

一种新型波导移相器的研制

潘宗达

(南京电子技术研究所, 南京 210013)

摘要 借助相移-频率特性、保角变换和微扰理论, 研制出了新型的宽带移相器。该移相器已用于卫星地面站, 性能很好。实测数据与理论结果吻合。

关键词 介质加载波导; 补偿相移; 介电常数

1. 引言

在研制波导移相器时, 往往希望在工作频带内有条平坦且对称的相移曲线。为此, 有必要对相移曲线的平坦度进行探讨。

2. 介质加载波导的相频特性

介质加载波导(见图1)单位长度的相移为

$$\phi/L = 2\pi(1/\lambda_{g1} - 1/\lambda_{g2}) \quad (1)$$

式中 λ_{g1} 和 λ_{g2} 分别为电场平行和垂直于介质片的波导波长。

在方波导中, (1)式的解 $\lambda_{g1,2}$ 由超越方程^[1]确定, 其近似解分别由下列公式确定:

$$\lambda_{g1} = \lambda / \sqrt{\epsilon_{r1} - (\lambda/\lambda_c)^2} \quad (2)$$

式中 ϵ_{r1} 为等效介电常数^[2]。

$$\epsilon_{r1} = \epsilon_{\text{reff1}} \approx 1 + (\epsilon_r - 1) \left[t/a + \frac{1}{\pi} \sin(\pi t/a) \right] \quad (3)$$

和

$$\lambda_{g2} = \lambda / \sqrt{\epsilon_{r2} - (\lambda/\lambda_c)^2} \quad (4)$$

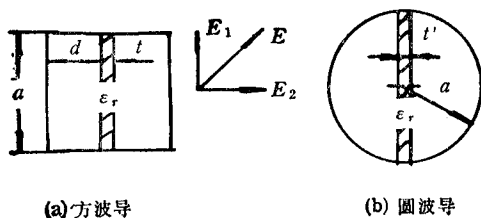


图1 介质加载波导

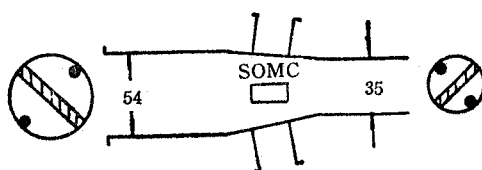


图2 结构紧凑的4/6GHz移相器

式中

$$\epsilon_{r2} = \epsilon_{\text{reff2}} \approx \epsilon_r / [\epsilon_r(1 - t/a) + t/a] \quad (5)$$

由 $1/\lambda_{gi}^2 = \epsilon_{ri}/\lambda^2 - 1/\lambda_c^2 = \epsilon_{ri}f^2/c^2 - 1/\lambda_c^2$ ($i=1,2$) 知

$$\frac{d}{df} (1/\lambda_{gi}) = \varepsilon_{ri} \lambda_{gi} / c\lambda, \quad (i = 1, 2) \quad (6)$$

因此,相移曲线的平坦度公式为

$$\frac{d\phi}{df} = 2\pi L \frac{d}{df} (1/\lambda_{g1} - 1/\lambda_{g2}) = \frac{2\pi L}{c\lambda} (\varepsilon_{r1} \lambda_{g1} - \varepsilon_{r2} \lambda_{g2}) \quad (7)$$

3. 4/6GHz 频段宽带移相器的设计

已经用于卫星地面站的结构紧凑的 4/6GHz 移相器示于图 2。

(1) 加载圆波导的相移特性 根据 (1) 式及相应的 λ_{g1} , λ_{g2} 的计算, 半径 $R = 27\text{mm}$ 、介电常数 $\varepsilon_r = 4$ 的加载圆波导的相移曲线, 如图 3 所示。

根据该图中相移曲线的平坦度, 我们选取与 $t = 1.2\text{mm}$ 对应的相应曲线, 作为 4/6 GHz 频段的初始相移曲线。介质片的长度 L 由所需的相移量确定。

根据相移随频率的变化规律, 将圆波导在垂直于介质片的方向上进行微扰, 使其产生负相移, 从而达到减小轴比, 缩小与标准 90° 相移间差异的目的。

(2) 边壁微扰 借助微扰理论, 可以导出双脊圆波导的截止波长 λ_{c1} 和 λ_{c2} , 如图 4 所示。图中 r 为脊条的半径。

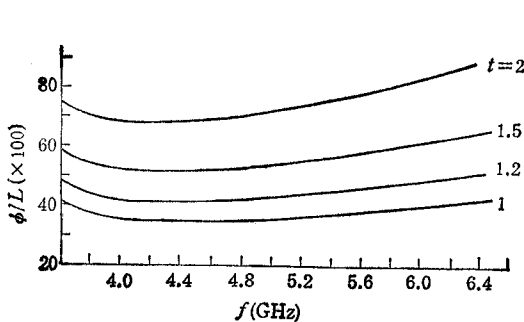


图 3 加载圆波导的相移曲线

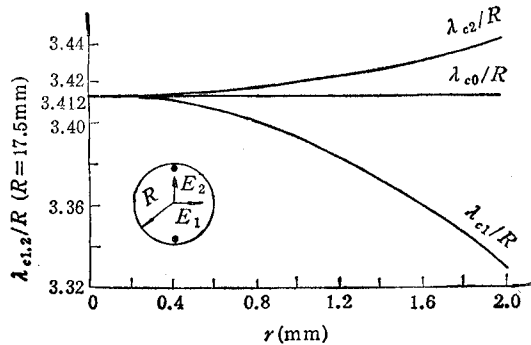


图 4 双脊圆波导的截止波长

(3) 加载圆波导加脊后的合成相移 加载圆波导加脊后的合成相移为

$$\begin{aligned} \phi = \phi_1 - \phi_2 = & 2\pi L [(\sqrt{\varepsilon_{r1} - (\lambda/\lambda_c)^2} - \sqrt{\varepsilon_{r2} - (\lambda/\lambda_c)^2})/\lambda] \\ & - 2\pi L' [(\sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{c1})^2} - \sqrt{1 - (\lambda/\lambda_{c2})^2})/\lambda] \end{aligned} \quad (8)$$

