

考虑互耦的天线阵列零点综合

夏冬玉, 张厚, 秦建军

(空军工程大学导弹学院, 陕西三原 713800)

摘要: 为降低阵列天线单元间的互耦影响, 给出了一种基于矩量法的迭代综合方法, 通过不断对无线阵列单元电流进行修正而求得单元激励电压, 从而得到满足工程实践要求的零点。综合示例和软件仿真的结果吻合较好, 证明了该综合方法的正确性和有效性。

关键词: 零点综合; 互耦; 矩量法; 阵列天线

中图分类号: TN823 文献标识码: A 文章编号: 1009-3516(2005)04-0085-03

目前, 对阵列天线零点综合技术的文献报道很多^[1-6], 在理论上给出了多种综合的方法。在这些研究工作中, 人们一般认为天线各单元都是理想工作的而且互不干扰。但实际上, 在天线系统中, 各单元之间通过电磁场相互作用和影响, 导致了方向图的性能变差^[7-8], 使经典的综合方法失效。

文献[9]提出了一种基于矩量法、以主瓣和副瓣要求为条件进行综合阵列的数值综合算法, 经过实例验证和软件仿真证明了该算法是快速、有效的。本文结合以上文献所提出的迭代思想, 给出了一种零点综合方法, 在考虑互耦的情况下, 利用最少的单元数目生成所需的零点, 不但能够有效抑制干扰, 而且使天线波瓣得到充分的利用。

1 矩量法分析的互阻抗公式

1.1 互阻抗求解

图1是任意分段电流的三维坐标示意图。任意两段分段电流之间的互阻抗计算表达式为^[10]

$$Z_{mn} = 30j \left[\int_{z_{m-1}}^{z_m} \frac{\sin[k(Z - Z_{m-1})]}{\sin[k(Z_m - Z_{m-1})]} \int_{z_m}^{z_{m+1}} \frac{\sin[k(Z_{m+1} - Z)]}{\sin[k(Z_{m+1} - Z_m)]} \sum_{s=1}^3 C(s) \frac{\exp(-jkR(s))}{R(s)} dz \right] \quad (1)$$

