

doi:10.3969/j.issn.1001-893x.2014.02.022

引用格式:黄梦雅,丁召,胡明哲. UWB 天线的宽带化技术及其发展[J]. 电讯技术,2014,54(2):236-244. [HUANG Meng-ya,DING Zhao,HU Ming-zhe. Ultra-wide Band Technology and its Development of UWB Antennas[J]. Telecommunication Engineering,2014,54(2):236-244.]

UWB 天线的宽带化技术及其发展*

黄梦雅,丁 召,胡明哲**

(贵州大学 电子信息学院 电子科学系,贵阳 550025)

摘 要:在现代通信技术中,为了实现通信保密、排除干扰、提高通信效率等,超宽带系统得到了大力发展,然而,在一定程度上却受制于系统中超宽带天线的阻抗带宽。详细介绍了展宽天线阻抗带宽的 4 种方法,包括渐变阻抗方法、分形几何方法、微带天线开槽方法和非频变结构方法,其中分形几何方法由于其几何结构的自相似性使得其贴片电流分布具有自相似性,从而导致天线的多频点谐振,有效拓展了天线带宽。上述 4 种天线尽管作用原理互不相同,但在超宽带天线的工程应用中,研究者可将这些方法单独或同时应用于天线结构设计,使得天线既能保持良好的方向性和增益等性能,又能获得较大带宽。

关键词:超宽带天线;阻抗带宽;渐变结构;分形结构;开槽技术;非频变技术

中图分类号:TN821 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-893X(2014)02-0236-09

Ultra-wide Band Technology and its Development of UWB Antennas

HUANG Meng-ya,DING Zhao,HU Ming-zhe

(Department of Electronic Science,College of Electronics and Information,Guizhou University,Guiyang 550025,China)

Abstract:In modern communication technology,multi-band technology and ultra-wideband (UWB) systems are widely employed in order to achieve confidential communication,eliminate interference as well as improve communication efficiency. However,the impedance bandwidth of antennas in these systems hinders the development of UWB systems to some extent. In this technology background,this paper investigates four techniques which can broaden the impedance bandwidth of antennas. These methods include gradient structure,fractal structure,slotted structure on micro-strip antennas as well as frequency independent technology. Among them,the fractal structure due to the self-similarity of its geometry makes its current distribution has self-similarity on the patch,resulting in several multi-frequency resonance points in the antenna,which will effectively broaden the bandwidth of the antenna. Although the theoretical principles of broadening bandwidth of the four methods are different,researchers can apply these techniques separately or simultaneously in UWB antennas in engineering applications. The application of these methods guaranties microwave antennas to possess maximum bandwidth,optimum gain and meanwhile good radiation pattern.

Key words:UWB antenna;impedance bandwidth;gradient structure;fractal structure;slot;frequency independent

1 引 言

成熟,超宽带无线技术也已经从军用普及至商用和民用中。天线作为无线通信系统中接收和发射信号

现代电磁学历经 300 多年的发展,至今已日趋

* 收稿日期:2013-10-30;修回日期:2014-01-10 Received date:2013-10-30;Revised date:2014-01-10

基金项目:贵州省自然科学基金资助项目(20132092);贵州省教育厅重点项目(2013070472)

Foundation Item:The Natural Science Foundation of Guizhou Province (No. 20132092);The Research Foundation of Education Bureau of Guizhou Province (No. 2013070472)

** 通讯作者:mingzhe_hu@163.com Corresponding author:mingzhe_hu@163.com

的设备,其性能直接影响到超宽带系统的性能。纵观天线的发展历史,其功能、设计及制造工艺都发生了很大的变化。

天线的发展起源于 19 世纪 Hertz 对无线电波的研究,经历了无线电通信、窄带通信、宽带通信到目前的超宽带通信,其对天线带宽的要求不断增高,其形态也从制作工艺相对复杂、难以集成的三维结构向更简单的二维结构转变。目前,研究者们所设计的超宽带天线其相对带宽虽然已可超过 100%^[1-3],但仍然无法完全满足现代通信的需要,其原因主要是目前天线的发展已经面临一个相对较大的困难,即难以设计出既可以大幅度提高阻抗带宽又可以保证其他电特性稳定的新型超宽带天线,以满足通信要求。天线宽带化技术的研究,可以为展宽天线带宽提供指导,从其原理出发,研究它们影响天线带宽的机理,以找出较为合理的宽带化方法。

2 UWB 系统及 UWB 天线的发展背景

超宽带无线技术(Ultra-Wide Band,UWB)起源于 20 世纪 60 年代对时域电磁学的研究,最初主要应用于军事雷达、隐秘通信等领域。美国军方于 1990 年正式提出了超宽带无线通信的概念,其定义是信号的相对带宽(Fractional Bandwidth)大于 25%的任何波形^[4]。2002 年美国联邦通信委员会(Federal Communications Commission,FCC)批准了 3.1 ~ 10.6 GHz 的频段免授权分配给商用超宽带无线通信系统,加上信号处理技术和电路集成技术的迅猛发展,使得超宽带系统的民用和商用成为可能。超宽带系统虽然得到了长足发展,其性能仍然受到系统中负责发送和接收信号的超宽带天线的性能制约。从 19 世纪起,研究者就开始了对抗天的研究,但至今设计一种各种性能都较为完美的超宽带天线仍然是困难的。

