

文章编号:1000-582X(2010)12-114-05

共面波导边缘结构的平面单极子天线

邓超^{1,2}, 谢拥军¹

(1. 西安电子科技大学 天线与微波技术重点实验室, 陕西 西安 710071;

2. 武警工程学院 陕西 西安 710086)

摘要:共面波导与微带线相比具有较低的损耗,并易于与其它电路结构集成。传统共面波导馈电的矩形单极子天线频带较窄。为了展宽天线带宽在矩形贴片底部开槽,并将共面波导的中心导带延伸至凹槽顶端进行馈电。将凹槽的顶端和共面波导的一部分地面设计成渐变结构,并通过在凹槽中插入阶梯结构对天线的输入阻抗进行调整。仿真结果表明,新型结构可将天线带宽由原来84.8%展宽到167.2%(频率范围为:2.17GHz~24.3GHz, $S_{11} \leq -10$ dB)。实际测试结果与仿真值吻合良好。该天线具有近似全向的辐射特性,适合于便携式超宽带通信系统。

关键词:单极子天线;超宽带天线;矩形单极子;平面天线

中图分类号: TN822.8

文献标志码: A

Planar monopole antenna based on the fringe structure of coplanar waveguide

DENG Chao^{1,2}, XIE Yong-jun¹

(1. National Laboratory of Antennas and Microwave Technology, Xidian University, Xi'an 710071, Shanxi, P. R. China; 2. Engineering College of Chinese Armed Police Force, Xi'an 710086, Shanxi, P. R. China)

Abstract: Coplanar waveguide possesses the advantage of lower loss and being easier to be integrated with other circuits comparing with the microstrip line. However, the bandwidth of the fed rectangular monopole antenna of the conventional coplanar is narrow. To broaden the bandwidth, the patch is notched on the bottom, and the central strip of the coplanar waveguide is prolonged to the groove top for feed. Both of the edges of a part of the coplanar ground and the groove top followed gradual regularity, and a ladder configuration is inserted into the groove to adjust the input impedance. Simulation indicates that the fractional bandwidths of the antennas can be broadened from 84.8% to 167.2% (a coverage of 2.17~24.3 GHz, $S_{11} \leq -10$ dB) in this way. The measured results agree well with the simulated ones. The radiation pattern of the antenna is nearly omnidirectional, which can be used in portable UWB communication systems.

Key words: monopole antennas; ultra wideband antennas; rectangular monopole; planar antennas

单极子天线由于结构简单、尺寸小、成本低廉而作为一种全向天线在无线通信系统中得到了广泛的应用。常规单极子天线的辐射体是垂直于地面的,这就造成了它们的非平面结构,增加了天线的体积。文

献[3]通过研究不同地面尺寸对天线方向图和回波损耗的影响,在尽量不影响天线性能的同时缩小了地面的尺寸,但是该类型的天线结构仍不适于印刷集成电路,这种缺点限制了此类超宽带天线的应用。

收稿日期:2010-09-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60771040);教育总新世纪优秀人才资助项目(NCET-04-0950)

作者简介:邓超(1983-),男,西安电子科技大学博士研究生,主要从事微波通信,天线小型化技术方向研究,

(Tel)13609158532;(E-mail)dczql100w@yahoo.com.cn。

近年来,国内外纷纷报道了一类新颖的印刷单极子天线。该类天线不需要垂直地面,在缩小天线的体积的同时拓宽了应用领域。文献[4-5]采用微带线分别对圆盘和方形单极子天线进行馈电,使得天线在 3.5 和 4 倍频的带宽内具有良好的电性能。相对于微带线而言,共面波导具有较低的损耗,因而效率较高。此外,采用共面波导方便在介质板的同一侧进行并联或串联电路结构,避免了过孔,使得结构设计更简单。因此,在对印刷天线设计时采用共面波导作为馈线更受青睐。文献[6-10]通过采用共面波导对圆形单极子进行馈电,使得天线在 4~11.3 倍频范围内具有良好的阻抗和辐射特性。文献[11]通过采用共面波导对椭圆单极子进行馈电,并将波导的地面设计成梯形,最终使得天线的带宽超过了 21:1。在贴片的形式上,前人对圆形、椭圆形以及改进的圆形^[12-13]、椭圆形单极子^[14]进行了研究,也有部分文献研究了三角形^[15]、带状单极子^[16]天线。文献[17-18]对矩形单极子天线进行了研究,发现该类天线的带宽要小于圆形或椭圆形。为了增加矩形单极子天线的带宽,文献[19]将矩形贴片底端设计成半圆形,采用微带线进行馈电实现了 11.31:1 的带宽。

