

文章编号: 2095-4980(2020)03-0418-04

一种轻薄微带定向天线设计

蔡青, 陈星

(四川大学 电子信息学院, 四川 成都 610065)

摘要: 采用柔软轻薄微带基板, 设计了一种具有一定带宽和良好定向辐射性能的微带天线。该天线工作频率5.8 GHz, 印刷制作于厚度为0.5 mm(约 $0.01\lambda_0$, 其中 λ_0 为天线工作波长)微带基板上。为克服薄基板带来工作带宽狭窄的难题, 天线辐射矩形贴片周围排布3只大小不同、带有金属化导电过孔的寄生贴片。仿真表明, 寄生贴片大幅提升了该轻薄微带天线的工作带宽。加工制作了包括 5×5 个单元的天线样品并进行测试, 测试表明该天线单元的 $|S_{11}| < -10$ dB阻抗带宽达到2.2% (5.740~5.866 GHz), 增益达到8.0 dBi。天线样品尺寸为164.5 mm \times 179 mm, 质量为130.1 g(包括其中25只SMA接头质量70.8 g), 相当于 4.4 kg/m^2 。

关键词: 轻薄天线; 微带天线; 共形; 寄生耦合

中图分类号: TN827⁺.4

文献标志码: A

doi: 10.11805/TKYDA2019284

Design of light-weight microstrip directional antenna

CAI Qing, CHEN Xing

(School of Electronic and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu Sichuan 610065, China)

Abstract: A microstrip antenna is proposed, which is with a thin-substrate and light-weight but considerable bandwidth and good directional radiation properties. This antenna works at 5.8 GHz and is printed on a thin substrate with a height of 0.5 mm, corresponding to $0.01\lambda_0$, where λ_0 is the working wavelength of the antenna. To overcome the narrow bandwidth problem owing to the thin substrate, three parasitic patches of different sizes and with metalized conductive vias are placed close to the rectangular radiating patch. A prototype with 5×5 radiating elements is designed, fabricated and tested. Measurement results show that the proposed antenna possesses a $|S_{11}| < -10$ dB impedance bandwidth up to 2.2%(from 5.866 GHz to 5.74GHz) and a gain of 8.2 dBi. The prototype is with a size of 164.5 mm \times 179 mm and a weight of 130.1 g, including the weight of 25 SMA connectors, 70.8 g, corresponding to 4.4 kg/m^2 .

Keywords: light-weight antenna; microstrip antenna; conformal; parasitic coupling

在飞行器等应用场景, 要求天线具有轻、薄特性, 甚至能够与载体表面共形^[1-3]。为此, 国内外对轻薄天线设计进行了大量研究^[4-6], 但天线厚度过薄会导致天线带宽太窄, 给天线加工制作精确度提出过高要求并严重影响天线应用的可靠性, 是天线设计急迫攻克的难题。轻薄天线长期受到广泛重视, 如文献[7]通过在微带贴片天线的非辐射边开槽来展宽阻抗带宽, 在厚度0.25 mm、相对介电常数为2.2的介质板上制作了阻抗带宽为7.5%, 增益为22.5 dBi的 8×8 微带贴片阵列天线。但该天线的工作频率高达24 GHz, 介质板电厚度为 $0.02\lambda_0$, 不是真正意义上的轻薄天线; 文献[8]采用磁导率为3.55的磁介质材料设计2.4 GHz矩形微带天线, 但天线基板厚度仍达到1.016 mm, 且阻抗带宽仅为0.48%; 文献[9-10]使用廉价的柔性介质(聚酰亚胺、纸张)代替刚性和易碎的介质实现天线的轻薄化。这些天线的研究都无完整金属地, 为全向天线。文献[11]使用聚酰亚胺和SU-8聚合物并利用多层耦合技术和Minkowski分形几何设计了一款阻抗带宽为5%, 介质板总厚度为0.125 mm($0.005\lambda_0$)的定向天线, 但该天线单元的增益仅为4.5 dBi。

