

一种 X 频段微带天线设计

孙宏利

(中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北 石家庄 050081)

摘要 随着大规模集成电路的发展, 电子设备的结构越来越微型化, 对天线的结构要求也越来越高。针对某工程对微带天线的实际需求, 介绍了矩形微带天线的设计理论依据, 提出了设计方案。采用传输线模型设计方法, 对 X 频段的 4×4 天线阵列进行了具体设计, 重点阐述了微带天线设计的相关问题, 并提出了解决办法。采用 CST 软件给出了该种天线的辐射方向图, 分析结果满足工程实际需求。

关键词 微带天线; 传输线模型; 矩形; X 频段

中图分类号 TN822.4 文献标识码 A 文章编号 1003-3106(2012)03-0041-03

Design of an X-band Microstrip Antenna

SUN Hong-li

(The 54th Research Institute of CETC, Shijiazhuang Hebei 050081, China)

Abstract With the development of large scale integrated circuit, electronic devices become increasingly miniaturized in structure, and the requirement for antenna structure is higher and higher. Considering the actual requirement, the paper introduces the theoretical basis of a rectangular microstrip antenna design, and presents the design scheme. An X-band 4×4 antenna array is designed by transmission line model method. Some design relevant issues and their solutions are discussed in particular. Finally, the radiation pattern of the antenna is given by the CST software. The analysis result meets the practical engineering requirement.

Key words microstrip antenna; transmission line model; rectangle; X-band

0 引言

无线电工程系统都是利用无线电波进行工作, 无线电波的发射与接收依靠天线来完成, 天线是无线电波的出口与入口。集成电路的发展使无线电设备的体积大大缩小, 相比之下, 天线作为设备整体的一部分, 在外形上并无多大改变, 显得尤为笨重。微带天线一经出现, 即以其重量轻、体积小、成本低、平面结构、可以和集成电路兼容等优点, 成为天线家族中充满生命力的一个分支。矩形微带天线是微带天线中一种常见的形式, 具有分析设计方便和实用等特点。

1 设计需求

根据需求, 现设计工作频率为 10.5 GHz、带宽为 200 MHz、增益为 20 dB 的矩形微带天线。

根据微带天线理论, 矩形微带贴片可看作宽 a 长 b 的一段微带传输线。如图 1 所示, 矩形贴片尺寸为 $a \times b$, 介质介电常数为 ϵ , 基片厚度为 h , $h \ll \lambda_0$, λ_0 为自由空间波长。其始端 a 边处因为呈现开路, 将形成电压波腹。一般取 $b \approx \lambda/2$, λ 为微

带线上工作波长, 于是另一终端 a 边处也呈电压波腹, 因此, 2 条 a 边的磁流是同相的, 故其辐射场在贴片法线方向同相叠加, 呈最大值, 且随偏离此方向的角度的增大而减小, 形成边射方向图。

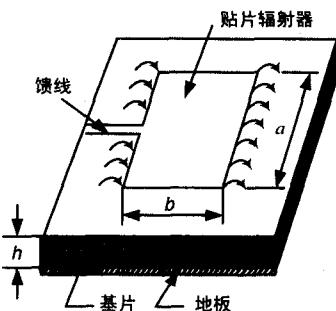


图 1 矩形微带贴片

沿每条 b 边的磁流都由反对称的 2 个部分构成, 它们在 H 面上各处的辐射互相抵消; 而 2 条 b 边的磁流又彼此呈反对称分布, 因而在 E 面上各处, 它们的场也都相互抵消。在其他平面上这些磁流的辐射不会完全抵消, 但远弱于沿 2 条 a 边的辐射。由此, 矩形微带天线的辐射主要由沿 2 条 a 边的缝隙产生。所以贴片可表示为相距 $\lambda/2$ 、同相激励并向地板以上半空间辐射的 2 个缝隙。当考虑电场沿贴片宽度的变化时, 微带天线可以用贴片周围的 4 个缝隙来表示。这样就可以用传输线模型来分析设计矩形微带天线。

根据传输线模型可以得到微带天线远场区的方
收稿日期: 2011-12-22

向函数为：

$$H \text{ 面} (\varphi = 0) : F_H(\theta) = \frac{\sin\left(\frac{1}{2}k_0 b \cos\theta\right)}{\cos\theta} \sin\theta; \quad (1)$$

$$E \text{ 面} (\varphi = \pi/2) : F_E(\theta) = \cos\left(\frac{1}{2}k_0 a \sin\theta\right). \quad (2)$$

式中, k_0 为自由空间波数, φ, θ 为球坐标参数。

2 设计方案

一般说来, 微带天线单元增益为 6 ~ 8 dB, 如果要实现实际需求的增益特性, 仅靠一个单元是无能为力的, 因此采用由单元组成的微带天线阵。在具体的布阵形式上采取微带线阵方式。

