

# 一种新型宽带方向图可重构天线

王 任, 王秉中, 丁 霄

(电子科技大学应用物理研究所 成都 610054)

**【摘要】**设计了一种具有两个辐射模式的宽带方向图可重构天线。该天线由两个准八木天线单元组成,两个单元的辐射体分别指向相反的方向。两个单元使用同一根同轴线从背面馈电,在每个单元的馈线与同轴线馈点之间安装一个PIN二极管以控制辐射模式。在天线振子的下方安装反射板用以调节天线的辐射方向,避免了天线对射频组件的干扰。仿真结果显示,天线的工作频段为5.00~5.65 GHz,两种模式的主瓣分别指向 $\theta=\pm 55^\circ$ ,3 dB波瓣宽度均为 $110^\circ$ ,工作频段内增益为7.3~7.7 dB,调节反射板的尺寸可以改变天线的主瓣指向。对该天线进行了实际制作和测量,实测结果和仿真结果较吻合。该天线可以用于智能通信系统。

**关键词** 宽带; 二极管开关; 准八木天线; 方向图调节; 可重构天线

**中图分类号** O45; TN82 **文献标志码** A **doi**:10.3969/j.issn.1001-0548.2016.02.010

## A Novel Broadband Antenna with Pattern Reconfigurability

WANG Ren, WANG Bing-zhong, and DING Xiao

(Institute of Applied Physics, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

**Abstract** A novel wideband antenna with two reconfigurable radiating patterns is presented. The proposed antenna is made of two quasi-Yagi antennas, with their radiations directing to opposite directions, respectively. The two elements are fed with one coaxial cable from the back of the dielectric substrate. A PIN diode is embedded between the feeding line of each element and coaxial cable to regulate the radiating pattern. Besides, reflectors are set under the arms of the driver dipole to regulate the radiating direction and avoid interference with radio components. Simulated results show that the proposed antenna can work at 5.00 GHz to 5.65 GHz, the main beams of the two modes direct to  $\pm 55^\circ$  respectively, and the 3dB beam-widths of main beams are all  $110^\circ$ . The gain within the operating bandwidth is 7.3 dB to 7.7 dB. The main beam direction of the proposed antenna can be regulated by the size of reflectors. The antenna was fabricated and measured. The measurement results are good with the simulation results. The antenna presented can be used in intelligent communication systems.

**Key words** broadband; diode switch; quasi-Yagi antenna; radiation pattern regulating; reconfigurable antenna

方向图可重构天线在通信系统中能有效地扩大天线的波束覆盖范围<sup>[1-6]</sup>,能根据通信环境的变化实时改变发射和接收天线的方向图,有效地减弱噪声干扰,提高信息传输速率<sup>[7-10]</sup>,因而近年来受到了广泛的研究。

文献[7-8,10]分别设计了用于智能通信系统的方向图可重构天线,这些天线均在天线中心部位从背面馈电,天线辐射体位于馈电点周围,通过接通不同的辐射体实现波束切换。但是这些天线存在一个共同的不足:没有考虑天线辐射对天线背面射频组件的影响,当天线对背面射频电路辐射较强时,可能会影响馈电电路的性能,当功率较大时甚至烧

坏电路。

本文以传统准八木天线为基础,将两个准八木天线单元反向印制在介质基板上,组成一个具有两种工作模式的方向图可重构天线。馈电点位于天线的介质板中心位置,采用同轴线背馈方式,在每个天线单元的馈线与同轴线馈点之间安装一个PIN二极管,当两个二极管中的一个导通一个截止时则产生一种辐射模式。通过在激励振子的下方增加反射板,实现了对天线方向图的调节,可以避免天线向背面辐射,为背馈的方向图可重构天线与射频组件的集成提供了避免干扰的途径。

收稿日期:2013-12-17;修回日期:2014-10-08

基金项目:国家自然科学基金(61071031,61331007,61401065);高等学校博士学科点专项科研基金(20100185110021,20120185130001)

作者简介:王任(1990-),男,博士生,主要从事天线理论与技术方面的研究。

# 1 方向图可重构天线设计

为了实现八木天线的方向图重构, 本文将两个准八木天线反向放置, 馈电点位于天线的介质板中心位置, 采用同轴线馈电方式, 同轴线的特征阻抗为 $50\ \Omega$ 。同时, 在每个天线单元的馈线与同轴线馈点之间安装一个PIN二极管, 通过直流偏置电路控制二极管的通断, 从而使天线在不同工作模式间切换。

