

一种X波段的方向回溯天线建模与仿真

赵广瑞, 张昕

(哈尔滨工程大学 信息与通信工程学院, 哈尔滨 150001)

摘要:典型的收发机对询问信号产生一个全向的响应,从而导致了功率的浪费;而采用传统的方向回溯天线虽然解决了收发信号定向辐射的问题,但却要求每个天线阵元都有一个相位共轭混频器电路与之对应,这对有源电路量和有限的基板安装空间都无疑增加了很大的负担。设计出了一种工作频率在X波段的四元开关馈电型方向回溯天线,并对天线设计结果进行了仿真分析,在保持传统方向回溯天线所要求辐射性能的同时,使混频器电路减少为原来的 $1/N$,节省了发射功率,达到了优化系统的要求。

关键词:方向回溯天线; 相位共轭; 微带; 双极化

中图分类号: TN828.4

文献标识码: A

文章编号: 1672-0946(2010)04-0486-04

Modeling and simulation of kind of retrodirective array for X-band

ZHAO Guang-rui, ZHANG Xin

(School of Information and Communication Engineering, Harbin
Engineering University, Harbin 150001, China)

Abstract: Typical transponders operated with an omnidirectional response to interrogation, resulting in inefficient use of available power. Conventional retrodirective array architectures solve the problem of orientation radiation for the receiving and transmitting signal, however, this requires that each element employed a phase conjugators, which undoubtedly place a heavy burden on the amount of active circuitry requires and limits installation space of the real estate. In this paper, a switching feed network is integrated into a four-element retrodirective array architecture which operating frequency is X-band, and makes a simulation to the layout of antenna, finding out it maintained the retrodirective array's performance required, at the same time, mixer circuitry is reduced to $1/N$, which saved transmission power and optimized system.

Key words: retrodirective array; phase-conjugation ; microstrip; dual-polarization

方向回溯天线能够自动跟踪来波信号方向,而不需要来波信号的先验知识和复杂信号处理算法,这一特点使其在现代军用和民用数字移动通信系统中有广阔的应用前景,特别是在需要达到高增益和高速运动目标轨迹跟踪的场合;而且由于其良好的抗干扰性,使其在多径传输的环境中,有很大的优势。本文将一种开关型馈电网络引入到方向回溯

天线阵的设计中,在充分保持其性能的同时,达到了减少相位共轭电路硬件组成的目的。

1 基本概念

如图1所示,假定来波信号为: $V_{RF}(t) = V_{RF} \cos(\omega_{RF} t + \varphi)$, 其中: ω_{RF} 为来波信号频率, φ 为来波信号的相位; 而本振信号为: $V_{LO}(t) = V_{LO} \cos\omega_{LO}$

t, ω_{LO} 为本振信号频率,当本振信号频率为来波信号频率的倍,即 $\omega_{LO} = 2\omega_{RF}$ 时,经混频器后的中频信号输出为:

$$V_{IF}(t) = V_{RF}(t)V_{LO}(t) = V_{RF}\cos(\omega_{RF}t + \varphi)V_{LO} \\ \cos(2\omega_{RF}t) = \frac{1}{2}V_{RF}V_{LO}[\cos(\omega_{RF}t - \varphi) + \cos(3\omega_{RF}t + \varphi)].$$

该信号由频率为 3ω 的上边带信号和频率为的下边带信号组成^[1],而这里我们采用带宽较窄的微带天线作为天线阵元,它相当于一个滤波器,上边带信号将会被严格抑制,所以只有频率为的下

边带信号通过,则最后输出的中频信号为 $V_{IF} = \frac{1}{2}V_{RF}V_{LO}\cos(\omega_{RF}t - \varphi)$,频率与来波信号相同,相位共轭相反,从而达到了方向回溯的目的.

将开关键控特征^[2]引入到方向回溯天线的设计中,开关键控特征的总体思想是让每个时间段内只有一个信道是导通的,即该时间内只有某一个天线元工作,其他信道此时将处于开路状态,天线元不工作,该导通的天线元同时完成接收和发射信号的任务,下一时间段内,此信道又断开,新的天线元工作,由此可使所有天线元共用一个混频器电路.对于由 N 个天线元组成的方向回溯天线阵节省了 $N - 1$ 个混频器电路.

