

准光腔单微带贴片输入阻抗的理论分析*

何宜军 杨铨让

(东南大学无线电工程系毫米波国家重点实验室,南京 210018)

摘要 本文利用并矢格林函数获得了准光腔中的电磁场积分方程。利用矩量法导出了被一个轴向电流源激励的单微带贴片腔的输入阻抗的计算公式。利用本方法对矩形微带贴片的输入阻抗进行了讨论。其结果与微带天线很类似。这对设计微带型准光振荡器有重要的参考价值。

关键词 振荡器;准光腔;输入阻抗;微带贴片;矩量法

一、引言

毫米波准光功率合成是当前毫米波、亚毫米波技术领域中最活跃的研究课题之一。它与其它谐振器型功率合成器的最大不同是可以将腔的体积设计成足够大,以便安装更多的器件。同时,毫米波集成电路也是一个很前沿的课题。两种技术的结合便产生了微带型功率合成器(空间功率合成^[1],微带型准光功率合成^[2,3])。空间功率合成是电磁场在远区的合成,而准光合成则为近场合成,它们的机理不同。在过去的研究中,由于未解决腔中并矢格林函数,将微带贴片视为微带天线,设计方法为微带天线的传输线理论。但事实上,在准光腔中的并矢格林函数与自由空间的完全不同,场分布也完全不同,象参考文献[4]计算输入阻抗是失效的,不过其方法是可以借鉴的。

为了最佳的设计电路,本文首次在求得的准光腔并矢格林函数的基础上^[5],利用矩量法求得了微带贴片的输入阻抗。

二、理论分析

本文考虑如图1所示结构的腔,它由一个光滑的球面镜和一个无限大的金属板组成。在这个腔中有一块厚度为 t ,介电常数为 ϵ_r 的介质;在介质上面有一大小为 $a \times b$ 的矩形贴片。腔被分成2个区域,I区为介质区域,II区为其它部分。由文献[6]的方法知,在I区中并矢格林函数为:

1992.06.29 收到,1992.12.30 定稿。

* 国家自然科学基金资助课题。

何宜军 男,1964年生,博士后,主要研究兴趣为海洋遥感、电磁场的数值方法、电磁场的散射和传输等。

杨铨让 男,1936年生,教授,博士生导师,主要研究方向为电磁场的数值方法、微波毫米波理论和技术、介质谐振器和各向异性材料在毫米波电路的应用、微波单片集成技术和高速数字传输等。

$$\begin{aligned} \bar{\mathbf{G}}(\mathbf{R}|\mathbf{R}') = & -\frac{1}{k^2} \bar{\mathbf{I}}\delta(\mathbf{R} - \mathbf{R}') + \frac{1}{k^2} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{q=0}^{\infty} \frac{k_v^2}{k_v^2 - k^2} \\ & \times [(1/W_{eM})\mathbf{N}_{emnq}\mathbf{N}'_{emnq} + (1/W_{oN})\mathbf{M}_{omnq}\mathbf{M}'_{omnq}] \end{aligned} \quad (1)$$

其中 k 为波数, $k_v = (m + n + 1)/z_0 + n_0 q \pi / (n_0 d + i)$

$$\mathbf{M}_{omnq}(x, y, z) = \nabla \times (\phi_{mnq}^o \hat{z})$$

$$\mathbf{M}'_{omnq}(x', y', z') = \nabla' \times (\phi_{mnq}^o(x', y', z') \hat{z})$$

$$\mathbf{N}_{emnq}(x, y, z) = (1/k_v) \nabla \times \nabla \times (\phi_{mnq}^e \hat{z})$$

$$\mathbf{N}'_{emnq}(x', y', z') = (1/k_v) \nabla' \times \nabla' \times (\phi_{mnq}^e(x', y', z') \hat{z})$$

$$\begin{aligned} \phi_{mnq}^{e,o} = & C_{mn} H_m\left(\frac{\sqrt{2}}{\omega_0} x\right) H_n\left(\frac{\sqrt{2}}{\omega_0} y\right) \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{\omega_0^2}\right) \\ & \times \begin{cases} \cos\left(n_0 k_v z - \frac{m+n+1}{n_0 z_0} z\right) \\ \sin\left(n_0 k_v z - \frac{m+n+1}{n_0 z_0} z\right) \end{cases} \end{aligned}$$

