

圆波导铁氧体锁式变极化器的阻抗匹配研究¹

沙 侃 车文荃 温勇武 温俊鼎

(南京理工大学通信工程系 南京 210094)

摘 要 本文对铁氧体环加载圆波导锁式变极化器进行了阻抗匹配研究。从而提出了一种设计铁氧体环加载圆波导变极化器阻抗匹配的方法。推导出了 $\lambda/4$ 阻抗匹配的计算公式, 计算得到了阻抗变换器的尺寸, 测试了实际样品的匹配性能, 实测结果和理论计算吻合得很好。

关键词 圆波导, 锁式变极化器, 阻抗匹配

中图分类号 TN814

1 引言

现在已经发展有许多种采用铁氧体器件实现快速变极化的方法。对单通道大功率的快速变极化器, 采用横向四极磁化铁氧体环加载圆波导的锁式结构^[1]有很多优点。例如: 容易实现与天线连接、可承受较大的功率、极化状态变换快、损耗小等。这种快速变极化器的实验结构在文献 [1] 中已有介绍。但是, 迄今为止, 尚未见有实用的理论分析方法来解决它的阻抗匹配问题。本文就这一问题进行研究, 给出设计匹配器件的方法及匹配实验结果。

2 理论分析

2.1 铁氧体环加载圆波导的电磁波传输特性 铁氧体环加载锁式变极化器的电磁波传播区

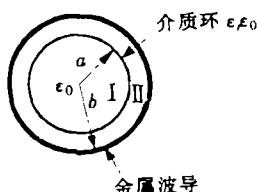


图 1 介质加载圆波导结构

域实际上是横向四极磁化铁氧体环加载圆波导^[1], 在分析这种结构的电磁波的反射特性时, 可将工作于剩磁状态下的铁氧体环加载的圆波导等效为介质环加载圆波导^[2], 见图 1。

对于这种结构, 可用模匹配法得到其传输特性的色散方程^[3]。

$$k_{\rho 1}^2 \left[F_1'(a) \varepsilon_{r1} - \varepsilon_{r2} \frac{F_1(a) F_3'(a)}{F_3(a)} \frac{k_{\rho 1}}{k_{\rho 2}} \right] \left[F_2'(a) \mu_{r1} - \mu_{r2} \frac{F_2(a) F_4'(a)}{F_4(a)} \frac{k_{\rho 1}}{k_{\rho 2}} \right] - \left[\frac{k_z m}{a k_0} \right]^2 \left[1 - \left(\frac{k_{\rho 1}}{k_{\rho 2}} \right)^2 \right]^2 = 0, \quad (1)$$

这里

$$\begin{aligned} F_1(\rho) &= F_2(\rho) = J_m(k_{\rho 1} \rho), \\ F_3(\rho) &= J_m(k_{\rho 2} \rho) N_m(k_{\rho 2} b) - N_m(k_{\rho 2} \rho) J_m(k_{\rho 2} b), \\ F_4(\rho) &= J_m(k_{\rho 2} \rho) N_m'(k_{\rho 2} b) - N_m(k_{\rho 2} \rho) J_m'(k_{\rho 2} b), \\ k_{\rho 1}^2 &= \omega^2 \varepsilon_1 \mu_1 - k_z^2, \quad k_{\rho 2}^2 = \omega^2 \varepsilon_2 \mu_2 - k_z^2; \end{aligned}$$

¹ 1998-06-29 收到, 1999-04-12 定稿

其中 J_m 为第 m 阶 Bessel 函数, N_m 为第 m 阶 Neumann 函数, 带 “'” 的量表示对函数宗量微分, k_z 为传播常数, 下标 1 或 2 代表 I 区或 II 区的量。该方程是 k_z 的函数。当各区介质介电常数和内外半径等参量给定时, 方程的根就是介质加载圆波导中可能出现的各种模式, 用它可分析介质加载圆波导中主模和高次模式的情况。采用数值求根法, 可得到 k_z 的数值解。

2.2 四分之一波长段阻抗匹配 图 2 为器件的纵向结构示意图。该器件可分为三段, 第一段为铁氧体段, 第二段为介质环匹配段, 第三段为正则空波导段, 设它们的等效阻抗分别为 Z_f, Z_d 和 Z_0 , 这里我们用下标 f 表示铁氧体段中的量, 下标 d 表示介质环匹配段中的量。在此, 我们忽略阶梯对反射波的影响, 则可用主模波阻抗代替等效阻抗来进行匹配。在空圆波导中, TE_{11} 模的波阻抗为 $Z_{TE} = \omega\mu_0/k_{z0}$, 其中 k_{z0} 为空波导中 TE_{11} 模传播常数, 而在铁氧体段和匹配段中, 传播的主模为准 TE_{11} 模, 我们可分别定义波阻抗: $Z_f = \omega\mu_{ef}/k_{zf}$ 和 $Z_d = \omega\mu_0/k_{zd}$, 注意到在剩磁状态下铁氧体环的有效导磁率 $\mu_{ef} \approx \mu_0$, 于是可得到 $\lambda/4$ 匹配关系:

$$k_{zd} = \sqrt{k_{z0}k_{zf}}, \quad (2)$$

k_{zf} 为铁氧体波导段中主模的传播常数。

给定铁氧体的尺寸和介电常数 (a_f, b, ϵ_{rf}) 后, 可从 (1) 式求出 k_{zf} 。

得到了 k_{z0}, k_{zf} 后, 便可由 (2) 式计算出匹配段中主模的传播常数 k_{zd} , 从而可由下式算得 $\lambda/4$ 匹配段的长度:

$$L = \frac{\pi}{2k_{zd}} = \frac{\pi}{2\sqrt{k_{z0}k_{zf}}}. \quad (3)$$

同时将 k_{zd} 代入 (1) 式, 在选定匹配环的介电常数后, 就可求出匹配介质环的内半径 a_d , 从而得到匹配介质的所有尺寸和参数。

3 设计计算和实验

我们取圆波导的半径为 $b=16\text{mm}$, 工作频率 $f_0=5.65\text{GHz}$, 铁氧体介电常数 $\epsilon_{rf}=16$, 铁氧体环内半径 $a_f=12\text{mm}$, 用聚四氟乙烯材料做匹配介质, 其介电常数 $\epsilon_{rd}=2.1$, 利用上述计算公式采用 Muller 求根法算得: $L=10.15\text{mm}$, $a=5.26\text{mm}$, 中心频率处驻波的理论值为 $\rho=1.0$ 。

为了检验设计的正确性, 我们按上述计算得到的尺寸加工了介质环, 并对用该环匹配的器件进行了驻波测量。测量结果见图 3。从测量曲线中可看出, 在频率为 $5.55\sim 5.78\text{GHz}$ 范围内, 驻波系数 $\rho < 1.2$, 在中心频率处驻波约为 1.02, 试验结果

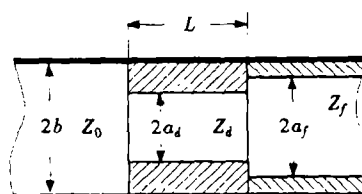


图 2 匹配段纵向结构

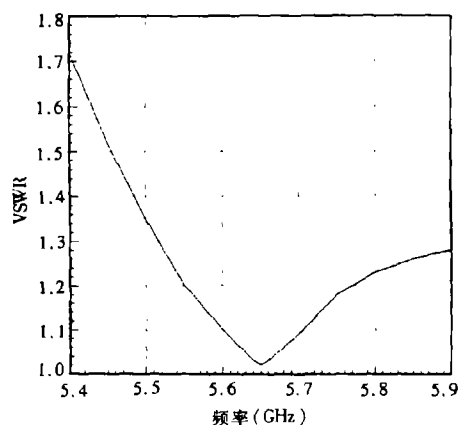


图 3 驻波测量曲线

与理论计算相吻合。

4 结 论

上述对典型的铁氧体变极化器匹配的理论计算和实验结果的一致性表明, 利用周向介质加载圆波导的色散方程求解介质匹配问题, 是一种设计计算锁式变极化器的阻抗变换器尺寸参数的有效方法。应用这一方法, 可避免单纯的试验匹配的盲目性, 可在较大程度上提高工作效率。如果需要匹配的带宽更宽时, 仍可用本文介绍的公式和方法进行多级宽带匹配器的设计。

本文未讨论铁氧体的阶梯结构较大时对匹配环尺寸的影响, 对此我们将作进一步研究。

参 考 文 献

- [1] Yansheng Xu. Latching ferrite quadrupole-field devices. IEEE Trans. on MTT, 1987, MTT-35(11): 1062-1065.
- [2] Wen Junding, Xiong Y-Z, Shi M-J, Chen G-F, Yu M-D. Analysis of twin ferrite toroidal phase shifter in grooved waveguide. IEEE Trans. on MTT, 1994, MTT-42(4): 616-621.
- [3] Harrington R F. Time Harmonic Electromagnetic Fields, New York: McGraw-Hill Book Co., 1961, Chapter 5, 216-223.

A STUDY ON THE IMPEDANCE MATCHING OF THE CIRCULAR WAVEGUIDE LATCHING FERRITE VARIABLE POLARIZER

Sha Kan Che Wenquan Wen Yongwu Wen Junding

(Dept. of Comm. Eng., Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094)

Abstract In this paper, the impedance matching problem of the circular waveguide latching ferrite variable polarizer has been studied, a method of calculating the impedance matching of the circular waveguide latching ferrite variable polarizer has been presented. Formulas for calculating the $\lambda/4$ impedance matching are given. According to the size obtained by the calculation, a device for impedance matching was made and the VSWR of the device has been measured. The measured results agree well with the calculated results.

Key words Circular waveguide, Latching ferrite variable polarizer, Impedance matching

沙 侃: 男, 1958 年生, 讲师, 现主要从事电磁场理论与微波技术的教学及微波系统和电磁场数值计算方面的研究工作。

车文荃: 女, 1968 年生, 讲师, 现主要从事电磁场与微波技术的教学与微波系统和微波器件的研究工作。

温勇武: 男, 1969 年生, 助工, 现从事电路和微波器件的研制工作。

温俊鼎: 男, 1938 年生, 教授, 主要从事微波铁氧体理论和技术及微波系统研究工作, 发表学术论文 60 多篇, 获得多个国家级和省部级科技奖。