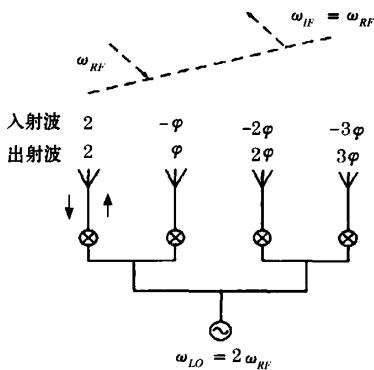


图1 方向回溯天线原理图

现在,使该天线每个天线元输出的中频信号与一周期性的脉冲信号 $x_n(t)$ 相乘, $x_n(t) = \begin{cases} 1, & \frac{n-1}{4}T + kT < t < \frac{n}{4}T + kT \\ 0, & \text{else} \end{cases}; k \in N$

其中: $n = 1, 2, 3, 4$. k 为四元天线阵的某个阵元; T 为脉冲信号的周期.

每个阵元输出的信号为:

$$A_n(t) = x_n(t) * \frac{1}{2}V_{RF}V_{LO}[\cos(\omega_{LO} - \omega_{RF})t - \varphi_n] = x_n(t) * \frac{1}{2}V_{RF}V_{LO}\cos(\omega_{RF}t - \varphi_n)$$

由此可以看出,每个信道之间惟一不同的就是一个时间上的相移,开关的作用相当于一个调制器,对所发射和接收到的信号进行调制;在此四元方向回溯天线阵中使用此开关键控特性,此时,它在功率消耗特性上和一个天线元工作是等价的,然而却达到了方向回溯天线阵列的辐射性能,提高了天线的工作效率.

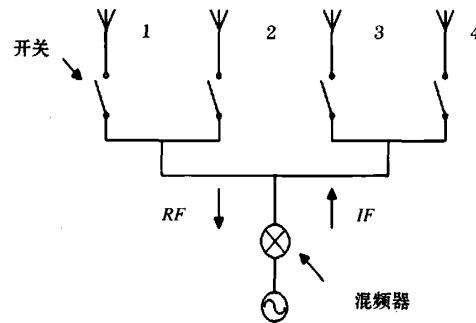


图2 四元开关键型方向回溯天线原理图

2 天线的设计

2.1 天线阵元

根据要求,天线元采用双极化微带贴片天线元,在相邻边同时馈电,激励两个基模和,他们等幅同相,极化方向相互垂直,以此来达到收发隔离的目的.

首先,给出天线设计的基本指标:

- 1) 谐振频率 f 在 X 波段($8 \sim 12.4$ GHz);
- 2) 双线极化;
- 3) $VSWR < 2$ 的带宽尽量保证变极化系统要求;

选择参考频率 $f_r = 8.75$ GHz 基板介电常数 $\epsilon_r = 2.7$,介质板厚度为 $h = 1$ mm;根据微带天线元设计公式计算得出, $W = 12.6$ mm, $L = 10$ mm, 因为天线是双极化天线,必须在 W 端另加一个馈电端口,而谐振要求和 L 端是一样的所以确定天线的 $W = L = 10$ mm,由此便得到一个正方形的贴片天线^[3],如图3 所示.

同时利用 HFSS 软件仿真优化得到微带元相邻两边馈线的长为 5.4 mm,宽为 0.26 mm 时,匹配程度较好,其两端口的输入阻抗为:1 端口:58 ~ j

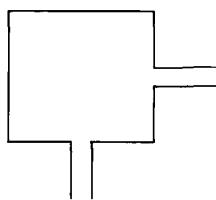


图3 双极化微带天线单元

0.771Ω ; 2端口: $56.231 + j0.154\Omega$; 如图4, 最后在利用 $1/4$ 波长阻抗变换器与标准欧姆传输线达到良好的匹配, 其阻抗 $Z_1 = \sqrt{Z_0 \times Z_2}$, Z_0 是标准传输线阻抗为 50Ω , Z_2 为天线馈线输入端阻抗.

2.2 时序开关

此通道的开断可以用一个周期性的时序开关电路完成如图5, 即开关处于高电平时, 开关闭合, 通道导通, 同时接收和发射信号; 处于零电平时, 开关关断, 通道截止, 不接收和发射信号; 从天线元1到4的开关时序依次延迟 $1/4$ 个周期, 也就是每个周期内天线元依次工作 $T/4$ 的时间, T 可以根据性能要求来设置, 这里采用频率为 200 Hz 的二进制方波发生器来控制.