n_0 为介质的折射率; H_n 为 n 阶厄米特函数; $z_0 = k_v \omega_0^2 / 2$; ω_0 为波束的波腰; W_{oN}, W_{eM} 分别为 $\mathbf{N}^o, \mathbf{M}^e$ 的归一化因子, 即

$$W_{oN} = \int_v \mathbf{N}_{mnq}^o \cdot \mathbf{N}_{mnq}^o dv$$

$$W_{eM} = \int_v \mathbf{M}_{mnq}^e \cdot \mathbf{M}_{mnq}^e dv$$

图 1 所示的微带贴片由一个轴向电流源激励。利用(1)式的并矢格林函数, 腔中电磁场可表示为^[7]

$$\mathbf{E} = -j\omega\mu \int \mathbf{J}(\mathbf{R}') \cdot \bar{\mathbf{G}}(\mathbf{R}|\mathbf{R}') dv' \quad (2)$$

假设在微带上未知电流为 \mathbf{J}_s , 它可由 N 个基电流表示。

$$\mathbf{J}_s = \sum_{n=1}^N I_n \mathbf{J}_n \quad (3)$$

其中 I_n 为未知数; \mathbf{J}_n 为基电流。同时, 假设检验电流与基电流一样, 也为 \mathbf{J}_n 。由边界条件知, 在微带表面上切向电场为 0, 即

$$\mathbf{E}_i^t + \mathbf{E}_s^t = 0 \quad (4)$$

利用反应积分方程

$$\int_{i,m} \mathbf{E}_i^t \cdot \mathbf{J}_m ds = - \int_{i,m} \mathbf{E}_s^t \cdot \mathbf{J}_m ds \quad (5)$$

由互易定理得

$$\int_{vi} \mathbf{J}_i \cdot \mathbf{E}_m dv = - \int_i \mathbf{J}_i^t \cdot \mathbf{E}_m ds = - \sum_{n=1}^N I_n \int_{i,n} \mathbf{J}_n \cdot \mathbf{E}_m ds \quad (6)$$

(6)式可表示成如下形式

$$\mathbf{V}_m = \sum_{n=1}^N \mathbf{Z}_{mn} I_n \quad (7)$$

其中

$$V_m = \int_{v_i} \mathbf{J}_i \cdot \mathbf{E}_m dv \quad (8)$$

$$Z_{nm} = - \int_{s_n} \mathbf{J}_n \cdot \mathbf{E}_m ds \quad (9)$$

\mathbf{J}_i 为轴向激励电流; \mathbf{E}_m 为基电流 \mathbf{J}_m 产生的电场。

对于本文情况(矩形贴片), E, H 面尺寸分别为 a, b 。

对于振荡器、器件安装在贴片与接地板之间, 故可假设激励电流为

$$\mathbf{J}_i(x, y, z) = \hat{x} I_0 \delta(x - x_p) \delta(y - y_p), \quad (0 \leq z \leq t) \quad (10)$$

同时, 假设贴片上电流 \mathbf{J}_i 由两个方向相互垂直的电流基组成。

$$\mathbf{J}_i = \hat{x} I_1 \cos\left(\frac{\pi}{a} x\right) + \hat{y} I_2 \cos\left(\frac{\pi}{b} y\right) = I_1 \mathbf{J}_1 + I_2 \mathbf{J}_2, \quad (|x| \leq a/2; |y| \leq b/2) \quad (11)$$

将(10)、(11)式代入(7)式, 求得系数 I_n 。

此时, 输入阻抗为

$$Z_{in} = \frac{\int \mathbf{E} \cdot \mathbf{J}_i dv}{I_0^2} = \frac{\sum_{n=1}^2 I_n V_n}{I_0^2} \quad (12)$$

若取 $I_0 = 1$, 则

$$Z_{in} = I_1 V_1 + I_2 V_2 \quad (13)$$

由(13)式可求得微带贴片的输入阻抗。

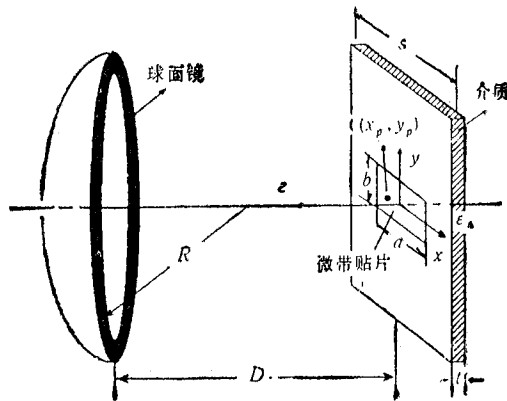


图1 准光腔和微带贴片结构

三、数值结果

本文的并矢格林函数是无穷之和, 但在计算时不可能计算无穷之和。同时, 由于腔中存在无穷多的模式。本文仅计算主模 TEM_{00q} 模的输入阻抗。我们经过多次验算, 只要和项大于 $q + 10$ 项以后, 阻抗就基本上不变。