19 世纪末 H. Hertz 及其同时期的 C. Hughes 和 O. Lodge 开展了对无线电波的研究,并且由 Hertz 提出了无线电波的框架。1897 年 J. C. Bose 发明并制作了第一个无线电收发系统,由此无线电波及天线的发展拉开了帷幕。之后,无线电通信逐渐发展成为窄带通信,并被窄带通信替代,因此无线电频率范围几乎不需被考虑进天线的工作范围,研究者将研究重点转向窄带天线。到 20 世纪 30 年代,随着通信频率增高,波长变短,对天线的阻抗带宽要求变高,至 1933 年调频信号的应用对频率要求达到 150 kHz 甚至更高。同时,电视的发展对通信频率的要求达 6 MHz,这使得一些具有宽带特性的天

线被发明,如 Harold Wheeler^[5]发明的双锥天线、George Southworth^[6]发明的喇叭天线(如图 1 所示),以及 Alan Blumein^[7]发明的槽线天线等,这些天线已经具有了宽频带特性。但这些天线多是三维的,制作工艺复杂,成本高。直至 1952 年二维天线正式提出,其成本低廉,制作简单,使得天线更容易安装和使用。非频变天线也在同一时期被 John. D. Dyson^[8]提出(如图 2 所示),其依据非频变原理制作了天线实物(如图 3 所示)^[9],其带宽相对较宽,且其方向性较好。此后,研究者在上述天线的基础上不断改进和创新,展宽了天线的阻抗带宽。20 世纪 70 年代,分形几何的提出也为超宽带天线的设计提供了新的思路^[10-11]。到 20 世纪初随着 FCC 批准了 3.1 ~ 10.6 GHz 的频段免授权分配给商用超宽带无线通信系统,超宽带天线的研究掀起了新的热潮。

经过 3 个世纪,超带宽天线已经取得长足的发展,现已衍生出分形天线、平面单极子天线、平面多层天线等多种新型超宽带天线。随着超宽带频段的开放,民用及商用超宽带系统蓬勃发展,对超带宽天线提出小型化、低剖面、多工作频段等要求。随着超宽带系统向高数据传输率和低频谱功率密度发展,天线已经成为限制其发展的主要因素。超带宽天线在不断提高阻抗带宽的前提下,需同时满足增益、全方向性等要求,各参数间相互制约,尚需进一步平衡提高。

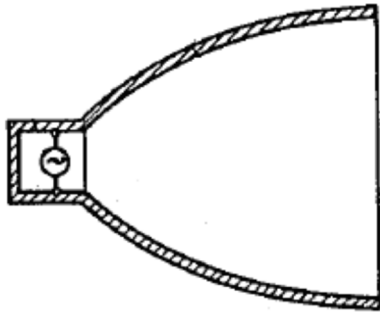


图 1 G. Southworth 发明的喇叭天线
Fig. 1 Horn antenna invented by George Southworth

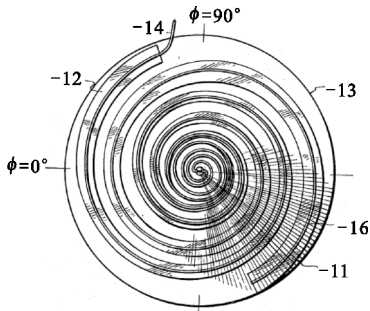


图 2 John. D. Dyson 提出的非频变天线
Fig. 2 Frequency independent antenna proposed by John. D. Dyson



图3 John. D. Dyson 制作的非频变天线实物
Fig.3 Frequency independent antenna in-kind made
by John. D. Dyson

3 UWB 天线的宽带化技术

3.1 渐变结构(连续渐变和阶梯渐变)

渐变结构主要应用于槽线天线,有交叉极化小、结构简单、辐射性能良好的特点。它主要应用于平面天线,能够与射频集成电路集成,在阻抗带宽方面有优异表现。渐变结构平面天线又可分为直线型渐变结构平面开槽天线(Linearly Tapered Slot Antenna, LTSA)、指数型渐变线结构平面开槽天线(Vivaldi)以及固定宽度槽天线(Constantine Width Slot Antenna, CWSA),其中指数渐变线结构印刷缝隙天线的带宽及增益特性相对良好。从天线的辐射原理来看,渐变槽线天线是行波天线,行波天线的辐射示意图如图4所示。

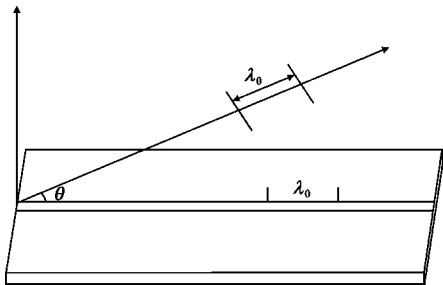


图4 行波天线的辐射示意图
Fig.4 Radiation schematic of traveling wave antenna

天线中传播的导行波 λ_g 和自由空间中的平面波 λ_0 的关系式为

$$\lambda_g = \lambda_0 \cos \theta \tag{1}$$

为使天线的导行波能够辐射到自由空间中,天线中的导行波波长应大于等于自由空间中波长,因

此导行波的相速必须遵循下式:

$$v_p = \lambda_g \omega / 2\pi = \lambda_0 \omega / 2\pi \cos \theta = c / \cos \theta \geq c \tag{2}$$

