

文章编号 1005-0388(2012)02-0222-06

频率可重构超宽带天线研究

田雨波 谭冠南

(江苏科技大学电子信息学院, 江苏 镇江 212003)

摘 要 超宽带天线和可重构天线是当今天线领域研究的热点。将可重构天线技术应用到超宽带天线设计中, 讨论了频率可重构超宽带天线的设计思路。以印刷单极子椭圆天线为原型, 给出了两个可重构天线的具体结构, 并对天线进行了可重构带阻设计, 避免与相关频段之间的干扰。仿真结果表明: 重构后天线 II 的低频获得了扩展, 其相对尺寸的长和宽分别减小到最大工作波长的 0.116 倍和 0.087 倍, 工作频段为 0.174~10.9 GHz, 可重构阻带为 5.1~5.95 GHz, 带宽比可高达 62:1。

关键词 超宽带天线; 可重构天线; 可重构带阻

中图分类号 TN822.8

文献标志码 A

Frequency reconfigurable UWB antenna

TIAN Yu-bo TAN Guan-nan

(School of Electronics and Information, Jiangsu University of
Science and Technology, Zhenjiang Jiangsu 212003, China)

Abstract Nowadays, UWB antennas and reconfigurable antennas are both hot research fields. In this paper, the technology of reconfigurable antenna is applied to ultra-wideband antennas, and the basic design idea of frequency reconfigurable UWB antenna is discussed. Based on the elliptical planar monopole antenna, two reconfigurable UWB antennas are presented. In order to avoid interference with other communication band, an antenna is designed with a reconfigurable band-notch. The simulation results of antenna II show that after reconfiguration, the LF band is extended. Simultaneously, the length and width of relative size are reduced to 0.116 and 0.087 times of the maximum operating wavelength. The antenna II operates at 0.174~10.9 GHz, and the reconfigurable notched band is 5.1~5.95 GHz. Moreover, the bandwidth ratio is 62:1.

Key words UWB antenna; reconfigurable antenna; reconfigurable notched-band

引 言

随着科学技术的发展, 无线传输技术在人们的生产生活中发挥着越来越重要的作用。为了满足宽带化的需要, 对超宽带天线的研究具有重要的意义^[1]。从目前的研究来看, 常见的平面结构的超宽

带天线主要包括平板单极子天线^[2]、印刷单极子天线^[3-4]和印刷宽缝天线^[5]等形式。印刷单极子天线由平板单极子天线演变而成, 并且由于其易于与电路集成等优点, 获得了快速发展。然而由于天线的最低工作频率与天线的尺寸相关, 目前扩展低频段主要的方法是增大天线物理尺寸。

收稿日期: 2011-05-16

基金项目: 船舶工业国防科技预研基金项目(10J3.5.2); 江苏高校优势学科建设工程资助项目

联系人: 谭冠南 E-mail: tanguannan@163.com

为了实现现代通信系统向着大容量、多功能、超宽带的方向发展,可重构天线的概念被提出并得到了广泛的研究与发展。可重构天线的概念是在1983年由 Schaubert 等在其专利中首次被提出^[6],1999年美国国防部高级研究计划署组织了12家著名的大学、研究所和公司,制定实施了名为“可重构孔径”的研究计划^[7]。近年来,由于通信系统的飞速发展,可重构天线的发展成为天线研究领域的一个热点,不断有新的设计方法与天线模型出现^[8]。

基于以上研究,将可重构天线技术应用到超宽带天线的设计中,在不改变天线尺寸的情况下扩展天线的工作频率。以文献[4]所给出的印刷椭圆形单极子天线为原型,运用可重构天线技术扩展低频段,使天线的相对尺寸明显的降低,并研究了天线的阻带特性。设计了两个可重构超宽带天线,较重构前相比,低频都有所扩展,天线 I 工作在 $0.36 \sim 11.5$ GHz,天线 II 工作在 $0.174 \sim 10.9$ GHz,并且具有可重构带阻特性。

1. 可重构超宽带天线设计

用 HFSS 仿真软件对文献[4]的天线进行仿真,结果表明,天线覆盖频率为 0.42~10.6 GHz,与文献中给出的仿真结果 0.4~9.51 GHz 基本吻合,表明用 HFSS 软件对天线仿真的正确性,差别主要是由于仿真软件的不同引起的。所有仿真结果均是在 HFSS 环境下进行的。图 1 显示的是用 HFSS 仿真得出的印刷单极子椭圆天线在 0.45 GHz 时贴片表面电流分布图,可以看出,低频段工作时,电流主要分布在馈线部分。由于天线的工作频率与电流有效长度有关^[9],当电流有效长度变长时,天线的工作频率下降;当电流有效长度变短时,天线的工作频率升高。通过以上分析可以得出,延长馈线长度可以降低天线的低频段工作频率。在此基础上,设计