在下列情况下, 我们计算了激励点在矩形贴片角上的输入阻抗随频率变化的曲线。

$$\epsilon_r = 2.52, \text{tg} \delta = 0.001, D = 0.27\text{m}, a = 0.009\text{m}, b = 0.007\text{m}, z_0 = 1.0,$$

$$z = 0.001\text{m}, (x_p, y_p) = (0.0045, 0.0035)$$

如图 2 所示, 阻抗 Z_{in} 随频率变化形式与矩形微带天线的变化形式相同。

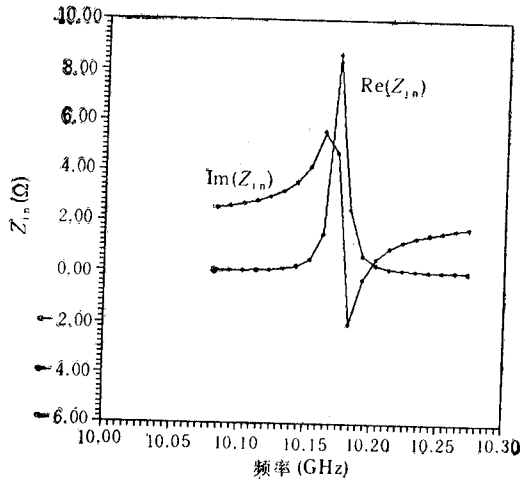


图 2 输入阻抗随频率变化的关系

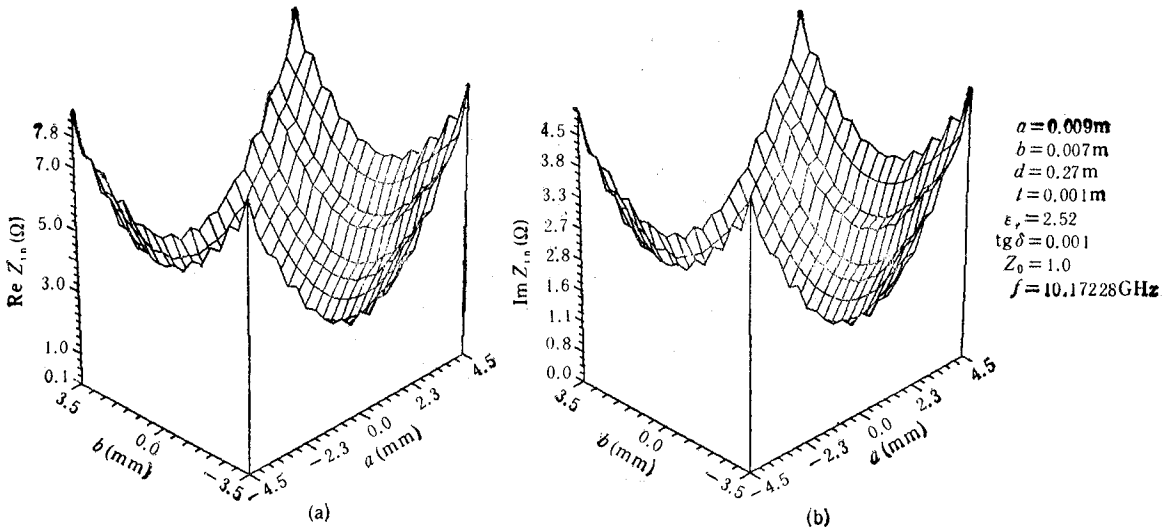


图 3 输入阻抗的分布图

(a) 输入阻抗的实部 (b) 输入阻抗的虚部

同时, 我们还在一定频率下, 给出了激励点在不同位置情况下的阻抗。即阻抗随激励点位置的分布, 如图 3, 图 4 所示。它们都是频率 $f = 10.17228\text{GHz}$ 情况下的阻抗分布图。图中 (a) 为 R_{in} 分布图, (b) 为 X_{in} 分布图。从图中可以看出, R_{in} 的变化是相同的, 在四角上的阻抗值最大, 中心为最小; 但 X_{in} 却不相同, 图 3(b) 表现为感抗, 且中心最小; 而图 4(b) 表现为容抗, 且中心值为最大(即容抗最小)。这些结论同微带天线一样, 只是数值不同而已。

