

线天线阵单元间距对互耦的影响

秦建军, 张厚, 席吉虎

(空军工程大学 导弹学院, 陕西 三原 713800)

摘要:采用矩量法严格计算和分析了天线阵单元间的互阻抗随间距的变化关系,分析了互耦对Chebyshev八单元天线阵方向图的影响。给出了精确计算任意电流元之间的互阻抗公式,绘制了互阻抗随间距的变化曲线和考虑互耦效应的Chebyshev八单元天线阵方向图,给出了天线阵单元间距的一个参考值。

关键词:互耦;线天线阵;矩量法

中图分类号:TN823 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2002)03-0074-03

计算互耦的影响是很困难的,人们在理论和实验上已进行了大量的研究^[1]。但是,精确计算和分析天线阵单元间的互阻抗与单元间距的关系的文献却很少见。一种广泛采用的分析互耦的数值计算方法是以单元间互阻抗便于计算为基础的阻抗法,在众多的数值计算方法中,对于线天线最精确、最可靠的分析方法是矩量法。

1 理论分析

1.1 矩量法的基本思想

矩量法的基本模型为^[1-3]

$$L(f) = g \tag{1}$$

其中, L 为算子,可为差分方程、微分方程或积分方程; g 为已知函数,如激励源; f 为未知函数,如电流分布。

适当的选择基函数与权函数,将未知函数用基函数展开,并与权函数 ω_m 求内积可得下式:

$$\sum_{n=1}^N \alpha_n \langle \omega_m, L[F_N(z)] \rangle = \langle \omega_m, g(z) \rangle \tag{2}$$

将式(2)写为矩阵形式:

$$ZI = V \tag{3}$$

解式(3)所示的矩阵方程可得天线表面的电流分布。

1.2 互阻抗公式

图1是任意分段电流的三维坐标示意图。分段电流表达式^[1,3]如下:

$$f_n(z) = \begin{cases} \frac{\sin \frac{[k(z - z_{n-1})]}{\sin[k(z - z_{n-1})]}}{\dots} \dots z_{n-1} \leq z \leq z_n \\ \frac{\sin \frac{[k(z_{n+1} - z)]}{\sin[k(z_{n+1} - z)]}}{\dots} \dots z_n \leq z \leq z_{n+1} \end{cases} \tag{4}$$

任意两段分段电流之间的互阻抗计算表达式^[1,3]

$$Z_{mn} = 30j \left[\int_{z_m}^{z_{m+1}} \frac{\sin \frac{[k(z - z_{m-1})]}{\sin[k(z - z_{m-1})]}}{\dots} + \int_{z_n}^{z_{n+1}} \frac{\sin \frac{[k(z_{n+1} - z)]}{\sin[k(z_{n+1} - z)]}}{\dots} \right] \times \sum_{s=1}^3 C(s) \frac{\exp(-jkR(s))}{R(s)} dz \tag{5}$$

式中:

$$\begin{cases} C(1) = 1/\text{sink}(z_n - z_{n-1}) \\ C(2) = \text{sink}(z_{n+1} - z_{n-1})/\text{sink}(z_{n+1} - z_n)\text{sink}(z_n - z_{n-1}) \\ C(3) = 1/\text{sink}(z_{n+1} - z_n) \end{cases} \quad (6)$$

$$R(s) = \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2 + (z-z_i)^2} \quad (7)$$

其中, $s=1,2,3$ 分别对应 $i=n-1, n, n+1$, $R(s)$ 表示分段电流 I_1 的端点 $n-1, n, n+1$ 分别到分段电流 I_2 上任意点的距离。

1.3 矩量法计算

采用矩量法精确分析一副 N 单元天线阵, 考虑各单元间互耦的广义阻抗矩阵可表示为

$$\mathbf{Z} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \cdots & Z_{1N} \\ Z_{21} & Z_{22} & \cdots & Z_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & Z_{N2} & \cdots & Z_{NN} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中, Z_{ii} 和 Z_{ij} ($i=1,2,\dots,N, j=1,2,\dots,N$) 分别表示天线阵各单元的阻抗矩阵和单元间互阻抗矩阵。

在这里有两点需要指出:

1) $R(s)$ 是没有作任何近似的距离表达式, 这对于计算和分析近区场分布和相位关系是非常必要的, 式(5)是互阻抗的精确计算公式。

2) 当单元数目较多时, 矩阵 \mathbf{Z}_{mm} 将是一个非常庞大的一个矩阵, 这使计算时间大大增加。但是, 仔细的观察一下就不难发现该矩阵是一个分块的 Teoplitz 矩阵, 只需要计算和存储矩阵的一列或者一行即可得到整个矩阵, 从而大大减少了计算时间。各分块矩阵元素之间的关系如下:

$$\begin{cases} z_{i+1,j+1} = z_{i,j} \\ z_{j,i} = z_{i,j} \end{cases} \quad (9)$$

