

文章编号：1001-2486（2000）01-0043-04

# 串馈微带天线阵的增益和方向图计算<sup>\*</sup>

尹家贤，刘克成

（国防科技大学电子科学与工程学院，湖南 长沙 410073）

摘 要：应用有耗传输线理论推出串馈微带阵各阵元电流的递推公式，给出了增益和方向图的计算曲线，与实验结果比对吻合良好，这表明串馈微带阵方向图计算必须计入微带线损耗才有可靠精度。还分析了微带天线阵的阵元数目变化与增益之间的关系，给出了计算曲线。

关键词：微带阵；有耗传输线；方向图计算

中图分类号：TN82；TN811<sup>+</sup>.5 文献标识码：A

## Calculation of Gain and Patterns for Series-fed Microstrip Arrays

YIN Jia-xian ,LIU Ke-cheng

( College of Electronic Science and Engineering , National Univ. of Defense Technology , Changsha 410073 , China )

**Abstract** :The recursion formulas of elements current for series-fed microstrip arrays are presented by applying the lossy transmission line theory. The results of gain and patterns were compared with experiment's results. The identity of both shows that it is necessary to take microstrip line's loss into account to obtain accuracy patterns. The relations between the number of microstrip array's elements and gain are also analyzed and the curve is presented.

**Key words** :microstrip array ; lossy transmission line ; patterns calculating

微带天线由于其具有重量轻、体积小、成本低、低剖面、结构简单、易于制作和生产等优点，得到广泛的应用<sup>[1]</sup>。但无论是何种应用，增益指标是微带天线最重要的指标。微带天线阵一般以微带线构成的馈电网络对每个辐射单元进行馈电，而微带线是一种损耗较高的传输线，用聚四氟乙烯材料做的 50 Ω 微带线损耗一般在 0.2 dB/λ<sub>g</sub> 左右<sup>[2]</sup>，因此微带阵阵元的增加并不能使其增益增加相应的倍数，有一部分由于馈线的加长而与馈线的损耗抵消，特别是在微带阵较大时，如 200 元以上，馈线的损耗相当可观。在微带天线阵的设计过程中，馈线的损耗是必须考虑的因素。

微带天线阵按常用的馈电方式可分为并联馈电和串联馈电。在并联馈电的微带天线阵中，从馈电点到每一个辐射单元的馈线长度一样，所以其增益计算比较简单。串联馈电的增益计算相对要复杂一些，本文运用有耗传输线理论，推出串馈微带阵各阵元电流计算的递推公式，按此公式逐级计算可得到各阵元电流以及馈电点的电流及输入阻抗，由此可计算馈电点的输入功率，进而得到增益。

### 1 串馈微带阵各元电流和阻抗的递推公式

串联馈电微带阵主要的结构形式如图 1 所示，一般有串馈贴片阵和串馈梳齿阵，不管其形式如何，串馈线阵可以等效为图 2 的电路形式<sup>[3]</sup>，考虑到各阵元为同相辐射，因此阵元之间的间距设为 λ<sub>g</sub>，阵元的输入导纳为 Y<sub>L</sub>，传输线的特性导纳为 Y<sub>0</sub>，微带线的损耗为 A(dB)/λ<sub>g</sub>，则衰减常数 α 为

$$A = 20\lg e^{\alpha \lambda_g} \tag{1}$$

$$\alpha = \frac{0.11513 * A}{\lambda_g} \tag{2}$$

假设第 n 元的电流为 I<sub>n</sub>，从第 n 元右侧向末端看的导纳为 Y<sub>(n+1)Σ</sub>，则第 n 元左侧传输线的电流为

<sup>\*</sup> 收稿日期：1999-04-02  
作者简介：尹家贤（1964-），男，副教授，在职博士生。

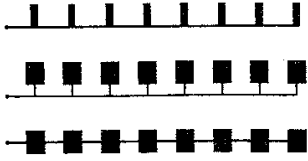


图 1 串馈线阵示意图

Fig.1 Series-fed linear arrays

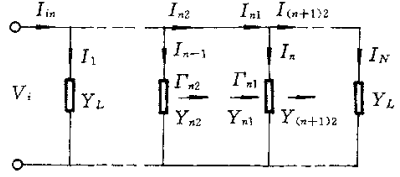


图 2 串馈线阵等效电路

Fig.2 Equivalent circuit model for series-fed linear arrays

$$I_{n1} = I_n + I_{(n+1)2} = I_n + \frac{Y_{(n+1)2}}{Y_L} I_n \quad (3)$$

第 \$n\$ 元左侧传输线的导纳为

$$Y_{n1} = Y_L + Y_{(n+1)2} \quad (4)$$

从第 \$n\$ 元左侧看入的反射系数为

$$\Gamma_{n1} = \frac{Y_0 - Y_{n1}}{Y_0 + Y_{n1}} \quad (5)$$

由式 (3) (5) 可求出第 \$n\$ 元左侧传输线上的入射电流：

$$I_{n1i} = \frac{I_{n1}}{1 - \Gamma_{n1}} \quad (6)$$

从第 \$n-1\$ 元右侧看入的反射系数和输入导纳为

$$\Gamma_{n2} = e^{-2\gamma\lambda_g} \cdot \Gamma_{n1} = e^{-2\alpha\lambda_g} \cdot \Gamma_{n1} \quad (7)$$

$$Y_{n2} = Y_0 \frac{1 - \Gamma_{n2}}{1 + \Gamma_{n2}} = Y_0 \frac{1 - \Gamma_{n1}e^{-2\alpha\lambda_g}}{1 + \Gamma_{n1}e^{-2\alpha\lambda_g}} \quad (8)$$