式中, c 为光速,行波在 $v_p \geq c$ 时称为漏波或快波,它能够在传输过程中持续辐射能量;在 $v_p < c$ 时,称为表面波,表面波在金属表面呈指数衰减,它只在边缘处有一定辐射。渐变槽线天线利用端射模式,此时 $\theta = 0$,能够有效辐射能量。天线的品质因数定义为

$$Q = \frac{\omega W}{P} \tag{3}$$

式中, W 为时间平均系统储能, P 为平均散耗能量^[12]。由式(3)可看出,存储能量越多,即散耗能量越少,品质因数越大,导致带宽越小。渐变结构缩小了天线末端的几何尺寸,利用端射模式,使得能量能够有效辐射到自由空间,减小天线品质因数,提高天线带宽。另外,渐变结构使得表面电流沿着圆滑路径流动来实现阻抗变换,也在一定程度上提高了带宽。利用渐变结构设计的天线带宽较宽,但尺寸较大。

1974 年, Lewis 等第一次提出了渐变槽线天线^[13],将这种有渐变结构的单元组成天线阵结合带状馈电方式,每一个单元的尺寸都具有 $1/2$ 波长,使其具有“多倍频程和多极化特性”。Yingsong Li^[14]等设计双频渐变槽线天线如图4所示,利用弧形渐变,将两个相同的弧形结构组合,这种结构有效提高了辐射效率,使阻抗带宽达 129.2%,且具有全向性,能够同时用于 GSM、CDMA2000、WCDMA、WLAN、WiMAX 等。Fenghan Li^[15]设计了在 0.7 ~ 20 GHz 内可正常工作的渐变槽线天线,如图6所示,且有低交叉极化特性。Amin M. Abbosh^[16]等利用微带馈电与渐变结构相结合设计了槽线天线,保证天线在 1.3 ~ 11 GHz 频段内可正常工作,并缩小了天线尺寸。

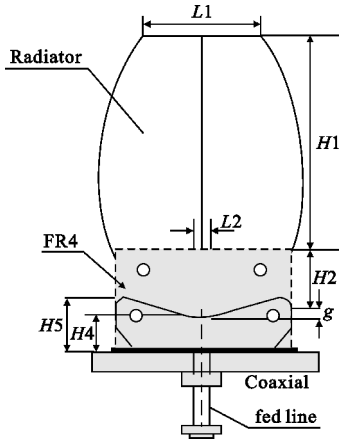


图5 LI Ying-song 设计的天线
Fig.5 Antenna designed by LI Ying-song

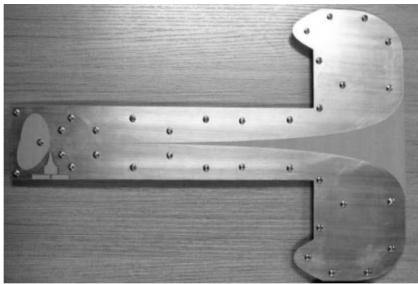


图 6 LI Feng-han 设计的天线
Fig. 6 Antenna designed by LI Feng-han

由对渐变槽线天线的分析看出,在展宽槽线天线阻抗带宽的同时,需要克服其物理尺寸较大的问题,以便将其集成到集成电路中。可以选择在已有的渐变结构中,对天线进行开槽,以使其结构复杂,有较大的电尺寸,从而缩小其物理尺寸。另外,由于渐变槽线天线多由槽线馈电,通过调整槽线和传输线的转换结构,使其提供良好的超宽带阻抗匹配特性,使得相同结构下的天线具有更宽的阻抗带宽,是可行的。

3.2 刻槽技术

刻槽技术多用于提高微带天线的带宽,这种技术起源于缝隙天线。缝隙天线的概念由 Marie^[17]提出,他通过改变槽线的宽度提高天线的带宽。对微带天线的开槽或者加缝,使得一部分贴片的电流路径沿着开槽发生弯曲,因此电流路径的有效长度变长,谐振频率降低,品质因数降低。若假设微带天线的驻波比 ρ 为一定值,可以得到其带宽为

$$BW = \frac{\rho - 1}{\sqrt{\rho} Q} \times 100\% \tag{4}$$

由式(4)可以看出,品质因数与带宽成反比,品质因数的降低,使得天线带宽增大^[18]。实验证明,微带天线开槽对天线各参数均有影响,可以提高天线的带宽,实现小型化。开槽的位置对天线性能的影响也被实验证明,但尚未能给出精确计算^[19]。

开槽天线由于其低剖面的特点,可以与物体表面共形,因此又可作成共形天线,可以广泛应用于机载、导航、卫星广播、移动通信等。

天线开槽的形状有很多种,如在印刷开槽天线中使用 L 形开槽,如图 7 所示。通过 L 形开槽,在相同工作频率下可取得更大的阻抗带宽,同时可缩小天线尺寸^[20]。T 型开槽和半圆形环装开槽,也被证明可以有效提高天线的阻抗带宽^[21]。最近,有对螺旋形开槽的应用如图 8 所示,同样可以获得较好效果^[22]。在开槽天线的近期发展中,经实验证明直接

将原有圆形开槽天线切半,对天线的阻抗带宽影响微小,仍然可具有良好的阻抗带宽^[23]。F. E. Mahmood^[24]等研究者运用六边形开槽,也可使天线在较大阻抗带宽情况下具有良好性能。另外,研究者还提出了 U 型开槽、V 型开槽^[25-26]等多种形状的开槽,都可以达到宽带化的目的。