## 1.1 准八木天线设计

文献[11]指出将准八木天线的其中一个振子与地板相连, 可以利用地板电流的特点省去馈电巴伦。鉴于此, 本文将两个振子分别印制在介质板的正面和背面, 一个振子与正面馈线连接, 另一个振子与地板连接, 天线的结构如图1所示。

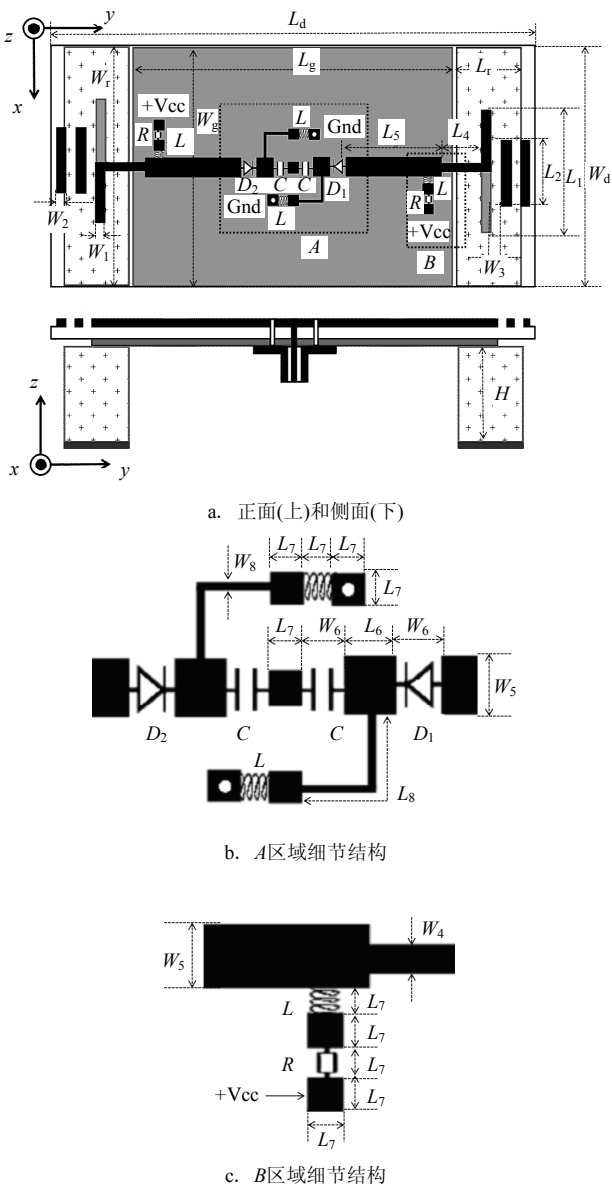


图1 天线结构图

天线的中心频率设计为 $5.3\ \text{GHz}$ , 激励振子长度 $L_1$ 约为 $0.5\lambda_g$ ,  $\lambda_g$ 为 $5.3\ \text{GHz}$ 对应波导波长, 则有<sup>[12]</sup>:

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_e}}$$

式中,  $\epsilon_e$ 为结构的有效介电常数;  $\lambda_0$ 为自由空间的波长。

天线印制在相对介电常数为 $2.65$ 、厚度为 $0.8\ \text{mm}$ 的聚四氟乙烯基板上。馈电同轴线外导体与介质板背面的地板相连, 内导体通过介质板通孔与正面的中心金属焊盘相连, 中心金属焊盘是边长为 $L_7$ 的正方形。

为了改变并控制准八木天线的辐射方向, 避免天线的辐射干扰背面的射频组件, 在天线激励振子的下方放置反射金属板, 反射金属板中心位置与激励振子中心位置处于同一竖直线上。反射板与介质基板之间填充塑料泡沫, 塑料泡沫的相对介电常数为 $1.06$ 。改变金属反射板的长度、宽度及其与介质基板的距离可以改变天线的辐射方向。天线各部分的尺寸如表1所示。