以矩形贴片作辐射单元,采用共面波导进行馈电。为了展宽带宽将贴片底端开槽,并将槽的顶端和共面波导的一部分地面设计成渐变结构,通过设计贴片和共面波导的边缘结构调整天线的输入阻抗,达到了展宽带宽的目的。仿真结果表明,天线带宽展宽到传统结构的近 2 倍。实际加工并制作了一副天线,测量值与仿真值吻合良好。

1 天线结构与性能

图 1(a)为直接将共面波导中心导带接到矩形贴片底端进行馈电时的天线结构图。天线印刷在长度 $l_1=41$ mm、宽度 $w_0=40$ mm、厚度 $h=0.5$ mm 的基板上,介质板介电常数为 4.4。矩形贴片的长、宽分别为 $w=23$ mm, $l=26.6$ mm,贴片底端距共面波导地面的距离为 $p=2$ mm。共面波导的特性阻抗为 50Ω ,中心导带宽度 $w_c=2.8$ mm,中心导带与地面的间距 $g_c=0.2$ mm。考虑到介质板对天线尺寸的缩减效应,当地面足够大时该天线的最低工作频率由文献[18]给出

$$f_l = \frac{7.2}{[(l+r+p) \times k]},$$

该公式最大误差为 10%;其中 l 为贴片的长度, r 为等效圆柱单极子天线的有效半径($r=w/2\pi$), p 为馈线的长度即贴片底端距共面波导地面的距离; k 为介电常数 ϵ_r 引入的常数,当 $\epsilon_r=4.4$ 时 $k=1.1$ 。由上述公式可以算出该天线的最低工作频率 $f_l=2.03$ GHz。

图 1(b)给出了提出的共面波导馈电的矩形贴片天线结构。与传统矩形贴片天线不同的是该天线

并非直接在贴片底部进行馈电,而是将其底端开槽并将槽的顶端设计成渐变形式,整个槽近似呈现“M”状,馈电点位于槽的中间顶点。天线采用特性阻抗为 50Ω 的共面波导进行馈电,共面波导的中心导带直接连接馈电点,其地面作为贴片天线的地面。为了改善辐射单元的对地阻抗,将插入槽内的共面波导的地面设计成阶梯状,并将地面的其余边缘设计成指数渐变结构。

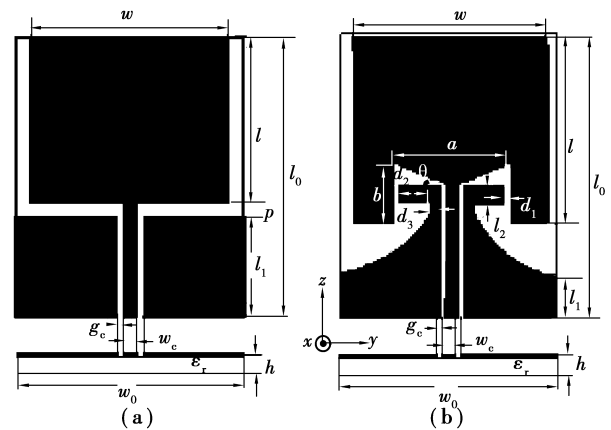


图 1 天线的结构:

(a) 常规天线 (b) 新型天线

采用高频结构仿真软件 HFSS 对图 1 所示两副天线的阻抗特性进行了研究。为了进行对比,使 2 副天线具有相同的贴片宽度 w 和长度 l ,以及相同的介质板厚度 h 、长度 l_1 和地面宽度 w_0 。经过优化得出新型天线的一组尺寸(单位: mm): $a=12.8$; $b=6.1$; $d_1=3.5$; $d_2=0.6$; $d_3=2.5$; $h=0.5$; $w_c=2.8$; $g_c=0.2$; $l=26.6$; $l_1=41$; $l_2=6$; $l_3=1.1$; $w=23$; $w_0=40$; $\theta=159.40$ 。

