

三角板天线分析*

阮成礼** 魏茂刚

(电子科技大学应用物理所 成都 610054)

【摘要】 运用具有普遍性的椭圆 V-锥天线做模型,当圆锥的 k 值趋于零时,椭圆 V-锥天线退化为三角板天线,根据椭圆 V-锥天线的有关公式求出了三角板天线的输入阻抗。分析表明,三角板天线是一种纯阻性天线,其输入阻抗值比较大。给出了三种类型三角板天线的输入阻抗的计算结果,可供工程设计参考。

关键词 三角板天线; 椭圆 V-锥天线; 球锥坐标系; 共形映射; 特征阻抗

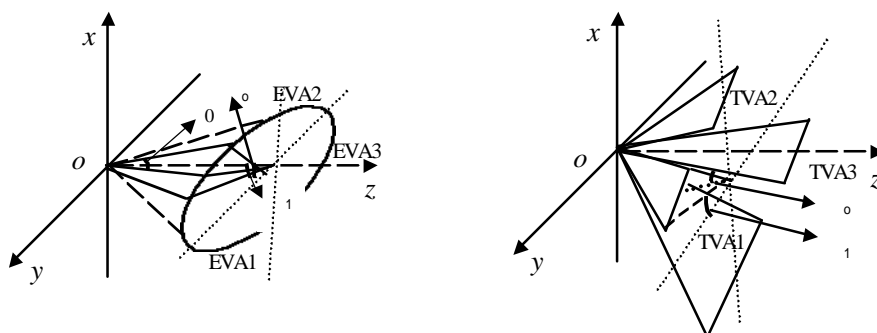
中图分类号 TN822⁺.8

超宽带电磁学(UWB)是电磁学研究的一个前沿领域,超宽带电子系统(超宽带雷达,超宽带通信系统等)必然用到超宽带天线。许多学者研究了超宽带锥形天线^[1~9],三角板天线是这一类超宽带天线中的一种,在工程和实验研究中经常用到,但是迄今难以见到在文献中给出相应的分析和实用的参数。本文用椭圆 V-锥天线来逼近三角板天线,给出了计算结果,可供工程设计参考。

1 三角板天线的物理模型

椭圆 V-锥天线(EVA)的结构具有普遍性,当圆锥的 $k(k=\cos \theta_y/\cos \theta_x)$ 值趋于零时,椭圆 V-锥天线退化为三角板天线(TVA),所以可以用椭圆 V-锥天线 k 值趋于零时的输入阻抗值来逼近三角板天线的输入阻抗。

讨论三种对称形式的椭圆 V-锥天线,根据其位置关系可以分为:以 yz 面为对称,以 xz 面为对称和以 z 轴为对称的三种椭圆 V-锥天线。每一种形式的椭圆 V-锥天线(见图 1a) 当 k 值趋于零时退化为一种相应形式的三角板天线(见图 1b)。图 1 所示天线的—个辐射臂在第一象限,另一个辐射臂分别在第二象限(EVA1 和 TVA1), 第四象限(EVA2)和(TVA2)和第三象限(EVA3 和 TVA3)。



(a) 三种椭圆 V-锥天线的结构图

(b) 与椭圆 V-锥天线对应的三角板天线的结构图

图 1 椭圆 V-锥天线 (EVA) 与三角板天线 (TVA) 的结构图

2 椭圆 V-锥天线

讨论图 1a 所示的三种对称椭圆 V-锥天线 EVA1, EVA2 和 EVA3 用球锥坐标系分析比较方便。由

2001 年 8 月 27 日收稿

* 四川省科学基金项目

**男 57 岁 博士 教授 博士生导师

图 1 可知天线的金属辐射臂仅是角坐标(,)的函数而与径向坐标 r 无关。两辐射臂的中心线分别位于: (a) θ_0 和 $-\theta_0$, 两辐射臂结构以 yz 面为对称; (b) θ_0 和 $-\theta_0$, 两臂以 xz 面为对称; (c) θ_0 和 $+\theta_0$, 两臂分别以 z 轴为对称。三种对称的椭圆 V-锥天线是具有普遍性的物理模型, 在仅传输 TEM 波条件下, 可求得无限长椭圆 V-锥天线的严格解。