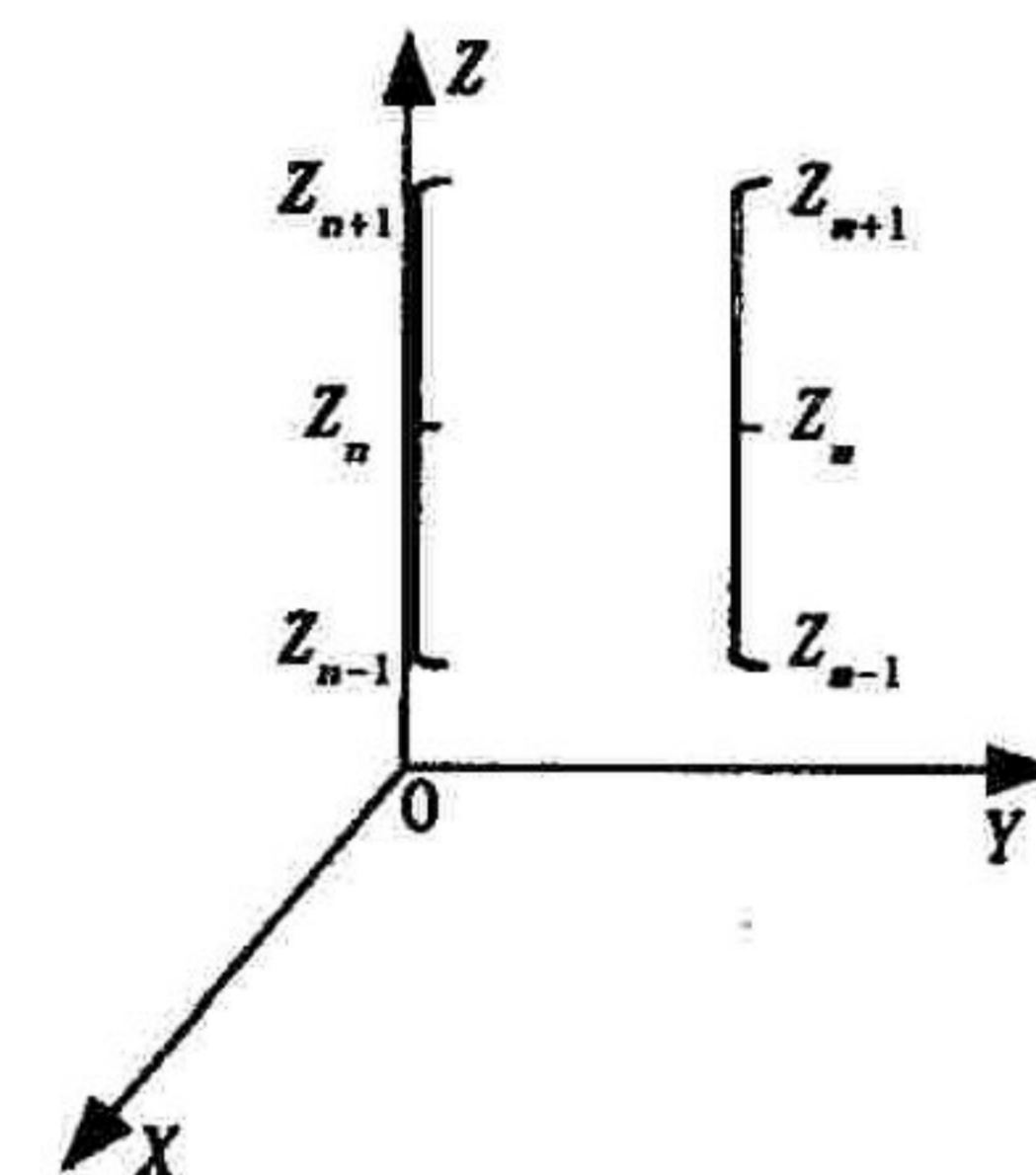


图1 电流坐标示意图

式中: $C(1) = 1/\text{sink}(z_n - z_{n-1}); C(2) = \text{sink}(z_{n+1} - z_{n-1})/\text{sink}(z_{n+1} - z_n)\text{sink}(z_n - z_{n-1})$
 $C(3) = 1/\text{sink}(z_{n+1} - z_n) \quad (2)$

$$R(s) = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2} \quad (3)$$

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。对于单元间的互阻抗, 用矩量法中求得的分段电流和互阻抗矩阵表示, 以求和代替积分, 得到归于馈电点处电流的互阻抗的表达式为

$$Z_{ij}^C = \left(\sum_{p=1}^M \sum_{q=1}^M I_i(p) Z_{ij}(p, q) I_i(q) \right) / I_i^m I_j^m \quad (4)$$

其中: Z_{ij}^C 表示单元 i 和单元 j 之间的互阻抗; $Z_{ij}(p, q)$ 表示矩量法推导的阻抗矩阵中, 单元 i 上第 p 段和单元

收稿日期: 2004 - 10 - 19

基金项目: 空军工程大学学术(联合)基金资助项目(KGD - XL02 - 200409)

作者简介: 夏冬玉(1978 -), 男, 山东德州人, 博士生, 主要从事天线与电磁兼容研究;

张厚(1962 -), 男, 山西太原人, 教授, 博士生导师, 主要从事天线与电磁兼容、智能天线研究。

j 上第 q 段之间的互阻抗; $I_i(p)$ 、 $I_j(q)$ 分别为矩量法中的阻抗矩阵和由矩量法求解单元 i 上第 p 段和单元 j 上第 q 段的电流系数; I_i^m 、 I_j^m 分别表示 i 、 j 单元的馈电点处的电流。

1.2 激励电压求解

将天线阵看作多端口网络,根据各端口的电流和电压的关系建立网络方程,由于各端口的电流和各端口的自阻抗以及各端口之间的互阻抗已知,所以可根据网络方程求出各端口的激励电压如下:

$$\begin{cases} U_1 = Z_{11}I_1 + Z_{21}I_2 + \cdots + Z_{N1}I_N \\ U_2 = Z_{12}I_1 + Z_{22}I_2 + \cdots + Z_{N2}I_N \\ \vdots \\ U_N = Z_{1N}I_1 + Z_{2N}I_2 + \cdots + Z_{NN}I_N \end{cases} \quad (5)$$

