

# 波导窄边缝隙阵天线的缝隙导纳的简易测量方法\*

李 知 新

(西安电子技术应用研究所)

(一) 引言 串馈波导窄边缝隙阵天线是一种广泛应用的天线。波导缝隙电导与缝隙几何尺寸的关系是设计这种天线的基础,而缝隙导纳的频率特性则是分析天线频率特性所必不可少的依据。设计波导缝隙阵天线,虽有理论分析公式可以应用<sup>[1]</sup>,但所得结果与实际情况还有出入;因此,设计之前,先测得波导缝隙的电导值。由于单个缝隙的电导值相当小,难以测准,加之缝隙之间又存在相互耦合,因此,人们都是测量多个(至少20个)缝隙的阵中的缝隙电导值。一般是采用测量S参量的方法,即测量波节点的移动,通过作图求得电导值。这种测量方法非常繁琐,而且精度也难保证。也有人采用行波功率法<sup>[2]</sup>,但只能得到谐振频率上的电导值。至今尚未见到关于测量缝隙导纳的频率特性的简捷方法的报道。为了分析和预知串馈波导窄边缝隙阵天线的频率特性,提高天线的宽频带性能,本文提出了一种由计算机辅助测量缝隙阵中导纳频率特性的简易方法,并给出测量结果。从所得结果可以看出缝隙导纳频率特性的规律。

(二) 波导窄边缝隙的传输特性 如图1所示

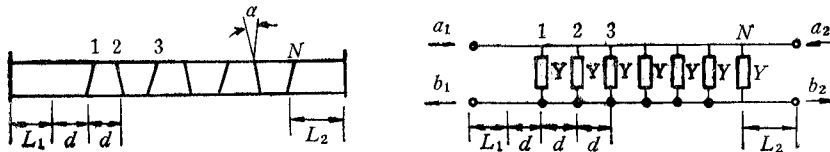


图1 波导窄边缝隙阵及其等效电路

$$\begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \end{bmatrix} = [T] \begin{bmatrix} a_2 \\ b_2 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

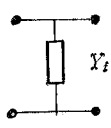
其中

$$[T] = \begin{bmatrix} T_{11} & T_{12} \\ T_{21} & T_{22} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

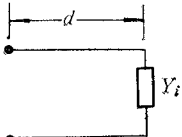
等效电路元件的传输矩阵为

$$\begin{array}{c} \text{---} d \text{---} \\ \bullet \text{---} \text{---} \bullet \\ \bullet \text{---} \text{---} \bullet \end{array} \quad [\Omega]_d = \begin{bmatrix} e^{j\beta d} & 0 \\ 0 & e^{-j\beta d} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

\* 1983年7月27日收到;1984年11月1日修改定稿。



$$[T_0] = \begin{bmatrix} 1 + \frac{1}{2} y_i & \frac{1}{2} y_i \\ -\frac{1}{2} y_i & 1 - \frac{1}{2} y_i \end{bmatrix}, \quad (4)$$



$$[T]_i = [Q]_d [T_0]_i. \quad (5)$$

被测缝隙的总传输矩阵为

$$[T] = [T]_{L_1} \cdot \prod_{i=1}^N [T]_i \cdot [T]_{L_2}. \quad (6)$$

令

$$y_i = g_i + j b_i, \quad (7)$$

当缝隙总数  $N > 20$  时, 可以忽略边缘效应, 此时

$$y_i \approx g + j b. \quad (8)$$

令

$$[T] = \begin{bmatrix} T(1) + jT(2) & T(3) + jT(4) \\ T(5) + jT(6) & T(7) + jT(8) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$T_{11} = \sqrt{T^2(1) + T^2(2)} e^{j \arctan \frac{T(2)}{T(1)}}, \quad (10)$$

而散射矩阵参量

$$S_{21} = |S_{21}| e^{j\varphi_{21}}, \quad (11)$$

因为

$$S_{21} = 1/T_{11}, \quad (12)$$

所以

$$|S_{21}| = 1/\sqrt{T^2(1) + T^2(2)}, \quad (13)$$

$$\varphi_{21} = -\arctan \frac{T(2)}{T(1)}. \quad (14)$$

**(三) 缝隙导纳的测量方法** 如图 1 所示被测件长度  $L$  为

$$L = L_1 + Nd + L_2. \quad (15)$$

缝隙阵与它同样长的均匀波导之间的相位差为

$$\Delta\varphi = \varphi_{21} - \beta L = -\arctan \frac{T(2)}{T(1)} - \beta L, \quad (16)$$