表1 天线尺寸表

| 参数    | 数值/mm | 参数    | 数值/mm |
|-------|-------|-------|-------|
| $L_d$ | 100   | $L_4$ | 9.7   |
| $W_d$ | 50    | $W_4$ | 1.4   |
| $L_g$ | 59.2  | $L_5$ | 20    |
| $W_g$ | 50    | $W_5$ | 3.1   |
| $L_r$ | 15.8  | $L_6$ | 3     |
| $W_r$ | 50    | $W_6$ | 2     |
| $L_1$ | 22    | $L_7$ | 2     |
| $W_1$ | 1.8   | $L_8$ | 11.5  |
| $L_2$ | 14    | $W_8$ | 0.4   |
| $W_2$ | 2     | $H$   | 19.4  |
| $W_3$ | 2     |       |       |

## 1.2 二极管直流偏置电路设计

为了控制不同的准八木天线单元工作, 实现工作模式的切换, 采用PIN二极管作为开关, 偏置电路的整体结构如图1所示, 其直流偏置电路原理如图2所示, 其中 $+V_{cc}$ 和 $Gnd$ 分别接直流控制电源的正负极。为了避免直流和射频的互相干扰, 在二极管的负极与射频馈电点之间使用电容 $C$ 进行隔离, 并将二极管负极通过 $1/4\lambda_g$ 高阻抗短路路线 $L_8$ 和电感 $L$ 接地, 直流偏置电路与射频电路共地。在二极管的正极, 通过电感 $L$ 阻断射频信号对直流的干扰, 并通过电阻 $R$ 对直流信号降压, 避免烧坏二极管。电阻、电感等集总元件的两端通过边长为 $L_7$ 的焊盘连接。各集总元件的数值分别为 $R=2.2\ \text{k}\Omega$ ,  $L=1\ \text{mH}$ ,  $C=10\ \text{pF}$ 。

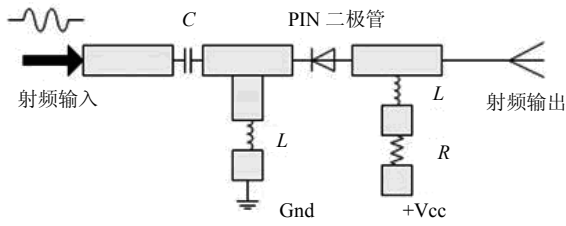
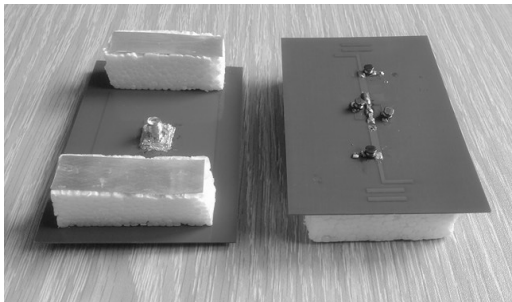


图2 二极管直流偏置电路

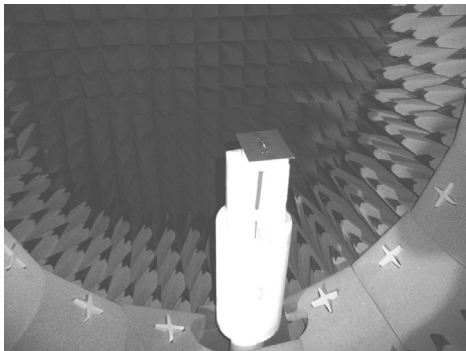
通过控制二极管 $D_1$ 和 $D_2$ 的通断, 天线可以工作在两种模式: 当 $D_1$ 导通、 $D_2$ 截止时, 天线工作在模式一; 当 $D_1$ 截止、 $D_2$ 导通时, 天线工作在模式二。在仿真时, 使用 $2\text{ mm}\times 3\text{ mm}$ 的铜片代替二极管, 有铜片表示二极管导通, 无铜片表示二极管截止。

### 2 仿真及测试结果

使用电磁仿真软件CST Microwave Studio 对天线模型进行仿真, 制作了天线的实物并使用Agilent E8361A型网络分析仪和微波暗室对天线进行了测试。天线及其测试场景如图3所示。



a. 天线实物



b. 方向图测试

图3 天线及其测试场景

由于该天线为对称结构, 故天线在两种模式下的反射系数参数相同, 其仿真与测试结果如图4所示。 $S_{11}$ 小于 $-10\text{ dB}$ 的仿真带宽为 $650\text{ MHz}$  ( $5.00\sim 5.65\text{ GHz}$ ), 小于 $-10\text{ dB}$ 的测试带宽为 $750\text{ MHz}$  ( $5.00\sim 5.75\text{ GHz}$ ), 仿真与测试结果较吻合。