角形导波结构中场的形式解为

$$f = f(\mathbf{q}, \mathbf{j}) \frac{\exp(\pm j k_0 r)}{r} \quad (1)$$

代入球锥坐标系下的 Helmholtz 方程得

$$\left[g_q \frac{\partial}{\partial q} \left(g_q \frac{\partial}{\partial q} \right) + g_j \frac{\partial}{\partial j} \left(g_j \frac{\partial}{\partial j} \right) \right] f(\mathbf{q}, \mathbf{j}) = 0 \quad (2)$$

做坐标变换

$$\mathbf{a} = \int_0^q \frac{dx}{\sqrt{1 - V^2 \cos^2 x}} = K(V) - F(\mathbf{j}, V) \quad (3a)$$

$$\mathbf{b} = \int_0^j \frac{dx}{\sqrt{1 - V^2 \sin^2 x}} = F(\mathbf{j}, V) \quad (3b)$$

式中 $F(\mathbf{j}, V)$ 是 Jacobi 椭圆函数, $K(V)$ 是第一类椭圆积分, V 是模。经过式(3)的变换式(2)变为

$$\frac{\partial^2 f(\mathbf{a}, \mathbf{b})}{\partial \mathbf{a}^2} + \frac{\partial^2 f(\mathbf{a}, \mathbf{b})}{\partial \mathbf{b}^2} = 0 \quad (4)$$

式(4)是 \mathbf{ab} 平面上的 Laplace 方程^[1]。由此得到椭圆 V-锥天线的输入阻抗为

$$Z_c = 60 \frac{K(k'_b)}{K(k_b)} \quad (5)$$

3 三角板天线的计算结果

椭圆 V-锥天线是具有普遍性的物理模型, 当 $k \rightarrow 0$ 时, 椭圆 V-锥天线退化为三角板天线, 所以可以用椭圆 V-锥天线 k 值趋于零时的输入阻抗来逼近三角板天线的输入阻抗。下面用 MATLAB 给出部分计算结果, 供工程设计参考。

图 2 给出了当模数 $k \rightarrow 0$ 时, 由椭圆 V-锥天线到三角板天线的变化情况, 当 $k = 10^{-7}$ 时, 天线的输入阻抗基本不变, 此时的天线的输入阻抗可看成该种类型的三角板天线的输入阻抗曲线, 本文所给的三角板天线的输入阻抗曲线均采用这种方法。

图 2 给出了从椭圆 V-锥天线(EVAI)到第一类三角板天线(TVAI)变化过程中 k 的值从 $1 \rightarrow 0$ 时, 天线输入阻抗的计算结果, 其中 $\theta_0 = 30^\circ$ 。可知 k 越小, 天线输入阻抗越大。例如 $\theta_1 = 30^\circ$, $k = 0.999$ 时, $Z_{c1} = 210$, 而 $k = 10^{-7}$ 时, $Z_{c1} = 500$, 也就是说, 三角板天线的输入阻抗比同类结构的椭圆 V-锥天线的输入阻抗高。

第一类三角板天线图(TVA1)上下辐射臂是正对着的。图 3 给出了第一类三角板天线输入阻抗的计算结果。其中 $k = 10^{-7}$, $\theta_x = 30^\circ$, $\theta_0 = 0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ 。由此可以看出, 当 θ_1 较小时 θ_0 对阻抗的影响很小。

第二类三角板天线(TVA2)的两个辐射臂在同一个平面内。图 4 给出了第二类三角板天线的输

入阻抗的计算结果,可以看出,当 $\phi_0 = 45^\circ$ 时输入阻抗曲线基本上重合在一起, $\phi_0 + \phi_1 < 90^\circ$ 。