其中

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{1 - (\lambda/2a)^2}. \quad (17)$$

如果我们在各个频率上测得  $\Delta\varphi$  和  $|S_{21}|$ , 就可以解式(13)和式(16)的联立方程组

$$\left. \begin{aligned} |S_{21}| &= 1/\sqrt{T^2(1) + T^2(2)} \\ \Delta\varphi &= -\arctg \frac{T(2)}{T(1)} - \beta L. \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

解此联立方程组就可以求得缝隙电导  $g$  和电纳  $b$ 。求得的  $g$  和  $b$  是存在互耦情况下每个缝隙的导纳,即阵中导纳。

**(四) 测量举例和结果** 我们的实验样件是一段在窄边上开 30 个缝隙的 BJ-100 波导。缝隙的倾角都相同,间距  $d = 0.56\lambda_0$  (如图 1 所示),并谐振于频率  $f_0$ 。我们用微波网络分析仪在  $f_0 \pm 500\text{MHz}$  的频率范围内测量了  $\alpha = 10^\circ, 12^\circ, 17^\circ$  的实验样件的  $|S_{21}|$  和  $\Delta\varphi$ 。结果示于图 2(a) 和 (b)。再借助电子计算机解二元联立方程组(18),就得到不同频率下的  $g$  和  $b$  的值,并示于图 3(a) 和 (b)。根据测量和计算结果可以画出图 4(a)、(b)、(c) 所示的以频率为参量的  $g$  和  $b$  与  $\alpha$  的关系曲线。这样,我们就可以近似地写出