其中,互阻抗 Z_{ij} 由式(2)计算,自阻抗 Z_{ii} 近似等于 i 单元在自由空间中的输入阻抗。

2 综合方法

本文在文献[9]所提算法的基础上,通过精确计算天线阵单元间的互阻抗将算法加以改进,形成了一种适用于零点综合的方法。基本思想是通过修正电流进行迭代逼近,其步骤为:①求出理想情况下的激励电流系数,作为目标函数;②利用矩量法求得各单元的输入电流;③修正该电流使其逼近目标函数;④求出实际辐射方向图的零点电平,并判断所得到的零点电平是否符合要求,如果符合要求,那么结束程序,否则继续下一步;⑤利用修正后的输入电流回代到矩量法建立的矩阵方程中,求解各单元的激励电压,返回第②,电流的修正公式为

$$I_{a2} = (1 + \varepsilon \cdot e) I_{a1} X_{\max} \quad (6)$$

其中: I_0 表示目标电流; I_a 表示实际输入电流; $F_a(\varphi)$ 表示实际零点电平; X_{\max} 表示零点偏离最大值的相位差项; ε 为任意小于 1 的正数; $e = (I_0 - I_{a1}/I_{a1})$, 表示实际输入电流和目标电流之间的误差函数。

可见在电流的修正中,对幅度和相位均进行了修正。逐次迭代修正,求得满足要求的输入电流,并进一步可以求出单元的激励电压。

3 综合示例与仿真结果

应用本文的方法综合了直线阵、圆阵和三角阵,并利用著名的天线分析软件 SuperNEC 对综合结果进行了仿真,如图 2~5 所示。其中,图 2 为单元间距 0.45λ ,零点在 15° 、 59° 、 108° 和 136° 时 5 单元直线阵的方向图;图 3 为单元间距 0.4λ ,零点在 18° 、 49° 、 67° 、 113° 、 131° 和 162° ,关于主瓣对称分布时 7 单元直线阵的方向图;图 4 为半径为 0.4λ ,零点在 68° 、 116° 、 157° 、 231° 和 319° 时 6 单元圆阵的方向图;图 5 为单元间距为 0.4λ ,零点在 47° 、 109° 、 178° 、 251° 和 309° 时 6 单元三角阵的方向图。