本文综合应用寄生单元和金属化过孔, 利用微带天线辐射单元与寄生单元之间的互耦, 通过激励起不同的工作模式提高工作带宽。最终设计了一款工作频率为5.8 GHz, 制作于0.5 mm厚度介质板上的轻薄微带定向天线。

收稿日期: 2019-08-12; 修回日期: 2019-09-17

作者简介: 蔡青(1996-), 女, 在读硕士研究生, 主要研究方向为电磁场与微波技术。email:1412651900@qq.com

1 轻薄微带定向天线设计

1.1 天线单元结构

该轻薄微带定向天线的单元结构如图 1 所示。天线采用厚度为 0.5 mm，相对介电常数为 2.65 的聚四氟乙烯基板制作。矩形贴片辐射单元的长度和宽度分别为 $L_1=12.2$ mm, $W_1=15.6$ mm, 采用 SMA 接头顶馈, 馈电点 A 离矩形辐射单元上边缘的距离为 $S_1=11.4$ mm。

增加寄生单元^[12-15]是拓展天线工作带宽的常用技术。本文在天线辐射单元上、左和右边缘处设计 3 只矩形寄生单元, 其中寄生单元 2 与寄生单元 3 结构对称一致, 长度和宽度分别为 $L_3=18.2$ mm, $W_3=15.4$ mm。寄生单元 1 与辐射单元的间隙为 $S_0=1$ mm, 长度和宽度为 $L_2=17.7$ mm, $W_2=15.4$ mm。寄生单元 2 和 3 与辐射单元的间隙为 $S_3=1.4$ mm, 在 3 只矩形寄生单元上开设有金属化过孔, 过孔直径为 1 mm, 位置分别为 $S_2=7.2$ mm, $S_4=2.9$ mm。

1.2 天线单元仿真

在常规微带贴片旁边分布一些谐振频率稍有不同的寄生贴片, 能够有效地展宽微带天线的带宽。通过引入寄生贴片, 使其驻波曲线呈现双调谐特性, 天线的阻抗带宽得到展宽。天线的主要调节参数为贴片尺寸和单元间缝隙的大小。缝隙的大小主要影响贴片间的耦合, 从而改变阻抗曲线的轨迹, 展宽天线的带宽。如图 2 所示, 未加寄生贴片时, 天线的谐振点为 $f_0=5.8$ GHz; 增加寄生贴片时, 天线有 2 个谐振点, 分别为 $f_1=5.75$ GHz, $f_2=5.88$ GHz, 根据天线单元回波损耗 $|S_{11}|$ 的仿真结果也可知, 采用厚度仅为 0.5 mm 的薄介质板时, 未加寄生单元的普通矩形贴片单元其 $|S_{11}|<-10$ dB 的阻抗带宽仅为 1.2%(从 5.760~5.830 GHz), 而增加金属化导电过孔寄生贴片后, 微带贴片单元的阻抗带宽提高到 3.41%(5.707~5.905 GHz)。