由 \$I\_{n1i}, \Gamma\_{n2}\$ 可求出 \$n-1\$ 元右侧传输线的电流为

$$I_{n2} = I_{n2i}(1 - \Gamma_{n2}) = I_{n1i}e^{\alpha\lambda_g} \cdot (1 - e^{-2\alpha\lambda_g}\Gamma_{n1}) \quad (9)$$

由式 (8) (9) 可求出 \$n-1\$ 元的电流为

$$I_{n-1} = \frac{I_{n2}}{Y_{n2}} \cdot Y_L \quad (10)$$

运算后可得

$$Y_{n2} = \frac{(Y_L + Y_{(n+1)2})(e^{\alpha\lambda_g} + e^{-\alpha\lambda_g}) + Y_0(e^{\alpha\lambda_g} - e^{-\alpha\lambda_g})}{Y_0(e^{\alpha\lambda_g} + e^{-\alpha\lambda_g}) + (Y_L + Y_{(n+1)2})(e^{\alpha\lambda_g} - e^{-\alpha\lambda_g})} \quad (11)$$

$$I_{n-1} = \frac{I_{n2}}{2} [ (e^{\alpha\lambda_g} + e^{-\alpha\lambda_g}) + \frac{Y_L + Y_{(n+1)2}}{Y_0} (e^{\alpha\lambda_g} - e^{-\alpha\lambda_g}) ] \quad (12)$$

式 (11) 为各元处输入导纳的递推式，式 (12) 为各元电流的递推式。计算从最末端元即第 \$N\$ 元开始，第 \$N\$ 元右侧看入的导纳为零，第 \$N\$ 元的电流假设为 1，都是确定值，由式 (11) (12) 向前递推可求得 \$I\_{N-1}, I\_{N-2}, \dots, I\_2, I\_1\$ 等阵元电流，同时也得到从每个阵元右侧看入的输入导纳，以及每个阵元右侧的传输线电流，从第一元的左侧向右看的导纳为

$$Y_{11} = Y_L + Y_{22} \quad (13)$$

第一元左侧传输线的电流为

$$I_{11} = I_1 + I_{22} \quad (14)$$

若馈电点和第一元之间还存在馈线，则用前述的方法可计算出馈电点处的电流 \$I\_{in}\$ 以及输入导纳 \$Y\_{in}\$，这样我们可求得总输入功率：

$$P_{in} = I_{in}^2 / Y_{in} \quad (15)$$

串馈线阵的增益可由下式求出<sup>[4]</sup>：

$$G = \frac{G_0(I_1 + I_2 + \dots + I_N)^2}{P_{in}Y_L}$$

(16)

式中， $G_0$  为阵元的增益。

串馈微带面阵是二维阵，通过主馈线串联馈电到每个线阵，我们把线阵在其馈电点处等效为一个负载，这样微带阵的主馈线方向也相当于一线阵，利用上述办法可求出微带面阵的增益。

2 增益和方向图计算

首先，我们计算了  $1 \times 20$  元中心馈电串馈矩形贴片线阵的增益和电流，贴片的宽度分别为 6 mm、8 mm、10 mm、12 mm，单个矩形贴片的增益为 6 dB，天线材料为国产聚四氟乙烯基片材料，相对介电常数  $\epsilon_r = 2.65$ ，厚度  $h = 1$  mm，微带线损耗一般是  $0.2 \text{ dB} / \lambda_g$ ，馈线宽度  $W = 1$  mm。各阵元的电流分布如图 3 所示，增益如表 1 所示，线阵的 E 面方向图如图 4 所示，从图 3 中可以看出：随着贴片宽度的增加，线阵的锥削程度加大，它使方向图的主瓣加宽，副瓣降低，见图 4。

