

回旋管高频腔中金属膜片对谐振频率的影响¹

罗积润 张世昌 秦文珍

(中国科学院电子学研究所 北京 100080)

摘 要 本文从多点反射的角度给出了高频腔中存在对称金属膜片时谐振频率的计算公式和特性曲线, 并从实验上证实了金属膜片对机械加工误差的补偿作用。

关键词 回旋管, 谐振频率

中图分类号 TN128

1 引言

回旋管是一种高功率、高效率的毫米波器件。当工作频率不断升高时, 高频谐振腔的工艺精度显得越来越重要。实验表明, 机械误差可以使谐振频率产生严重漂移, 致使达不到设计要求。本文采用的金属膜片补偿方法从理论和实验上对频率修正产生了较好的效果。

2 金属膜片对回旋管谐振频率的影响

图 1 给出的是用以分析金属膜片对回旋管谐振频率影响的示意图。\$d\$ 是膜片厚度, \$a\$ 为膜片的内半径, \$b\$ 为腔体半径, \$h\$ 为输出波导半径, \$L\$ 为腔长, \$\theta_1\$ 和 \$\theta_2\$ 分别为输入、输出角。在文献 [1,2] 的基础上, 利用多点反射法, 可推出 TEMn 模在腔中的谐振频率公式为

$$2kL + \Phi + \Psi = 2l\pi, \quad l = 1, 2, 3 \dots n, \quad (1)$$

式中

$$\begin{aligned} \Phi &= 2 \int_{z_1}^{z_2} k_z dz + \pi = 2X_{mn}[\eta(z_2) - \text{tg}^{-1}\eta(z_2)]/\text{tg}\theta_1 + \pi/2, \\ \Psi &= \text{tg}^{-1}(-I/R), \quad X_{mn} \text{ 是 } m \text{ 阶贝塞尔函数的第 } n \text{ 个零点,} \\ R &= \Gamma_1(\cos(2\beta d) - T^+T^-) + T^+T^-\Gamma_2 \cos(\alpha), \\ I &= \Gamma_1 \sin(2\beta d) - T^+T^-\Gamma_2 \sin(\alpha), \quad \Gamma_1 = (k - \beta)/(k + \beta), \\ T^\pm &= 2(1 \pm 2x)(\sqrt{\beta/k} + \sqrt{k/\beta})^{-1}[1 \pm 2x - m^2x/(X_{mn}^2 - m^2)]^{-1}, \\ \Gamma_2 &= \sqrt{A^2 + B^2}, \quad \alpha = \text{tg}^{-1}(-B/A), \quad x = (b - a)/a, \\ A &= 0.5 \int_{\eta(z_4)}^{\eta(z_5)} \cos(\gamma(\eta))d\eta/(\eta(1 + \eta)), \\ B &= -0.5 \int_{\eta(z_4)}^{\eta(z_5)} \sin(\gamma(\eta))d\eta/(\eta(1 + \eta)), \\ \gamma(\eta) &= 2X_{mn}[\eta - \text{tg}^{-1}\eta - \eta(z_4) + \text{tg}^{-1}\eta(z_4)]/\text{tg}\theta_2, \end{aligned}$$

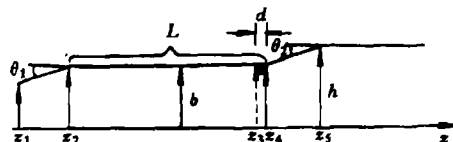


图 1 谐振腔示意图

¹ 1995-08-14 收到, 1996-05-08 定稿

$$\eta(z) = \begin{cases} k_z(b + (z - z_4)\text{tg}\theta_2)/X_{mn}, \\ k_z(b + (z - z_2)\text{tg}\theta_1)/X_{mn}, \end{cases}$$

$$k_z = \begin{cases} [(\omega/c)^2 - X_{mn}^2/[b + (z - z_4)\text{tg}\theta_2]^2]^{1/2}, & (z_4 \leq z \leq z_5), \\ [(\omega/c)^2 - X_{mn}^2/[b + (z - z_2)\text{tg}\theta_1]^2]^{1/2}, & (z_1 \leq z \leq z_2), \end{cases}$$

$$k = k_z(z_2), \quad \beta = [(\omega/c)^2 - (X_{mn}/a)^2]^{1/2}.$$

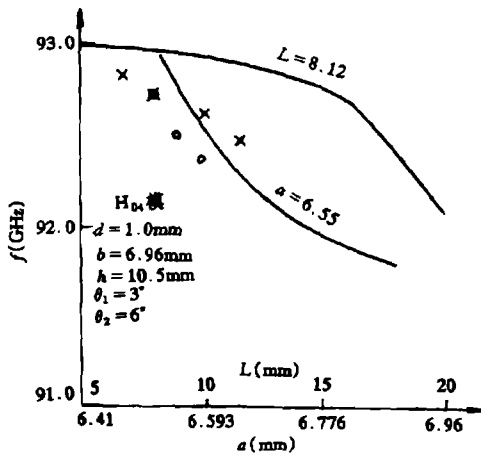


图2 谐振频率与腔长L和金属膜片内半径a的关系曲线

(1) 式是分析腔中金属膜片对谐振频率影响的基本方程。在(1)式的基础上,利用计算机计算了腔体在轴向波数 $l=1$ 时谐振频率与金属膜片内半径 a 和腔长度 L 的变化关系曲线。图2给出了计算曲线和对应的“冷”测数据(“x”是随 a 的变化数据,“o”是随 L 的变化数据)。曲线表明,增加膜片的厚度可以弥补因机械误差引起的频率增加;膜片内半径的减小可以弥补加工精度造成的谐振频率降低。实验与数值模拟结果是吻合的。实验还表明,当采用跳变复合腔时,由于加工误差造成不同模式谐振频率的差异,致使腔内金属膜片作用显得更为突出。此外,膜片对谐振腔衍射Q值的影响也不可忽视。如何选择金属膜片使得谐振频率和衍射Q值落在工作模式范围内是工程设计的重要问题。

参 考 文 献

[1] Li Q F, Chu K. R. Int. J. Infrared and Millimeter Waves, 1982, (13): 712.
 [2] 罗积润,等. 回旋管输出窗频率特性的研究. 电子科学学报, 1987, 9(5): 465-468.

THE EFFECTS OF THE METAL-RING IN THE HIGH FREQUENCY CAVITY OF GYROTRON OSCILLATOR ON THE RESONANT FREQUENCY

Luo Jirun Zhang Shichang Qin Wenzhen

(Institute of Electronics, Academia Sinica, Beijing 100080)

Abstract When the operating frequency gets very high, the machining error may make that the resonant frequency of the cavity in gyrotron oscillator deviates the design value, or can not meet the engineering requirement. The approximate formulas considering the effects of the symmetrical metal-ring in the resonant cavity of gyrotron oscillator are derived. The resonant frequency dependence for the gyrotron oscillator is obtained and discussed. The cold measurements show that the theoretical results are reasonable.

Key words Gyrotron, Resonant frequency

罗积润: 男, 1957年生, 副研究员, 现从事微波、毫米波技术的研究。
 张世昌: 男, 1939年生, 研究员, 现从事微波、毫米波技术的研究。
 秦文珍: 女, 1944年生, 实验师, 现从事微波、毫米波技术的研究。