图 2 给出了 2~25 GHz 范围内 2 幅天线的反射损耗和输入阻抗随频率变化曲线,由结果可知两副天线的带宽($VSWR \leq 2.0$)分别为 2.03~5.02 GHz 和 2.17~24.3 GHz。由此可见,新型天线由于改变了馈电部分的边缘结构而改善了辐射单元的对地阻抗,使得输入阻抗变得更加平坦,带宽展宽了近 2 倍。同时可以看出,经过改进后的天线下限频率有所上升,这主要是由于开槽造成了贴片有效半径的减小。

2 结构参数分析

由于新型天线主要是通过通过在贴片底端进行开槽,并通过调整辐射单元和馈电单元的边缘结构改善天线的输入阻抗。因此槽的结构尺寸以及共面波导地面的边缘结构,对该天线的性能影响较大。本节将主要通过仿真结果对影响天线带宽的主要因素进行分析。

2.1 地面边缘渐变结构

文献[6]分别采用矩形地面和梯形地面对圆形单极子进行了研究,发现采用梯形结构时天线带宽

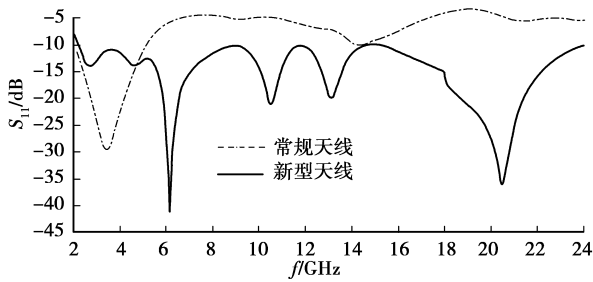


图2 2幅天线的回波损耗曲线

约为矩形的1.5倍。由此可见,在共面波导馈电的单极子天线设计中,合适的波导边缘结构使得展宽该类天线的带宽成为可能。

采用ANSOFT HFSS对比分析了不同的渐变边缘结构对矩形贴片天线性能的影响,计算中采用的渐变形式为 $y = -e^{ax} + b$ 。图3中给出了其它结构参数不变时不同渐变因子 a 所对应的反射损耗随频率变化的曲线,为了进行对比图中同时给出了图1(a)中天线的仿真结果。可以看出,渐变地面边缘使天线在8.5 GHz和13 GHz附近获得了良好的谐振特性。共面波导的地面此时不仅起到了天线地面的作用,而且还相当于1个分布式匹配网络,造成了天线的宽频带、多谐振特性。

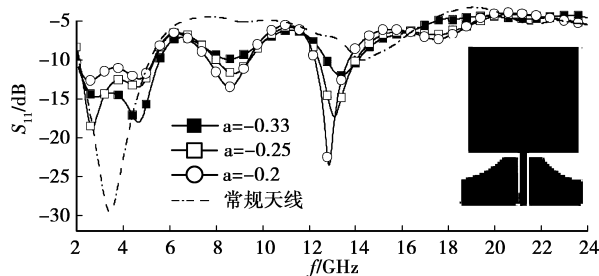
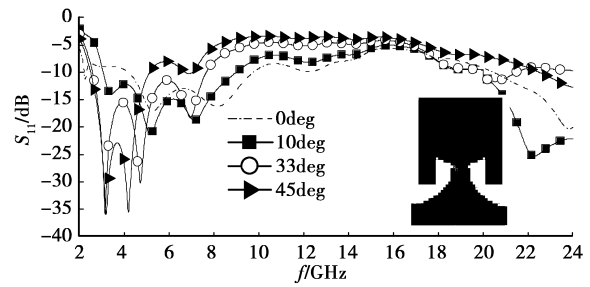


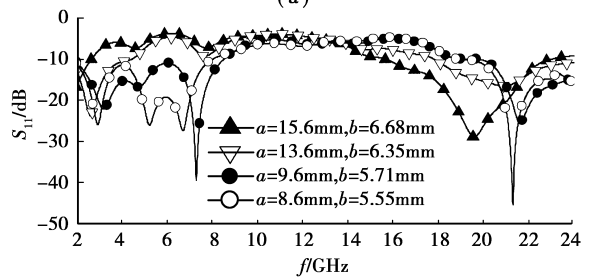
图3 不同渐变常数 a 对天线回波损耗的影响

2.2 贴片底端“M”形槽结构

为了进一步展宽天线的带宽,根据中馈天线的馈电方式在矩形贴片底端进行开槽,并将槽的顶端设计成渐变形式。整个凹槽呈“M”形状,馈电点位于凹槽的中间部分。仿真计算了其它参数不变时,不同角度 θ 以及同时改变凹槽长度 b 、宽度 a 2种情况下天线 S 参数随频率变化的曲线。计算结果分别如图4(a)和(b)所示。由结果可以看出开槽使得天线下限频率上升,绝对带宽增加。当 θ 较小时下限频率上升幅度较大,随着 θ 的增加这一幅度有所降低;当保持 θ 不变并同时调整凹槽长度 b 、宽度 a 时可以降低天线的低端截止频率,当凹槽较小时可以明显改善天线在低频端的驻波特性。