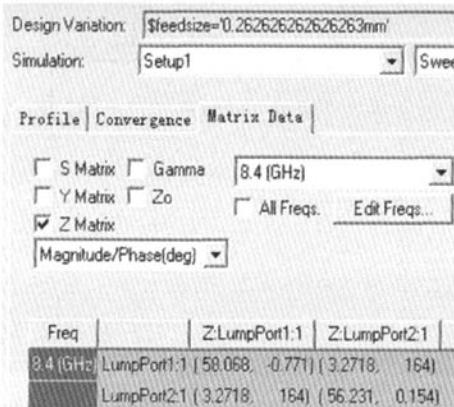


图4 馈线优化计算图

对于本设计, 由于每个通道处于或“开”或“关”两种状态, 这也就等价于一个二进制的数字调制对此四元方向回溯天线阵列的性能进行控制.

2.3 馈电网络

在本方案中, 采取一个一分二等分功分器组成功分网络, 完成对四单元天线等幅同相馈电如图; 并在馈电网络与天线元之间加入 $1/4$ 波长阻抗变换器来达到良好的匹配^[4].

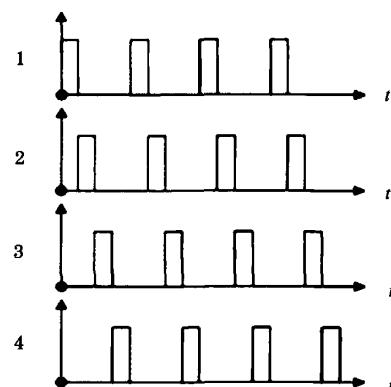


图5 天线元时序开关波形图

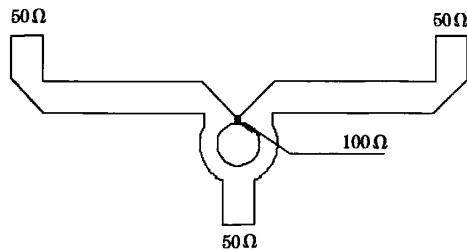


图6 一分二功分器

2.4 阵元间距

阵元间距的选择应考虑对波束宽度的要求, 并且要兼顾辐射元与馈线间应有适当的距离, 为了不产生不希望的耦合以及避免由于栅瓣出现而限制扫描角, 将阵元间距选为 $\lambda_g/2$ (λ_g 是微带线中的波长)^[1].

3 仿真分析

3.1 S参数仿真

如图7可以看出, 天线的谐振频率在 8.4 GHz , 在中心频率下的两端口反射损耗 $S(1,1), S(2,2)$ 均在 -20 dB 以下, 满足通信系统中反射系数小于 -14 dB 的要求, 而且两端口的互易性较好; 其中 $S(2,1)$ 表示的是两端口的隔离度, 可以看出在天线工作在中心频率时隔离度达到了 -30 dB 以下, 满足正交极化的要求.

3.2 驻波比(VSWR)

图8是天线驻波比(VSWR)图, 从图8中可以看出, 天线在 $VSWR < 2$ 的带宽为 200 GHz 左右, 即频率为 $8.30 \sim 8.50\text{ GHz}$, 相对带宽为.