表 1 不同贴片宽度的串馈线阵增益

Tab.1 Gain of series-fed patch arrays with various widths

贴片宽度 (mm)	6	8	10	12
线阵增益 (dB)	17.86	17.81	17.72	17.06

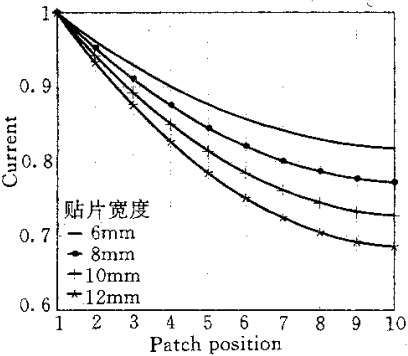


图 3 微带线损耗引起的贴片元馈电锥削  
Fig.3 Patch current with various patch widths

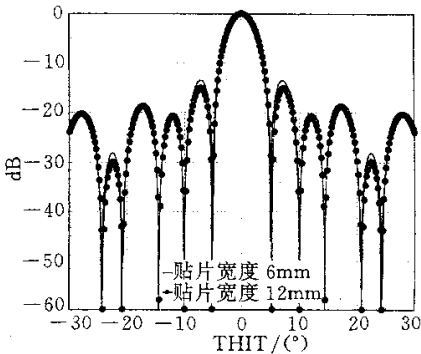


图 4 贴片线阵 E 面方向图  
Fig.4 E-plane pttterns of patch arrays

图 5 为  $10 \times 20$  元串馈贴片阵（线阵为 20 元，贴片宽度为 7 mm）的方向图，E 面方向图的计算值与测量值相当吻合，H 面的误差稍大，这是因为计算 H 面各阵元的电流时要用线阵的输入导纳，H 面的电流计算有两次误差积累，因此 H 面的误差比 E 面大。贴片阵的增益计算值为 26.9 dB，而天线增益实测值为 26.6 dB，增益的计算值与实测值相当接近的。在微带阵的实际应用中，常常对副瓣电平有一定要求，根据天线方向图综合理论，阵元电流可以按切比雪夫分布、泰勒分布或余弦分布，以满足所要求的副瓣电平。这些都要计入馈线上的损耗才能获得各电流的正确值。

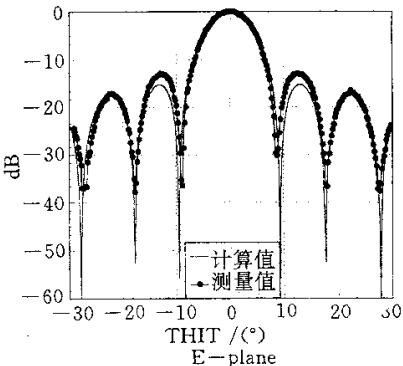
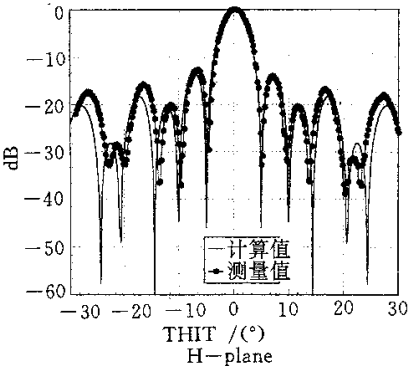


图 5  $10 \times 20$  元串馈贴片微带阵方向图

Fig.5 Patterns of  $10 \times 20$  elements series-fed patch array

图 6 是微带串馈贴片阵的增益随阵元数目变化的曲线。若馈线无损耗则微带阵的增益应随阵元数的增加而线性增加, 考虑馈线损耗时, 增益变化情况如下: 当阵的元数较少时, 增益随阵元的增加而线性增加, 这说明在阵较小时, 馈线的总长度较短, 馈线消耗的功率较少; 随着阵元  $N$  的增加, 馈线总长度较长, 馈线消耗的功率较多, 增益的增加趋向平缓, 阵越大, 通过增加辐射元使天线的增益提高也越困难, 图中显示的极限增益为 31.5dB, 一般单块贴片天线阵的设计增益最好不超过 27dB。

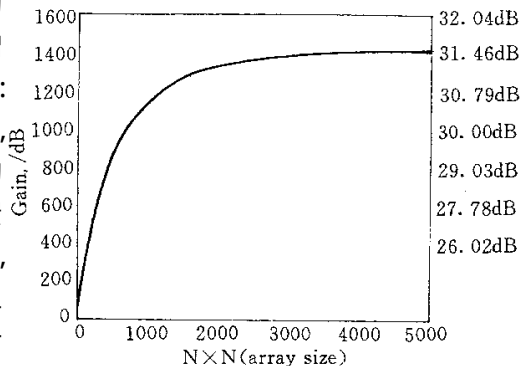


图 6 串馈微带阵增益随阵元数变化曲线

Fig.6 Gain of series-fed patch arrays

### 3 结论

用上述方法可以对串馈微带阵优化设计, 不仅可以用来设计计算串馈微带阵, 也可以用来设计计算其他串馈阵, 在工程上有较大的实用价值。

### 参考文献:

- [1] 张 钧, 刘克成等. 微带天线理论与工程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988.
- [2] Lalezari F, Massey C D. mm-Wave Microstrip Antennas [J]. Microwave Journal, 1987, 87-96.
- [3] James J R, Hall P S, Wood C. microstrip antenna theory and design [J]. IEE Peter Peregrinus, 1981: 140.
- [4] 爱金堡. 超高频天线 (中译本) [M]. 北京: 人民邮电出版社, 1961: 197.

## 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](http://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](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立,一直致力和专注于微波、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](http://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>