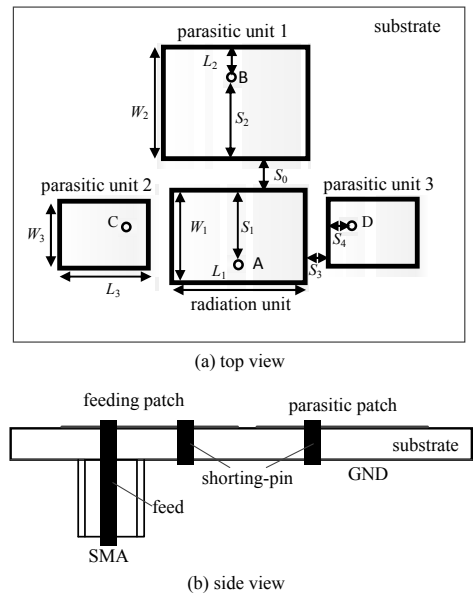


Fig. 1 Configuration of antenna unit
图 1 天线单元结构图

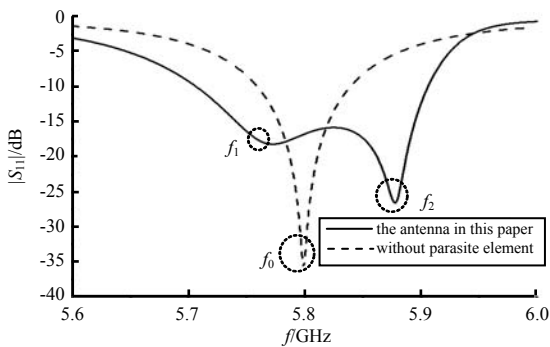


Fig.2 Comparison of unit impedance bandwidth
图 2 单元阻抗带宽对比

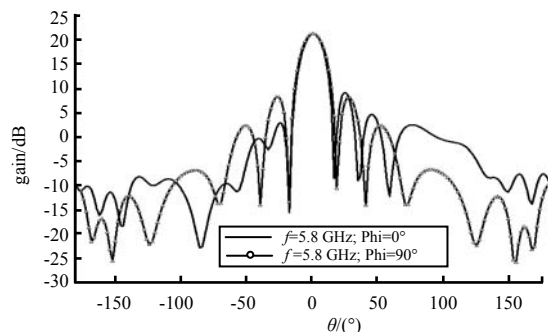


Fig.3 Gain of 5×5 array
图 3 5×5 阵列增益

2 天线阵列设计

2.1 天线阵列仿真

根据上述单元结构, 设计了一款 5×5 的天线阵列。由图 3 仿真结果可知, 阵列天线增益为 21.4 dBi, 对应该阵列的口径效率约为 94%, 阵列的主旁瓣比大于 12 dB。

2.2 天线阵列加工及测试结果分析

根据上述仿真结果, 加工了一款 5×5 的天线阵列。该阵列拟用于微波能量接收, 每个单元采用 SMA 接头独立馈电。图 4 为加工制作的天线样品照片。

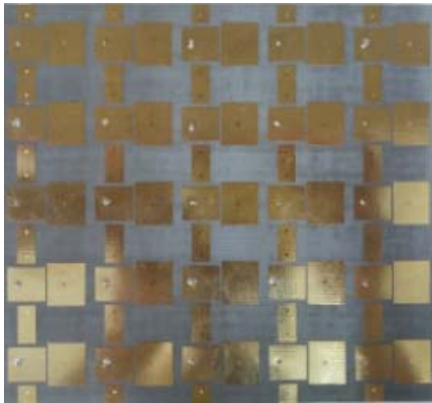


Fig.4 Prototype of 5×5 array
图 4 加工制作的 5×5 天线阵列样品

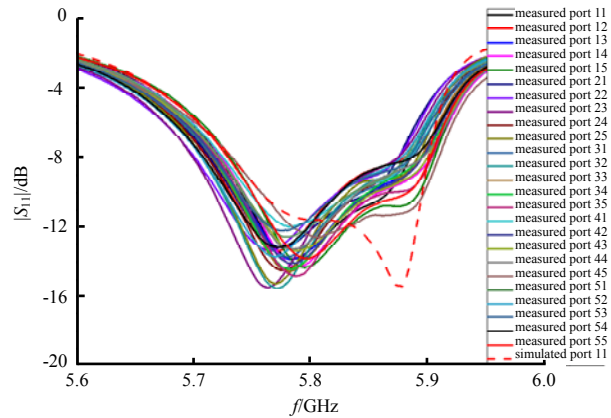


Fig.5 Simulated and measured $|S_{11}|$ patterns
图 5 仿真和实测的 $|S_{11}|$ 曲线

分别对 25 个端口测试, 测试其中一个端口时, 其余端口均接匹配负载。图 5 给出了天线阵列中每一个端口的 $|S_{11}|$ 测试结果。可以看到, 阵列中单元 $|S_{11}| < -10$ dB 的阻抗带宽为 2.2% (从 5.740~5.866 GHz), 尽管 25 个单元分布位置不同, 但它们的 $|S_{11}|$ 曲线一致性非常好。因此, 由于寄生单元的隔离作用, 阵列设计时不必考虑单元在阵列中位置差异造成的不同互耦状态对单元性能影响, 大大地简化了阵列设计。

