

矩形波导缝隙天线阵分析

张文

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:矩形波导缝隙阵天线在机载雷达上获得广泛使用。它具有体积小、重量轻、口径效率高、宽角副瓣低等特点。文中分析了矩形波导缝隙天线阵,给出了方向性函数及方向图,编制了分析软件,形成了方向图数据文件供通用软件调用。

关键词:波导缝隙天线阵;方向函数;方向图

中图分类号:TN820 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2001)04-37-39

矩形波导缝隙阵天线在许多需要窄波束或赋形波束的微波通信和雷达系统中获得了应用。特别是它具有体积小、重量轻、口径效率高、宽角副瓣低等特点,在机载雷达上为优选形式。这类天线是在波导窄壁或宽壁开有裂缝的阵列,它们既可以是谐振式的,也可以是非谐振式的。本文分析的矩形波导缝隙阵便是在波导宽壁开有偏置辐射裂缝,其工作在S波段,阵面尺寸:长 \times 宽 $=6\text{ m} \times 1\text{ m}$ 、天线旁瓣比(SLB)不小于40 dB的波导缝隙驻波阵,用常规分析方法难以满足要求。因此,采用Woodward-Lawson综合法,分析了Taylor分布的矩形波导缝隙阵,给出了方向性函数及方向图,编制了分析软件,形成了方向图数据文件供通用软件调用。

1 矩形波导缝隙阵形式

矩形波导裂缝形式常用三种:裂缝开在波导宽边如A、C,裂缝开在波导窄边如B,如图1所示。波导壁开有裂缝切断波导壁传播电流,在裂缝上产生电场。此电场向空间辐射高频能量。裂缝的尺寸、其在波导上的位置以及在波导中传送的能量确定了裂缝辐射能量的幅度和相位。所谓并联、串联裂缝主要是由裂缝等效电路决定。A、B形式的裂缝常用于向空间辐射能量,而C形式裂缝常用于波导间能量耦合。裂缝几何长度大多数谐振于 $\lambda/2$ 左右。在谐振时,裂缝的等效阻抗或导纳为实数。矩形波导缝隙阵列尚有谐振与非谐振的区别。

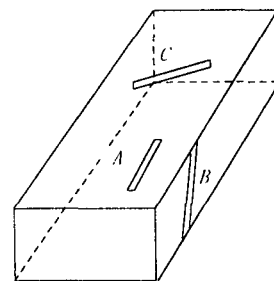


图1 常用裂缝形式

若在波导中波仅向一个方向传播(波导终端接匹配负载)称非谐振阵列。若在波导终端接短路器且缝中心间距为 $\lambda/2$ 时称为谐振阵列。根据要求,矩形波导缝隙阵采用波导宽边并联缝的谐振阵列,Taylor分布,阵面尺寸: $a \times b$,工作在S波段, x 方向单元数 $N_x = 86$, y 方向单元数 $N_y = 26$ 。具体分析中,波导缝隙阵按理想点源处理,这样矩形波导缝隙阵就可等效为图2所示的均匀平面天线阵。

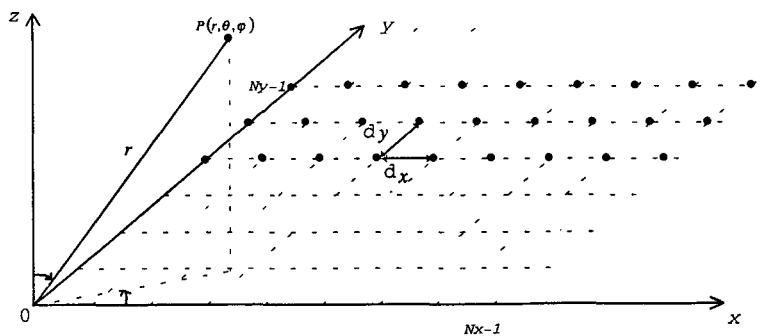


图2 均匀平面天线阵

收稿日期:2000-04-20

作者简介:张文(1964-),男,山西大同人,讲师,主要从事制导雷达工程研究。

2 Taylor 分布的矩形波导缝隙阵分析

平面阵可分成沿 x 轴、 y 轴方向的线阵来考虑,故首先分析线阵。对长度为 L 的连续源直线阵,选择 Taylor 方向图的基本函数为

$$g(x) = \sin(\pi x) / (\pi x)$$

则 Taylor 方向图的零点位置 x_n 为

$$x_n = \begin{cases} \pm \sigma \sqrt{A^2 + (n - 1/2)^2} & 1 \leq n \leq \bar{n} \\ \pm n & \bar{n} \leq n \leq \infty \end{cases} \quad (1)$$

在 W 轴上的零点位置

$$w_n = \begin{cases} \pm \frac{L}{\lambda} \sigma \sqrt{A^2 + (n - 1/2)^2} & 1 \leq n \leq \bar{n} \\ \pm \frac{L}{\lambda} n & \bar{n} \leq n \leq \infty \end{cases} \quad (2)$$

式中: σ ——展宽因子, $\sigma = \frac{n}{\sqrt{A^2 + (\bar{n} - 1/2)^2}}$; $A = \frac{1}{\pi} \operatorname{arccosh} R$, R ——主瓣副瓣之比。

Taylor 空间因子为

$$f(x, A, \bar{n}) = \frac{[(\bar{n} - 1)!]^2}{(\bar{n} - 1 + x)! (\bar{n} - 1 - x)!} \prod_{n=1}^{\bar{n}-1} \left(1 - \frac{x^2}{x_n^2}\right) \quad (3)$$

假设线源上电流 $I(z)$ 可以表示为无穷个抽样电流之和,即

$$I(z) = \frac{\lambda}{L} \sum_{m=-\infty}^{\infty} I_m e^{-jkz w_m} \quad |z| \leq \frac{L}{2} \quad (4)$$