式中 L 和 L' 分别为介质片和脊条的长度。合成相移曲线如图 5 所示。

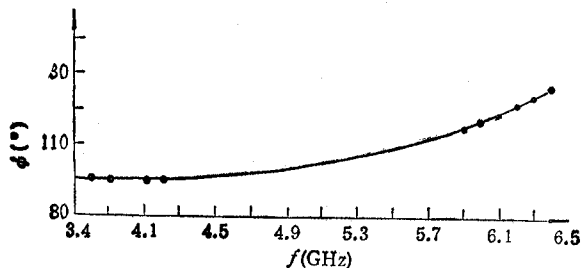


图 5 合成相移曲线

由带点的实测值看出, 在 4GHz 接收频段, 相移已满足圆极化波的要求, 即 $\phi =$

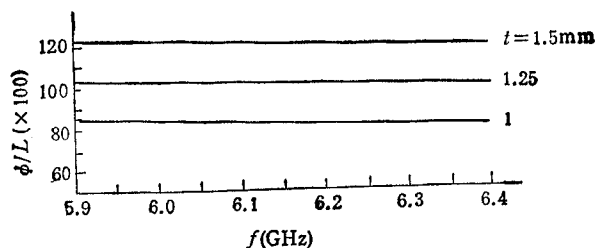
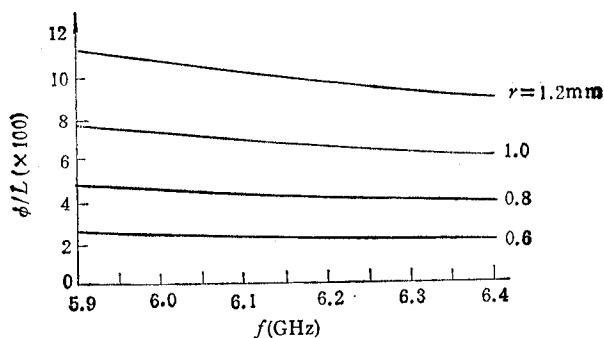
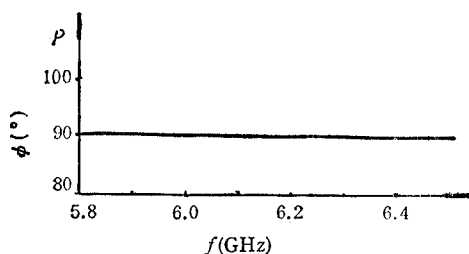
图 6 $R = 17.5\text{mm}$ 的介质片加载圆波导的相移曲线图 7 $R = 17.5\text{mm}$ 的双脊圆波导的相移曲线

图 8 最终的合成相移曲线

$90^\circ \pm 1^\circ$, 而在 6GHz 发射频段, 相移在 $115^\circ \sim 127^\circ$ 的范围。为此, 必须在 6GHz 频段形成滞后的补偿相移。办法是在图 2 所示的“SOMC”接头后, 接一段 $R = 17.5\text{mm}$ 的介质片加载圆波导, 设法产生渐降的负相移, 下降 25° 至 37° 。

(4) 补偿相移 为了得到负 25° 至负 37° 的补偿相移, 采用图 6 所示的介质加载圆波导相移 ϕ' 和图 7 所示的加脊圆波导相移 ϕ'' 的线性组合。图 8 显示了令人满意的测试结果。

4. 测试结果

4/6GHz 移相器的测试数据如表 1 所示

表 1

频率 (GHz)	带宽 (%)	相移 ($^\circ$)	反射损耗 (dB)	轴比 (dB)
4	12.5	90 ± 1	> 29	< 0.3
6	12.5	90 ± 1	> 30	< 0.15

5. 小结

本文介绍的 4/6GHz 宽带移相器, 具有结构简单紧凑, 性能稳定可靠, 能承受高功率等优点。研制这种移相器的关键在于掌握补偿相移的形成技巧和介质片材料的选择。

感谢顾墨林老师给本文提了不少宝贵意见

参 考 文 献

- [1] Pan Zongda, *J. of Electronics (China)*. 3(1987), 214—224.
- [2] R. F. Harlington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw-Hill Book Co., New York, (1961), P. 377.

THE DEVELOPMENT OF A NEW WAVEGUIDE PHASE SHIFTER

Pan Zongda

(*Nanjing Research Institute of Electronics Technology, Nanjing 210013*)

Abstract By the aid of the phase shift-frequency characteristic, the conformal transformation and the perturbation theory, a new kind of compact, broadband waveguide phase shifter is developed. It is used in the satellite earth station and achieves very nice performances. The experimental data coincide with the theoretical results.

Key words Dielectric loaded waveguide; Phase shift compensation; Dielectric constants