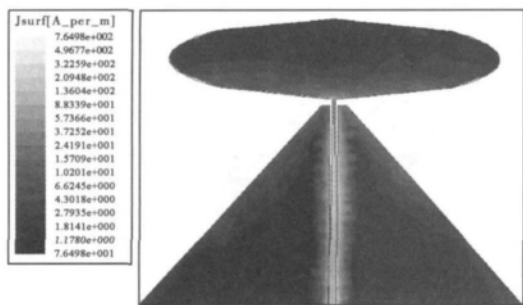


图 1 天线表面电流分布图

了两个可重构天线:天线 I 的设计验证了本文所提出的频率可重构方法的可行性;在天线 I 的基础上,设计了一个具有频率可重构和带阻可重构特性的超宽带天线 II。

1.1 天线 I 的设计

1. 1. 1 天线 I 的基本结构

天线 I 的基本结构如图 2 所示,主要结构尺寸参数如表 1 所示。天线采用共面波导结构,两边地之间的距离为 W ,介质基片的介电常数为 3.48。馈线采用渐变结构,起到阻抗匹配的作用。馈线下端宽度为 W_{bot} ,对应 $50\ \Omega$ 的连接阻抗,馈线上面宽度为 W_{top} ,对应 $100\ \Omega$ 的阻抗匹配。椭圆贴片的横轴与纵轴长度分别为 $2a$ 和 $2b$ 。天线 I 是在文献[4]的基础上,将中心馈线延长,延长的馈线宽度依然为 W_{top} 。为了减小当馈线延长时两边的椭圆贴片的电磁耦合,在椭圆贴片延长馈线两侧开两个矩形槽。在椭圆贴片底部加上一对微机电系统(MEMS)开关,开关尺寸为 $0.5\text{ mm} \times 0.5\text{ mm}$ 。当开关断开时,天线的馈线得以延长,最低工作频率降低;当开关闭合时,天线实现超宽带特性。

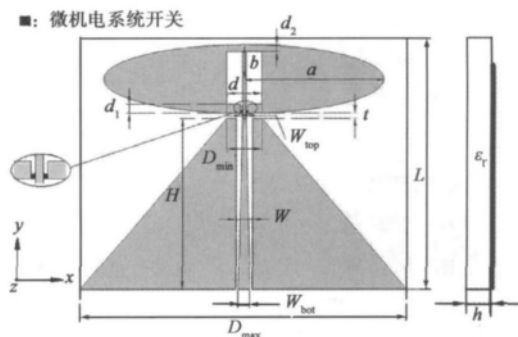


图 2 天线 I 的基本结构

表 1 天线 I 主要结构尺寸参数(单位:mm)

$D_{\max}$	$D_{\min}$	L	W_{bot}	W_{top}	W	H
140	9	110	2. 7	1	3	75
a	b	d	d_1	d_2	t	h
60	30	9	4	2	2. 3	1. 524

1.1.2 天线 I 的工作方式以及仿真结果

当开关闭合时,天线实现超宽频段工作;当开关断开时,天线馈线变长,表面电流变长,频率降低,实现低频率的重构。天线的主要工作方式如表 2 所示(在 HFSS 仿真中,当开关闭合时,采用等大小的标准完美电导体(PEC)结构模拟连接;当开关断开时,去掉 PEC 结构),开关断开前后的回波损耗仿真如