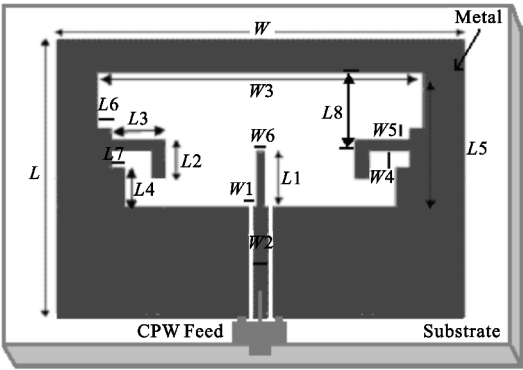


图 7 L 形开槽在天线中的应用
Fig. 7 Application of L-shaped slot in antenna

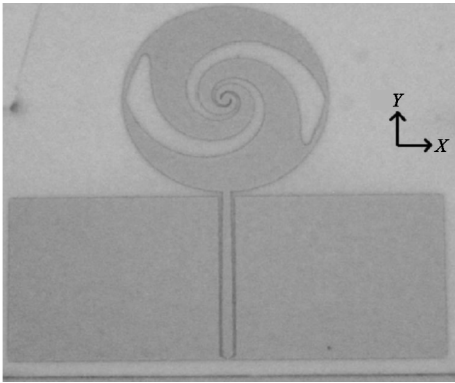


图 8 螺旋形开槽在天线中的应用
Fig. 8 Application of spiral slot in antenna

除开槽的形状外,天线开槽的位置也影响天线的性能。一般情况下,槽结构都被开在天线的中间位置,但也有放置在天线顶部的,不过,由于天线顶部电流较弱,会减小天线的匹配带宽。

文献[27]中设计了两款阻抗带宽分别达到 110% 和 120% 的印刷开槽天线,其选择相协调的 CPW 反馈和弓形及三角形开槽,使其在整个工作频带内工作稳定,可用于卫星及通信应用。

此外,由于开槽的大小和位置相对灵活,通常与其他技术一同使用,

3.3 分形技术

传统天线的设计一般运用欧几里得几何,而分形天线则是由分形几何得名,它是由曼德勃罗在 20

世纪 70 年代提出的。分形天线具有分数维特性和自相似性两个显著特点,是一种新型的微带天线,它克服了传统微带天线频带窄、功率容量有限等缺点,有较大的阻抗带宽。典型的分形天线包括 Hilbert 分型天线、Sierpinski 分形天线、Koch 分形天线等。

分形维数是描述分形结构的重要参数,分形维数又分为相似维数、容量维数、豪斯道夫维数等^[28]。一般利用连续迭代系统来描述分形结构,这种连续迭代系统是基于放射变换的应用。以由任意 n 条直线构成的分形原始图形的分形结构为例,定义原始图形中第 n 条直线 w 为

$$w_n(A)=a_nx+b_ny+c_n \tag{5}$$

其中, a 、 b 和 c 为实数,则 $W_n(A_n)$ 由这 3 个数字确定, a 控制其旋转角度, b 控制其比例, c 确定其平移。分形原始图形由上述那条直线构成,我们将构成的图形描述为

$$W(A_0)=w_1(A)\cup w_2(A)\cup\cdots w_n(A) \tag{6}$$

其中, $\cup$ 表示各直线之间的组合方式。在得到原始图形后,我们开始进行第一次迭代,将得到的原始图形按照与直线相同的组合方式进行组合,得到一维分形,表示为

$$W(A_1)=W_1(A_0)\cup W_2(A_0)\cdots W_n(A_0) \tag{7}$$

将一维分形继续迭代,得到二维分形:

$$W(A_2)=W_1(A_1)\cup W_2(A_1)\cdots W_n(A_1) \tag{8}$$

依此类推,得到迭代公式,其第 m 维图形表示为

$$W(A_m)=W_1(A_m)\cup W_2(A_m)\cdots W_n(A_m) \tag{9}$$

其中, $W_n(A_m)$ 表示第 m 维中的第 n 个原始图形。由上述可以看出,若分形由任意曲线构成,只需将起始的 w 表达式改为曲线,之后的迭代公式仍然成立。将这种分形几何图形作为天线的辐射贴片便产生了分形天线。

分形天线是分形电动力学的重要应用之一^[29]。分形结构的自相似性决定了电流分布的自相似性,由此可以提高天线的阻抗带宽。另外,分形天线的几何结构特性使得其在空间区域为定值的情况下,随着分形维数的增加,曲线的总长度不断增加导致天线具有多频特性^[30]。测试证明^[31-32],随着分形维数的增加,天线的谐振频率点和带宽都随之增加,但天线的方向图表现变差。由于分形天线是自加载的,目前新型分形天线的设计主要是在几种经典分形结构基础上作出调整。此外,由于分形结构的复杂性,可以增大其电尺寸的同时缩小其物理尺寸,从而实现小型化。J. Anguera^[33] 等提出,若采用 3 个不同的分形结构的 Sierpinski 毯制成三层微带天线,该天线采用耦合馈电的方式,每个电磁耦合单元采

用分形结构,具有多频特性,用若干个多频的电磁耦合馈电就实现了超宽带的效果。S. Siva^[34] 等设计了一种简单经济的多频带 Sierpinski 三角形分形天线,其可在 9.5 GHz、16.4 GHz 和 20.7 GHz 分别产生共振,且在 3 个频段具有 55% ~ 100% 的效率和 2.5 ~ 5.4 dBi 的增益,具有良好的多频性能和宽带特性。A. Azari^[35] 等利用类似 Koch 曲线结构设计的超宽带分形天线如图 9 所示,经实际测量其工作带宽达 2 ~ 40 GHz,但由于多次迭代,其方向图并不理想,有待改进。Y. Thakare^[36] 等研究者利用 4 次迭代后得到的分形结构设计的分形天线如图 10 所示,这种结构不仅是一种分形结构,也是一种非频变结构,其在不同配置条件下最大带宽达到 0.9 ~ 13.125 GHz。

