

MIMO 系统双极化微带振子天线研究

周翔, 朱晓维, 华光,

东南大学无线电工程系毫米波国家重点实验室

[摘要] 本文从场和路的角度, 分别对应用于 MIMO 系统中含巴伦结构的双极化天线单元进行了分析和设计, 使用 ANSOFT 公司的仿真软件进行了仿真, 并与实测结果进行了比较。同时着重对该结构天线单元间的极化隔离进行了仿真分析, 以及考虑了其排成阵列时不同放置方式情况下的互耦情况, 获得了有益的结果。

[关键词] 微带天线、巴伦结构, 极化隔离, 天线互耦

一、引言

随着无线和个人通讯的不断发展, 解决频谱资源和电磁干扰对通信发展的制约成为突出的热点问题, 一种采用多输入多输出 (MIMO) 系统的技术有望在后三代 (Beyond 3G) 移动通信发展中崭露头角。在 MIMO 系统中天线结构趋向于小型化、重量轻、剖面薄, 极化多采用双极化形式以用于极化分集。含巴伦结构的微带天线可以满足上述要求^[1,2]。本文介绍了这类微带天线的设计方法, 研究了两垂直极化天线单元间的极化隔离和在天线阵中不同放置状态下, 天线单元间的互耦和极化隔离, 通过使用 ANSOFT 公司的软件对场和路进行仿真和实验验证, 得到了一些有益的结果。

二、设计和仿真

微带天线对称振子两臂电流的不平衡会同时改变天线方向图的形状和输入阻抗, 为实现对平衡天线的平衡馈电, 同时实现阻抗匹配, 需采用巴伦结构。

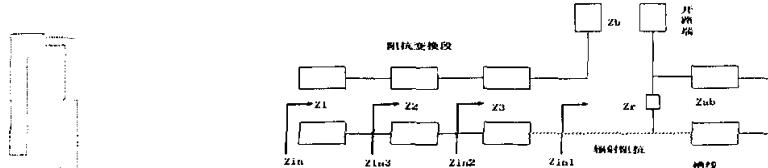


图 1、微带印刷振子天线结构图

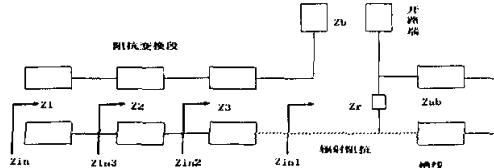


图 2、微带印刷振子天线等效电路原理图

为满足平衡馈电和阻抗匹配的要求, 要求:

$$Z_{in1} = -jZ_b \cot \theta_b + \frac{jZ_s Z_{ab} \tan \theta_{ab}}{Z_r + jZ_{ab} \tan \theta_{ab}}$$

以此为模型, 首先我们采用矩量法计算了微带偶极子天线的辐射阻抗 Z_r , 接着在 ANSOFT 的 SERENADE 中进行了路的仿真, 得到了槽线、短截线和各级阻抗匹配线的阻抗值和物理尺寸。这些路的仿真参数作为我们进一步进行场仿真的初始值和天线单元设计的原始尺寸。

本文得到国家“863”重大项目 2002AA123031 和海外青年合作研究基金 6504001167 的资助。

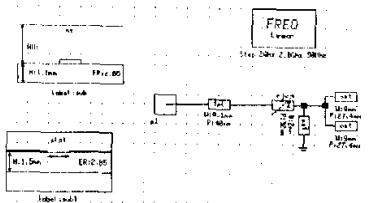


图3、微带印刷振子天线 schemetical 图

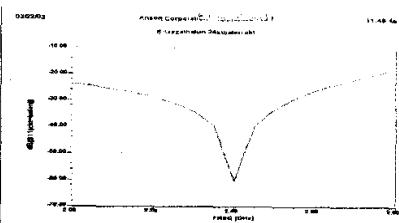


图4、端口的回波损耗 (S_{11} - dB) 值

1. 微带印刷振子天线场仿真与实测结果

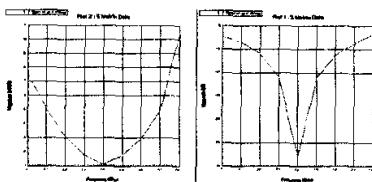


图5、微带天线单元 S_{11} 仿真曲线

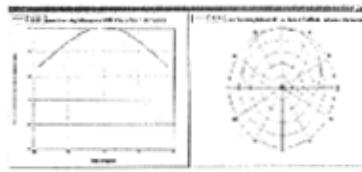


图6、微带天线单元方向图仿真结果

从上图可以看到在 $VSWR \leq 1.5$ 的条件下，阻抗带宽为 120MHz，且 $VSWR$ 最小点在 2.4GHz 的中心频率上，高低频段对称较好，符合设计的要求。按仿真所得结构尺寸制作出了实物，并使用 HP-8720 矢量网络分析仪对其进行实测。