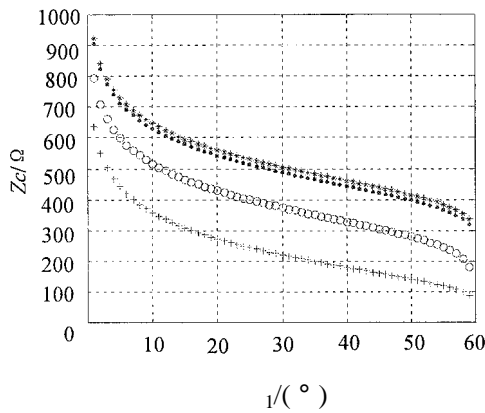


图 2 EVA1 的输入阻抗随模数 k 的变化的曲线
由上到下对应 k 值依次为 $k=10^{-7}, 10^{-6}, 10^{-2}, 0.99$

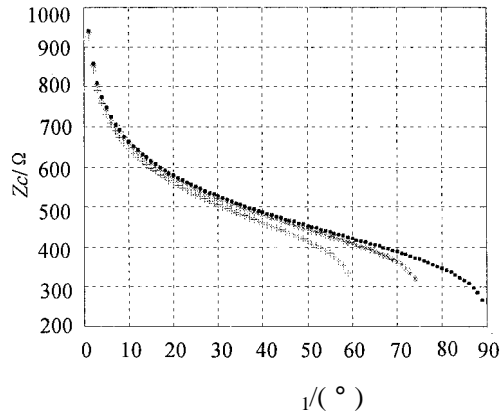


图 3 三角板天线 TVAL 的输入阻抗曲线
由上到下依次为 $\phi_0=0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$

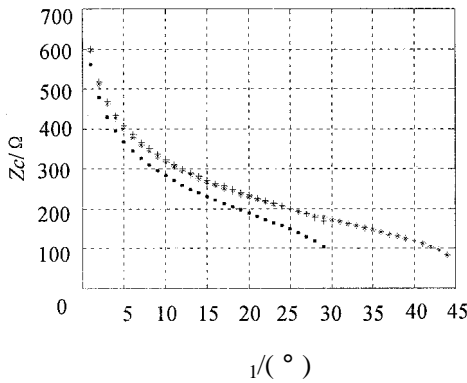


图 4 三角板天线 TVA2 的输入阻抗曲线
由上到下依次为 $\phi_0=45^\circ, 60^\circ, 30^\circ$

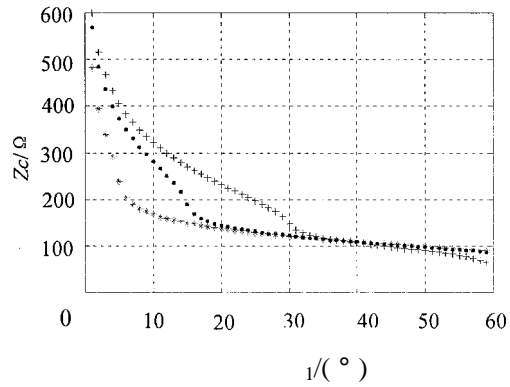


图 5 EVA2 的输入阻抗曲线(k 较小 ϕ_0 较大)
由上到下依次为: $\phi_0=60^\circ, 75^\circ, 85^\circ$

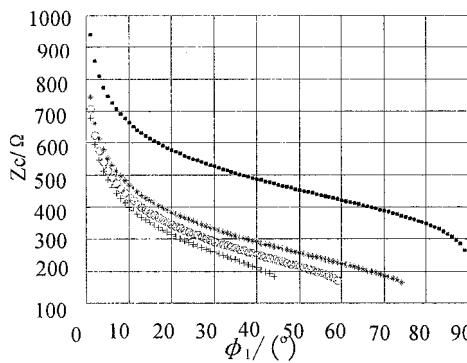


图 6 三角板天线的输入阻抗曲线
由上到下依次为 $\phi_0=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$