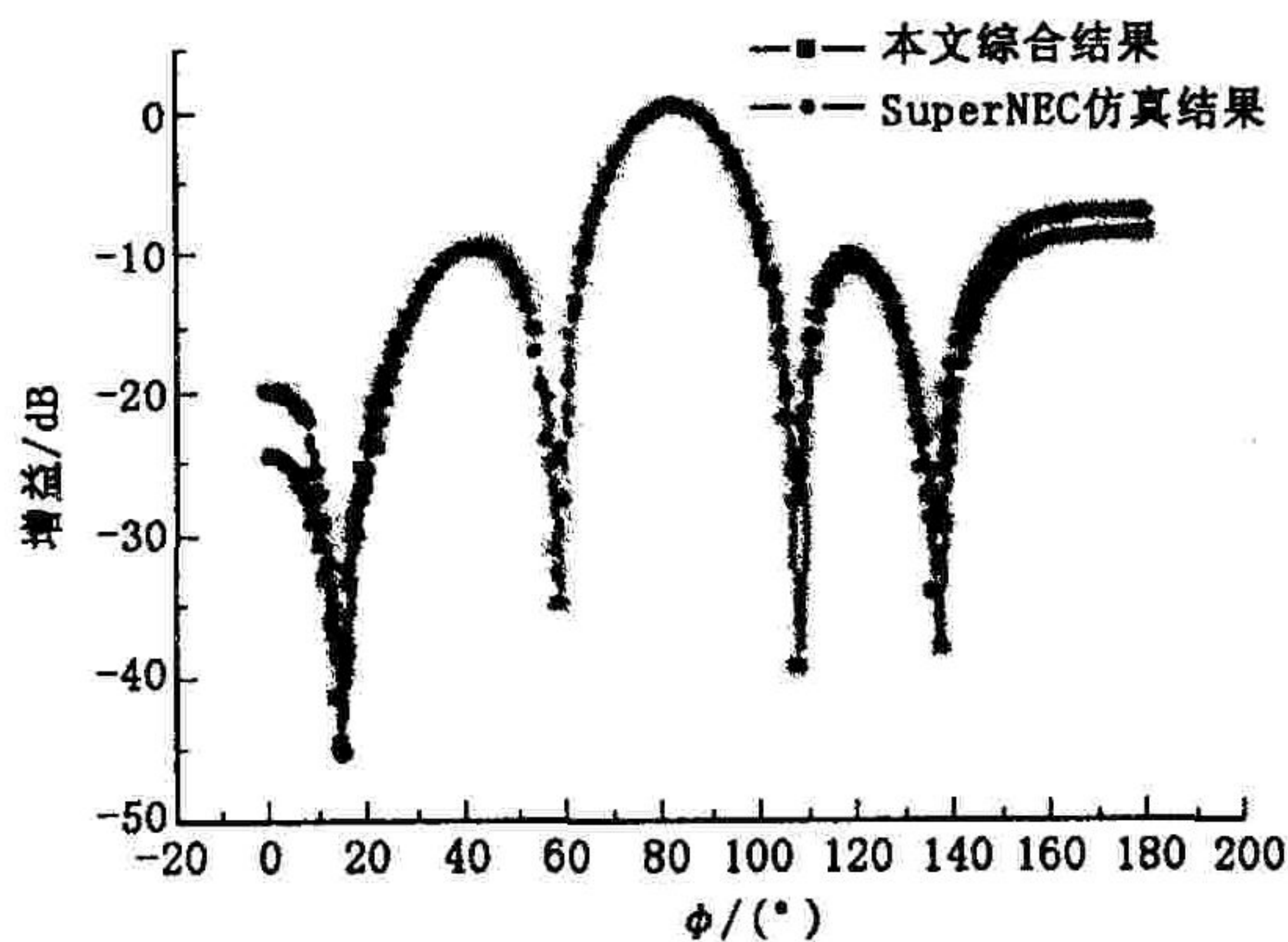


图2 5单元直线阵列的综合与仿真结果

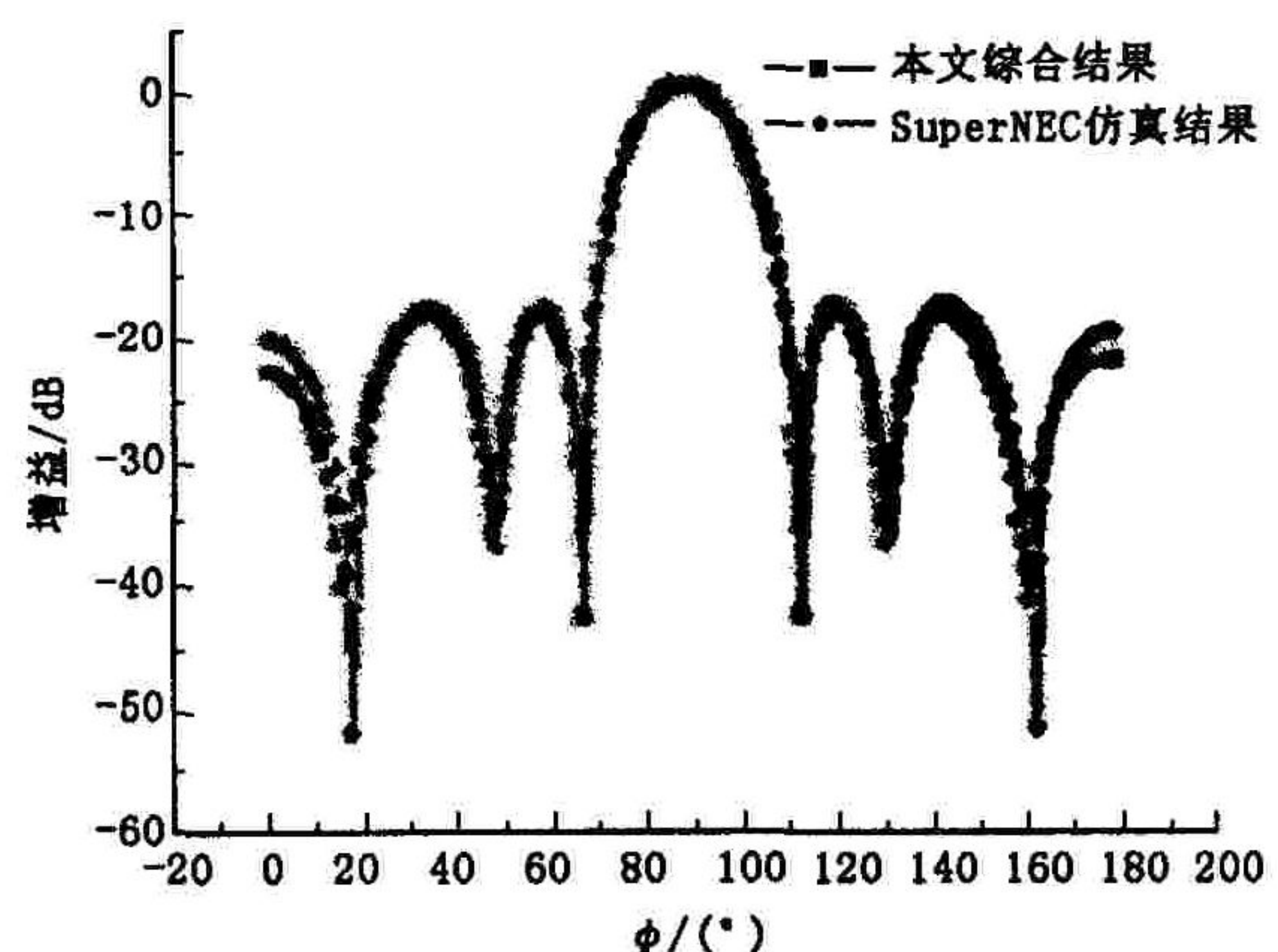


图3 7单元直线阵列的综合与仿真结果

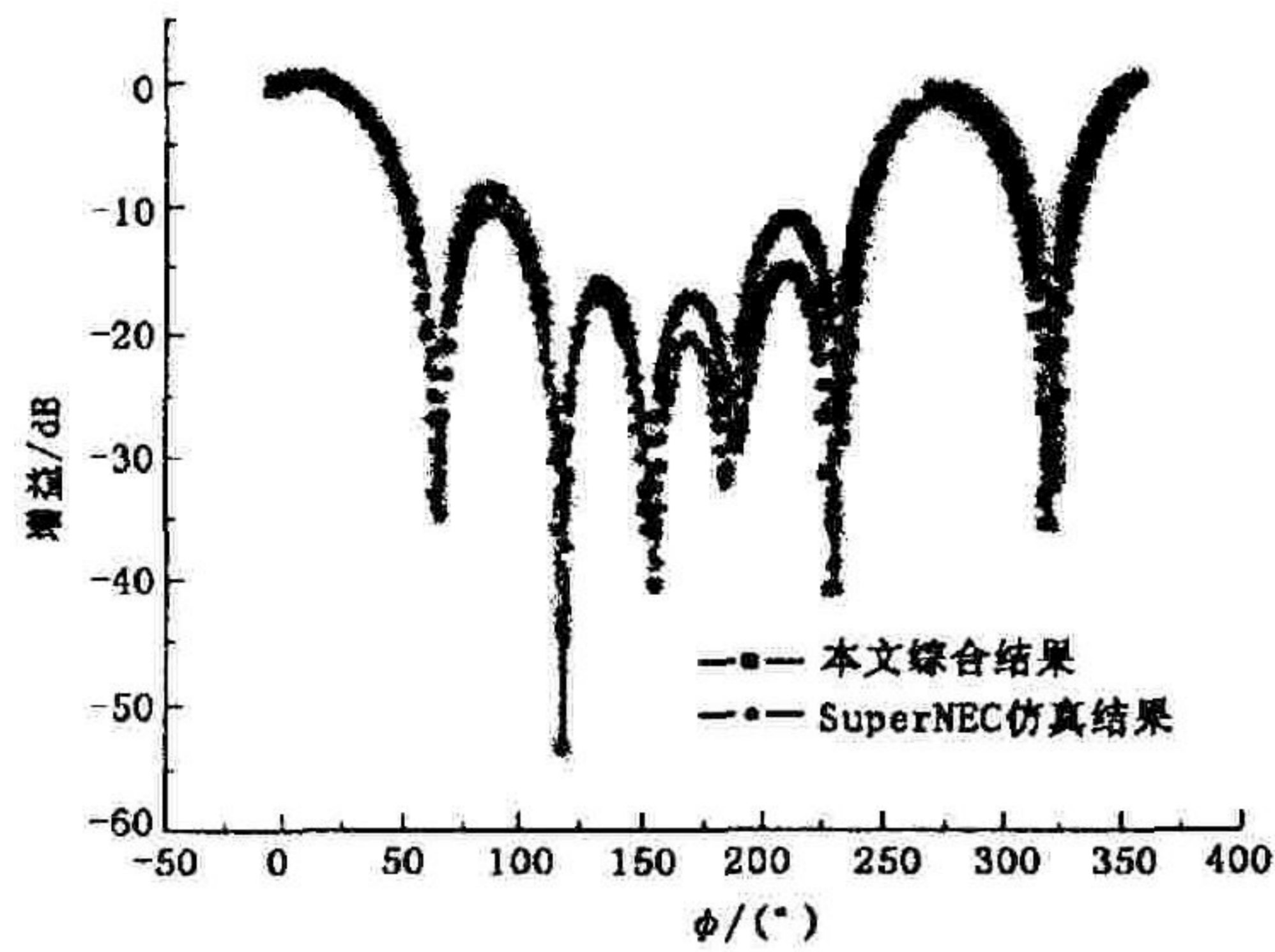


图4 6单元圆阵的综合与仿真结果

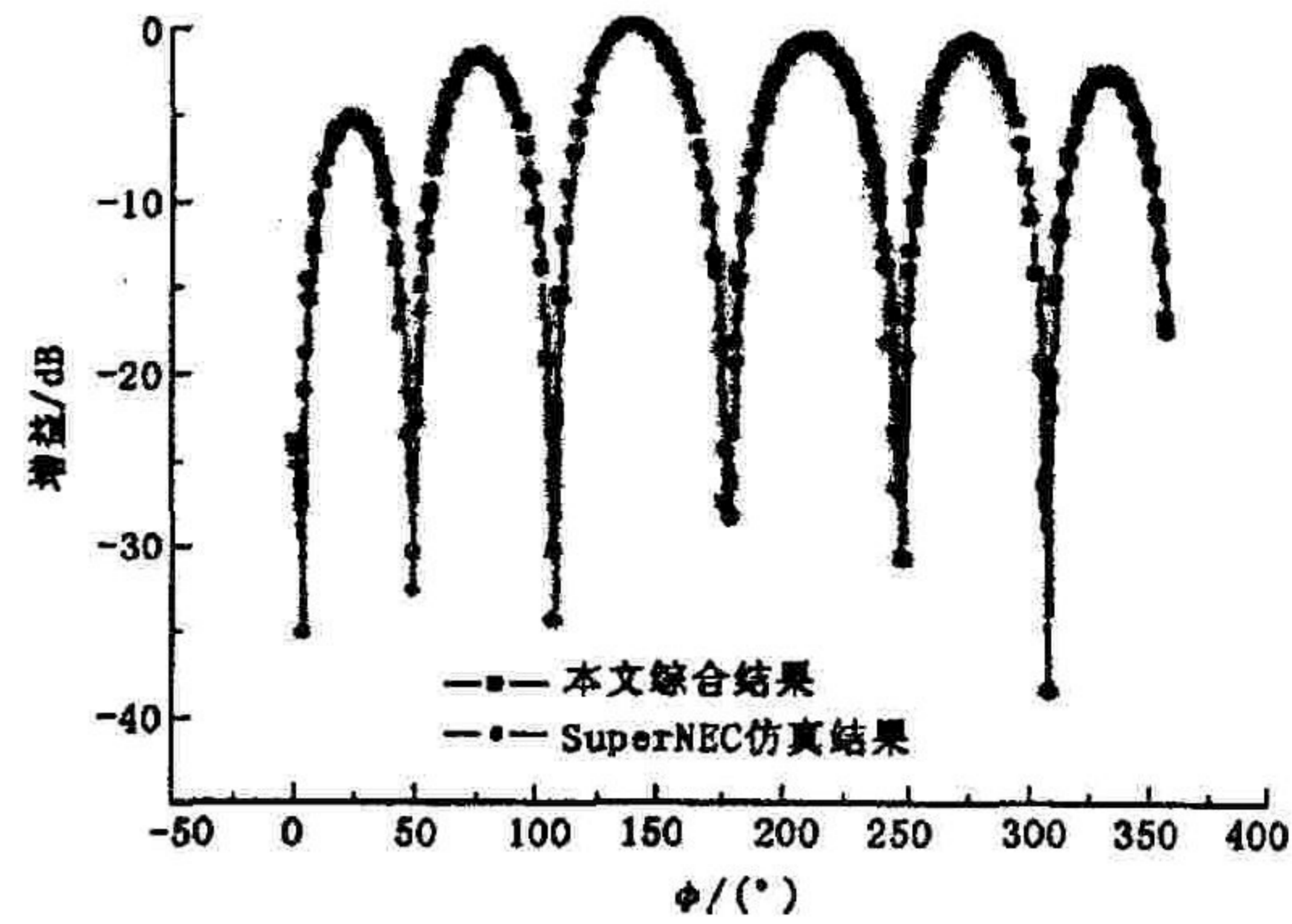


图5 6单元三角阵的综合与仿真结果

从所得的方向图可以看出,本文所提出的综合方法能够在考虑互耦的情况下综合出所要求的阵列,零深超过 -25 dB,能够达到一般的工程实践要求。通过综合结果与仿真结果的对比可见,二者在主瓣与预置零点角度上吻合较好(在边缘处副瓣电平稍有差异,主要是因为用矩量法计算时,分段数不同对计算精度的影响所造成的),证明了本文综合方法的正确性和有效性。

参考文献:

- [1] Meng Hwa E. Linear Antenna Array Pattern Synthesis with Prescribed Broad Nulls[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1990, 38(9): 1496 - 1498.