图 3 所示。

表 2 天线 I 的主要工作方式

工作方式	工作频段
开关断开	360~461 MHz, 3.28~4.16 GHz
开关闭合	450 MHz~3.5 GHz, 3.58~11.5 GHz

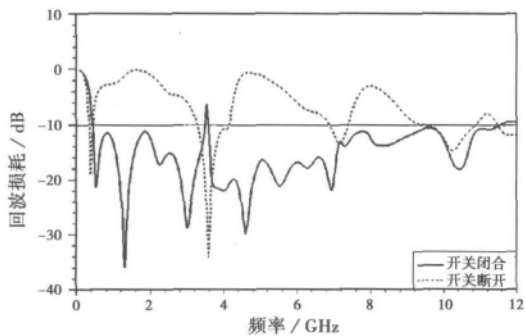


图 3 天线 I 回波损耗

由表 2 可以看出,开关闭合时,天线的最低工作频率为 450 MHz,较重构前天线的 420 MHz 有所升高,这是由于椭圆贴片对低频也有所贡献,矩形开槽处理影响了天线的低频特性。开关断开后,天线的最低工作频率降低到 360 MHz,较重构前的 420 MHz 有所降低。天线的尺寸由开关断开前的 $0.21\lambda_{\max} \times 0.165\lambda_{\max}$ 减小到开关断开后的 $0.17\lambda_{\max} \times 0.132\lambda_{\max}$ 。由仿真结果可以看出:通过开关的重构,天线 I 能很好地覆盖 0.36~11.5 GHz 的工作频段。

1.2 天线 II 的设计

1.2.1 天线 II 的基本结构

天线 II 的基本结构如图 4 所示,主要结构参数如表 3 所示。天线 II 是在天线 I 的基础上延长椭圆的纵轴长度,然后用上面提出的延长馈线的方法来

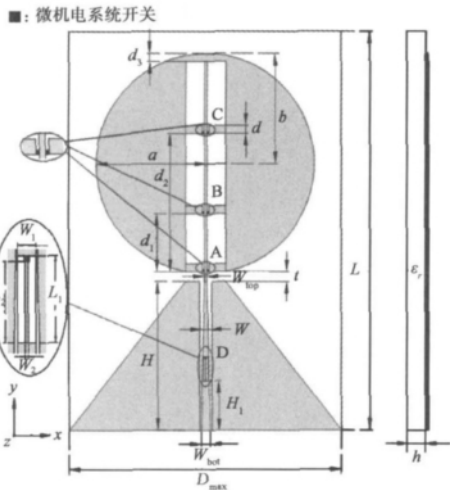


图 4 天线 II 的基本结构

降低天线的最低工作频率。在馈线两侧的适当位置上放置 MEMS 开关,随着开关的通断,馈线不断变长,电流长度不断延长,使最低工作频率不断降低,进而实现超宽带的频率可重构。

表 3 天线 II 的主要结构参数(单位:mm)

$D_{\max}$	L	a	b	d
150	200	60	55	2
d_1	d_2	h	H_1	d_3
30	70	1.524	25	2
W_1	W_2	t	L_1	L_2
1.3	0.3	2.42	9	8.5

超宽带天线因其带宽很宽,发射功率相对较小,为避免和邻近的局域网通信协议 IEEE 802.11a 相干扰,所以需要加入带阻滤波。传统的带阻滤波装置是在系统前端加入带阻滤波器,但是这样会增加系统复杂度与成本。最简单直接的方法就是使超宽带天线在相应的频段内具有较大的反射系数、出现“陷波”(带阻)特性而呈现收发“钝态”^[10]。目前常用的做法是在贴片上开槽^[11]、载入寄生元^[12]和采用分形枝节^[13]等来实现带阻功能,这些方法易于控制和系统集成。本文采用在馈线部分增加一个带有开关的宽缝调谐枝节^[14],这样沿调谐枝节会产生相应长度的电流,破坏了相应频点上天线的辐射特性,从而产生阻带。通过对调谐枝节的参数扫描仿真,设计了在 IEEE 802.11a 通信协议(5.15~5.825 GHz)的可重构阻带。

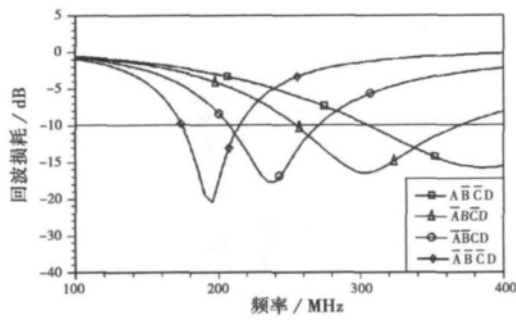
天线 II 一共具有 4 个开关,分别为开关 A、开关 B、开关 C 和开关 D,开关 A、B、C 主要用来重构天线的低频段,开关 D 主要用来重构天线在超宽带工作时的阻带。通过调节四个开关的通断,实现频率的可重构。