微带线阵的最简单排阵方式是直线阵, 其馈电结构一般采用串馈或并馈。串馈线阵 (Series Linear Array, SLA) 的辐射单元沿一条传输线排列, 此传输线可以是驻波(谐振式)馈源, 也可以是行波(非谐振式)馈源。谐振式串馈线阵的阵元相距 $\lambda_g/2$ 或 λ_g (λ_g 为线上波长), 以保证对阵元同相馈电, 波束指向边射方向。其终端短路或开路, 沿线形成驻波分布, 可用周期性加载的传输线来表示这种馈源, 其频带较窄。在行波式串馈线阵中, 从输入端向传输线馈电后, 沿线每个阵元都耦合一部分功率, 最后剩下的小部分功率被匹配负载吸收。为避免反射波同相叠加, 其阵元间隔不是 $\lambda_g/2$ 的倍数, 此时波束不是指向边射方向, 而是倾斜的。其阻抗带宽, 但主波束将随着频率偏移。在并馈线阵 (Parallel Linear Array, PLA) 中, 每个阵元都独立馈电, 通常都利用并合式 (Corporated) 功率分配网络。其典型形式是利用多个将一端分为 2 个的 T 型分支, 依次分为 2 路, 直到总分端数等于阵元数为止。由于从输入端至各单元都等长, 全部单元同相, 形成边射波束, 且频带宽。此外还可以利用接受/发射模块直接对各阵元馈电, 称为分布阵, 是有源阵列。设计中采用 4×4 均匀并馈网络。

4×4 并馈网络矩阵组阵时, 将初步设计好的天线单元和 T 型匹配器按照事先确定的单元间距组合起来, 然后利用全波分析软件进行模拟优化, 根据其阻抗匹配特性和频率特性确定阻抗匹配器的结构、馈线网络的位置和合适的单元尺寸。如果方向图特性和增益特性不满足设计要求则可以重新调整单元间距, 同时重新调整阻抗匹配器的结构和馈线网络的位置, 以达到驻波和增益特性都能满足设计要求。

3 解决的问题

3.1 基片选取

设计微带天线首先是选择厚度适当的介质基片。薄金属敷层能使天线便于制造, 易达到公差要求, 而较厚的金属敷层则容易焊接。介电常数较低的基片可增强产生辐射的边缘场, 且在一定程度上可以增加带宽。至于介质的厚度, 实验表明, 随 h/λ 的增加, 带宽会增大, 但同时天线的损耗会增加, 效率降低, 所以要综合考虑带宽和效率的指标, h 一般取 $0.03\lambda \sim 0.04\lambda$ 。根据工作频率, 可以算出 $\lambda = 28.6$ mm。实际设计选择聚四氟乙烯材料作为介质敷铜板, 其介电常数为 2.22, 板厚 $h = 0.73$ mm。

3.2 单元尺寸确定

利用腔模法的工程公式可以设计天线单元的尺寸。对于介质基片厚度为 h , 天线工作频率为 f_r , 有较高效率的矩形贴片辐射器, 其实用尺寸为:

$$a = \frac{c}{2f_r} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{2} \right)^{-1/2}, b = \frac{c}{2f_r \sqrt{\epsilon_r}} - 2\Delta l. \quad (3)$$

式中, c 为光速; ϵ_r 为介质介电常数; ϵ_e 为等效介电常数; Δl 为线伸长。

当选用小于式(3)的宽度时, 辐射器的效率较低; 而选用大于式(3)的宽度时, 辐射器的效率虽然提高, 但同时会产生高次模, 从而引起场的畸变。

在实际设计中, 综合考虑天线性能优化, a 取 11.54 mm, b 取 8.47 mm。单元的增益为 7.46 dB。

3.3 互耦效应

天线布阵设计主要内容包含单元排列设计和馈电网络设计。在组阵时, 各单元之间存在互耦效应, 它的存在将导致单元在阵中的方向图与孤立元的方向图不同以及阵中单元的输入阻抗与孤立元的输入阻抗不同。所以互耦效应将直接影响天线阵的性能, 而互耦效应的强弱取决于单元间距的大小。工程中一般认为最佳的单元间距是 0.8λ 。

3.4 匹配问题

在天线单元布阵之前, 首先要考虑的是单元与馈线连接点的匹配问题。良好的特性匹配可以增加天线带宽, 改善 S 参数, 因此对天线性能有着很大的影响。设计中采取在单元贴片的辐射边开小槽的方法来调整单元贴片与馈线之间的匹配特性。通过人

工干预法,不断调整小槽的长度和宽度,一直达到良好匹配的目的。辐射边小槽为长1 mm,宽1.1 mm的矩形,其输入端口反射系数 S_{11} 参数的仿真结果如图2所示,在工作频率10.5 GHz处, $S_{11} = -48.49$ dB。可以看出,单元与馈线间的匹配已达到比较理想的效果。