- [2] Carlson B D, Willner D. Antenna Pattern Synthesis Using Weighted Least Squares[J]. IEE Proceedings - H, 1992, 139(1): 11 - 16.
- [3] Dale J, Shpak. A Method for the Optimal Pattern Synthesis of Linear Arrays with Prescribed Nulls[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation, 1996, 44(3): 286 - 294.
- [4] Trastoy, Ares F, Moreno E. Phase - only Control of Antenna Sum and Shaped Patterns Through Null Perturbation[J]. IEEE Trans. Antennas and Propagation Magazine, 2001, 43(6): 45 - 54.
- [5] 胡明春, 李建新. 阵列部分加权置零综合[J]. 电波科学学报, 1997, 12(2): 216 - 219.
- [6] 马云辉. 基于遗传算法的唯相位控制方向图零点生成[J]. 微波学报, 2001, 17(2): 41 - 46.
- [7] 秦建军, 张厚, 席吉虎. 线天线阵单元间距对互耦的影响[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2002, 3(3): 74 - 76.
- [8] 夏冬玉, 秦建军, 高向军. 单元互耦对天线阵零点的影响[J]. 电子对抗, 2003, (5): 13 - 15, 24.
- [9] 秦建军. 天线阵综合技术研究[D]. 西安: 空军工程大学导弹学院, 2003.
- [10] 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.

(编辑: 田新华)

Null Synthesis for Antenna Arrays with Coupling

XIA Dong - yu, ZHANG Hou, QIN Jian - jun

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

Abstract : The coupling between array elements can make the side - lobe higher, the angles of nulls float and most classical synthesis methods inoperative because of its effects on the current of elements. So the amplitudes and phases of the elements current must be adapted to those generating perfect patterns when synthesizing with coupling. Aiming at the element stimulate voltage, mending the current coefficient, and solving by the method of Moments, the nulls meeting certain depth requirement can be obtained. The required step and time are few in this method, and the results of the examples of several types arrays agree well with the corresponding emulation results simulated by Super NEC, which prove that the method is valid and accurate.

Key words : null synthesis ; mutual couple ; MOM ; antenna array