1.2.2 天线 II 的工作方式以及仿真结果

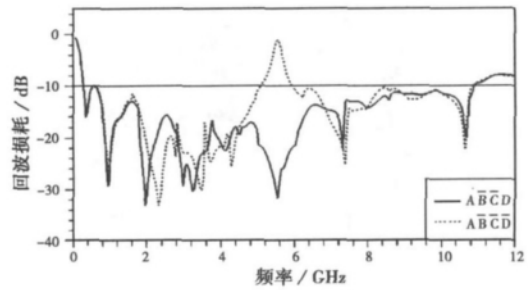
控制 A、B、C、D 四个开关的通断,重构天线的工作频率。天线重构的主要思想是延长贴片表面的电流有效长度,进而降低天线的工作频率。通过 HFSS 仿真表明,当开关 A、D 闭合时,天线的工作频段与天线加入重构思想前基本一样,最低工作频率都为 305 MHz。天线的主要工作方式如表 4 所示(A:表示开关 A 闭合;A̅:表示开关 A 断开),回波损耗仿真如图 5 所示。

表 4 天线 II 的主要工作方式

开关状态	主要工作频段
ABCD	305 MHz~5.1 GHz, 5.95~10.9 GHz
ABCD	305 MHz~10.9 GHz
A̅BCD	255~370 MHz
A̅BCD	207~270 MHz
A̅B̅CD	174~215 MHz



(a) 频率可重构回波损耗仿真

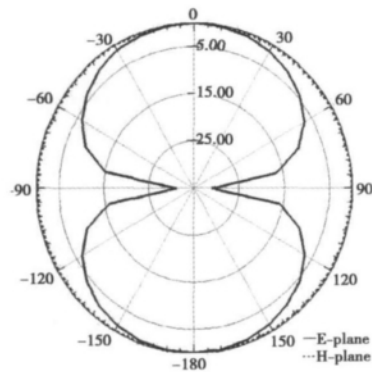


(b) 可重构带阻特性的回波损耗仿真

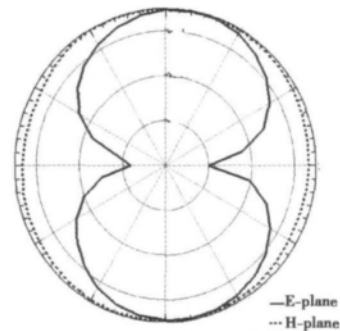
图 5 天线 II 回波损耗仿真

由仿真结果可以看出,天线 II 通过 MEMS 开关重构,工作频率从 305 MHz 降低到 174 MHz,天线的尺寸从重构前的 $0.153\lambda_{\max} \times 0.23\lambda_{\max}$ 减小到重构后的 $0.087\lambda_{\max} \times 0.116\lambda_{\max}$,可以看出,重构后有效地减小了天线的相对尺寸。并且利用可重构天线的概念,实现了天线在 174 MHz~10.9 GHz 的工作频段,带宽比高达 62.6:1,基本覆盖了 0~10 GHz 的工作带宽。并且在超宽带工作时,具有 5.1~5.95 GHz 的可重构带阻特性,可以实现对 IEEE 802.11a 通信协议的阻带。可重构超宽带天线在

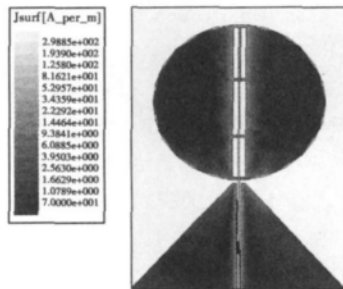
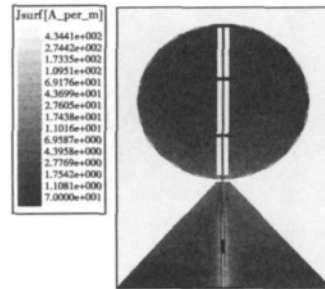
0.2 GHz、1 GHz、6.5 GHz 和 10 GHz 的 E/H 面方向图和表面电流分布图如图 6 所示。通过对方向图的分析可以看出,随着工作频率的升高,方向图波纹增多,这是由于当频率相对较高时,贴片表面出现的横向电流和反向电流引起的。尽管如此,天线在整个频段内仍然具有良好的全向辐射特性。通过天线表面电流分布图可以明显的看到,当天线工作在低频,如 0.2 GHz 的时候,表面电流主要分布在馈线及其延长部分;在高频时,表面电流主要分布在馈线和椭圆形贴片的边缘上。



