

变形圆微带天线谐振频率的研究

饶亲江

林昌禄

(广西师范大学物理系, 桂林 541001) (电子科技大学, 成都 610054)

摘要 微带天线的窄频带在很大程度上限制了它在许多方面更广泛应用。如何展览其频带一直为国内外学者所关注。本文用变分法并结合微扰理论分析了一种变形圆贴片宽频带微带天线的谐振频率。理论计算值与实测结果一致性较好, 为微带天线谐振特性的综合奠定了一定基础。

关键词 微带天线; 变形圆贴片; 微扰; 变分原理; 带宽; 谐振频率。

1. 引言

变形圆贴片微带天线是巧妙地利用了腔内场分布呈简并态的一种天线。选择合适的同轴馈点, 当几个模简并时, 让贴片边界产生微小的扰动(如图1), 即可消除简并而使本征值分离, 于是就得到两个分离的谐振频率, 这样变形圆微带天线就能在较宽的频带内工作。对此, 国内外天线工作者做了许多研讨工作, 取得一定进展^[1-6, 8], 然而他们大都只给出实验测试结果^[2, 8], 即使是给出了一定的理论表达式, 其运算过程也偏很复杂^[1, 4, 9]。本文导出了变形面积元 ΔS 与分离谐振频率之间的关系, 其过程、结论简洁, 且在微扰范围内, 分离的两频率不受 ΔS 形状的限制, 克服了文献[1, 5, 6]中谐振频率的表达式只适用于 ΔS 为扇形且相当复杂的不足。

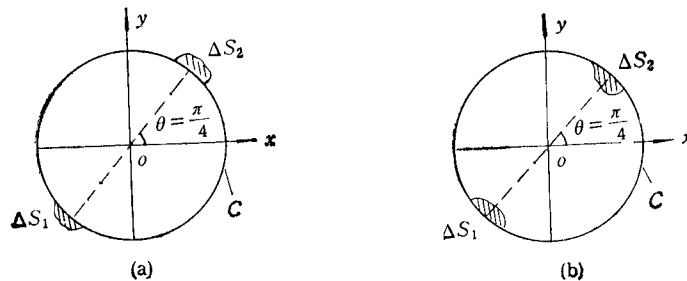


图1 变形圆贴片微带天线示意图

2. 分析理论

如图1所示的微带天线, 设未加微扰片 ΔS 时, 天线工作在主模状态, 中心 o 为短路

1991.12.25 收到, 1992.06.12 定稿。

饶亲江 男, 1962年生, 副教授, 现从事微带天线的理论和应用、电磁兼容、电子线路的 CAD 等方面教学和研究工作。

林昌禄 男, 1938年生, 教授, 从事电磁兼容、天线测量、微带天线的理论和应用等方面的教学和研究工作。

钉。厚度为 d ，两个简并的模函数为 ϕ_1 和 ϕ_2 ，对应的本征值为 K_{11} 。当面元变化 ΔS 时，分离后的谐振频率可由下式给出^[1,3,4]：

$$\det \begin{bmatrix} K_{11}^2 + q_1 - K^2(1 + P_1) & q_{12} - K^2 P_{12} \\ q_{12} - K^2 P_{12} & K_{11}^2 + q_2 - K^2(1 + P_2) \end{bmatrix} = 0 \quad (1)$$

上式中 K 表示简并解除后的谐振波数， $q_1, q_2, q_{12}, P_1, P_2, P_{12}$ 由如下表达式给出：

$$P_1 = \iint_{\Delta S} \phi_1^2 dS, \quad q_1 = \iint_{\Delta S} (\Delta \phi_1)^2 dS \quad (2)$$

$$P_{12} = \iint_{\Delta S} \phi_1 \phi_2 dS, \quad q_{12} = \iint_{\Delta S} \nabla \phi_1 \cdot \nabla \phi_2 dS \quad (3)$$

显然，只要给出分布函数及微扰元 ΔS ，分离的两谐振频率即可由谐振波数求出。文献 [1,5] 中已经成功地解决了 ΔS 为规则扇形的问题。事实上，综合考虑天线的辐射特性等，微扰元 ΔS 的大小有一定的范围。如果 ΔS 太大，尽管分离的两谐振频率间距拉开，有效带宽将实际变窄。而在适当的范围内，如果用扰动法分析，把面积元 ΔS 引起的扰动看成是电容性加载，即只考虑电能的变化，不考虑磁能的变化，此时，将会使通过 (1) 式的计算得到的谐振频率，其结果简洁明了。本文的分析正是基于上述考虑。

当只考虑电能的变化而不计及磁能变化时，可假定 $P_1 = P_2$ ，且 $q_1 = q_2 = q_{12} = 0$ ，变形圆微带天线的等效电路可由图 2 的双调谐电路表示。又在图 1 所示的变形圆贴片中，简并的函数 ϕ_1, ϕ_2 分别由下式给出：

$$\phi_1 = A_0 J_1(K_{11}r) \cos \theta \quad (4)$$

$$\phi_2 = A_0 J_1(K_{11}r) \sin \theta \quad (5)$$

A_0 表示归一化振幅，由归一化条件

$$\iint_S \phi_1 dS = \iint_S \phi_2 dS = 1 \quad \text{求出}$$

$$A_0^2 = \frac{\alpha}{\pi a_e^2 [1 - 1/K_{11}^2 a_e^2] J_1^2(K_{11} a_e)} \quad (6)$$