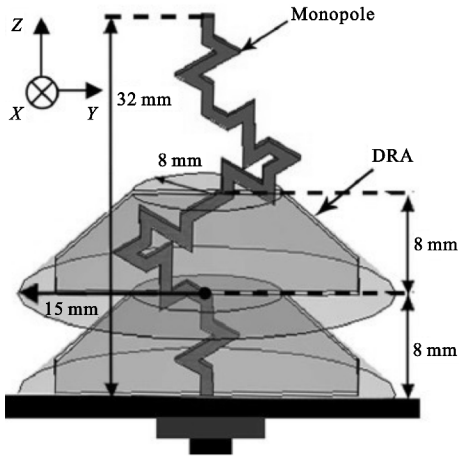


图 9 A. Azari 设计的 Koch 分形天线
Fig.9 Koch fractal antenna designed by A. Azari



图 10 Y. Thakare 设计非频变的分形天线
Fig.10 Frequency independent antenna designed by Y. Thakare

对于分形天线的理论研究方面,加州大学 R. Hodges 提出了一种对复杂结构的基于电流的迭代混合方法,该方法混合了电场积分方程(EFIE)和磁场积分方程(MFIE),得到 HEM (Hybrid EFIE -

MFIE) 方程^[37]。HEM 方程可以用于任何形状三维金属结构建模,包括线形、开放和闭合表面的分析。该方法可用于以线面作为基本单元的物体的辐射问题。加州大学已经基于此方法研制出程序,并已成功用于分形天线的计算。

目前,运用分形技术已可以在具有良好频率特性的条件下较大幅度地展宽天线的阻抗带宽。另外,运用共面波导反馈技术与分形技术相结合,也可获得阻抗带宽较宽且其他性能相对稳定的 UWB 天线。

3.4 非频变技术

非频变天线于 1954 年由 V. Rumsey 提出^[38],这种天线完全由角度确定其结构,而所有的这种结构都可以延伸到无限远,并获得非频变的特性。非频变天线具有显著的自相似性,C. Balanis^[39]提出非频变天线的自相似性原理为:将理想条件下的天线以球坐标 (r,θ,φ) 描述,其端点位于原点处,可以将天线的外表面表示为

$$r=F(\theta,\varphi) \tag{7}$$

当天线的频率变化变为原来的 $1/K$ 时,要使天线的电尺寸不变,变化后的天线外表面为

$$r'=KF(\theta,\varphi) \tag{8}$$

若天线为可延伸到无限远的结构,则其表面积无穷大,因此可将变化后和变化前的天线视为全等。全等表示天线在两个频率下有相同的电特性,包括方向图、阻抗等。阻抗不随频率变化,则匹配特性不随频率变化。天线能在实现良好阻抗匹配的频段正常工作,即该频段越宽,天线的带宽越大。

现实中虽无法获得无限延伸的天线,但将这种结构截取有限长度,可使在所要求频段内的电特性随频率变化仅发生微小的变化^[40]。阿基米德天线就是一种典型的非频变天线。李卉设计了一种改进的阿基米德螺旋天线,如图 11 所示,内圈为阿基米德螺线,而外圈为锯齿状,锯齿形的折线在外径尺寸不变的情况下增加电流行进路程,改善天线的低频特性,达到展宽频带的目的^[41]。对数周期天线作为另外一种典型的非频变天线,其原理与上述不同,这类天线的尺寸按照一定比例变化,只在某些离散的频率点上具有非频变特性,而两点之间的区域则没有。

非频变天线的设计要点为尽量减小天线对尺寸的依赖,同时增大对角度的依赖性,增大天线表面积。俄亥俄州立大学的 J. Zhao^[42]等设计了一种低剖面的倒帽子天线(Inverted-Hat Antenna),天线中间为空心,随着增加椭圆的阶数,其性能也有所提高,在 11 阶时达到最佳,此时带宽可以从低甚高频的频率范围到 2 GHz。

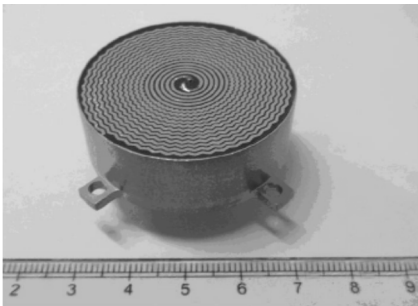


图 11 李卉设计的阿基米德螺旋天线
Fig. 11 Archimedean spiral antenna by Li Hui

自补结构天线,也是一种非频变天线。将光学中的巴比涅原理延伸到电磁学我们可得到,两互补天线间的阻抗关系为

$$Z_1Z_0=\frac{\eta^2}{4}=3600\pi^2\Omega \tag{9}$$

由此可知,自补天线的输入阻抗为

$$Z_{in}=\frac{\eta}{2}=60\pi\Omega \tag{10}$$

自补天线就是天线本身就是自己的自补结构,满足这个条件的天线,输入阻抗一定与频率无关。其互补结构,由自补结构通过平移和旋转得到。螺旋天线、V 锥天线、对数周期天线等都可以设计成自补天线,但这些天线的体积都较大。近年来出现了一些准自补天线,这种天线不具有完全的互补结构,但其具备自补天线的稳定阻抗特性。最近由 Hasan^[43]等设计的一款可穿戴准自补天线,其结构如图 12 所示,首次以皮革取代普遍采用的以 FR4 为材料的基板,缩小了天线尺寸,以使其便于在手腕等部位佩戴。其工作频段为 6 ~ 10.6 GHz,可以有效辐射能量,且避开了(Wireless Local Area Networks, WLAN)的工作频段,具有很大的应用价值。