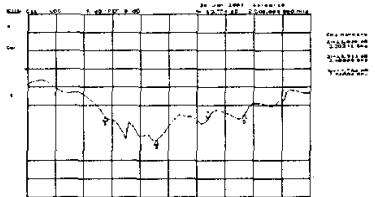


图7、微带天线单元 S_{11} 实测曲线

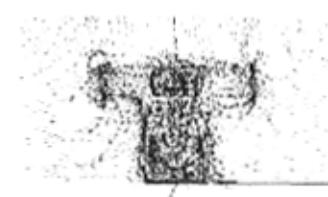


图8、微带天线单元电场分布示意图

比较仿真和实测的结果可以发现，实测的结果要优于仿真结果，满足 $VSWR < 1.5$ 条件的带宽更宽。其原因与反射板尺寸大小有关，限于计算机的性能，仿真所取反射板模型尺寸较小。

2. 双极化的隔离与互耦

将两个上述结构微带天线单元十字交叉放置，可以实现双极化。对其进行了仿真，结果发现 2 个端口的隔离很好，带内达 -30db 以下。两端口的 S_{11} 性能并未受到双极化的影响。但微带天线单元十字交叉放置带来的结构上的调整，使得 2 个端口的性能有微小的差别。

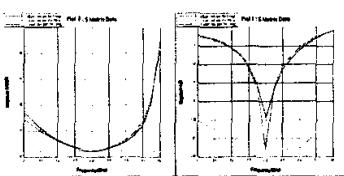


图9、双极化两端口 S_{11} 仿真曲线

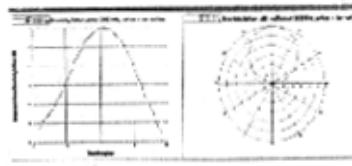


图10、双极化天线单元方向图仿真结果

考虑实际安装情况，2 单元很难严格垂直，会有一定偏差，这些偏差会对整体性能带来一定影响。因此对偏离 3, 5, 8 度的三种情况进行了仿真，将仿真的 s 参数列在表 1：

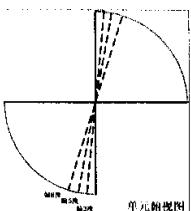


图 11、偏离情况俯视图

	S11	S22	S21(S12)
偏 0 度	-33.013	-24.256	-31.468
偏 3 度	-36.717	-23.878	-22.168
偏 5 度	-37.421	-25.232	-19.532
偏 8 度	-36.724	-25.123	-16.355

表 1、偏离后的两单元散射矩阵

从表 1 中可以看出，偏离一定角度对于 s_{11}, s_{22} 并无太多影响，但对于 $s_{12}(s_{21})$ 影响较大，即随着偏离角度的增大，极化隔离恶化，轴比变坏，在偏离 8 度时已下降到 -16dB 左右。实际装配出现 5 度以上偏差的可能性较小，所以双极化的隔离性能良好。

3. 两天线单元间的互耦

考虑将由此种天线单元组成阵列，我们还进行了单元间距对互耦影响的研究。将两天线单元辐射中心相隔一定距离放置，俯视图如下， o_1, o_2 分别为两单元的辐射中心， d 为两天线单元辐射中心的距离，4 个端口的位置如图 12 所示：

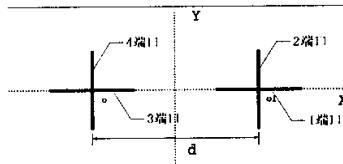


图 12、两天线单元放置示意图

分别对 d 为 0.5, 0.6, 0.7 个波长的情况进行了分析仿真。

$[-24.379 \ -26.844 \ -11.413 \ -40.804]$	$[-26.717 \ -29.848 \ -13.548 \ -39.122]$	$[-29.828 \ -30.328 \ -17.279 \ -46.010]$
$[-26.844 \ -33.785 \ -30.872 \ -15.191]$	$[-29.848 \ -28.814 \ -30.278 \ -16.261]$	$[-30.328 \ -25.270 \ -32.761 \ -18.029]$
$[-11.413 \ -30.372 \ -23.622 \ -26.621]$	$[-13.548 \ -30.278 \ -25.745 \ -30.390]$	$[-17.279 \ -32.761 \ -29.558 \ -32.638]$
$[-40.804 \ -15.191 \ -26.621 \ -34.349]$	$[-39.122 \ -16.261 \ -30.290 \ -25.468]$	$[-46.010 \ -18.029 \ -32.638 \ -23.624]$