a_e 是考虑了场的边缘效应后的等效圆半径，且

$$K_{11} a_e = 1.841 \quad (7)$$

$$a_e = a [1 + 2d/(\pi a \epsilon_r) (\ln [\pi a / (2d)] + 1.7726)]^{1/2} \quad (8)$$

a 为几何半径。实验测得 $\theta = \pi/4$ 时，简并分离后的 2 个模有最佳偶合特性。考虑到变形圆贴片微带天线圆极化工作条件^[8]

$$(\Delta S/S) Q_0 = 1/1.841 \quad (9)$$

Q_0 为微带天线空载品质因素，将 (2)–(9) 式代入 (1) 式中，并取一次近似

$$K^2 = K_{11}^2 \{1 - \alpha K_{11}^2 a_e^2 \Delta S / [(K_{11}^2 a_e^2 - 1)(\pi a_e^2)]\} \quad (10)$$

$$K_{\pm}^2 = K_{11}^2 \{1 + \alpha \Delta S / [(\pi^2 a_e^2 - 1)(\pi a_e^2)]\} \quad (11)$$

上两式中的 α 取值为 2。分离简并后的 2 个谐振频率由下式给出：

$$f_{\pm} = K_{\pm} / (2\pi \sqrt{\mu \epsilon}) \quad (12)$$

3. 实例及讨论

为证实上述分析方法的可行性,作者对不同变形元 ΔS 的天线进行实际测量^[7],并与理论值进行了比较,如图 3 所示。由此可见:

(1) 当 $\Delta S = 0$ 时,圆贴片不加微扰,显然 K_{\pm} 均为 K_{11} 。

(2) 当 $0 \leq \Delta S/S \leq 3.7\%$ 时,实测值与理论值吻合程度较高。本文中的计算值与文献[6]中的理论值一致性较好。

(3) 当 $\Delta S/S > 3.7\%$ 。随着 $\Delta S/S$ 值的增大,理论值与实测值的偏差越来越大。这主要是因为 ΔS 太大时,已经超过了微扰应用范围,亦即微扰片 ΔS 中不能只考虑电能的变化而不计及流入 ΔS 部分电流的作用。而此时分离的 2 个模已经处于松散耦合状态,双模工作已失去意义。

(4) 由(10), (11)式可知, f_{\pm} 与 ΔS 有明显的直接关系。这为根据 f_{\pm} 的值反过来设计 ΔS 的大小提供了依据,为天线特性的“综合”打下了一定基础。

4. 结语

本文对变形圆贴片微带天线的谐振特性分析表明,对圆贴片加适当微扰 ΔS , 可以增宽带宽。在微扰范围内,其形状不对分离的谐振频率的大小产生影响,但其大小直接影响分离的谐振频率的高低。至于变形圆贴片微带天线的辐射及阻抗特性随 ΔS 的位置、大小、形状变化的规律将在后续文献中讨论,可以预期这是一个较为复杂的综合问题,但无疑本文的工作为综合问题的探讨奠定了一定基础。

本文工作曾得到国防科技大学张钧教授的协助,广西师范大学计算分析测试中心的大力支持、以及广西师范大学近代物理实验室钟申生老师提供的方便,在此一并表示感谢。

参 考 文 献

- [1] 多贺登喜雄,电子情报通信学会论文誌, J65-B(1982)6, 777—784.
- [2] U. S. Patent No. 4160976, Conroy, July, 10, 1979.
- [3] 钟顺时著,微带天线理论与应用,西安电子科技大学出版社,西安,1991年.
- [4] 张钧,刘克诚等编著,微带天线理论与工程,国防工业出版社,北京,1987年,第298—304页.
- [5] 饶亲江,通信学报, 11(1990)5, 17—22.
- [6] 饶亲江,林昌禄,电子科技大学学报, 20(1990)1, 26—29.
- [7] 林昌禄,天线测量技术,成都电讯工程学院出版社,成都,1987年,第20—42页.
- [8] M. Haneishi, S. Yoshida, N. Goto, A Broad-Band Microstrip Array Composed of Single-Feed Type Circularly Polarized Microstrip Antennas, IEEE AP-S Int. Symp. Digest, (1983), pp. 160—161.

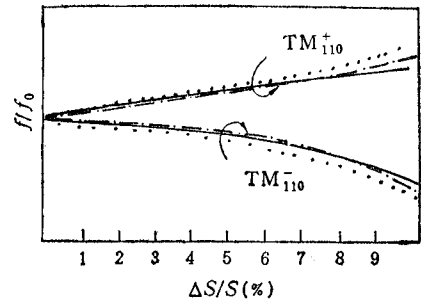


图 3 变形圆贴片微带天线谐振频率曲线
..... 测量值, —— 本文计算值, —— 文献
[6] 的计算值, $\epsilon_r = 2.32$, $d = 0.159\text{cm}$

RESEARCH ON RESONANT FREQUENCY OF DEFORMED CIRCULAR MICROSTRIP ANTENNAS

Rao Qinjiang

(Department of Physics, Guangxi Normal University, Guilin 541001)

Lin Changlu

(University of Science and Technology, of China Chengdu 610054)

Abstract On account of narrow bandwidth, many applications of microstrip antennas are limited in great degree. How to widen its bandwidth is being concerned by lots of scholars at home and abroad. In this paper, resonant frequency of the deformed circular microstrip antennas is investigated based on variational principle and the perturbation concept. The theoretical results are found to be in reasonable agreement with the experimental ones for small modified element. This paper provides a theoretical and experimental bases for the synthesis of microstrip antennas.

Key words Microstrip antenna; Deformed circular disk; Perturbation; Variational principle; Bandwidth; Resonant frequency