

TE₁₁₁ 双模圆柱腔椭圆函数滤波器输入耦合的设计

林 华, 甄蜀春, 王 军

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘 要:采用同轴探针,激励 TE₁₁₁双模圆柱腔椭圆函数滤波器,利用变分积分的近似方法,求解了激励源的辐射场,由此得出同轴探针的输入阻抗变分表达式及辐射电阻表达式,从而得出了输入耦合探针的位置和结构尺寸。经实践证明这种模式耦合设计简便易行,效果良好。

关键词:探针电激励;圆柱腔椭圆函数滤波器;变分积分法

中图分类号:TN015 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)02-0067-03

邻频道合成器是“微波多路电视传输系统”(MMDS)中的关键部件。MMDS 由于其具有与 CATV 兼容,传输质量高、距离远,投资少等突出优点,已经取得了与光纤传输、卫星传输、有线电视和 VHF/UHF 波段电视发射机同等重要的地位。TE₁₁₁双模圆柱腔椭圆函数滤波器又是邻频道合成器的主要部件,在滤波器设计中场的激励是一个比较复杂的问题,本文通过采用同轴探针激励 TE₁₁₁双模圆柱腔椭圆函数滤波器,利用变分积分的近似方法,求解激励源的辐射场,由此得出同轴探针的输入阻抗变分表达式及辐射电阻表达式,从而得出了输入耦合探针的位置和结构尺寸,使问题得以简化。

1 TE₁₁₁双模圆柱腔椭圆函数滤波器输入耦合

1.1 耦合形式的选择

激励采用同轴探针,即电激励。同轴线从腔体的工作模式的电场最强处,并与电力线平行处插入,其外导体与波导壁连接,而内导体则延长一段伸入腔体中,形成一辐射小天线(如图 1 所示),它把微波能量辐射到波导中。为了在波导中建立单方向传输的波,其一端为短路片,以便把这个方向的波反射回去,这种连接往往要求二者的阻抗匹配,以消除反射。适当地选择探针的长度 d 和短路位置 l ,能使辐射电阻 R 等于同轴线的特性阻抗 Z_c ,即使同轴线中的入射功率完全耦合到波导内^[1](采用的是 N-50K 同轴激励)。

1.2 同轴线口径上的源

从同轴线口径 S_0 处的等效磁流 $J_m = -n \times E_0$ 和等效电流 $J = n \times H_0$,可求出波导中的场结构;其中 E_0 和 H_0 分别是同轴线口径上的正切电场和正切磁场。只是 E_0 和 H_0 都是未知的。但是,如同轴线口径小,作为一级近似,不妨假定已由同轴线中所激励出的高级波型可以略去不计^[2-3]。于是口径上只有同轴线中入射和反射的 TEM 波型。如口径上的总电压是 V ,而口径面上探针的总电流是 I_1 ,口径上的电磁场便是

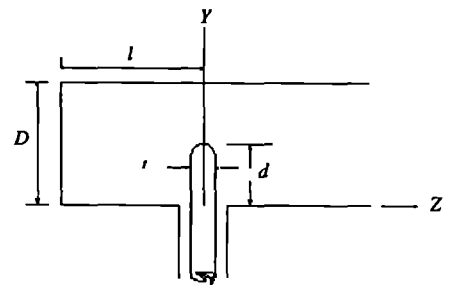


图 1 同轴探针天线

$$E_0 = a_u \frac{V}{u \ln \frac{u_2}{u_1}}$$

$$H_0 = -a_\theta I_1 / 2\pi u \tag{1}$$

收稿日期:2001-04-02

作者简介:林 华(1968-),女,辽宁大连人,讲师,硕士,主要从事电磁场与微波技术研究。

甄蜀春(1940-),男,四川盐亭人,教授,博士生导师,主要从事微波技术与智能检测研究。

式中, u 为口径上径向坐标; u_1, u_2 为同轴线内外直径。电流 I_1 自同轴线向探针流动。

1.3 场源的辐射电阻

口径上近似的源虽已确定,但求解源的辐射场却并不容易。这里采用一个变分积分的近似法^[1]。

波导内电场可由探针上电流和口径面上电流计算。令 $G(r|r')$ 为并矢格林函数;其中 r 代表场点 (x, y, z) , r' 代表源点 (x', y', z') 。探针和口径面上电流所辐射的电场是

$$E(r) = \iint_S G(r|r') \cdot J(r) \cdot da \quad (2)$$

式中, $S = S_0 + S_a$ 为总面积; S_a 为口径的面积。上式中电场满足下列边界条件:

$$n \times E(r) = n \times \iint_S G(r|r') \cdot J(r) \cdot da = \begin{cases} n \times E_a & \text{在 } S_a \text{ 上} \\ 0 & \text{在 } S_0 \text{ 上} \end{cases} \quad (3)$$

这个边界条件是个积分方程,它的解就是探针面 S_0 上的电流密度 J 。令 τ 为沿 J 的单位矢量,于是上式可改写为

$$\tau \cdot E(r) = \begin{cases} \tau \cdot E_a & \text{在 } S_a \text{ 上} \\ 0 & \text{在 } S_0 \text{ 上} \end{cases} \quad (4)$$

如果不用 τ 标乘 E , 而用 $J(r)$ 标乘 E , 并对整个面积积分, 则得

$$\iint_{S_a} J(r) \cdot E_a da = \iiint_S J(r) \cdot G(r|r') \cdot J(r') da da \quad (5)$$

