

## 介质加盖高增益微带天线的优化<sup>1</sup>

孟庆翔 朱守正\* 蔡国祥

(上海交通大学电子工程系 上海 200030)

\*(华东师范大学电子系 上海 200062)

**摘要** 本文提出了利用点源增益优化方法设计介质加盖的高增益微带天线的方法,所确定的各介质层的电厚度能保证天线取得最高的增益,同时优化计算量也成倍减少。所设计的一个两层介质加盖微带天线的最高增益达到 16.8dB。分析结果还表明,在一定条件下,增益和效率是可以兼顾的,用加盖的方法提高天线增益的同时仍可使天线具有较高的辐射效率。

**关键词** 微带天线,高增益,介质加盖

**中图分类号** TN823

### 1 引言

增益低是微带天线的突出缺点之一<sup>[1]</sup>。一般的单层介质基板贴片天线的增益在 6dB 左右。提高增益除了采用传统的天线阵的方法之外还可采用加盖多层介质的方法<sup>[2,3]</sup>。但是在迄今为止已报道的工作中还没有提出可行的设计多层介质加盖的高增益微带天线的方法。本文提出一种方法。在这种方法中,首先利用点源增益优化的方法确定各加盖层的电厚度,然后再利用已有的设计公式确定贴片的尺寸,在点源增益优化中再引入新的目标函数以避免  $\theta$  向的积分。这样就大大减少了优化时间。

### 2 点源增益优化方法

利用介质加盖提高天线增益一般都是在介质基板电厚度和介电常数已经确定的情况下通过优化选择已知介电常数的各加盖介质层的电厚度来实现的。选择的加盖介质种类及其电厚度不同,得到的增益也就不同,应用优化方法可以求得各加盖介质层的最佳电厚度取值,使天线达到最高增益。

位于接地介质基板上的无限小电流源(点源)在加盖了若干层介质以后,在自由空间中产生的归一化辐射场  $E_\theta$  和  $E_\phi$  可借助于传输线模型求得。如图 1, 如果取

$$I_1 = \cos \theta \cos \phi, \quad I_2 = \cos \theta \sin \phi,$$

则  $E_\theta$  和  $E_\phi$  完全可分别由特性阻抗和特性导纳为

$$Z_{ij} = \sqrt{\epsilon_{ij}\mu_{ij} - \sin^2 \theta / \epsilon_{ij}}, \quad Y_{ij} = \sqrt{\epsilon_{ij}\mu_{ij} - \sin^2 \theta / \mu_{ij}},$$

而传播常数

$$\beta_{ij} = k_0 \sqrt{\epsilon_{ij}\mu_{ij} - \sin^2 \theta}$$

<sup>1</sup> 1996-09-11 收到, 1997-03-19 定稿

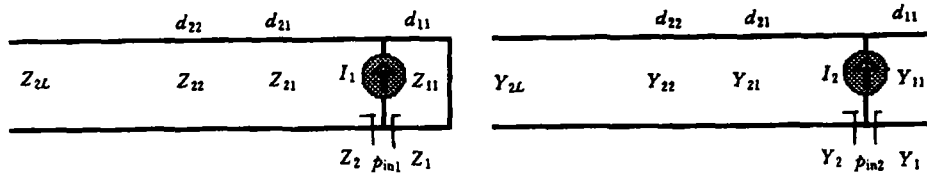


图 1 (a) 求  $E_\theta(\theta, \phi)$  的传输线模型 (b) 求  $E_\phi(\theta, \phi)$  的传输线模型

的传输线的自由空间区段中的电流和电压模拟。假定自由空间段的标号为  $2l$ , 根据图 1 可得到:

$$E_\theta^2(\theta, \phi) = P_{in1}/Z_{21}, \quad (1)$$

$$E_\phi^2(\theta, \phi) = P_{in2}/Y_{21}, \quad (2)$$

$$P_{in2} = \left| \frac{I_1 Z_1}{Z_1 + Z_2} \right| \operatorname{Re}(Z_2), \quad (3)$$

$$P_{in2} = \left| \frac{I_1 Y_1}{Y_1 + Y_2} \right| \operatorname{Re}(1/Y_2), \quad (4)$$

$$G(\theta_m, \phi_m) = 10 \operatorname{Lg} \left\{ \frac{4\pi [E_\phi^2(\theta_m, \phi_m) + E_\theta^2(\theta_m, \phi_m)]}{\int_0^{2\pi} d\phi \int_0^{\pi/2} [E_\phi^2(\theta, \phi) + E_\theta^2(\theta, \phi)] \sin \theta d\theta} \right\}. \quad (5)$$