将阻抗矩阵代入式(3)中, 采用 δ -电压源激励模型, 求解式(3)所示的矩阵方程可得各单元天线的电流系数, 从而求出输入阻抗和归于馈电点电流的互阻抗, 进而得到其辐射特性。

2 结果分析

本文的计算和分析是针对由偶极子天线组成的天线阵的。经过计算和分析得到以下结果:

1) 图 2a 是线天线阵相邻两个单元之间的互阻抗随单元间距变化的曲线。由图可知, 互阻抗随着间距的增大而减小, 互阻抗在感性和容性之间振荡; 图中当两个振子离得很近时互阻抗突然下降且幅度很大, 由天线原理, 天线周围小于 0.1667λ 的区域为近场感应区, 在此区内场的主要形式为储能场^[1], 所以其互阻抗呈容性;

2) 图 2b 是共线排列的两副天线之间的互阻抗随间距的变化曲线。可以看出, 共线排列的天线在间距大于 0.2λ 时的互阻抗比较小, 在天线综合时可以不考虑;

3) 图 3a、图 4、图 5 分别是天线阵单元间距分别为 0.45λ 、 0.4λ 、 0.35λ , 主一副瓣电平比为 30 dB 的 Chebyshev 八单元天线阵在侧射情况下的方向图, 图 3b 是间距为 0.45λ , 60° 扫描情况下的方向图, 天线阵单元长度 0.5λ , 半径 0.02λ 。分析可得到以下结论: 互耦主要影响天线阵方向图的副瓣, 对主瓣的影响不大, 并且随着互耦的增强副瓣电平逐渐升高; 对于侧射阵当单元间距 $d_0 \geq 0.35\lambda$ 时, 互耦对副瓣影响较小; 由图 3b 可知, 在扫描状态下, 当天线阵单元间距 $d_0 < 0.5\lambda$ 时, 由于互耦效应使得第一副瓣电平升高了至少 5 dB, 所