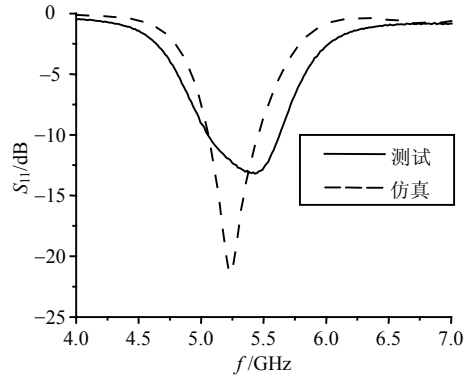
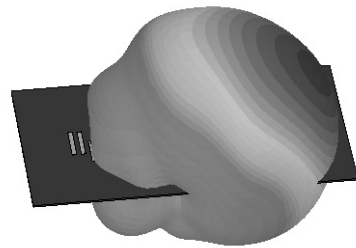
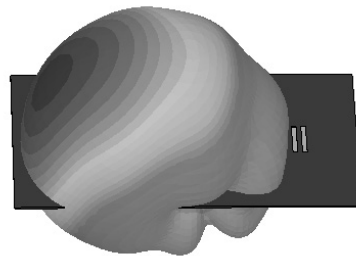


图4 天线的仿真与测试 $S_{11}$ 参数

图5为天线的两种模式在 $5.3\text{ GHz}$ 时的3D方向图, 在两种模式下方向图分别指向不同的方向, 实现了方向图的重构。由于重构模式的对称性, 故下面将对其中一种工作模式进行详细分析。



a. 模式一



b. 模式二

图5 天线的仿真3D方向图

图6为模式二在 $5.3\text{ GHz}$ 时 $yo z$ 面的方向图。该模式下仿真主瓣方向为 $\theta=-55^\circ$ ,  $3\text{ dB}$ 波瓣宽度为 $110^\circ$ , 测试主瓣方向为 $\theta=-57^\circ$ ,  $3\text{ dB}$ 波瓣宽度为 $108^\circ$ 。主瓣内的仿真和测试交叉极化均小于 $-15\text{ dB}$ 。图7为模式二在 $5.3\text{ GHz}$ 时的 $xoy$ 面方向图, 该模式下仿真主瓣方向为 $\varphi=-90^\circ$ ,  $3\text{ dB}$ 波瓣宽度为 $120^\circ$ , 测试主瓣方向为 $\varphi=-86^\circ$ ,  $3\text{ dB}$ 波瓣宽度为 $122^\circ$ 。主瓣内的仿真和测试交叉极化均小于 $-15\text{ dB}$ 。

图8为天线在工作频带内的测试最大增益和效率。该天线的最小增益为 $5.5\text{ dB}$ , 最大增益为 $6.5\text{ dB}$ , 天线的增益较为平稳。天线的效率变化范围为