如果利用 (1)~(5) 式直接进行优化, 尽管  $\phi$  向的积分可以直接积出, 但当层数较多时, 优化所需时间仍旧是很长的。如果源不是点源, (5) 式中关于  $\phi$  的积分不能直接积出, 优化时间会更长。通常都是希望在  $\theta = 0^\circ$  的方向上得到高的增益。此时选用如下形式的目标函数 obf 进行优化, 以缩小计算量。

$$\text{obf} = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{E_\theta(\theta_i, 0)}{E_\theta(0, 0)} \right]^2 \left[ \frac{E_\phi(\theta_i, \pi/2)}{E_\phi(0, \pi/2)} \right]^2. \quad (6)$$

显然在  $[\theta, \pi/2)$  的范围内取足够多的  $\theta_i$  ( $N$  足够大), 并选择各层的电厚度使 obf 达到最小, 这时将导致产生  $\theta = 0^\circ$  方向上的最大增益。通常介质基板都比较薄, 天线的最大辐射方向在  $\theta = 0^\circ$  的方向上。这时  $\theta = 0^\circ$  方向上的最大增益也就是天线的最大增益。如果  $N$  取得很大, 则完成优化仍将需要较长的时间。观察微带天线的辐射场图不难发现: 在相当大的  $\theta$  角度内辐射场值变化都比较平缓, 但  $\theta$  接近  $\pi/2$  时, 场值则变化迅速。增益主要受辐射场值较大的区域内的场分布的影响, 场值很小的区域, 也就是  $\theta$  接近  $\pi/2$  的区域, 无论其中场分布如何, 其对增益的影响都很小。然而用 (6) 式进行优化时接近于  $\pi/2$  的  $\theta_i$  点对目标函数 obf 的值影响很大, 在  $N$  不是很大的情况下导致错误的优化结果。为此只需在  $\theta \in [0, \theta_0]$  的范围内分点,  $\theta_0$  小于  $\pi/2$ 。增益越高,  $\theta$  取值越小, 在一般情况下取  $\theta_0 = \pi/3$ ,  $N = 5$ , 除非增益远远大于 20dB。

在优化过程中, 每层介质的厚度限制在

$$0 < d_{ij} < \lambda_0 / (2\sqrt{\epsilon_{ij}\mu_{ij} - 1}). \quad (7)$$

考虑到实际中天线的厚度不能很厚, 所以优化时都将厚度  $d_{ij}$  限制在  $(0, \lambda_0 / (2\sqrt{\epsilon_{ij}\mu_{ij}}))$  的范围内。当增益不远大于 20dB 时, 用上述近似优化方法和精确优化方法得到的结果之间差别很小。

与用精确优化比较, 对于点源, 近似优化只需 1/3 的时间, 对于一般的电流源, 近似优化只需 1/30 的时间。

### 3 高增益微带天线的设计和分析

微带天线是窄带天线。在中心频率上贴片上的电流沿谐振方向的分布近似于正弦分布。用前述方法进行优化所得到的结果表明: 一个点源产生最大增益所要求的各加盖层的电厚度与一个正弦电流分布的电流源产生最大增益所要求的各加盖层的电厚度完全相同, 只是后者的增益比前者的增益略大一些。例如厚度为  $0.01 \lambda_0$ , 介电常数为 2.55 的接地介质基板上的点源和正弦分布的电流源上加介电常数为 5 的介质层时, 若加盖层的厚度为  $0.304 \lambda_0$ , 无论是点源还是正弦分布的电流源都产生最高的增益, 增益值分别为 8.7dB 和 9.2dB。实际上任意贴片天线在基模谐振频率上其电流分布都是处处同向的, 它可看作由无数点源按一定规律排列后组成的。因此上述确定各层电厚度最佳取值的优化方法不仅适于确定介质加盖高增益矩形微带天线各加盖层的电厚度, 而且适于确定一般的高增益贴片天线的各加盖层的电厚度。

用点源增益优化方法确定了各加盖层的电厚度以后, 可按文献 [5] 给出的设计公式确定矩形贴片的尺寸。由此设计公式取得的谐振频率值与用矩量法求得的存在 3% 左右的误差需经修正, 以使天线的实际工作频率尽可能靠近能产生最高增益的频率。图 2 是用这种方法设计的一个矩形微带天线, 它是两层介质加盖的。其中  $G_{pmax}$  是点源最高增益,  $f'_r$  是增益达到  $G_{pmax}$  时的频率。用矩量法分析这个天线得到的结果绘于图 3 和图 4 中。从图中看出, 这个天线的阻抗特性明显不对称。这是由于实算的特性谐振频率  $f_r = 3.726\text{GHz}$ , 不与  $f'_r$  重合, 由于  $f'_r > f_r$ , 所以  $f_r$  右边的输入电阻值就要高于  $f_r$  左边的输入电阻值。最大增益值出现在  $f = 3.76\text{GHz}$  上, 最大增益为 16.6dB。图 5 是该微带天线的方向图, 其 H 面和 E 面的 3dB 波束宽度分别为  $27^\circ$  和  $26.4^\circ$ 。这个天线的辐射效率也相当高。这样就把高增益和高效率这两方面统一了起来。

