

文章编号:1671-0576(2007)01-0040-04

毫米波平面结构单脉冲天线

解海波, 都亮, 余彦民, 宗志园

(南京理工大学, 江苏 南京 210094)

摘要: 以毫米波制导为应用背景, 研究平面微带结构的毫米波和差网络及收/发阵列的设计。使用 ADS 优化设计了微带分支耦合器, 并用其搭建了一种结构紧凑的“十”字型和差网络, 使用 HFSS 优化并仿真了 4×4 的微带矩形贴片阵列。和差网络和微带阵列组成单脉冲天线, 采用 HFSS 仿真并分析了该阵列的和差方向图性能。

关键词: 单脉冲天线; 定向耦合器; 微带天线

中图分类号: TN821

文献标识码: A

Monopulse Antenna of Millimeter Wave Planar Structure

XIE Hai-bo, DU Liang, YU Yan-min, ZONG Zhi-yuan

(Nanjing University of Science and Technology, Nanjing Jiangsu 210094, China)

Abstract: Base on the application background of millimeter wave (MMW) guidance, the MMW sum-difference network and transmit/receive antenna array of the planar microstrip structure are analyzed. The compact cross shaped sum-difference network constituted by microstrip ramosc couplers is optimized to design by ADS. While the 4×4 microstrip rectangular patches array is optimized to simulate by HFSS. The monopulse antenna is constituted by the sum-difference network and microstrip antenna array, and sum-difference directional diagram performance of the array is simulated to analysis by HFSS.

Key words: monopulse antenna; directional coupler; microstrip antenna

0 引言

毫米波单脉冲雷达在跟踪和制导领域有着广阔的应用前景, 毫米波单脉冲天线是毫米波雷达

的关键技术。本文研究了毫米波(35 GHz)微带结构和差网络及矩形微带收/发阵列组成的单脉冲天线。

1 和差网络

传统的和差网络由魔 T 构成, 结构过于庞大, 设计加工都比较困难, 且成本较高。采用 $0^{\circ}/90^{\circ}$ 微带分支耦合器结合 90° 微带延迟线构成和差网

收稿日期:2006-12-26

作者简介:解海波(1983-), 男, 硕士; 都亮(1982-), 男, 硕士, 均从事毫米波单脉冲天线的研究; 余彦民(1979-), 男, 博士; 宗志园(1972-), 女, 副教授, 均从事毫米波与红外复合制导的研究。

络,具有结构轻巧和成本低廉的特点,其原理图如图 1 所示。

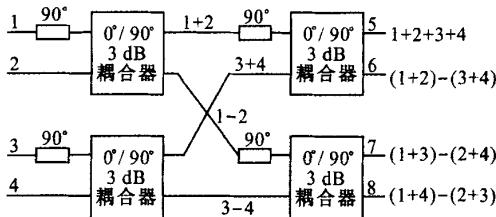


图 1 90°分支耦合器组成的和差网络原理图

图中,5、6、7 输出口分别对应和通道、俯仰差通道和方位差通道,端口 8 接地。

1.1 微带分支耦合器的设计

分支定向耦合器是由主线、副线以及若干耦合分支线所组成,如图 2 所示。它们是利用经各分支线耦合的分波在各个端口的波程差,使之在某一端口同相叠加,在另一端口反相抵消,从而构成定向耦合。通过增加分支线的枝节数,可以增加微带分支定向耦合器的带宽。

本文采用三分支结构设计微带定向耦合器,如图 2 所示,图中标出了各段微带线的归一化特性导纳。介质基片选用 RT-Duroid 5880,相对介电常数为 2.2,厚度为 0.254 mm,中心频率为 35 GHz,设计带宽为 500 MHz。

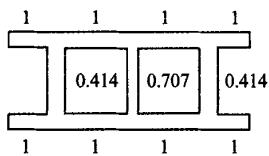


图 2 微带分支定向耦合器

根据图 2 给出的归一化特性导纳值计算出各段微带线的宽度,长度取相应频率的四分之一波长。利用 ADS 软件进行优化,得到三分支结构微带耦合器的 S 参数,如图 3 所示。

图 3 中 $S(2,1)$ 、 $S(3,1)$ 和 $S(4,1)$ 分别为直通端、耦合端和隔离端的传输系数, $S(1,1)$ 为输入端的反射系数。由图可以看出,在 (34.4 ~ 35.6) GHz 范围内直通端和耦合端传输系数约为 3 dB,可以认为平分输入端功率;隔离端传输系数