因口径面 S_a 上的 J 和 E_a 都是已知, 故上式左边可以算出。由于

$$J \cdot E_a = -\frac{VI_1}{2\pi \ln \frac{u_2}{u_1}} \cdot \frac{(a_r \times a_\theta) \cdot a_u}{u^2} = -\frac{VI_1}{2\pi \ln \frac{u_2}{u_1}} \cdot \frac{1}{u^2} \quad (6)$$

对 S_a 作面积分, 使得

$$-\frac{VI_1}{2\pi \ln \frac{u_2}{u_1}} \int_0^{2\pi} \int_{u_1}^{u_2} \frac{u du d\theta}{u^2} = -VI_1 = -Z_\lambda I_1^2 \quad (7)$$

因在口径参考面上, 天线的输入阻抗等于 V/I_1 。于是

$$Z_\lambda = -\frac{1}{I_1^2} \iiint_S J(r) \cdot G(r|r') \cdot J(r) da da \quad (8)$$

上式就是输入阻抗的变分表达式。波导中探针天线类似于自由空间中导电平面上的短天线, 天线上电流近似于正弦分布。因此, 上式适用电流分布具有 $I_1 \sin k_0(d-y) + I_2 [1 - \cos k_0(d-y)]$ 形式。完成积分后, 所得 $Z_\lambda(I_1, I_2)$ 是 I_1, I_2 两参量的函数。其次, 令 $\partial Z_\lambda / \partial I_1$ 和 $\partial Z_\lambda / \partial I_2$ 等于零, 并解出 I_1, I_2 , 使 Z_λ 的积分表达式为稳定值, 从假定的电流分布所算得的 Z_λ 是真实 Z_λ 值的最优近似值。最后得到辐射电阻的表达式为

$$R = \frac{2 \sqrt{\frac{u_0}{\epsilon_0}}}{r^2 \cdot \pi \cdot \beta \cdot k_0} \cdot \tan k_0 \frac{d}{2} \cdot \sin^2 \beta \cdot l \quad (9)$$

式中, r 为圆腔的半径, $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$, $\beta = \frac{2\pi}{\lambda_g}$

要使入射功率全部耦合到波导内, 必须使辐射电阻等于同轴线的特性阻抗, 即 $R = Z_0$ ^[4]。由于 Z_0 已知, 短路位置 $l (l = \frac{\lambda_g}{4})$ 也已确定, 探针的长度 d 就可以算出。

所设计的十通道邻频频道合成器, 各通道(不同频率点)探针长度编程计算结果如下:

$f_0(1) = 2\ 504$ MHz	$d = 4.80$ mm
$f_0(2) = 2\ 520$ MHz	$d = 4.70$ mm
$f_0(3) = 2\ 528$ MHz	$d = 4.65$ mm
$f_0(4) = 2\ 536$ MHz	$d = 4.60$ mm
$f_0(5) = 2\ 544$ MHz	$d = 4.55$ mm
$f_0(6) = 2\ 552$ MHz	$d = 4.53$ mm
$f_0(7) = 2\ 560$ MHz	$d = 4.50$ mm

$$\begin{array}{ll} f_0(8) = 2\,576 \text{ MHz} & d = 4.45 \text{ mm} \\ f_0(9) = 2\,584 \text{ MHz} & d = 4.40 \text{ mm} \\ f_0(10) = 2\,592 \text{ MHz} & d = 4.35 \text{ mm} \end{array}$$

2 结论

对 TE₁₁₁ 双模圆柱腔椭圆函数滤波器采用同轴探针激励是一种简易可行的方法。利用变分积分近似法,对探针激励源的输入阻抗进行数学描述,可方便地导出探针辐射电阻表达式,进而得出探针位置和结构尺寸,笔者以 TE₁₁₁ 双模圆柱腔椭圆函数滤波器为主体所设计的邻频频道合成器已形成产品,成功地应用于“MMDS”系统,性能良好,用户满意。

参考文献:

- [1] [美]柯 林 R E. 导波场论[M]. 上海:上海科学技术出版社,1966.
- [2] 谢处方,饶克谨. 电磁场与电磁波[M]. 北京:高等教育出版社,1987.
- [3] 林 华,甄蜀春,王 军. TE₁₁₁ 双模圆腔椭圆函数滤波器的耦合设计[J]. 空军工程大学学报,2001,2(4):29-32.
- [4] 电子工业部第十四研究所. 天馈系统中波导元件理论与计算机辅助设计[M]. 南京:电子工业部第十四研究所,1995.

(编辑:田新华)

Design of Coupling - in in TE₁₁₁ Double Mode Cylindrical Cavity Elliptic Function Filter

LIN Hua, ZHEN Shu - chun, WANG Jun

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan 713800, China)

Abstract: This paper presents a design of coupling - in in TE₁₁₁ double mode cylindrical cavity elliptic function filter in which a coaxial probe is used for excitation. And the radiation field of the driving source is solved by the variational integral approximation method, then the variational expression of the input impedance of the coaxial probe and the expression of the radiation resistance are obtained, the position and the dimension of coupling coaxial probe are solved. It is proved from practice that the coupling design is effective, simple and convenient.

Keywords: electric probe excitation; double mode cylindrical cavity elliptic function filter; variational integral method