

文章编号: 2095-4980(2015)05-0779-04

一种新型赋形喇叭的优化与设计

王 龙, 窦文斌

(东南大学 毫米波国家重点实验室, 江苏 南京 210096)

摘 要: 提出并仿真了一种由3种形式的曲线组合成轮廓的新型赋形喇叭, 其辐射性能表明其具有对称性、低副瓣、低交叉极化和很高的高斯耦合效率。在频率39 GHz~42 GHz范围内, 端口回波损耗小于-20 dB, 天线辐射效率接近100%, 耦合效率达到98%以上, 和波纹喇叭的电性能相当。因此, 它可以作为一种高效的高斯束辐射器, 用来代替加工相对复杂且成本偏高的波纹喇叭。

关键词: 波纹喇叭; 赋形喇叭; 辐射方向图; 高斯耦合效率; 低副瓣; 交叉极化

中图分类号: TN29

文献标识码: A

doi: 10.11805/TKYDA201505.0779

Optimization and design of a new type of profiled horn

WANG Long, DOU Wenbin

(State Key Laboratory of Millimeter Waves, Southeast University, Nanjing Jiangsu 210096, China)

Abstract: A new type of profiled horn with contour constituted of three kinds of curves is presented and simulated. Its radiation performance shows good circular symmetry, low sidelobes, low cross-polarization and high Gaussian coupling efficiency. In the frequency range of 39 GHz–42 GHz, the return loss is below -20 dB, the antenna radiation efficiency approaches to 100%, and the coupling efficiency reaches 98%, which is comparable to the performance of corrugated horn. Therefore it can be used as an efficient Gaussian beam launcher to take the place of corrugated horn which is relatively complicated and costly.

Key words: corrugated horn; profiled horn; radiation pattern; Gaussian coupling efficiency; low sidelobes; cross-polarization

波纹喇叭是一种高效率的辐射高斯波束的馈源天线, 由于其具有轴对称性、低副瓣和低交叉极化等一系列优点, 因而在近些年被广泛研究^[1-2]。然而, 随着频率的升高, 加工一个波纹喇叭的难度及成本都将显著上升。寻找代用者也是大势所趋。一些文献报道了介质加载的赋形喇叭可以辐射低副瓣和低交叉极化的方向图, 匹配波纹喇叭类似的特性^[3-4]。介质体用来匹配喇叭内的场与自由空间的过渡, 改善口径处的相位分布, 提高辐射性能^[5]。不同的赋形曲线构成的赋形喇叭具有不同的辐射特性, 由两段曲线组合成的光壁赋形喇叭的方向图同样具有低副瓣和低交叉极化的特性, 而且相比介质加载的赋形喇叭更加轻盈^[6-7]。本文提出了一种由3段曲线组成的赋形喇叭, 通过增加更多自由度以达到更好的辐射性能。用商业电磁仿真软件 HFSS(High Frequency Structure Simulator)仿真其电性能, 用准光理论计算其高斯耦合效率^[8-9]。该结果可以作为更高频率下赋形喇叭设计的参考。

1 设计与仿真

对于馈源喇叭设计者来说, 有很多赋形曲线可供选择, 如 $\sin^p$ 、多项式及双曲线等形式。不同的赋形曲线喇叭具有不同的辐射性能, 体现在副瓣与交叉极化电平差异上。本文采用3种常规曲线连接起来组成整个曲线, 第1段选取应用广泛的 $\sin^p$ 曲线^[10-11], 末端曲线用双曲线等效于高斯波束的传输形式^[12], 中间段选取多项式形式, 其起始端点处导数为零, 在增加变量自由度下用来连接2段曲线实现平滑过渡。其表达式见式(1)。