和输入端反射系数都小于 -30 dB,可以认为隔离效果良好,输入端输入效率较高。

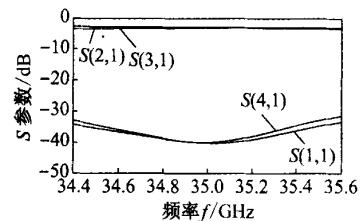
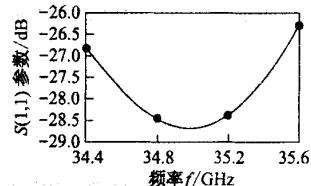
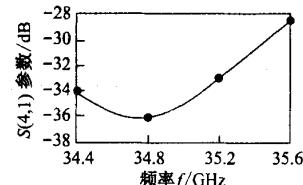


图 3 微带耦合器的 S 参数

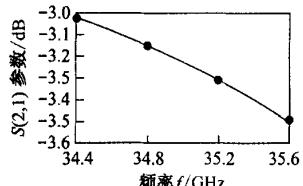
生成 Layout 进行仿真,结果恶化,无法满足 (34.45 ~ 35.45) GHz 的频带内, $S(2,1)$ 和 $S(3,1)$ 在 (3 ± 0.5) dB 范围内, $S(1,1)$ 和 $S(4,1) \leq -30$ dB 的要求,根据结果恶化的状况对耦合器再次进行优化,最终结果如图 4 所示。



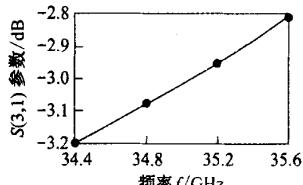
(a) $S(1,1)$ 参数



(b) $S(4,1)$ 参数



(c) $S(2,1)$ 参数



(d) $S(3,1)$ 参数

图 4 Layout 仿真结果

由图 4 可以看出参数满足设计要求, 并且直通端和耦合端的相位差为 $90^\circ \pm 5^\circ$, 输入阻抗为 $(50 \pm 5) \Omega$, 带宽在 1 GHz 以上。

1.2 和差网络的设计

按照图 1 中所示的结构, 将四个微带耦合器用 50Ω 传输线连接成和差网络, 其 Layout 如图 5 所示。

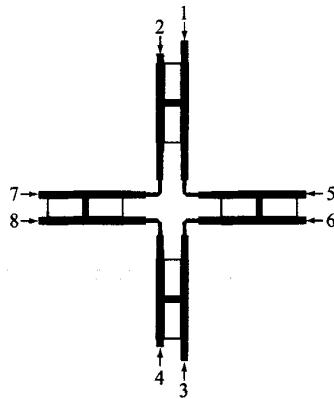


图 5 和差网络的 Layout 版图

仿真结果如表 1 与表 2 所示。

表 1 和差网络输入端口的驻波比

频率 (GHz)	端口 1	端口 2	端口 3	端口 4	最大值
34.75	1.207	1.067	1.194	1.067	1.207
35.00	1.206	1.069	1.194	1.069	1.206
35.25	1.196	1.081	1.188	1.081	1.196

表 2 四输入端口等幅同相输入时, 5、6、7 端口的输出

频率 (GHz)	输出端口幅度		
	端口 5 (1 + 2 + 3 + 4)	端口 6 (1 + 2 - 3 - 4)	端口 8 (1 - 2 + 3 - 4)
34.75	1.8624	0.0766	0.0830
35.00	1.8597	0.0550	0.0603
35.25	1.8556	0.0388	0.0397

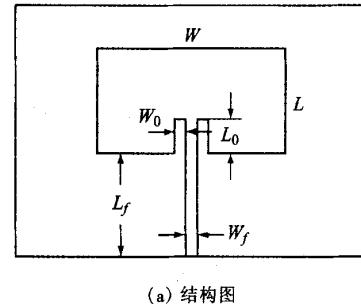
由表 2 可以计算中心频率的最小零深为 $20\log(0.0603/1.8597) = -27.02 \text{ dB}$ 。

2 天线单元的设计

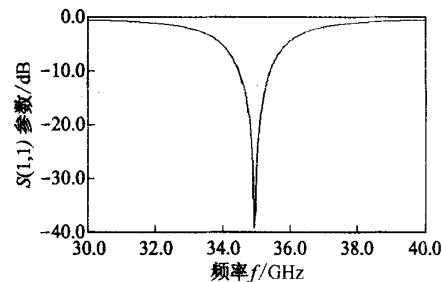
天线单元采用图 6 所示的辐射边馈线内插结构^[4]。

图 6(a)中, W 为贴片单元宽度; L 为单元长度; W_f 为馈线宽度; L_f 为馈线在贴片外的长度; W_0 为馈线与槽壁的间隔; L_0 为槽的深度。采用 HFSS 仿真并优化后, 取 $W_f = 0.3 \text{ mm}$, $L_f = 1.5 \text{ mm}$, $W_0 = 0.11 \text{ mm}$, $L_0 = 0.9 \text{ mm}$ 。