(a)



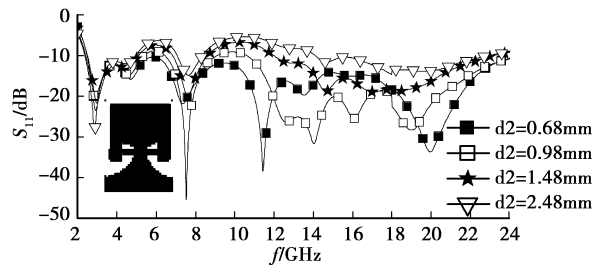
(b)

图4 M形槽对天线回波损耗的影响

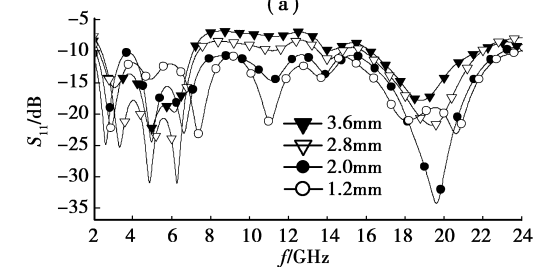
$d_2 = 0, d_3 = 1.9, h = 0.5, w_c = 0.28, g_c = 0.2, l = 26.6, l_0 = 41, l_1 = 6, l_2 = 0, w = 23, w_0 = 30$;

(a)不同角度 θ 对应的回波损耗曲线: $a = 9$;

(b)槽的长度和宽度对应的回波损耗曲线(单位: mm): $\theta = 18^\circ$ 。



(a)



(b)

图5 阶梯结构对天线回波损耗的影响:

$a = 12.93, b = 6.27, d_1 = 0.65, d_3 = 1.9, h = 0.5, w_c = 2.8, g_c = 0.2, l = 26.6, l_0 = 41, l_1 = 6, w = 23, w_0 = 30, \theta = 18.1^\circ$;

(a)不同 d_2 对应的回波损耗曲线: $l_2 = 1.05$;

(b)不同 l_2 对应的回波损耗曲线: $d_2 = 2.3$ 。

2.3 馈电部分的阶梯结构

分析发现凹槽边缘与插入凹槽中的那部分地面

之间的距离,对天线的阻抗特性影响较大。因而在仿真过程中着重对这部分结构进行了优化设计,结果证明将插入凹槽中的地面设计成阶梯结构能有效改善天线在整个频段内的阻抗特性。图 5(a)、(b)分别给出了其它参数不变时不同距离 d_2 以及厚度 l_2 所对应的反射损耗曲线。由图 5(a)可以看出随着 d_2 的减小天线的驻波特性逐渐得到改善,当 $d_2 = 0.68$ mm 时在 2.05~24.1 GHz 的频段内反射损耗小于 -10 dB。由图 5(b)可以看出,厚度 l_2 的减小主要改善天线在 8~15 GHz 范围内的阻抗特性,并提高天线的高端截止频率。当 $l_2 = 1.2$ mm 时天线在 2.1~24 GHz 的频段内反射损耗小于 -10 dB。

3 制作与测量

为了对所提出的天线模型进行验证,在仿真计算的基础上加工制作了 1 幅实物,如图 6 所示。介质板的介电常数为 $\epsilon_r = 4.4$,天线的各个结构参数(单位:mm)为: $w_0 = 30$; $w = 23$; $w_c = 2.8$; $l_0 = 41$; $l = 26.6$; $l_1 = 6$; $l_2 = 1$; $h = 0.5$; $g_c = 0.2$; $d_1 = 0.48$; $d_2 = 2.5$; $d_3 = 1.9$; $b = 6.3$; $a = 12.9$; $\theta = 18.2^\circ$ 。采用 Agilent-N5230A 矢量网络分析仪对 2~20 GHz 频段内天线的回波损耗进行了测试,结果如图 7 所示。通过对比可以看出,测量值与仿真值吻合良好;天线在 2.38~20 GHz 的频段范围内回波损耗小于 -10 dB;实测天线的谐振点发生了偏移,这主要是由加工误差和天线底端焊接的 SMA 接头造成的。

