仿真增益为 1.96 dBi。其测试与仿真的水平面不圆度误差为 0.5 dB, 中心频点处增益误差为 0.54 dB, 这可能是在微波暗室里测试中测试转台的旋转抖动、标准喇叭天线的计算误差以及天线和功分器连接的线缆使天线不完全水平等原因所导致的。

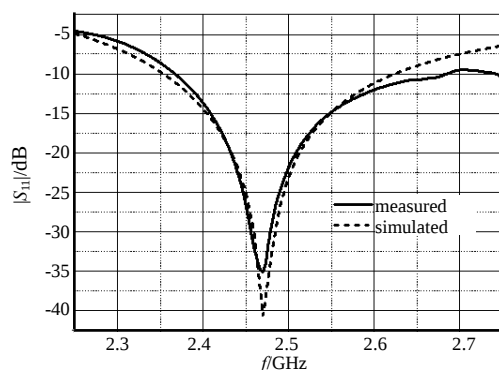


Fig.6 Simulated and measured $|S_{11}|$ patterns
图 6 仿真与实测的 $|S_{11}|$ 曲线

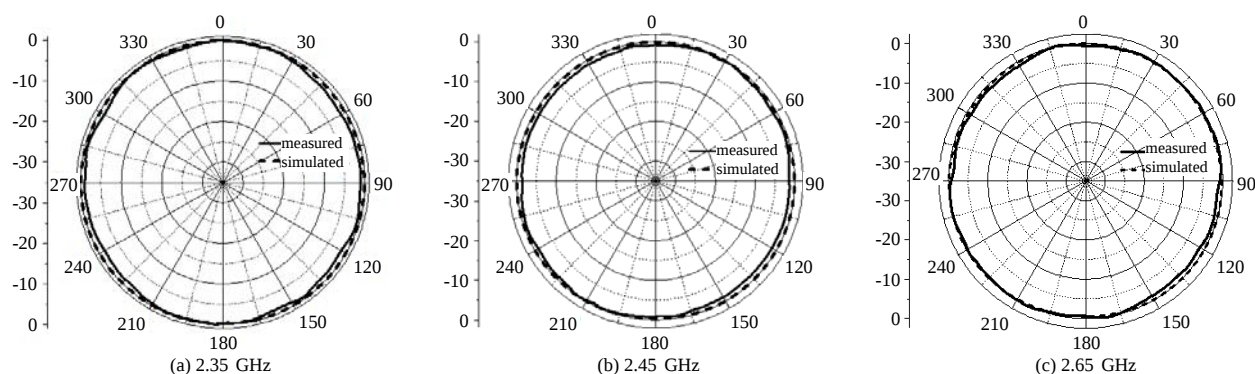


Fig.7 Simulated and measured radiation patterns at different frequencies in the horizontal plane (XOY)

图 7 不同频率下测试与仿真水平面(XOY)方向图

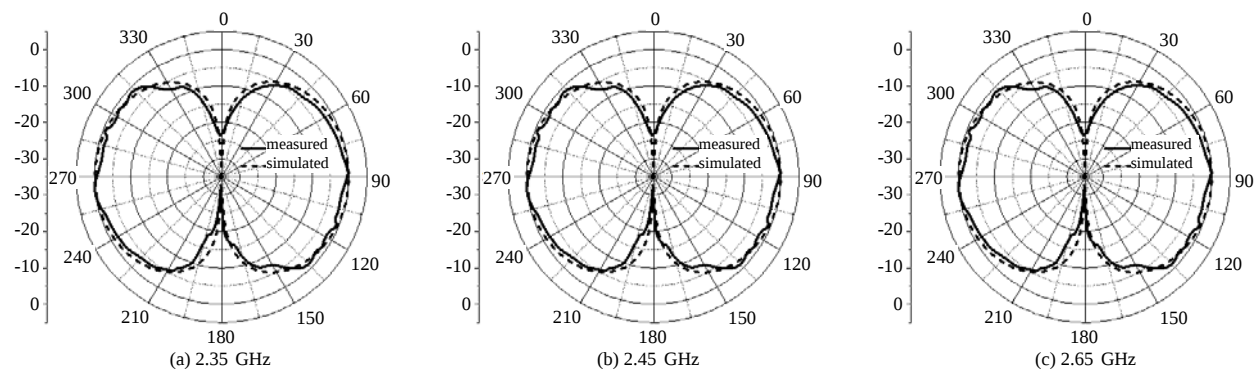


Fig.8 Simulated and measured radiation patterns at different frequencies in the vertical plane (XOZ)

图 8 不同频率下测试与仿真垂直面(XOZ)方向图

4 结论

本文设计了一种具有水平极化特性和水平全向辐射方向图的平面偶极子阵列天线。该天线由 3 只偶极子上下交错印刷在圆形 PCB 板的表面上组阵形成正六边形环。通过对 3 只偶极子天线各个结构参数的优化与每只偶极子馈电相位的控制, 使在正六边形环上形成均匀同相电流分布, 从而实现水平极化全向辐射方向图。天线样品的测试与仿真结果吻合良好, 测试的相对阻抗带宽为 12.94%(2.367~2.684 GHz); 中心频率 2.45 GHz 处水平面全向增益约为 1.42 dBi, 水平全向方向图不圆度为 ± 0.7 dB。

参考文献:

- [1] BAUMER C, LANDSTORFER F. Design of omnidirectional slot antennas with vertical polarization[C]// Antennas and Propagation Society International Symposium. Dallas, TX, USA: [s.n.], 1990: 938-941.
- [2] ZHANG Yao, ZHANG Xiuyin, PAN Yongmei. Low-profile planar filtering dipole antenna with omnidirectional radiation pattern[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2018, 66(3): 1124-1132.