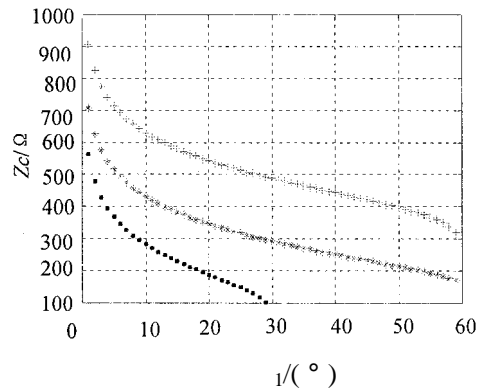


图 7 三种类型的三角板天线的阻抗曲线比较
 $\phi_0=30^\circ, k=10^{-7}$,由上到下依次为 TVA1,TVA2,TVA3

图 5 给出了 ϕ_0 较大时第二类椭圆 V-锥天线 EVA2 的输入阻抗的计算结果,其中 $k=0.01$ 。尽管 k 值比较小,与第二类三角板天线(TVA2)相比还是有明显的不同,这时候输入阻抗曲线大体分为两段,一段是快变化段,一段是慢变化段。分界点在 $\phi_0 + \phi_1 = 90^\circ$ 处。

第三类三角板天线(TVA3)的两个辐射臂是错着的(如图1b),图6给出了第三类三角板天线输入阻抗曲线的计算结果,其中 $\theta_0=0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ 。

4 结 论

三角板天线在工程中经常用到。当 $k \rightarrow 0$ 时,椭圆 V-锥天线退化为三角板天线,利用椭圆 V-锥天线的输入阻抗值来逼近三角板天线的输入阻抗,计算结果可以很好地满足工程精度要求,典型情况下的计算结果可以证明本文计算和分析的正确性。

计算结果表明,三角板天线 TVA1 输入阻抗比相应结构的椭圆 V-锥天线 EVA1 输入阻抗大,难以匹配。根据结构对称性以及角坐标参数的不同,输入阻抗值在 $100 \sim 1\text{ k}$ 范围内变化。三角板天线的优点是结构非常简单,工艺要求不高,适当的设计也可以得到低于 100 的输入阻抗。

参 考 文 献

- 1 Yuan Naichang, Ruan Chengli, Lin Weigan, Biconical and V-conical antennas with elliptic crosssections. Journal of University of Electronic Science and Technology of China. [袁乃昌, 阮成礼, 林为干. 双椭圆锥天线和 V-椭圆锥天线. 电子科技大学学报, 1993, 22(2): 148-154.]
- 2 阮成礼. A universal model of elliptical antennas, 电波科学学报, 2001, 16(1): 39-40.
- 3 Yuan N, C Ruan, W Lin. Biconical antenna with elliptic cross section, International Journal of Infrared and Millimeter Waves, 1993, 14 (1): 117-128.
- 4 阮成礼. Biconical antennas with elliptic cross-section. Electronics Letters, 2000, 36(16): 1 339.
- 5 Schelkunoff S. Advanced antenna theory, NJ. D. Van Nostrand, Princeton, 1952
- 6 Shen H. V-conical antenna. IEEE trans. on AP, 1988, 36(11): 1 519-1 525.
- 7 Du Z. Study on ultra wide band antennas and TEM transmission lines. [Doctor thesis], Chengdu: UEST of China, 1997, 36~38.
- 8 Blume S. B. Grafmuller, Biconical antenna. IEEE Trans. AP, 1998, 36(11): 1 519-1 525.
- 9 Grimes D. Characterization of biconical transmitting antennas. Radio Science. 1991, 26: 101-109

The Analysis of Triangular V-plate Antennas (TVA)

Ruan Chengli Wei Maogang

(Institute of Applied Physics, UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Utilizing the elliptic V-cone antenna (EVA) as a universal model, when $k \rightarrow 0$, the elliptic V-cone antenna retrogresses to a triangular V-plate antenna. The input impedance of the TVA can be derived through the EVA related formulas. The analysis shows that the TVA is a pure resistive antenna with a higher input impedance than that of corresponding EVA. The parameters and curves of the input impedances of three sorts of TVA are given. It is useful for engineering design.

Key words triangular V-plate antenna; elliptic V-cone antenna; sphere-cone system; conformal mapping; characteristic impedance