则线源产生的方向图是无穷个抽样方向图之和,即

$$S(w) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} I_m \frac{\sin\left[\pi \frac{L}{\lambda} (w - w_m)\right]}{\pi \frac{L}{\lambda} (w - w_m)} \quad (5)$$

式中: $w_m = \cos \theta_m$ 是抽样点, $w = \cos \theta$ 。

由 Woodward - Lawson 综合法,可得抽样电流幅值

$$I_m = f(m, A, \bar{n}) = \begin{cases} \frac{[(\bar{n} - 1)!]^2}{(\bar{n} - 1 + m)! (\bar{n} - 1 - m)!} \prod_{n=1}^{\bar{n}-1} \left(1 - \frac{m^2}{x_n^2}\right) & |m| < \bar{n} \\ 0 & |m| \geq \bar{n} \end{cases} \quad (6)$$

因此可得线源电流分布

$$I(z) = \frac{\lambda}{L} \left[1 + 2 \sum_{n=1}^{\bar{n}-1} f(m, A, \bar{n}) \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda} w_n z\right) \right] \quad (7)$$

其方向图为

$$S(\theta) = \sum_{m=-\bar{n}+1}^{\bar{n}-1} f(m, A, \bar{n}) \cdot \frac{\sin\left[\frac{kL}{2}(w - w_n)\right]}{\frac{kL}{2}(w - w_n)} \quad (8)$$

如果取最大方向为 θ_0 , 则零功率波瓣宽度

$$2\theta_{01} = 2 \arcsin\left[\frac{\sigma \lambda}{L} \sqrt{A^2 + \frac{1}{4}}\right] \quad (9)$$

$$\text{半功率波瓣宽度 } 2\theta_{0.5} = 2 \arcsin\left[\frac{\sigma \lambda}{\pi L} \left((\operatorname{arccosh} R)^2 - \left(\operatorname{arccosh} \frac{R}{\sqrt{2}}\right)^2 \right)^{1/2}\right] \quad (10)$$

对间距为 $\lambda/2$ 的 N 元离散线阵,相当于对连续线阵在离散点抽样,此时阵列长度 $L = N\lambda/2$,分析过程与上相同。

对图2所示的 x, y 方向分布可分的离散均匀平面天线阵,根据平面阵原理,可得其方向性函数为两线阵方向性函数的乘积,即

$$S(\theta, \varphi) = S_x(\theta, \varphi)S_y(\theta, \varphi) \quad (11)$$

$$\text{其中: } S_x(\theta, \varphi) = \sum_{n=0}^{N_x-1} I_n \exp(jnkd_x \sin\theta \cos\varphi); S_y(\theta, \varphi) = \sum_{n=0}^{N_y-1} I_n \exp(jnkd_y \sin\theta \sin\varphi)$$

3 波导缝隙阵计算结果

矩形波导缝隙驻波阵,按 Taylor 分布, x 方向副瓣 SLB = 40 dB, y 方向副瓣 SLB = 32 dB,计算方向图如图3、图4所示。其中:零功率波束宽度 $2\theta_{0x} = 4.87^\circ, 2\theta_{0y} = 13.88^\circ$;半功率波束宽度 $2\theta_{0.5x} = 1.67^\circ, 2\theta_{0.5y} = 5.09^\circ$ 。

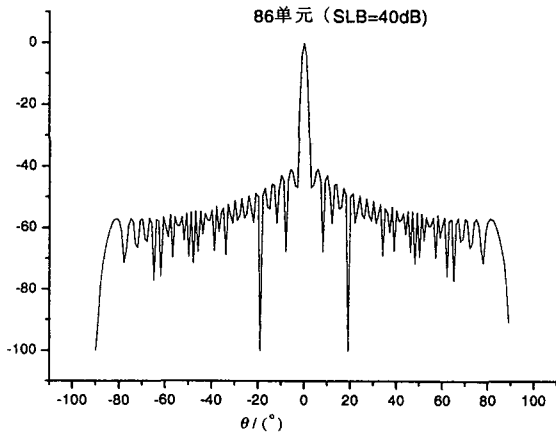


图3 水平面方向图

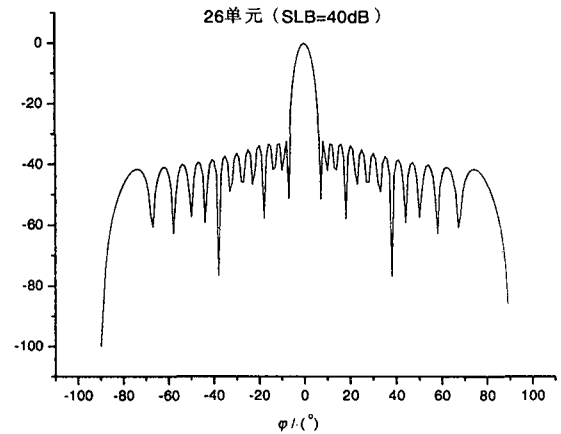


图4 俯仰面方向图

参考文献:

- [1] 刘其中,宫德明. 天线的计算机辅助设计[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1988.
[2] 汪茂光,吕善伟,刘瑞祥. 阵列天线分析与综合[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1989.

The Analysis on Rectangular Waveguide Slot Array Antenna

ZHANG Wen

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

Abstract: Rectangular waveguide slot array antenna is widely used in airborne radar. It has the characteristics of the small volume, light weight, high aperture efficiency and low wide-angle minor lobe and so on. The rectangular waveguide slot array is analyzed and directivity function and directional pattern are given in this paper. The analysis program is made and the data file of directional pattern used for general software is formed.

Key words: rectangular waveguide slot array antenna; directivity function; directional pattern