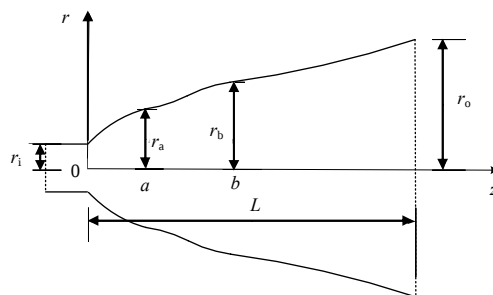


Fig.1 Shape of the profiled horn
图1 赋形喇叭的形状

收稿日期: 2014-10-13; 修回日期: 2014-12-02

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61171025)

$$r(z) = \begin{cases} r_i + (r_a - r_i) \left[(1-A) \frac{z}{a} + A \sin^{p_1} \left(\frac{\pi z}{2a} \right) \right], & z \leq a \\ r_a + (p_2 + 1)(r_b - r_a) \left(1 - \frac{p_2(z-a)}{(p_2+1)(b-a)} \right) \left(\frac{z-a}{b-a} \right)^{p_2}, & a < z \leq b \\ \sqrt{r_b^2 + \frac{(z-b)^2(r_0^2 - r_b^2)}{(L-b)^2}}, & b < z < L \end{cases} \quad (1)$$

式中: r_i 和 r_0 分别表示喇叭的输入和输出口面的半径 ($r_i=2.8, r_0=15$); a 和 b 表示曲线 z 轴上的连接处; r_a 和 r_b 为对应处的半径; L 是喇叭长度; A, p_1 和 p_2 是控制参数。曲线结构如图 1 所示。

通过 HFSS 软件仿真并调整参数进行优化, 使赋形喇叭的辐射方向图满足副瓣及最大交叉极化($\phi=45^\circ$)均在 -40 dB 以下, 中心频率 40 GHz 下对应的辐射特性如图 2 所示。从图中可以看出 E 面和 H 面保持 30 dB 范围以内的对称性, 并且副瓣和交叉极化均满足优化指标要求, 相比文献[7], 其副瓣及交叉极化电平显著降低。

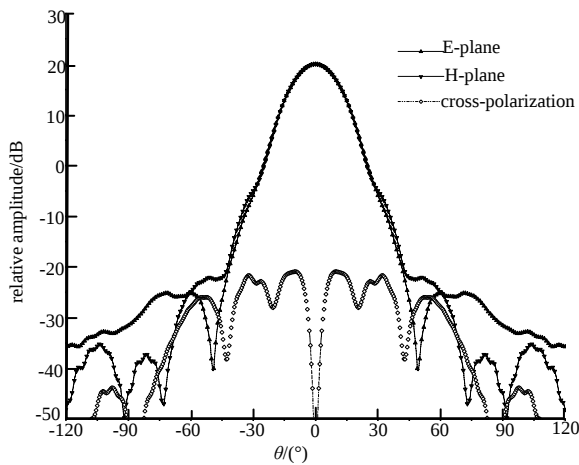


Fig.2 Radiation pattern
图 2 辐射方向图

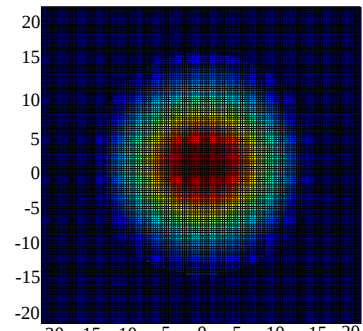


Fig.3 Distribution of aperture amplitude
图 3 口径幅度分布

图 3 给出了该喇叭口径处的幅度分布, 与高斯分布相一致。提取场值并作后处理, 计算与高斯束主模的耦合效率, 根据准光理论得到式(2):

$$\eta_{\text{Gauss}} = \frac{\left| \iint [\hat{e} F(r, \phi)] \exp[-(r/w(z))^2] \exp[jk(r^2/2R(z))] r dr d\phi \right|^2}{\iint |F(r, \phi)|^2 r dr d\phi \iint \exp[-2(r/w(z))^2] r dr d\phi} \quad (2)$$

式中: $\hat{e}$ 为主极化单位向量; $F(r, \phi)$ 为口径场分布; $w(z)$ 和 $R(z)$ 是表征高斯束主模的重要参数, 分别由式(3)和式(4)表示。

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{\lambda z}{\pi w_0^2} \right)^2} \quad (3)$$

$$R(z) = z + (\pi w_0^2 / \lambda)^2 / z \quad (4)$$

式中: w_0 为高斯束腰; λ 为相位中心处的波长; z 是高斯束束腰与口径的距离并且束腰位于喇叭的相位中心处。仿真计算得到相位中心位于喇叭内偏离口径面约 5 mm, 结合式(2)~式(4)可得到高斯束主模的耦合效率 98.3%。表 1 给出了该喇叭的具体的设计参数, 表 2 给出了辐射性能结果。