0.69~0.82, 其工作效率较高。

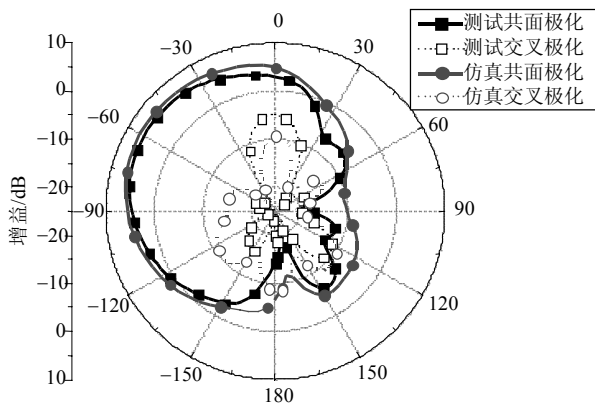


图6 模式二的仿真和测试yoz面方向图

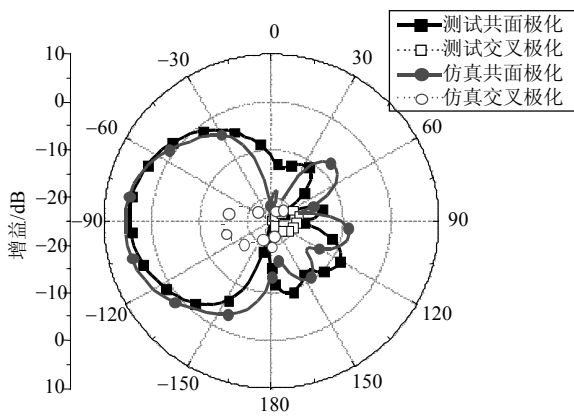


图7 模式二的仿真和测试xoy面方向图

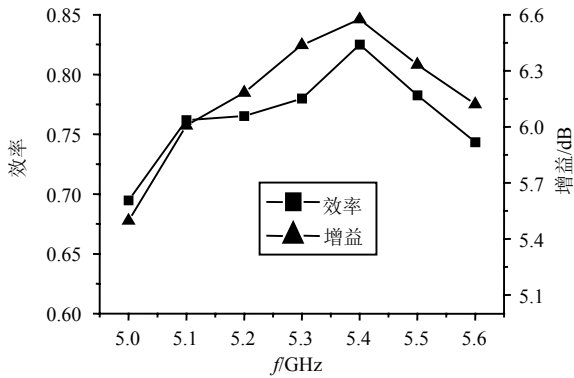


图8 天线的测试最大增益和效率

### 3 结果分析

在本文设计中, 反射板对天线的性能有重要的影响。讨论反射板的影响可以更深入地了解此类天线的性能, 便于根据具体的应用环境调节反射板, 从而实现对八木天线的方向图的控制。当天线工作在模式一时, 其5.3 GHz有无反射板情况下yoz面的方向图如图9所示, 没有反射板时天线的主瓣指向为

$\theta=90^\circ$ , 增加反射板之后, 主瓣的指向为 $\theta=55^\circ$ , 可见反射板可以使天线的方向图向远离反射板的方向偏转。下面分别讨论反射板距介质板的高度 $H$ 、反射板长度 $L_r$ 和反射板宽度 $W_r$ 对天线性能的影响。

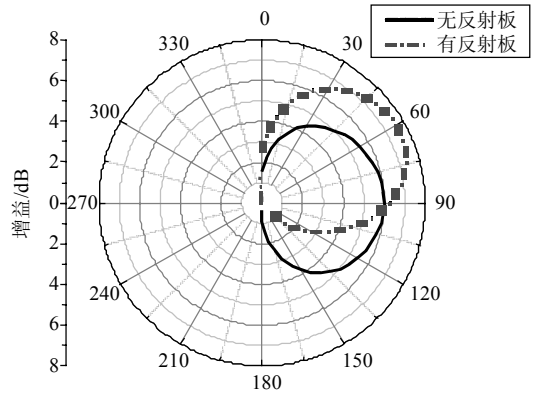


图9 有无反射板天线yoz面方向图对比

图10为反射板高度 $H$ 对 $S_{11}$ 参数的影响, 当 $H$ 较小时( $H=10\text{ mm}$ 和 $H=19.4\text{ mm}$ ),  $S_{11}$ 最低点低于不加反射板时10 dB, 差异较大; 当 $H$ 较大时( $H=30\text{ mm}$ 和 $H=40\text{ mm}$ ),  $S_{11}$ 与不加反射板时差异较小, 反射板对天线的影晌减弱。图中所示的5种情况,  $S_{11}$ 小于-10 dB的频带范围均在4.90~5.65 GHz, 带宽均在610~690 MHz之间。由此可知, 虽然 $H$ 对天线 $S_{11}$ 参数的最小值有较大的影响, 但对工作带宽影响较小。图11为高度 $H$ 对增益的影响, 有反射板时的增益大于没有反射板时的增益, 随着 $H$ 的增加, 增益先增加再减小, 当 $H=30\text{ mm}$ 时达到最大值, 5.3 GHz时的最大增益为8.2 dB。

图12为反射板长度 $L_r$ 对 $S_{11}$ 的影响, 与不加反射板相比,  $L_r$ 对带宽的影响不大, 图示各种情况之间的带宽差均小于50 MHz。图13为 $L_r$ 对天线增益的影响, 有反射板时的增益大于没有反射板时的增益, 并且 $L_r$ 越大增益越大, 当 $L_r=35\text{ mm}$ 时, 最大增益比不加反射板时大2 dB。