3.3 辐射方向图

由图9可以看出, 单个天线元工作在中心频率

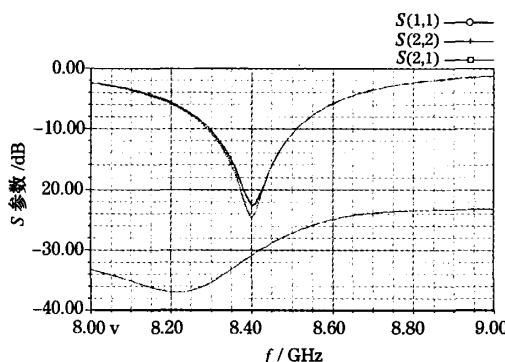


图7 S参数仿真图

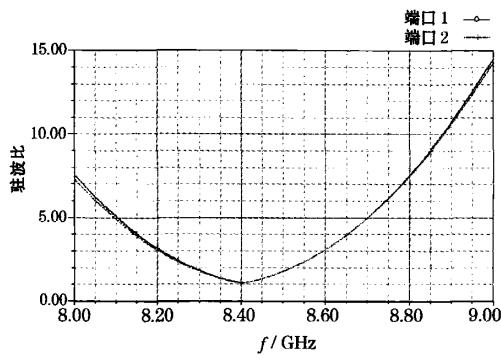


图8 驻波比仿真图

8.4 GHz时,天线增益达到6.79 dB,方向图对称性良好,而采用4个天线元依次工作,优化了单一天线元工作的性能,可以在更宽阔的角度和距离范围内达到方向回溯的目的;在一个复杂的多径条件下,同样阵元数的方向回溯天线误码率要优于非方向回溯天线的误码率,而四元方向回溯天线阵的误码率又优于单个阵元的方向回溯天线误码率^[3]。

如图10,设计出了一个中心频率为8.4 GHz,阵元间隔为 $\lambda_g/2$ 的四元开关馈电型方向回溯天线阵列,此阵列附着在Arlqip AD270介质基板上,其介电常数 $\epsilon_r=2.7$,天线开关频率为200 Hz,天线阵列与混频电路分处在介质基板的两侧,以避免相互间的干扰。

为了使天线元两端口之间达到更好的隔离,使接收与发射之间相互的影响更小,本文设定来波工作频率为8.45 GHz,混频器频率输出为16.8 GHz,此时输出的回波频率为8.35 GHz,两者之间存在一个微小的频差,我们通过公式^[5] $\frac{\sin\theta_{in}}{\sin\theta_s} = \frac{f_{in} - f_\Delta}{f_{in}}$; (其中: θ_{in}, θ_s 分别为入射波角度和反射波角度; f_{in} 为入射波频率, f_Δ 为入射波与反射波的频差)可验

证回波的误差在允许的角度范围内。

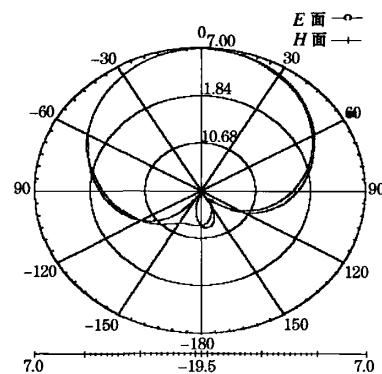


图9 天线辐射方向图

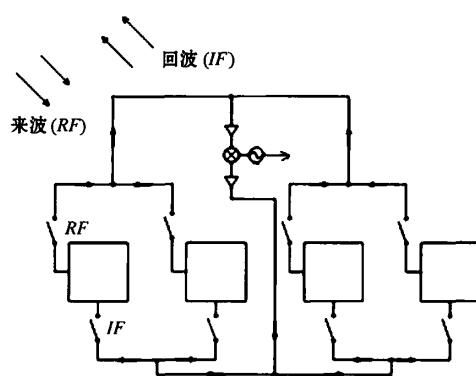


图10 四元开关馈电型方向回溯天线阵

4 结语

本文仿真设计出了一种四元开关型馈电方向回溯天线,与传统的方向回溯天线要求每个天线阵元都有一个混频器相比,节省了3/4的混频器电路,这对降低电路复杂性,削减天线成本都有极大好处,符合未来天线的发展趋势。

参考文献:

- [1] 郭胜刚. 方向回溯天线研究 [D]. 成都:电子科技大学, 2006.
- [2] 韩冰. 双极化微带天线的研究与设计 [D]. 南京:南京理工大学, 2007.
- [3] TOH B Y, FUSCO V F, BUCHANAN N B. Retrodirective array tracking prediction using active element characterization [J]. IEEE Electronics Letters, 2001, 37(12): 727-728.
- [4] ADNAN A A, NORMAN C B. Analysis of Switched Diversity Systems on Generalized - Fading Channels [J]. IEEE Transactions On Communications, 1994, 42(11): 2959-2961.
- [5] GUO Y C, SHI X W, CHEN L. Retrodirective Array Technology [J]. IEEE Progress In Electromagnetics Research B, 2008, 5: 153-167.

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>