(a) 方向图



(a) 方向图

(b) 表面电流分布图
(1) $f=0.2$ GHz(b) 表面电流分布图
(2) $f=1$ GHz

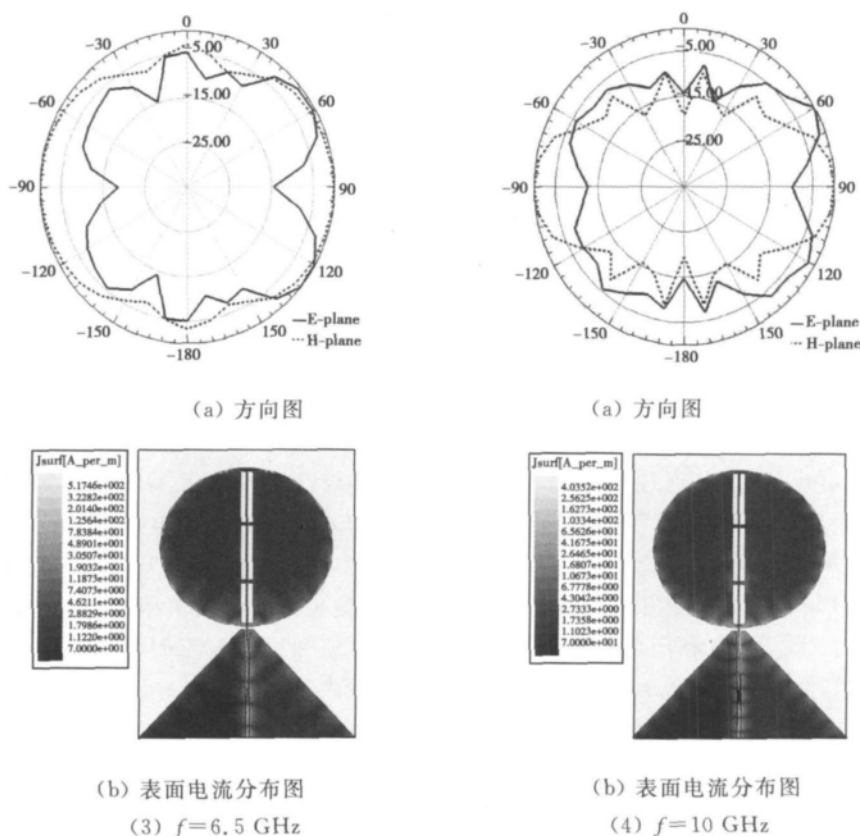


图6 天线Ⅱ方向图

2. 结 论

本文成功的将可重构天线技术应用到超宽带天线的设计中,通过延长馈线长度,降低天线的工作频率,并结合可重构天线技术,在馈线的两侧适当位置加入开关,扩展了天线的工作带宽。同时,为了避免与常用的局域网通信协议 IEEE 802.11a 相互干扰,所设计的天线能够根据需要将其频段阻断。仿真结果表明:天线的相对尺寸有很明显的减小,且在整个工作频段内能很好的保持全向性。文中讨论的可重构超宽带天线易于加工和电路集成,具有实用价值,能广泛应用于超宽带系统中。

参考文献

- [1] 钟顺时,梁仙灵,延晓荣. 超宽带平面天线技术[J]. 电波科学学报, 2007, 22(2): 308-315.
ZHONG Shunshi, LIANG Xianling, YAN Xiaorong. UWB planar antenna technology[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2007, 22(2): 308-315. (in Chinese)
- [2] BAI Xiaofeng, ZHONG Shunshi, LIANG Xianling. Leaf-shaped monopole antenna with extremely wide bandwidth[J]. Microwave and Optical Technology

Letters, 2006, 48(7): 1247-1250.

- [3] XIA Y Q, DUAN Z G. Compact CPW-fed dual ellipses antenna for ultra-wideband system[J]. Electronics Letters, 2008, 44(9): 567.
- [4] LIANG X L, ZHONG S S, WANG W. Elliptical planar monopole antenna with extremely wide bandwidth [J]. Electronics Letters, 2006, 42 (8): 441-442.
- [5] HOOD A Z, KARACOLAK T, TOPSAKAL E. A small antipodal vivaldi antenna for ultrawide-band applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008, 7: 656-660.
- [6] SCHAUBERT D, FARRAR F, HAYES S, et al. Frequency-agile, polarization diverse microstrip antennas and frequency scanned arrays: US, 4367474 [P]. 1983-01-04.
- [7] SMITH J K. Reconfigurable program (RECAP). DARPA(美国国防高级研究计划署), 1999.
- [8] 王安国,张佳杰,王 鹏,等. 可重构天线的研究现状与发展趋势[J]. 电波科学学报, 2008, 23(5): 997-1002+1008.
WANG Anguo, ZHANG Jiajie, WANG Peng, et al. Recent research and developing trends of reconfigurable antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2008, 23 (5): 997-1002+1008.