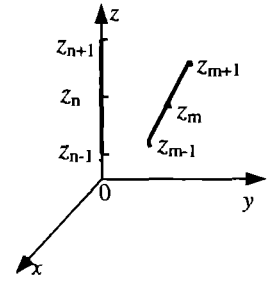


图1 任意分段电流坐标示意图

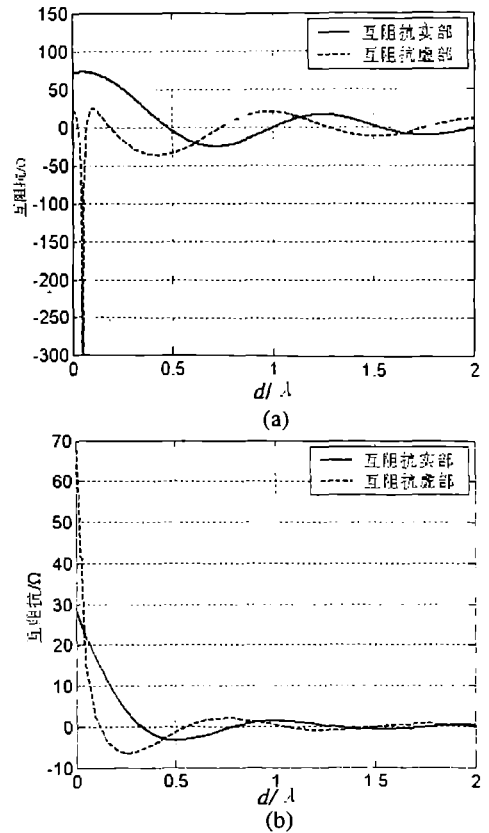


图2 互阻抗随距离变化关系曲线

以对综合小于半个波长具有扫描角特别是大扫描角的低副瓣天线时必须考虑互耦效应。

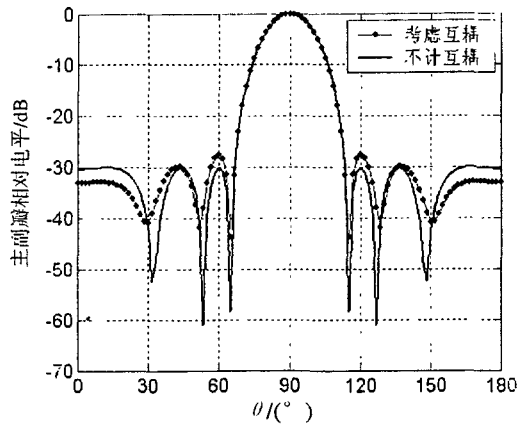


图 3a 单元间距 0.45λ 侧射时的方向图

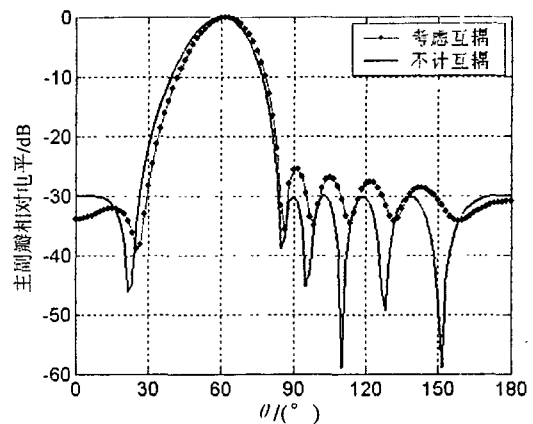


图 3b 单元间距 0.45λ 60° 扫描时的方向图

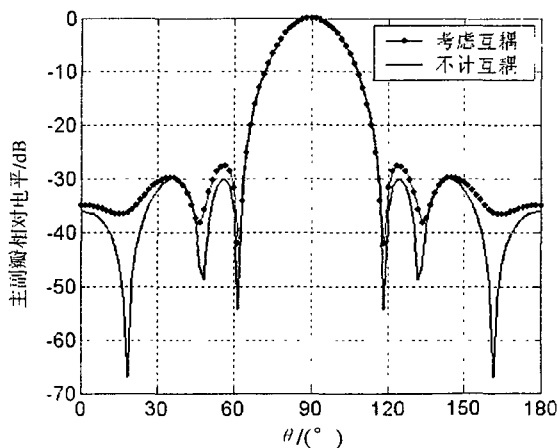


图 4 单元间距 0.45λ 的方向图

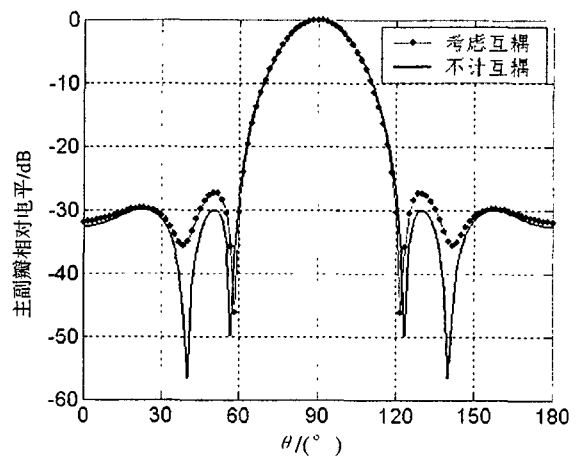


图 5 单元间距 0.35λ 的方向图

参考文献:

- [1] 康行健. 天线原理与设计[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1993.
- [2] 林昌禄. 近代天线设计[M]. 北京:人民邮电出版社, 1990.
- [3] 李世智. 电磁辐射与散射问题的矩量法[M]. 北京:电子工业出版社, 1985.
- [4] 魏文元, 张晓苗, 焦永昌, 等. 超低副瓣相控阵天线设计中的几个问题[J]. 电子学报, 1994, 22(12): 28-34.
- [5] 刘学观, 魏文元, 黄立伟, 等. 相控阵偶极子天线单元互耦的矩量法研究[J]. 西安电子科技大学学报, 1991, 18(3): 87-92.
- [6] 陈伟, 张善谋. 一种新的天线阵方向图综合方法[J]. 电子科技大学学报, 1989, 18(1): 25-31.

(编辑:田新华)

The Influence on Mutual Coupling of Distance between Cells in a Linear Array

QIN Jian-jun, ZHANG Hou, XI Ji-hu

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

Abstract: The influence on mutual impedance with the changes of distance between cells in a linear array is rigorously calculated and analyzed with Methods of Moment. The exact formula for mutual impedance between two arbitrary current elements and a reference value of the distance between cells in the linear array are presented. The curves of mutual impedance and the patterns of the Chebyshev arrays composed of eight dipoles are also protracted and discussed in detail.

Key Words: mutual coupling; linear arrays; Methods of Moment