利用微波暗室对该轻薄定向天线阵列单元的 5.8 GHz 方向图和增益进行测试, 图 6 为阵列单元的仿真和测试方向图对比(包括阵列中心和边缘单元)。可以看到, 该微带阵列天线单元具有良好的定向辐射特性, 实测单元增益为 8.0 dBi。

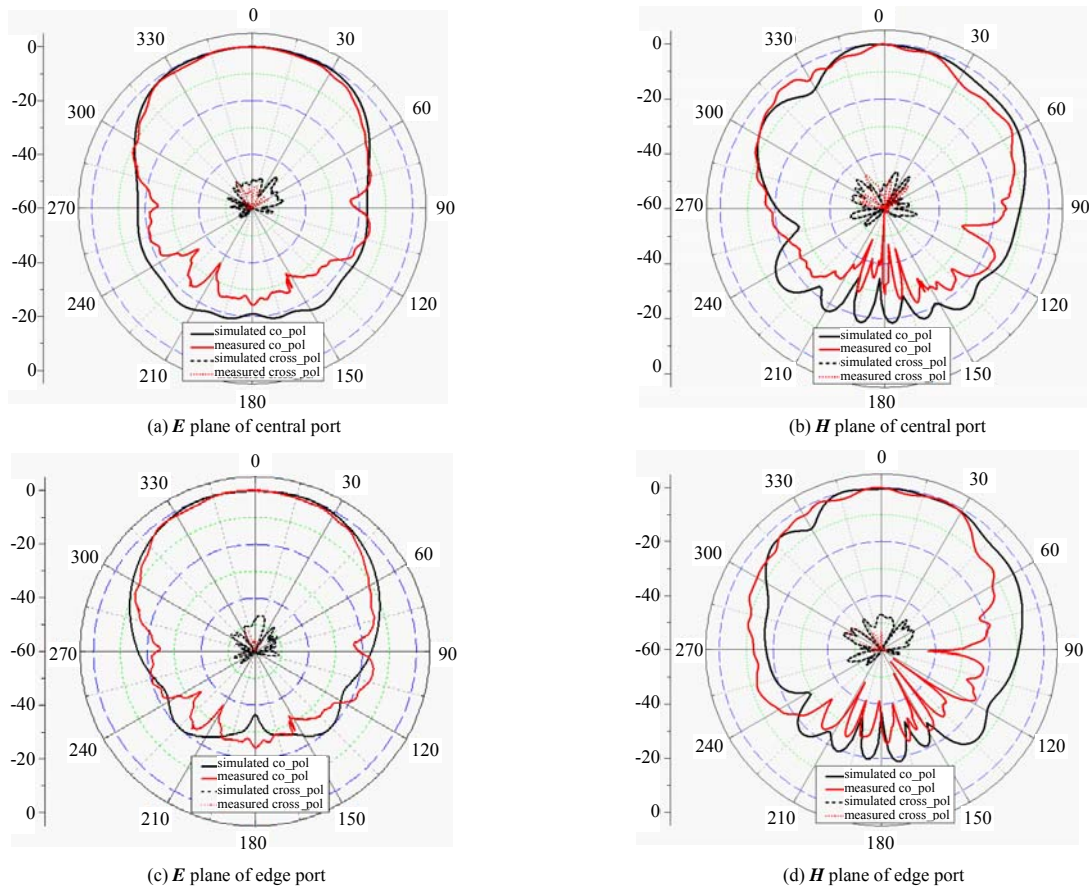


Fig.6 Simulated and measured directivity patterns
图 6 仿真和实测方向图

该 5×5 阵列天线的样品尺寸为 164.5 mm×179 mm, 测试其质量为 130.1 g (图 7 所示), 相当于 4.4 kg/m²。其中天线样品中 25 只 SMA 接头质量达到 70.8 g, 占据了天线样品大半质量。