- [3] BANCROFT R, BATEMAN B. An omnidirectional planar microstrip antenna[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2004, 52(11): 3151–3154.
- [4] CAI Xiuzhang, SARABANDI Kamal. A compact broadband horizontally polarized omnidirectional antenna using planar[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2016, 64(2): 414–422.
- [5] FAN Yi, LIU Xiongying, LIU Baiyang, et al. A broadband dual-polarized omnidirectional antenna based on orthogonal dipoles[J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2016, 15(1): 1257–1260.
- [6] YU Yufeng, FENG Jianjie, ZHANG Guangsheng. An inductively-coupled fed loop antenna with a horizontally polarized omnidirectional radiation pattern[J]. Communication Countermeasures, 2013, 32(4): 1161–1164.
- [7] SHI W, QIAN Z P, NI W M. A planar omnidirectional antenna with dual polarizations for base station applications[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2016, 30(3): 390–403.
- [8] CASCIOLA D, MIERS G L, SURETTE R A. UHF antenna choices[J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 1999, 45(1): 93–104.
- [9] JAYAKUMAR I, GARG R, SARAP B K, et al. A conformal cylindrical microstrip array for producing omnidirectional radiation pattern[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 1986, 34(10): 1258–1261.
- [10] LI P, LUK K M, LAU L L. An omnidirectional high gain microstrip antenna array mounted on a cylinder[C]// Antennas and Propagation Society International Symposium. Columbus, OH, USA: IEEE, 2003, 4: 698–701.
- [11] LIN C C, KUO L C, CHUANG H R. A horizontally polarized omnidirectional printed antenna for WLAN applications[J]. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, 2006, 54(11): 3551–3556.
- [12] AHN C H, OH S W, CHANG K. A dual-frequency omnidirectional antenna for polarization diversity of MIMO and wireless communication applications[J]. IEEE Antennas Wireless Propag, 2009, 8(24): 966–970.
- [13] LIN C C, CHUANG H R. A 2.4 GHz planar printed antenna with omni-directional horizontally polarized pattern for WLAN applications[C]// 33rd European Microwave Conference. Munich, Germany: [s.n.], 2003: 1275–1278.
- [14] WEI K, ZHANG Z J, FENG Z H. Design of a wideband horizontally polarized omnidirectional printed loop antenna[J]. IEEE Antennas Wireless Propagation Letters, 2012, 11(2): 49–52.
- [15] XIONG J, YU Y, LIU Y M, et al. An electrically small planar loop antenna with high efficiency for mobile terminal applications[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2012, 26(5/6): 744–756.
- [16] YU Y, XIONG J, LI H. An electrically small frequency reconfigurable antenna with a wide tuning range[J]. IEEE Antennas Wireless Propagation Letters, 2011, 10(11): 103–106.
- [17] 刘牧, 杨龙, 傅光, 等. 一种小型化宽带水平极化全向天线[C]// 2017年天线年会. 西安: [s.n.], 2017: 8–10. (LIU Mu, YANG Long, FU Guang, et al. A compact wideband horizontally polarized omnidirectional antenna[C]// 2017 Antenna Annual Meeting. Xi'an, China: [s.n.], 2017: 8–10.)
- [18] ZHENG Y F, WONG S W, HUANG Q K. Wideband dipole antenna using multiple-mode resonator for long-term evolution application[J]. Electronics Letters, 2015, 51(25): 2074–2076.
- [19] 刘晖晖. 超短波水平极化全向天线的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010. (LIU Huihui. Ultrashort wave horizontally polarized omnidirectional antenna[D]. Xi'an, China: Xidian University, 2010.)
- [20] 李硕. 水平极化全向(高增益)通讯天线的设计和研制[D]. 成都: 电子科技大学, 2007. (LI Shuo. Design and study of horizontally polarized omnidirectional (high gain) communication antennas[D]. Chengdu, China: University of Electronic Science and Technology of China, 2007.)
- [21] BALANIS C A. Antenna theory: analysis and design[M]. 3rd edition. NJ, USA: Wiley, Hoboken, 2005.

作者简介:



苏金花(1993–), 女, 重庆市人, 在读硕士研究生, 主要研究方向为电磁场与微波技术。
email: 1610143529@qq.com.

陈星(1970–), 男, 四川省巴中市人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为电磁场理论和微波工程。