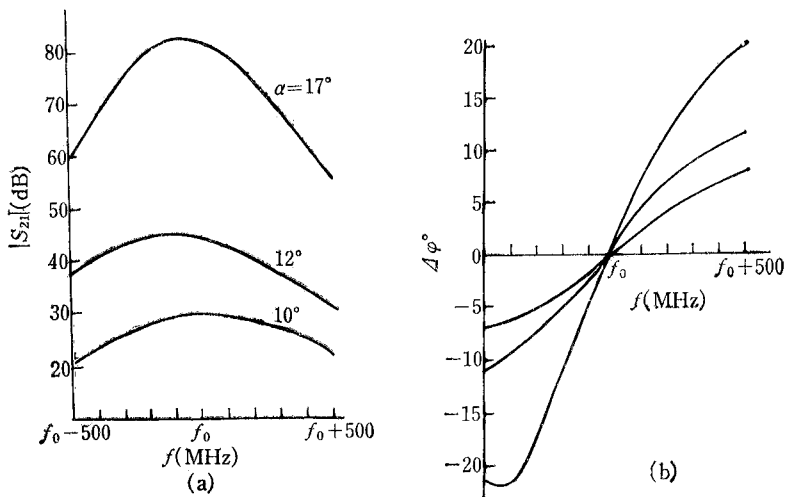


图 2 实测的  $|S_{21}|$  和  $\Delta\varphi$  值

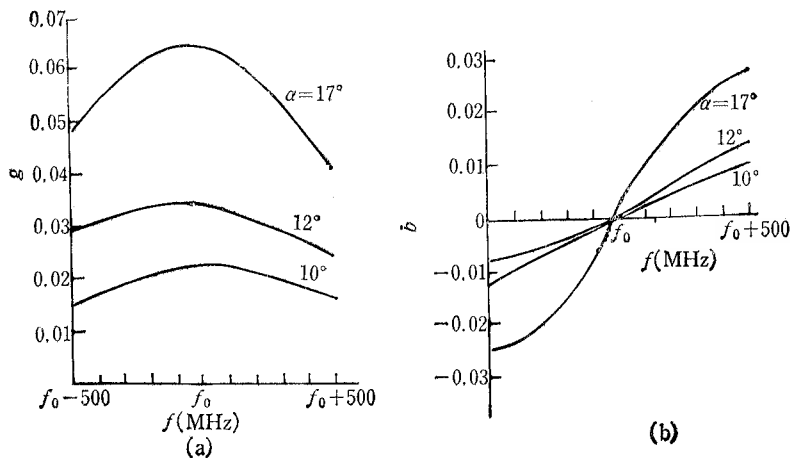


图 3 测量结果

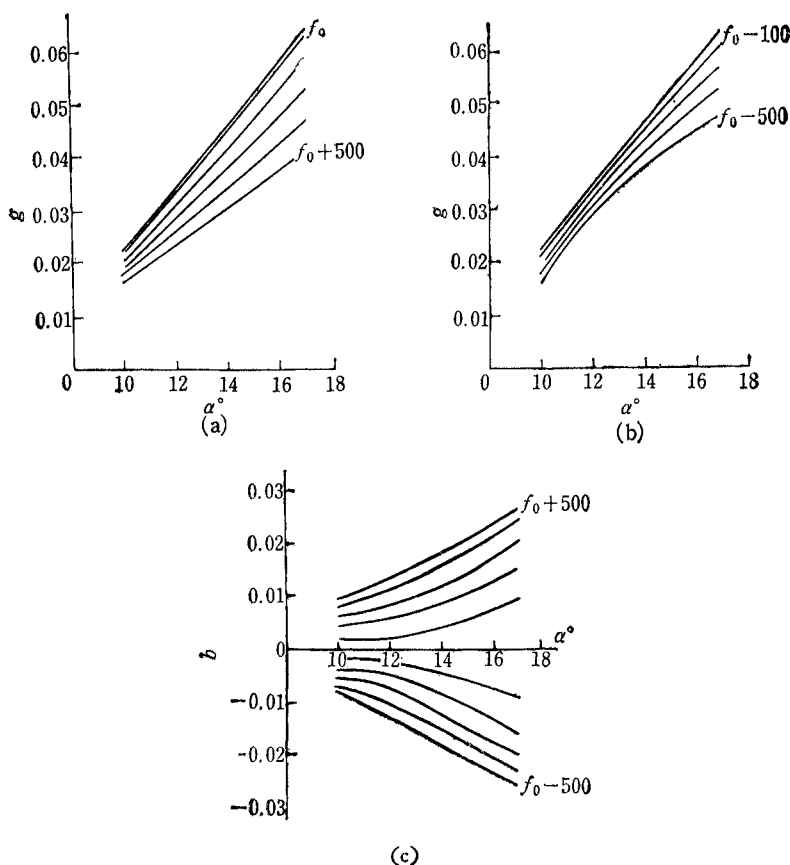


图4 缝隙导纳与频率和倾角的关系

$g$  和  $b$  与频移  $\frac{\Delta f}{f_0}$  和倾角  $\alpha$  的关系式

$$g\left(\frac{\Delta f}{f_0}\right) = G(0)\sin^2\alpha - F\left(\frac{\Delta f}{f_0}\right), \quad (19)$$

其中

$$F\left(\frac{\Delta f}{f_0}\right) = \begin{cases} 0, & \left|\frac{\Delta f}{f_0}\right| \leq 1\%; \\ 0.000675\alpha^\circ \left|\frac{\Delta f}{f_0}\right|, & \left|\frac{\Delta f}{f_0}\right| > 1\%; \end{cases} \quad (20)$$

$$b\left(\frac{\Delta f}{f_0}\right) = 0.002\left(\frac{\Delta f}{f_0}\right)\alpha^{\circ 2}(1 + \operatorname{tg}^2\alpha). \quad (21)$$

当频率为缝隙的谐振频率时,

$$g(0) = G(0)\sin^2\alpha, \quad G(0) = 0.7695; \quad (22)$$

$$b(0) = 0. \quad (23)$$

上述结果为分析和预知缝隙阵天线的频率特性提供了依据。必须指出,对于不同的缝隙阵,因其单元间距  $d$  和缝隙宽度不同,其互相耦合也不同,因而式(20)、(21)、(22)中的

常数也不同。为使测量结果更符合实际情况,测量时要尽量保证互耦与将来使用时的互耦情况相同。

**(五) 结论** 实践证明,该方法简单省时。对于缝隙天线的设计,测量结果的精确度是足够的,它为分析和预知天线的频率特性提供了依据。

### 参 考 文 献

- [1] A. З. Аизенберг 著,毕德显等译,超高频天线,人民邮电出版社,1961年。
- [2] 钟顺时,西北电讯工程学院学报,1976年,第1期,第165页。

## A SIMPLE METHOD FOR MEASURING THE ADMITTANCE OF SLOT ON H-PLANE OF RECTANGULAR WAVEGUIDE

Li Zhixin

*(Xi'an Electronic Technology Application Institute)*

This paper proposes simple method for measuring the admittance of the inclined-slot on H-plane of rectangular waveguide of a slot array, and the measured results are given.