3 结论

本文采用带金属化导电过孔的寄生单元，设计了一款工作于 5.8 GHz，具有轻薄特性的微带贴片天线。该天线制作于厚度仅 0.5 mm 的薄介质板上，天线样品质量仅为 4.4 kg/m^2 ，但其 $|S_{11}| < -10 \text{ dB}$ 的阻抗带宽为 2.2%，单元增益达到 8.0 dBi。本文研制的轻薄微带定向天线在飞行器表面共形天线等领域具有广阔应用前景。

参考文献：

- [1] LUAN Xiuzhen, FANG Shaojun, TAN Kejun. Analysis and optimization design of compact microstrip patch antennas loaded with shorting pins[C]// IEEE International Workshop on Small Antennas Novel Metamaterials. Singapore:IEEE, 2005: 529–533.
- [2] XU Q, ZHANG W, SUN H. Millimetre wave multi-polarised microstrip antenna array and application example[J]. IET Microwaves Antennas Propagation, 2010, 4(10):1525–1530.
- [3] MOULDER W F, PERRY B T, HERD J S. Wideband antenna array for simultaneous transmit and receive(STAR) applications[C]// 2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium(APSURSI). Memphis, TN, USA:IEEE, 2014.
- [4] BITO J, TEHRANI B, COOK B, et al. Fully inkjet-printed multilayer microstrip patch antenna for Ku-band applications[C]// 2014 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium(APSURSI). Memphis, TN, USA:IEEE, 2014.
- [5] PENG H, WANG C, ZHAO L, et al. Novel SRR-loaded cpw-fed uwb antenna with wide band-notched characteristics[J]. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 2017, 9(4):875–880.
- [6] SIDDIQUI J Y, SAHA C, ANTAR Y M. Compact srr loaded uwb circular monopole antenna with frequency notch characteristics[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2014, 62(8):4015–4020.
- [7] HAN Liang, WU Ke. 24 GHz bandwidth-enhanced microstrip array printed on a single-layer electrically-thin substrate for automotive applications[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2012, 60(5):2555–2558.
- [8] FARZAMI F, FOROORAGHI K, NOROOZIARAB M. Miniaturization of a microstrip antenna using a compact and thin magneto-dielectric substrate[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2011(10):1540–1542.
- [9] AHMED S, TAHIR F A, SHAMIM A, et al. A compact kapton-based inkjet-printed multiband antenna for flexible wireless devices[J]. IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, 2015(14):1802–1805.
- [10] MAZA A R, COOK B, JABBOUR G, et al. Paper-based inkjet-printed ultra-wideband fractal antennas[J]. IET Microwaves Antennas Propagation, 2012, 6(12):1366–1373.
- [11] LI Wentao, HEI Yongqiang, GRUBB P M, et al. Inkjet printing of wideband stacked microstrip patch array antenna on ultrathin flexible substrates[J]. IEEE Transactions on Components Packaging and Manufacturing Technology, 2018, 8(9):1695–1701.
- [12] ZHU R S, WANG X L, YANG G Y. A wideband monopole antenna using parasitic elements[J]. Applied Mechanics and Materials, 2011(52–54):1515–1519.
- [13] HAN L, WU K. Modeling of mutual coupling of arbitrary order in coupled circuits and array antennas[J]. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 2011, 21(1):5–16.
- [14] KUMAR P, Singh G. Gap-coupling: a potential method for enhancing the bandwidth of microstrip antennas[J]. Advanced Computational Techniques in Electromagnetics, 2012(2012):1–6.
- [15] WOOD C. Improved bandwidth of microstrip antennas using parasitic elements[J]. IEE Proceedings H—Microwaves, Optics and Antennas, 1980, 127(4):231–234.



Fig.7 The weight test of antenna sample
图7 天线样品质量测试