图14为反射板宽度 $W_r$ 对天线 $S_{11}$ 参数的影响, 与不加反射板相比,  $W_r$ 对带宽的影响较小, 图中各种情况之间的带宽差均小于30 MHz。图15为反射板宽度 $W_r$ 对增益的影响, 当 $W_r=15\text{ mm}$ (小于激励振子长度 $L_1$ )时, 天线的最大增益小于不加反射板时的最大增益。当反射板宽度 $W_r$ 大于振子长度 $L_1$ 时, 天线的最大增益大于不加反射板时的增益; 并且 $L_r$ 越大增益越大。

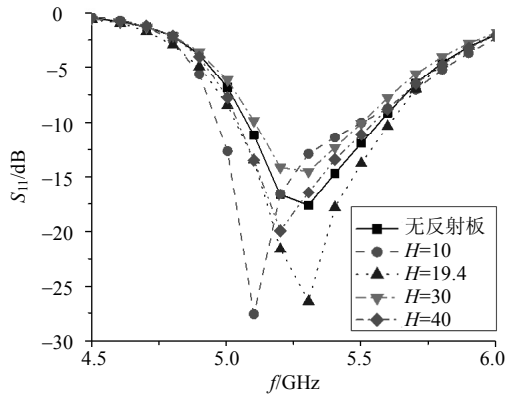


图10 反射板高度H对S<sub>11</sub>的影响

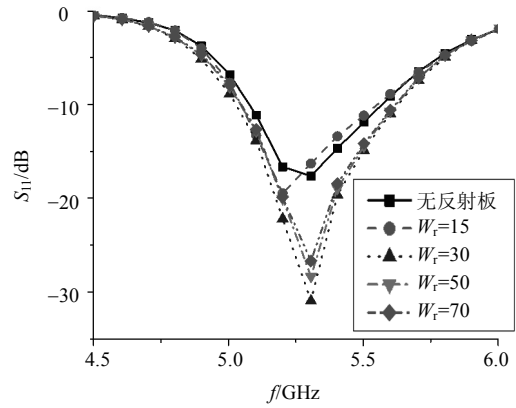


图14 反射板宽度W<sub>t</sub>对S<sub>11</sub>的影响

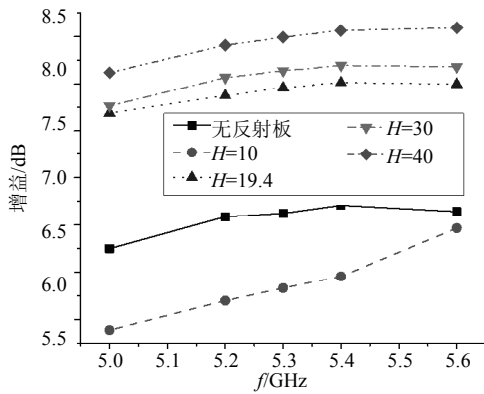


图11 反射板高度H对增益的影响

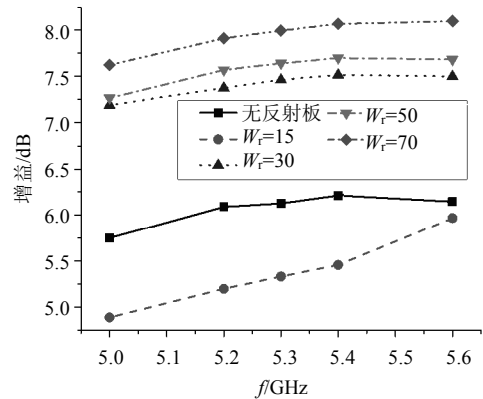


图15 反射板宽度W<sub>t</sub>对增益的影响

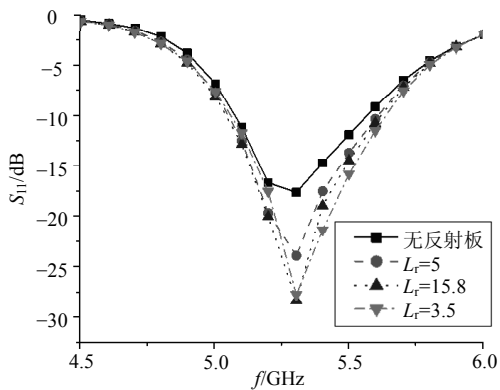


图12 反射板长度L<sub>t</sub>对S<sub>11</sub>的影响

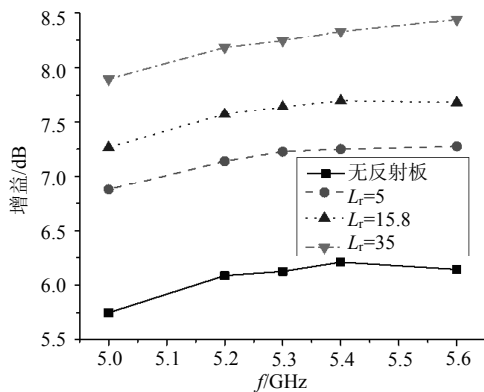


图13 反射板长度L<sub>t</sub>对增益的影响

通过以上分析可知, 反射板可以对天线的方向图、S<sub>11</sub>参数和增益产生影响, 改变天线的辐射方向和增益, 但是对天线的带宽影响比较小。使在不影响天线带宽的情况下改变天线的辐射方向、控制天线的增益成为可能, 为适应不同应用环境而调节天线的方向图提供了条件。

### 4 结束语

本文将两个准八木天线组合, 并加入二极管及其偏置电路, 在保证一定工作带宽的情况下, 实现了准八木天线的方向图重构。通过在激励振子的下方增加反射板, 实现了对天线方向图的调节, 提供了一种在对工作带宽影响较小的前提下控制八木天线辐射方向的方法, 避免了天线向背面辐射, 为背馈方向图可重构天线与射频组件的集成提供了避免干扰的途径。该天线可以用于智能通信系统。

### 参 考 文 献

[1] QU S W, CHEN Q Y, CHEN Q, et al. Dual-antenna system composed of patch array and planar Yagi antenna for elimination of blindness in cellular mobile

- communications[J]. Progress in Electromagnetics Research, 2011, 21: 87-97.
- [2] DING Xiao, WANG Bing-zhong. A novel wideband antenna with reconfigurable broadside and endfire patterns[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2013, 12: 995-998.
- [3] DING Xiao, WANG Bing-zhong. A millimeter-wave pattern-reconfigurable antenna with a reconfigurable feeding network[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2013, 27(5): 649-658.