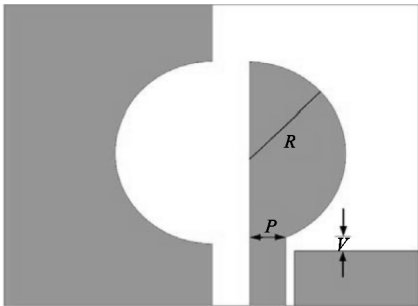


图 12 Hasan 设计的准自补天线
Fig. 12 Quasi-self-complementary antenna designed by Hasan

4 结 论

超宽带天线除需要实现多频带工作、高增益、阻

抗带宽宽外,多数还要求具有全向性,以及小型化、易携带的特点。然而,某些特性在设计中并不能同时达到最佳,如阻抗带宽和天线的小尺寸要求并不能同时实现。

本文总结了目前实现超宽带天线的几种技术手段,并论述了其展宽天线带宽的基本原理。渐变结构使得天线顶端电荷积聚减少,并且使得电流能够沿圆滑路径流动,从而提高了带宽,但其体积较大;开槽技术作为一种常用的宽带化技术,其结构相对简单,制作容易,多用于微带天线,与其他技术相比,带宽较窄;分形技术是目前研究较多的一种利用自然界中分型几何提高带宽的方法,它利用几何结构的自相似性来形成电流分布的自相似性,由此提高天线的阻抗带宽,分形天线在空间区域为定值的情况下,随着分形维数的增加,曲线的总长度不断增加,天线的有效电长度随之增加,它可以在实现宽带化的同时实现小型化;非频变技术利用自相似原理,使得实际中的天线在一定频率范围内其阻抗匹配等特性与频率无关,保证了其在所设计频段内工作稳定性。

以上 4 种技术从不同的原理出发,有效展宽了天线的阻抗带宽,但其中任意一项技术都有一定的局限性,因此,想要获得各项性能都较为理想的超宽带天线,可以将两种甚至更多种的技术有效的结合于同一种天线中,例如对 sierpinski 分形天线进行开槽,形成渐变结构(如图 13 所示),可以较大幅度地提高阻抗带宽,该天线的方向图如图 14^[40]所示,可以看到,该天线将分形结构与渐变结构相结合,较好地解决了一维以上分型天线方向图较差的问题^[44]。由此可见,宽带化技术在天线设计中的结合,可以有效避免使用单一技术而造成天线某一方面性能的缺陷,如槽线天线的尺寸问题、分形天线的全向性问题等。除了宽带化技术手段的使用,还需要设计相应的馈电结构,使天线具有良好的匹配特性,使其特性能够得到较好的发挥。

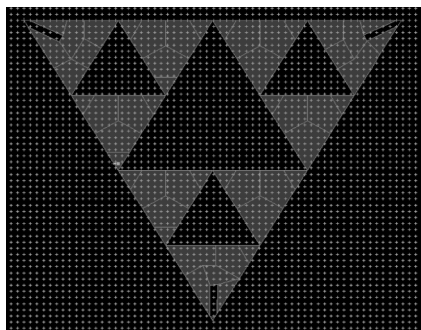


图 13 Arivazhagan. S 等设计的分形天线
Fig. 13 Fractal antenna designed by Arivazhagan. S

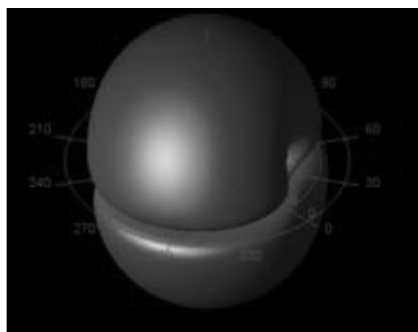


图 14 Arivazhagan. S 设计天线的远场辐射方向图
Fig. 14 Fractal antenna's radiation pattern

另外,宽带化技术还可以与 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramics)技术相结合,制成多层天线从而有效提高阻抗带宽。LTCC 技术是 20 世纪 80 年代中期提出的一种新型多层基板工艺技术,采用了独特的材料体系,降低其烧结温度,可与金属导体共烧,从而提高了电子器件性能。同时,由于采用了独特的多层共烧工艺,极大地降低了工艺复杂性,从而提高了元件的可靠性^[45]。LTCC 天线技术尚在起步阶段^[46],虽然已有研究者设计出与 LTCC 相结合的方法如蛇形线方法^[47]等,但尚没有完全利用 LTCC 的技术优势。LTCC 材料的介电常数、品质因数等参数可以在很大范围内进行调整,是有利于天线设计的,因此将宽带化技术与 LTCC 技术相结合,从而提高天线阻抗带宽和其他电特性是可行的。

总之,阻抗带宽的增大仍然是一个重要的技术难题,未来的发展趋势是将多种增大阻抗带宽的技术,同时运用于一种天线的设计上,在拓宽天线工作频带、兼顾天线增益及辐射效率的同时实现天线的小型化。

参考文献:

- [1] Aghdam S A, Bagby J. Monopole Antenna with Tunable Stop-band Function [C]//Proceedings of 2013 IEEE 14th Annual Wireless and Microwave Technology Conference. Orlando, FL: IEEE, 2013: 1-3.
- [2] Rahman N, Afsar M N. A Novel Modified Archimedean Polygonal Spiral Antenna [J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2013, 61(1): 54-61.
- [3] Srivastava K, Kumar A, Kumar R, et al. Reverse G-shape Antenna for UWB with notch [C]//Proceedings of 2013 IEEE Advance Computing Conference. Ghaziabad: IEEE, 2013: 263-266.
- [4] 魏磊磊,熊建设.超宽带无线通信[J].微计算机信息, 2010, 26(11): 58-60.
WEI Lei-lei, XIONG Jian-she. Ultra-Wideband Wireless Communications [J]. Microcomputer Information, 2010, 26