(下转第 306 页)

442. (in Chinese)

- [15] CHEN Peng, HONG Wei, KUAI Zhenqi. Substrate integrated waveguide fed printed dipole array antenna for isolation the RF front-end from the antenna[C]// Microwave and optical technology letters, 2009, 51: 557-562.
- [16] XU Junfeng, HONG Wei, CHEN Peng, et al. Design and implementation of low sidelobe substrate integrated waveguide longitudinal slot array antennas [J]. IET Microwaves Antennas Propagat., 2009, 3 (5):790-797.
- [17] ZHAI Guohua, HONG Wei, WU Ke, et al. Wide band substrate integrated printed log-periodic dipole array antenna[J]. IET Microwaves Antennas Propagat., 2010, 4(7):899-905.
- [18] CHENG Jujian, HONG Wei, WU Ke. Millimetre-wave monopulse antenna incorporating substrate integrated waveguide phase shifter[J]. IET Microwaves Antennas Propagat., 2008, 2(1):48-52.
- [19] MLILGAM T S. Modern Antenna Design[M]. 2nd ed, New York:Wiley, 2005.
- [20] POZAR D M. Microwave Engineering[M]. 3rd ed, New York:Wiley, 2004.
- [21] CST Microwave Studio, User Manual[M] 5th ed. Germany:CST GmbH, Darmstadt, 2004.

作者简介

余 晨 (1979—),女,江苏人,东南大学电磁场与微波技术专业博士,东南大学副研究员,主要从事微波器件科研和教学工作。



洪 伟 (1962—),男,河北人,1982 年于郑州信息工程大学获学士学位、1985 和 1988 年分别于东南大学获硕士、博士学位。现为东南大学信息科学与工程学院教授、博士生导师,教育部长江学者特聘教授,毫米波国家重点实验室主任。主要从事电磁理论与微波技术方面的科研与教学工作。

周健义 (1972—),男,江苏人,1993 年 7 月、1996 年 3 月和 2001 年 11 月于东南大学无线电工程系获学士、硕士和博士学位。现任东南大学信息科学与工程学院教授、博士生导师。从事电磁场理论、微波电路、移动通信射频系统等方面的科研和教学工作。

(上接第 226 页)

- [9] T. Al-Maznaee, H. E. Abd-El-Raouf. Design of reconfigurable patch antenna with a switchable V-slot[J]. Progress In Electromagnetics Research C, 2009, 6: 145-158.
- [10] 吕文俊,朱洪波. 陷波特性和平面超宽带天线的研究进展[J]. 电波科学学报, 2009, 24(4):780-785.
LV Wenjun, ZHU Hongbo. On the frequency notched planar ultra-wideband antennas[J]. Chinese Journal of Radio Science, 2009, 24(4):780-785.
- [11] Arezou Edalati, Tayeb A. Denidni. A compact UWB antenna with dual band-notched characteristics [J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2010, 52 (5):1183-1186.
- [12] A. M. Abbosh, M. E. Bialkowski. Design of UWB planar band-notched antenna using parasitic elements [J]. IEEE Transactions on Antenna and Propagation, 2009, 57(3):796-799.
- [13] Y. Song, Y. C. Jiao, T. L. Zhang, et al. . Frequency notched UWB slot antenna with a fractal-shaped slot [J]. J. of Electromagn. Wave and Appl., 2009, 23: 321-327.

- [14] Li-Na Zhang, Shun-Shi Zhong, Chen-Zhu Du, et al. . Compact UWB planar monopole antenna with band-notch function[J]. Microwave and Optical Technology Letters, 2009, 51(8):1908-1911.

作者简介



田雨波 (1971—),男,满族,辽宁人,江苏科技大学教授,博士,2009 年到美国 UCLA 做访问学者。目前主要研究方向为计算智能应用于电子学与电磁学问题。



谭冠南 (1988—),男,江苏人,江苏科技大学电子信息学院硕士生,主要研究方向为可重构天线。