进一步观察其他频点处方向图及端口回波损耗, 分别见图 4 和图 5, 在 38 GHz 以上, 回波损耗小于 -20 dB。同时分析了耦合效率

的带宽特性, 如图 6 所示, 偏离中心频率 40 GHz 时, 耦合效率会降低, 其中在 39 GHz~42 GHz 频率范围内, 耦合效率可以达到 98%以上, 匹配波纹喇叭的效率。其带宽内天线效率基本在 0.97 以上, 见图 7, 具有很好的辐射性能。

表 1 喇叭的参数

Table1 Parameters of the horn							
L/mm	a/mm	b/mm	r_a/mm	r_b/mm	A	P_1	P_2
77	12	32	8.45	9.56	0.52	0.72	1.04

表 2 赋形喇叭的性能
Table2 Performance of the profiled horn

type	gain/dB	sidelobe/dB	max cross polarization/dB	3 dB angle/(°)	Gaussian coupling efficiency/%
results	20.0	-45(E) -42(H)	-41	19.3	98.3

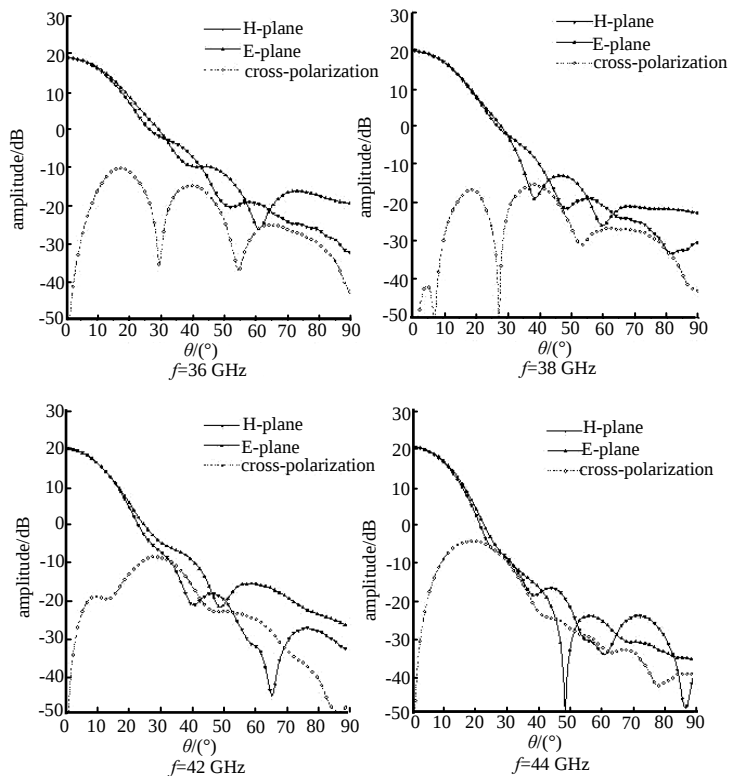


Fig.4 Simulated results
图 4 仿真结果

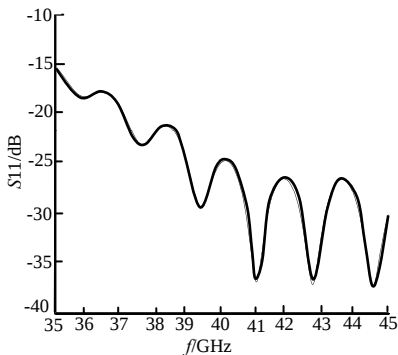


Fig.5 Return loss
图 5 回波损耗

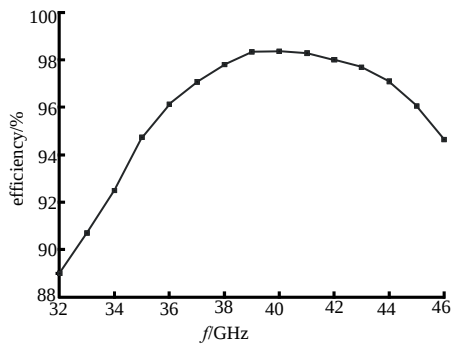


Fig.6 Coupling efficiency vs. frequency
图 6 耦合效率 vs.频率

2 结论

设计了一种新型的赋形喇叭,这种喇叭的轮廓、由 3 种形式的赋形曲线连接构成,并仿真分析了该喇叭的辐射方向图的对称性、增益、副瓣电平及最大交叉极化电平和高斯耦合效率。这些性能表明该赋形喇叭辐射高斯束性能良好并且有一定带宽,具有等同于波纹喇叭的特性。因此,在毫米波或亚毫米波波段,鉴于波纹喇叭加工复杂,可用这种方式设计的赋形喇叭做一种很好的替代馈源。下一步工作是将它加工出来并实测。