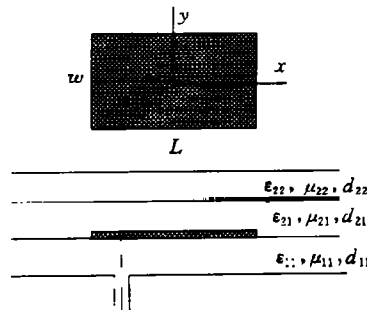


图 2 优化的微带天线结构与参数

$$W=16, L=26.4, d_{11}=1.59, d_{21}=37.25, d_{22}=6, x_p=-5, y_p=0, f'_r=3.77\text{GHz}, \\ G_{pmax}=16.1\text{dB}, \epsilon_{11}=2.1, \epsilon_{21}=1.05, \epsilon_{22}=10.0$$

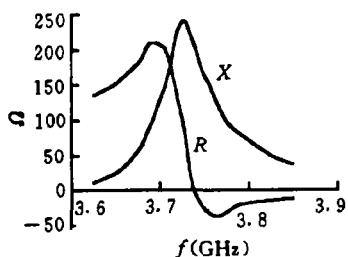


图3 天线输入阻抗与频率的关系

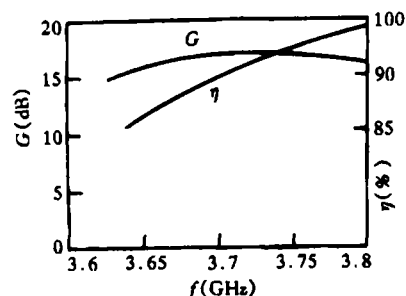


图4 天线的增益和效率

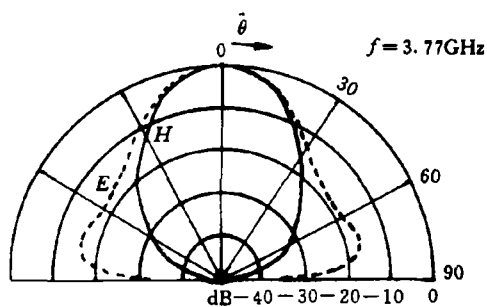


图5 介质加盖微带天线的方向图

## 4 结束语

本文提出了利用点源增益优化方法设计介质加盖微带天线的方法。在这种方法中, 首先利用点源增益的优化方法确定各加盖层的电厚度, 然后再利用已有的设计公式确定贴片尺寸, 在点源增益优化中再引入新的目标函数以避免  $\theta$  向的积分。这样就大大减少了优化的时间。用矩量法对所设计的介质加盖高增益微带天线的分析结果证实了所提方法的有效性。分析结果还表明, 增益和效益是可以兼顾的, 用加盖的方法提高天线增益的同时仍旧可使天线具有较高的辐射效率。

## 参 考 文 献

- [1] 张均, 等. 微带天线理论与工程. 北京: 国防工业出版社, 1988年7月.
- [2] Jackson D R, Alexopoulou N G. Gain enhancement methods for printed circuit antennas. *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, 1985, AP-33(3): 976-987.
- [3] Yang H Y, Alexopoulou N G. Gain enhancement methods for printed circuit antennas through multiple superstrates. *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, 1987, AP-35(7): 860-863.
- [4] 孟庆翔. 矩形微带天线的特性分析及有关并矢格林函数的研究: [博士论文]. 华东师范大学, 1990.
- [5] Bahl, *et al.* Design of microstrip antennas covered with a dielectric layer. *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, 1982, AP-30(2): 314-318.

## OPTIMUM DESIGN OF HIGH GAIN MICROSTRIP ANTENNAS COVERED WITH DIELECTRIC LAYERS

Meng Qingxiang    Zhu Shouzheng\*    Cai Guoxiang

(*Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200036*)

(*\*East China Normal University, Shanghai 200062*)

**Abstract** In this paper an optimum design method for high gain microstrip antenna covered with dielectric layers is proposed. In the method, the moment method and optimization for the gain of a point source model are used to find the optimum thickness for every dielectric layer, so that the highest antenna gain can be acquired. Besides, the use of point source model much decreased the computation needed in the method. The calculated results also show that the high gain microstrip antennas covered with dielectric layers can still have rather high radiation efficiency.

**Key words** Microstrip antenna, High gain, Dielectric layers

孟庆祥: 男, 1959年生, 副教授, 目前主要从事电磁的数值计算, VSAT卫星通信, 计算机网络通信的研究工作.

朱守正: 男, 1949年生, 教授, 目前主要研究领域有计算电磁学及其应用, 天线与电波传播、微波技术等.

蔡国祥: 男, 1953年生, 讲师, 研究领域有VSAT卫星通信, 计算机网络通信等.