- [4] ZHANG Jian, YANG Xue-song, LI Jia-lin, et al. A linear phased array with reconfigurable dynamic Yagi-Uda patch antenna elements[C]//2012 International Workshop on Microwave and Millimeter Wave Circuits and System Technology. [S.l.]: IEEE, 2012, 4: 1-4.
- [5] BAI Yan-ying, XIAO Shao-qiu, TANG Ming-chun, et al. Wide-angle scanning phased array with pattern reconfigurable elements[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2011, 59(11): 4071-4076.
- [6] RUSCH C, BEER S, PAHL P, et al. Electronic beam scanning in two dimensions with holographic phased array antenna[C]//2013 International Workshop on Antenna Technology. Karlsruhe: IEEE, 2013, 3: 23-26.
- [7] LAI M, WU T Y, HSIEH J C, et al. Compact switched-beam antenna employing a four-element slot antenna array for digital home applications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2008, 56(9): 2929-2936.
- [8] MAJID H A, RAHIM M K A, HAMID M R, et al. Frequency and pattern reconfigurable Yagi antenna[J]. Journal of Electromagnetic Waves and Applications, 2012, 26(2-3): 379-389.
- [9] CAI Xiao-tao, WANG An-guo, CHEN Wei-gang. A circular disc-shaped antenna with frequency and pattern reconfigurable characteristics[C]//2011 China-Japan Joint Microwave Conference Proceedings. [S.l.]: IEEE, 2011, 4: 1-4.
- [10] NGUYEN V A, JEONG M H, DAO M T, et al. Four-port beam reconfigurable antenna array for pattern diversity system[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 6(10): 1179-1186.
- [11] 王安国, 刘楠, 兰航. 方向图可重构宽带准八木天线的设计[J]. 天津大学学报, 2011, 44(10): 872-877.  
WANG An-guo, LIU Nan, LAN Hang. Design of broadband quasi-Yagi antenna with pattern reconfigurability[J]. Journal of Tianjin University, 2011, 44(10): 872-877.
- [12] BALANIS C A. Antenna theory analysis and design[M]. 3rd ed. Hoboken, USA: John Wiley & Sons, 2005.

编辑 黄 莘