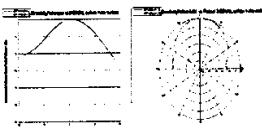


图 13. $d=0.5\lambda$ S 矩阵和方向图

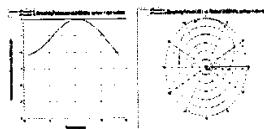


图 14. $d=0.6\lambda$ S 矩阵和方向图

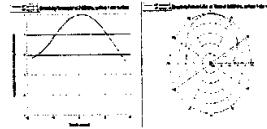


图 15. $d=0.7\lambda$ S 矩阵和方向图

从三种情况的散射矩阵来看， $S_{11}, S_{22}, S_{33}, S_{44}$ 都在 -23dB 以下，4 个端口各自回波损耗性能良好； $S_{12}, S_{21}, S_{34}, S_{43}$ 都在 -26dB 以下，如上所述，同一单元两端口隔离良好； $S_{14}, S_{41}, S_{23}, S_{32}$ 都在 -30dB 左右，这表示不同单元的相异端口间影响较小。值得注意的是 $S_{13}, S_{31}, S_{24}, S_{42}$ ，也就是不同单元相同端口间的互耦情况，随着 d 增大，相互的影响在减小。 S_{13} 与 S_{24} 相比，前者较差，这是易于理解的，1, 3 天线单元振子臂相互间最小距离没有达到半波长。可以推算在 $d \geq 0.5\lambda + l$ （振子长度）时，1, 3 端口的隔离将变得很好。

从三种情况的方向图来看， YZ 平面的方向图大致无变化，说明 d 的改变对其影响很小，这与前面提到的 1, 3 端口与 2, 4 端口之间的隔离很好是一致的； XZ 平面的方向图在 d 增大时，主瓣的宽度减小，副瓣增大。

4. X形单元的互耦

现将单元沿 Z 轴旋转 45 度，变为 X 型单元。单元每个基本结构 E 面和 H 面的辐射有所减小，但是叠加后的总场并未发生改变。作为接收天线，这种单元的接收效果更好。在满足两单元各部分都相距半波长的条件下，只需辐射中心距离

$$d \geq 0.5 \lambda + \frac{\sqrt{2}}{2} l \approx 0.8 \lambda \quad (l \text{ 为振子长度})$$

就可以满足 2 单元任何部分都相距半波长的要求，比同样情况下的十字单元减小了 0.3λ 的长度。下面分别对 d 为 0.5, 0.6, 0.8 个波长时的情况进行了仿真分析。

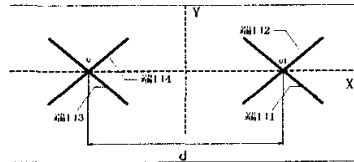


图 16、X型天线单元放置示意图

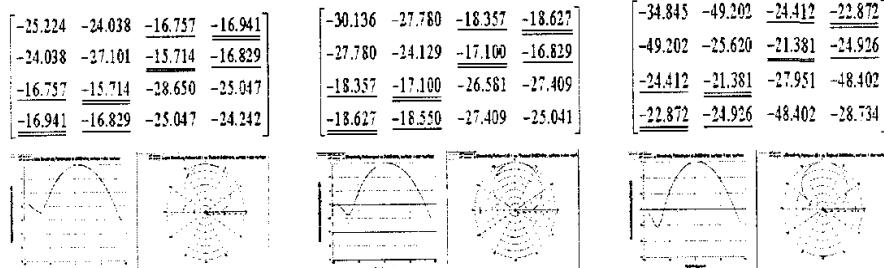


图 17.d=0.5 λ S 矩阵和方向图

图 18.d=0.6 λ S 矩阵和方向图

图 19.d=0.8 λ S 矩阵和方向图

可以看到与十字型二元阵有所不同。在相同 d 的情况下，S13(S31) 和 S24(S42) 在减小，表示不同单元相对应端口间的隔离度变好，互耦减小。同时，S14(S41) 和 S23 (S32) 增大，表示不同单元不同端口间的隔离度变差，互耦增大。但总体来说，X 型单元比十字型单元的性能要好，尺寸要小。同样，随着 d 的增大，互耦减小，在两单元所有结构满足间隔半波长的条件时，各端口的隔离都达到了 -20dB。在 XZ, YZ 两个平面上方向图都有所变化，与十字型比较，随着 d 的增大，XZ 平面的变化在趋缓，YZ 平面的变化在增大，但在相同距离的条件下，可以看到两者的总的方向图是一致的。d 的增大会带来较大的副瓣，可见辐射中心距离不宜过大，工程中一般可取 0.6-0.7 个波长

三、总结

本文设计了中心频率在 2.4GHz 的含巴伦结构的微带偶极子天线，进行了场和路的仿真并做了实际测试，结果表明理论和实验结果符合较好。在此基础上对其实现双极化，考虑了实际加工中可能带来的偏离情况，对其极化隔离进行了仿真，发现这种类型的单元结构极化隔离良好。对天线单元在不同放置方式状态下的互耦进行了仿真，从中可以看到 X 型单元相对于十字型单元有很多优点。

参考文献

- [1] A.B.Smolders,M.J.Arts “Wide-band antenna element with integrated balun” IEEE APS int.Symposium Atlanta USA 1998
- [2] Brian Edward,Daniel Rees “ A broadband printed dipole with integrated balun” MICROWAVE JOURNAL. MAY 1987

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>