- (11):58-60. (in Chinese)
- [5] Wheeler H A. The Early Days of Wheeler and Hazeltine Corporation— profiles in Radio and Electronics[M]. New York: Hamilton Reproductions, Inc., 1982:272.
 - [6] Southworth G C. Short Wave Radio System; U. S., Patent 2206923[P]. 1940-07-09.
 - [7] Blumlein A D. Improvements in or Relating to High Frequency Electrical Conductors or Radiators; British, Patent 515684[P]. 1939-12-12.
 - [8] Dyson John D. Unidirectional Broadband Antenna Comprising Modified Balanced Equiangular Spiral; U. S., Patent 2958081[P]. 1960-10-25.
 - [9] Dyson J D, Mayes P E. New Circularly-Polarized Frequency-Independent Antennas with Conical Beam or Omnidirectional Patterns[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1961, 9(4): 334-342.
 - [10] Schantz H G. Three Centuries of UWB Antenna Development[C]//Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Ultra-wideband. Syracuse, NY: IEEE, 2012: 506-512.
 - [11] Schantz H G. A Brief History of UWB Antennas[C] // Proceedings of 2003 IEEE Conference on Ultra Wideband Systems and Technologies. Virginia: IEEE, 2003: 209-213.
 - [12] 苏明. 超宽带槽线天线的理论研究与设计实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
SU Ming. Theoretical Research and Design Implementation on Ultra-Wideband Slot Antenna[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011. (in Chinese)
 - [13] Lewis L, Fassett M, Hunt J. A Broadband Stripline Array Element[C] // Proceedings of 1974 Antennas and Propagation Society International Symposium. [S. l.]: IEEE, 1974: 335-337.
 - [14] Li Yingsong, Zheng Ying, Yang Xiaodong, et al. A Dual-band Tapered Slot Omni-directional Antenna[C] // Proceedings of 2010 9th International Symposium on Antennas Propagation and EM Theory. Guangzhou: IEEE, 2010: 259-262.
 - [15] Lin Fenghan, Qi Yihong, Jiao Yongchang. A 0.7-20GHz Strip-fed Bilateral Tapered Slot Antenna with Low Cross Polarization[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2013(12): 737-740.
 - [16] Abbosh A M. Miniaturized Microstrip-Fed Tapered-Slot Antenna with Ultra Wideband Performance[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2009(8): 690-692.
 - [17] Robert-Pierre M G. Wide Band Slot Antenna; US, Patent 3031665[P]. 1962-04.
 - [18] 赵志. 微带天线的微型化和宽频化设计研究[D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
ZHAO Zhi. Study and Design of Compact and Wideband Microstrip Antennas[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications, 2011. (in Chinese)
 - [19] 普远航. 双频微带天线的研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
PU Yuan-hang. Research on Dual-frequency Microstrip Antennas[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2008. (in Chinese)
 - [20] Roy J S. Design of a New Printed Slot Antenna for UWB Application[C]//Proceedings of 2010 Loughborough Antennas & Propagation Conference. Loughborough: IEEE, 2010: 301-304.
 - [21] Rahayu Y, Ngah R, Rahman T A. Various Slotted UWB Antenna Design[C]//Proceedings of 2010 Sixth International Conference on Wireless and Mobile Communications. Valencia: IEEE, 2010: 107-110.
 - [22] Omar A A, Qaroot A, Scardelletti M C. UWB Coplanar-Waveguide-Fed Spiral Slot Antenna[C]//Proceedings of 2013 7th European Conference on Antennas and Propagation. Gethenburg: IEEE, 2013: 2901-2902.
 - [23] Gao Guo-Ping, Hu Bin, Zhang Jin-Sheng. Design of a Miniaturization Printed Circular-Slot UWB Antenna by the Half-Cutting Method[J]. IEEE Antenna and Wireless Propagation Letters, 2013, 12(3): 567-570.
 - [24] Mahmood F A, AlSabbagh H M, Edwards R. CPW-Fed UWB Antenna with Band-Notch by Hexagonal Shape Slot[C]//Proceedings of 2012 International Conference on Future Communication Networks. Baghdad: IEEE, 2012: 69-71.
 - [25] Zhou H J, Liu Q Zh, Deng J Y. Implementation and Investigation of U-shaped Aperture UWB Antenna with Dual Band-notched Characteristics[J]. Electronics Letters, 2008, 44(24): 1387-1388.
 - [26] Elsadek H, Nashaat D M. Multiband and UWB V-Shaped Antenna Configuration for Wireless Communications Applications[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2008(7): 89-91.
 - [27] Liu Y F, Lau K L, Xue Q, et al. Experimental Studies of Printed Wide-Slot Antenna for Wide-Band Applications[J]. Antennas and Wireless Propagation Letters, 2004(3): 273-275.
 - [28] 白学伟. 分型天线的优化研究与设计[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2011.
BAI Xue-wei. Optimization Research and Design for Fractal Antenna[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2011. (in Chinese)
 - [29] 刘莹, 胡敏, 余桂英, 等. 分形理论及其应用[J]. 江西科学, 2006, 24(2): 205-209.
LIU Ying, HU Min, YU Gui-ying, et al. Theory of Fractal and its Applications[J]. Jiangxi Science, 2006, 24(2): 205-209. (in Chinese)
 - [30] Werner D H, Ganguly S. An Overview of Fractal Antenna Engineering Research[J]. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 2003, 45(1): 38-57.