馈电网络的设计主要任务是保证各阵元所要求的激励振幅和相位,以便形成所要求的方向图,要求阻抗匹配、损耗小、频带宽和结构简单。此天线阵为保证达到各单元同幅同相的要求,设计的单元间馈线等长。当馈线等长时,波束指向与频率无关,所以频带宽度主要取决于阻抗匹配的频带。为此,使馈线与贴片单元间T型接头连接,做到良好匹配。按传输线理论,T型并接的2段特性阻抗为 Z_1 的馈线,要匹配到特性阻抗为 Z_2 的贴片,则中间的阻抗匹配器长度应为工作波长的四分之一,特性阻抗为 $Z_0 = \sqrt{Z_1 \times Z_2}$ 。

从上述可见,匹配的好与坏直接关系到天线的增益与端口的S参数。设计中所采用的T型分支与单元之间的四分之一波长变换器宽度为0.92 mm、长度为5.52 mm,得到的仿真结果为 $S_{33} = -37.6$ dB, $S_{13} = -3.6$ dB,可以看出T型分支设计尽可能地减小了传输损耗,也达到了良好的匹配效果。

4 仿真结果分析

采用CST软件对 4×4 矩阵微带天线设计进行仿真,仿真得到的回波损耗曲线如图3所示。从图中可以看出,天线的谐振频率为10.5 GHz(该频点回

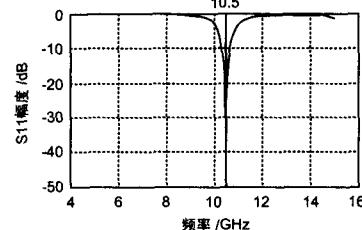


图2 输入端口反射系数 S_{11}

波损耗最小,仿真值为-18.2 dB);-10 dB带宽230 MHz(10.38~10.61 GHz)。

仿真得到的天线方向图如图4所示。从图4中

可以看出, 4×4 矩阵微带天线主瓣方向为0.0°,增益为19.6 dB,比设计需求略低,这是由于用CST软件仿真建模时,加入了1 dB的天线罩损耗,而实际测得的天线罩损耗为0.5 dB,因此, 4×4 矩阵微带天线实际增益为20.6 dB,与天线罩的综合增益为20.1 dB。

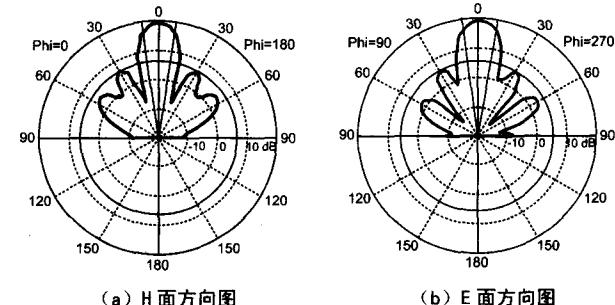


图4 4×4 矩阵微带天线方向图

5 结束语

传输线模型可以得出大多数微带辐射器工程应用的结果,并且需要的计算量不大,采用传输线模型方法分析设计 4×4 矩形微带天线,无论从软件仿真结果,还是工程实际测试结果,都达到了令人满意的效果。其特点是体积小、重量轻、成本低,在有限的体积下可达到20 dB的增益,可作为近程通信和测量天线使用。另外,良好的组阵匹配设计也为下一步更大规模、更高增益的矩形微带天线设计提供了参考依据。

参考文献

- [1] 杨儒贵,刘运林. 电磁场与波简明教程 [M]. 成都:科学出版社,2005.
- [2] 马小玲,丁丁. 宽频带微带天线技术及应用 [M]. 北京:人民邮电出版社,2006.
- [3] 张祖稷,金林,束咸荣. 雷达天线技术 [M]. 北京:电子工业出版社,2005.
- [4] I·J·鲍尔,P·布哈蒂亚. 微带天线 [M]. 北京:电子工业出版社,1990.
- [5] 江超,杨雪霞,白巧玲. 用缺陷地结构抑制圆极化微带天线的谐波 [J]. 无线电通信技术,2010,36(3):24~27.
- [6] 李迎松,刘乘源,杨晓冬,等. 一种小型化双频天线的设计与分析 [J]. 无线电通信技术,2010,36(4):33~35.

作者简介

孙宏利 男,(1977—),中国电子科技集团公司第五十四研究所工程师。主要研究方向:微波与通信。

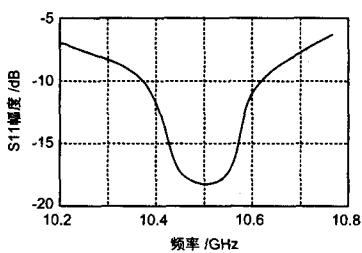


图3 回波损耗曲线

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>