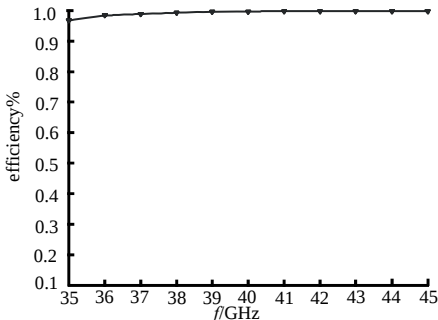
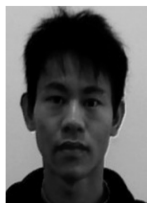


Fig.7 Antennas efficiency
图 7 天线效率

参考文献:

- [1] Clarricoats P J B, Saha P K. Propagation and radiation behavior of corrugated feeds[J]. Proc. Inst. Elect. Eng., 1971, 118(9): 1167–1186.
- [2] Plaum B. Optimization of global earth coverage horns[C]// Proceedings of JINA 2002 International Symposium Antennas. France: [s.n.], 2002: 371–374.
- [3] Olver A D, Philips B. Profiled dielectric loaded horns[C]// ICAP. UK: IEEE, 1993: 788–791.
- [4] Philips B, Olver A D. Design and performance of profiled dielectric loaded horns[J]. IEE Proc. Microw. Ant. Prop., 1994, 141(5): 337–341.
- [5] Olver A D, Clarricoats P J B, Aghavan K. Dielectric cone loaded horn antennas[J]. IEE Proceedings, 1998, 135(3): 158–162.
- [6] Granet C. Profile options for feed horn design[C]// Proceedings of Asia Pacific Microwave Conference. Sydney, Australia: [s.n.], 2000: 1448–1452.
- [7] 刘广, 王宏建. 曲线轮廓光壁喇叭天线设计与分析[J]. 北京理工大学学报, 2011, 31(1): 87–91. (LIU Guang, WANG Hongjian. The design and analysis of a smooth-walled spline-profile horn[J]. Transactions of Beijing Institute of Technology, 2011, 31(1): 87–91.)
- [8] Goldsmith P F. Quasi-optical techniques at millimeter and submillimeter wavelengths[C]// Infrared and Millimeter Waves. Ed., New York: Academic, 1982: 277–243.
- [9] 窦文斌. 毫米波准光理论与技术[M]. 2版. 北京: 高等教育出版, 2006. (DOU Wenbin. Millimeter Wave Quasioptical Theory and Techniques[M]. 2nd ed. Beijing: Higher Education Press, 2006.)
- [10] Parikh K B, Sharma S B. Asymmetrical sine squared profiled corrugated horn offers enhanced bandwidth[C]// Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking (ET2ECN). India: [s.n.], 2012.
- [11] 姚远, 俞俊生, 陈晓东. 太赫兹超高斯波纹喇叭天线设计[J]. 太赫兹科学与电子信息学报, 2014, 12(4): 487–490. (YAO Yuan, YU Junsheng, CHEN Xiaodong. Design of terahertz ultra Gaussian corrugated horn antenna[J]. Journal of Terahertz Science and Electronic Information Technology, 2014, 12(4): 487–490.)
- [12] Kishk A A, Lim C S. A comparative analysis between conical and Gaussian profiled horn antennas[J]. Prog. Electromagn. Res., 2002(38): 147–166.

作者简介:



王 龙(1988–), 男, 安徽省池州市人, 在读博士研究生, 主要研究方向为电磁波与微波技术. email: wangl0307@gmail.com.

窦文斌(1954–), 男, 云南省曲靖市人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为微波毫米波理论技术、准光技术、毫米波与亚毫米焦面阵成像等.