- [31] 穆丹. 分型微带天线多频和宽频特性的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2008.
MU Dan. Research on Characteristics of Multi-frequency and Broadband for Micro-strip Fractal Antenna[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2008. (in Chinese)
- [32] 曾宪峰, 张晨新, 谢聪, 等. 新型树状分形天线多频特性分析[J]. 电讯技术, 2010, 50(10): 78-81.
ZENG Xian-feng, ZHANG Chen-xin, XIE Cong, et al. Multi-band Characteristic Analysis of a Novel Tree-shaped Fractal Structure Antenna[J]. Telecommunication Engineering, 2010, 50(10): 78-81. (in Chinese)
- [33] Anguera J, Puente C, Borja C, et al. Miniature Wideband Stacked Microstrip Patch Antenna Based on the Sierpinski Fractal Geometry[C]//Proceedings of 2000 Antennas and Propagation Society International Symposium. Salt Lake City, UT, USA: IEEE, 2000: 1700-1703.
- [34] Pandian S, Suriyakala C D. A Novel Mutiband Sierpinski Triangular Fractal Antenna for Cognitive Radio[C]//Proceedings of 2013 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies. Nagercoil, India: IEEE, 2013: 803-807.
- [35] Azari A, Ismail A, Sali A, et al. A New Super Wideband Fractal Monopole - Dielectric Resonator Antenna[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2012, 12(5): 1014-1016.
- [36] Thakare Y B, Wankhade P S, Vasambekar P N, et al. Super Wideband Fractal Antenna for Wireless Communication[C]//Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Wireless Information Technology and Systems. Maui, HI: IEEE, 2012: 1-4.
- [37] Hodges R E, Samii Y R. An Iterative Current-Based Hybrid Method for Complex Structures[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1997, 45(2): 265-276.
- [38] Rumsey V H. Frequency Independent Antennas[C]//IRE International Convention Record. New York, NY, USA: IEEE, 1957: 114-118.
- [39] Balanis C A. Antenna Theory Analysis and Design[M]. Hoboken: Wiley-Interscience, 2005: 612-614.
- [40] 云大年. 非频变天线的概念与全频道电视接收天线[J]. 北京邮电学院学报, 1983(1): 95-101.
YUN Da-nian. The Concept of Frequency Independent Antenna and Full Channel TV Receiving antenna[J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 1983(1): 95-101. (in Chinese)
- [41] 李卉. 一种新型平面阿基米德螺旋天线的分析与设计[J]. 雷达与对抗, 2006(3): 43-45.
LI Hui. Analysis and Design of New-type Planar Archimedean Spiral Antenna[J]. Radar and Confrontation, 2006(3): 43-45. (in Chinese)
- [42] Zhao J, Chen C C, Volakis J L. A Novel Low-Profile Frequency - Independent Inverted - Hat Antenna for UWB Application[C]//Proceedings of 2009 Antennas and Propagation Society International Symposium. Charleston, SC: IEEE, 2009: 1-4.
- [43] Hasan M F, Islam M A. A Miniaturization of the Quasi-self-complementary Antenna With a Wearable Leather Substrate and the Use of Specific Ultra-Wide-Band Frequency Range for On-Body Communications[C]//Proceedings of 2012 International Conference on Informatics, Electronics & Vision. Dhaka: IEEE, 2012: 28-33.
- [44] Arivazhagan S, Kavitha K, Prasanth H U. Design of a Triangular Fractal Patch Antenna with Slit for Irness and Gagan Applications[C]//Proceedings of 2013 International Conference on Information Communication and Embedded Systems. Chennai: IEEE, 2013: 665-669.
- [45] 杨邦朝, 付贤民, 胡永达. 低温共烧陶瓷 (LTCC) 技术新进展[J]. 电子元件与材料, 2008, 27(6): 1-5.
YANG Bang-chao, FU Xian-min, HU Yong-da. Recent Progress on Low Temperature Co-fired Ceramics (LTCC) Technology[J]. Electronic Components and Materials, 2008, 27(6): 1-5. (in Chinese)
- [46] 许佳. 小型 LTCC 天线的研究与分析[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2004.
XU Jia. Research and Analysis of Miniature LTCC Antenna[D]. Hangzhou: Zhejiang University of Technology, 2004. (in Chinese)
- [47] Choi W, Kwon S, Lee B. Ceramic Chip Antenna Using Meander Conductor Lines[J]. Electronics Letters, 2001, 37(15): 933-934.

作者简介:



黄梦雅(1990—), 女, 贵州贵阳人, 贵州大学硕士研究生, 主要研究方向为超宽带天线的宽带化及小型化等;

HUANG Meng-ya was born in Guiyang, Guizhou Province, in 1990. She is now a graduate student. Her research concerns ultra band technology and miniature technology of UWB antenna etc.

Email: mengya_812@163.com

丁 召(1964—), 男, 贵州都匀人, 教授、博士生导师, 主要研究方向为微电子材料、表面物理;

DING Zhao was born in Duyun, Guizhou Province, in 1964. He is now a professor and also the Ph. D. supervisor. His research interests include microelectronic materials and surface physics.

Email: zding@gzu.edu.cn

胡明哲(1974—), 男, 湖北武汉人, 教授、硕士生导师, 主要研究方向为功能陶瓷、纳米半导体。

HU Ming-zhe was born in Wuhan, Hubei Province, in 1974. He is now a professor and also the instructor of graduate students. His research interests include functional ceramics, nano-semiconductor.

Email: mingzhe_hu@163.com