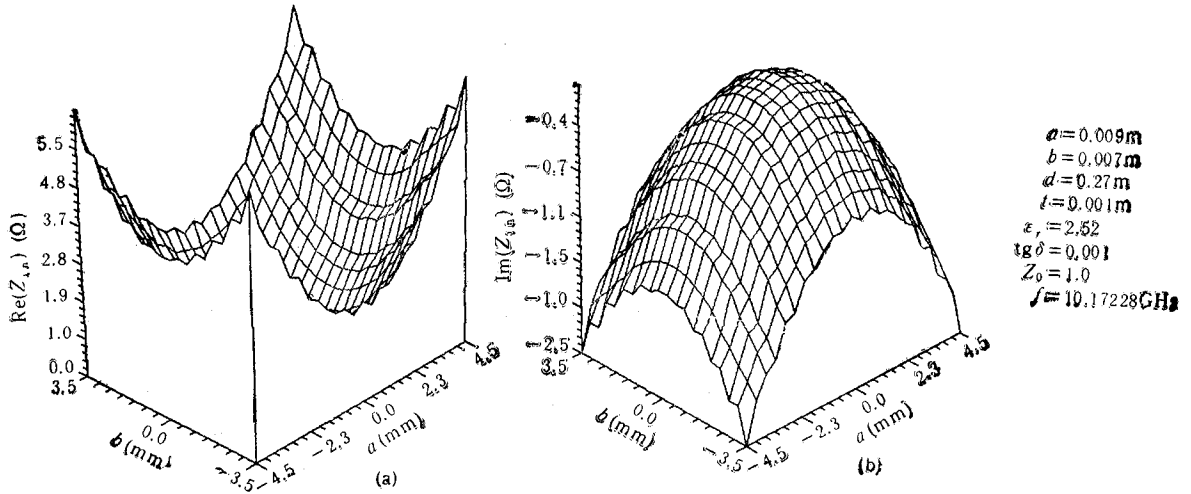


图4 输入阻抗的分布图

(a) 输入阻抗的实部 (b) 输入阻抗的虚部

为了证实本理论的有效性,我们利用本文方法和微带天线理论分析方法分别设计了两种电路。实验表明,本文方法输出的功率比微带天线方法的输出功率大。这也从侧面证明了本方法的正确性。

四、结 论

本文利用并矢格林函数方法和矩量法,首次求得了准光腔单微带贴片的输入阻抗,这对设计毫米波电路有重要的参考价值。从理论上解决了以往用微带天线设计方法的不正确等问题。这对进一步研究准光功率合成有很重要的意义。

参 考 文 献

- [1] A. Mortuzawi, T. Itoh, A Periodic Second Harmonic Spatial Power Combining Oscillator, 1990 IEEE MTT-S Digest, pp, 1213—1216.
- [2] P.G. Frayne, C.J. Riddaway, *Electron. Lett.*, 24(1988)16, 1017—1018.
- [3] R.A. York, R.C. Compton, *IEEE Trans. on MTT*, MTT-39(1991)6, 1000—1009.
- [4] M.D. Deshpande, M.C. Bailey, *IEEE Trans. on AP*, AP-30(1982)7, 645—650.
- [5] Yijun He, Quanrang Yang, The Dyadic Green's Function in the Open Cavity, July 1992, IEEE ISAP, Chicago, USA.
- [6] P.K. Yu, A.L. Cullen, *Proc. R. Soc. Lond. A*, 380(1982), 49—71.
- [7] 王一平,陈达章,刘鹏程,工程电动力学,西北电讯工程学院出版社,西安,1985年,

AN ANALYSIS ON INPUT IMPEDANCE OF A SINGLE MICROSTRIP PATCH IN THE QUASI-OPTICAL CAVITY

He Yijun Yang Quanrang
(*Southeast University, Nanjing 210018*)

Abstract The electromagnetic field integral equation in the quasi-optical cavity is obtained using the dyadic Green's function. An expression is derived for the input impedance of a single microstrip patch cavity excited by a coaxial probe using method of moment. The input impedance of a rectangular microstrip patch is discussed by this method. The result of this paper is similar to that of the microstrip antenna. There is very important value for designing microstrip quasi-optical oscillator.

Key words Oscillator; Quasi-optical cavity; Input impedance; Microstrip patch; Moment method