在微波暗室中对天线的远场辐射特性进行了测试,测得该天线在 2.3、10、15 GHz 3 个频点出的增益分别为 1.4、2.8、1.9 dB。图 8 给出了在上述 3 个频点处天线的远场方向图,在测试中选取的两个平面分别为垂直于天线表面的 xoy 面和天线所在的 yoz 面。由测试结果可知,该天线近似为水平全向。由于表面电流的水平分量随着频率升高而增加,因而该天线在高频端某些方向上的交叉极化较为明显,但其对多经传播下的移动通信系统性能影响相对较小。值得提出的是,新型结构主要是为了展宽矩形贴片天线的阻抗带宽进行设计的,针对在此基础上降低天线在高频部分交叉极化的设计仍在进一步的研究当中。

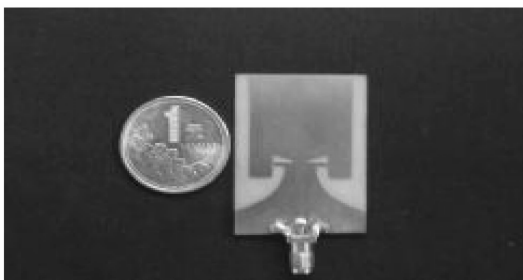


图 6 天线实物照片

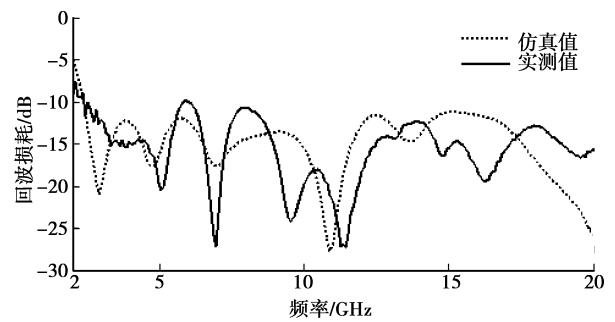


图 7 实测值与仿真值的对比

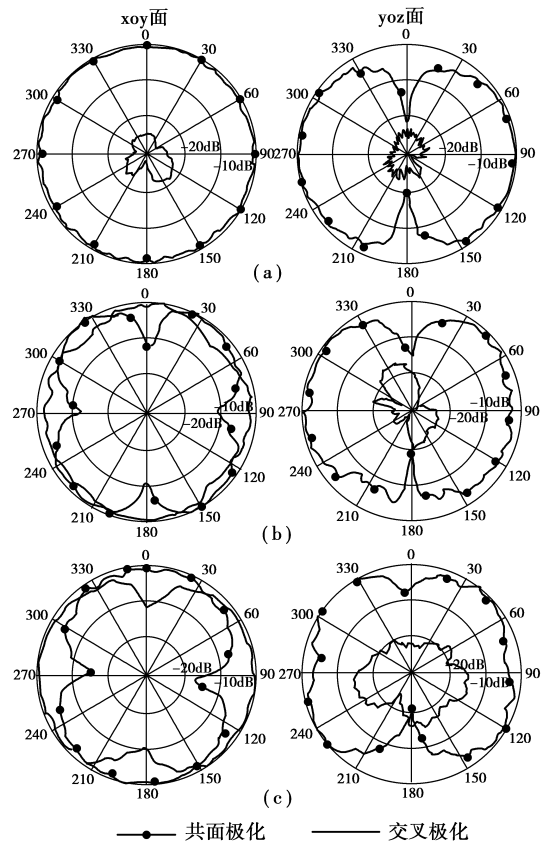


图 8 实测远场方向图:(a)2.3;(b)10;(c)15

4 结 语

常规矩形印刷单极子天线的带宽要小于圆形或椭圆形单极子天线,然而通过设计合理的馈电边缘结构可以有效展宽该类天线的带宽。所设计的天线与传统结构相比相对带宽展宽了近 2 倍,电性能良好,具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] AMMANN M J, CHEN Z N. Wideband monopole antennas for multi-band wireless systems [J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(2): 146-150.