由图 6(b)可以看出, 天线单元的带宽约为 900 MHz。



(a) 结构图



(b) $S(1,1)$ 参数

图 6 天线单元结构与 $S(1,1)$ 参数图

通过逐级设计的方法来设计 4×4 天线方阵^[5], 由 2×2 天线阵设计 4×4 天线阵时运用参数加载的方法, 即用 2×2 天线阵的各个仿真结果, 使用相应程序模拟 4×4 天线阵列的各个参数, 近似估计 4×4 天线阵列各参数结果是否符合设计要求。最终将和差网络与 4 组 4×4 天线阵置于同一平面上构成单脉冲天线, 如图 7 所示。

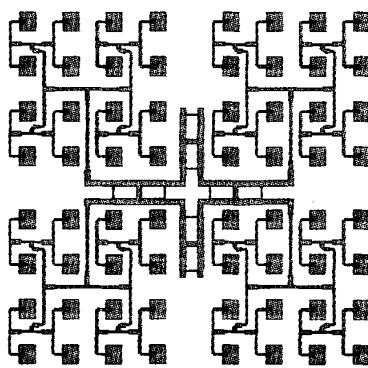


图 7 单脉冲天线的阵列

在 ADS 中仿真输入口的驻波比如图 8 所示,其中 a、b、c 分别是和口、俯仰差口和方位差口的输入驻波比。

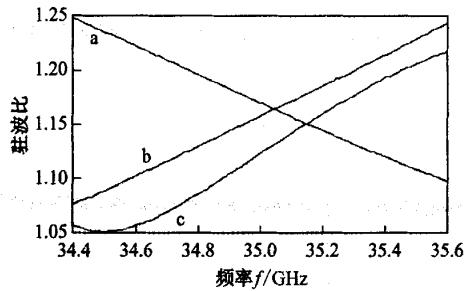


图 8 输入驻波比

在 HFSS 中,仿真单脉冲天线的和口方向图,如图 9 所示。

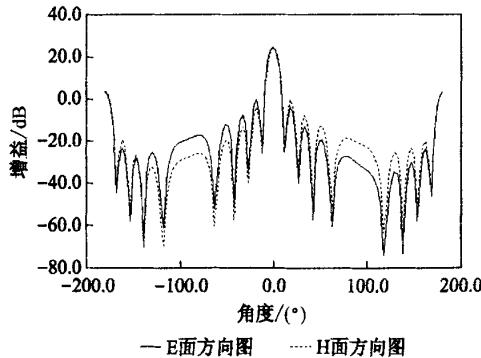


图 9 和口方向图

在 HFSS 中,仿真单脉冲天线的差口方向图,如图 10 所示。

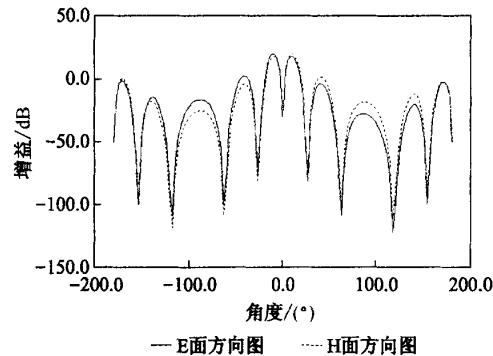


图 10 差口方向图

由仿真图可见,在(34.4~35.6)GHz 约 1 GHz 多的带宽内输入口的驻波比小于 1.25,差口最小零深为 -30 dB。

3 结束语

在研究微带平面结构的毫米波和差网络和矩形天线方阵的基础上,使用 HFSS 对由二者组成的单脉冲天线进行仿真分析,为微带结构应用于毫米波单脉冲系统研制提供了依据,其最优化设计和实验验证还有待进行。

参考文献

- [1] 方大纲,陈晓光.一种结构紧凑的新型微波单脉冲天线阵[J].南京理工大学学报,2003,27(2):473-477.
- [2] 谭秀华,李进珍.微带分支定向耦合器 CAD[J].河北大学学报,1995,(4):51-54.
- [3] 李嗣范.微波元件原理与设计(第一版)[M].北京:人民邮电出版社,1982.
- [4] I.J.鲍尔,P.布哈蒂亚.微带天线(第一版)[M].北京:电子工业出版社,1984.
- [5] 翟孟云,严育林.阵列天线理论导引(第一版)[M].北京:国防工业出版社,1980.

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>