- [2] ANTONINO D E, CABEDO F, FERRANDO B M, et al. Wideband double-fed planar monopole antennas [J]. *Electronics Letters*, 2003, 39(23):1635-1636.
- [3] LIANG J, CHIAU C C, CHEN X, et al. Analysis and design of UWB disc monopole antennas [C/OL]//The IEE Seminar on Ultra Wideband Communications Technologies and System Design, Queen Mary, University of London, July 8, 2004, 103-106 [2004-11-22]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1356321.
- [4] LIANG J, CHIAU C C, CHEN X, et al. Study of a printed circular disc monopole antenna for UWB systems [J]. *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, 2005, 53(11):3500-3504.
- [5] OJAROUDI M, GHOBADI C, NOURINIA J. Small square monopole antenna with inverted T-shaped notch in the ground plane for UWB application [J]. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 2009, 8: 728-731.
- [6] LIANG X L, ZHONG S S, WANG W. UWB printed circular monopole antenna [J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2006, 48(8): 1532-1534.
- [7] WEI T, HU Z R. A CPW fed circular monopole antenna for ultra wideband wireless communications [C/OL]// *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, July 3-8, 2005 [2005-12-12]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1552304.
- [8] CHEN N W, LIANG Y C. Coplanar-waveguide fed circular disc monopole antenna with improved radiation characteristics [J]. *IET Digest*, 2007: 92.
- [9] LIANG J, GUO L, CHIAU C C, et al. Study of CPW-fed circular disc monopole antenna for ultra wideband applications [J]. *IEEE Proceedings on Microwaves, Antennas and Propagation*, 2005, 152(6): 520-526.
- [10] LEE C M, YO T C, LUO C H, et al. Broadband disk monopole antenna with a circular CPW-feeding line [C/OL]// *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Honolulu, HI, June 9-15, 2007, 773-776 [2007-12-06]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4395608&tag=1.
- [11] ZHONG S S, LIANG X L, WANG W. Compact elliptical monopole antenna with impedance bandwidth in excess of 21:1 [J]. *IEEE Transactions on Antennas Propagation*, 2007, 55(11):3082-3085.
- [12] 何小祥, 邓宏伟. 改进的圆形超宽带印刷天线 [J]. *南京航空航天大学学报*, 2008, 25(3): 214-218.
HE XIAO-XIANG, DENG HONG-WEI. Modified ultra wideband circular printed monopole antenna [J]. *Transactions of Nan Jing University of Aeronautics and Astronautics*, 2008, 25(3):214-218.
- [13] 曹海林, 杨力生, 陈姝雨, 等. 一种新型超宽带杯形单极子天线设计 [J]. *重庆大学学报*, 2009, 32(3):328-331.
CAO HAI-LIN, YANG LI-SHENG, CHEN SHU-YU, et al. The design of a novel ultra-wideband cup-shaped monopole antenna [J]. *Journal of Chongqing University*, 2009, 32(3):328-331.
- [14] ABED D, KIMOUCHE H, ATROUZ B. Small-size printed CPW-fed antenna for ultra-wideband communications [J]. *Electronic Letters*, 2008, 44(17): 1003-1005.
- [15] ABEGAONKAR M P, CHHIKARA Y, BASU A, et al. Tapered-CPW fed printed triangular monopole antenna [C/OL]// *First European Conference on Antennas and Propagation*, November 6-10, 2006, 1-4 [2008-08-01]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=4585070.
- [16] LAOHAPENSAENG C, FREE C, ROBERTSON I D. Simplified analysis of printed strip monopole antenna fed by a CPW [C/OL]// *Asia-Pacific Conference Proceedings on Microwave*, SuZhou, December 4-7, 2005, 4-7 [2006-03-20]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1606956.
- [17] JOHN M, AMMANN M J. Optimization of impedance bandwidth for the printed rectangular monopole antenna [J]. *Microwave and Optical Technology Letters*, 2005, 47(2): 153-154.
- [18] RAY K P, RANGA Y. Printed rectangular monopole antennas [C/OL]// *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, Albuquerque, New Mexico, USA, July 9-14, 2006, 1636-1639 [2006-10-23]. http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?arnumber=1710888.
- [19] RAY K P, RANGA Y, GABHALE P. Printed square monopole antenna with semicircular base for ultra-wide bandwidth [J]. *Electronic Letters*, 2007, 43(5): 13-14.

(编辑 侯湘)