

GTEM Cell 斧形过渡块侧边曲线方程的算法

周 旭

(南通工学院, 江苏南通 226007)

[摘要] 为便于加工, 以往的吉赫兹横电磁波传输室 (GTEM Cell) 过渡接头中斧形过渡块均采用近似设计, 即侧边取直线。这样做的结果是传输损耗曲线在过渡段的分布不理想。基于修正的目的, 首次给出了精确的斧形块侧边之连续曲线方程。

[关键词] 吉赫兹横电磁波传输室 (GTEM Cell); 斧形过渡块; 侧边曲线方程; 阻抗匹配

[中图分类号] TM93 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742 (2003) 09-0036-03

1 引言

进行电磁兼容 (EMC) 试验, 吉赫兹横电磁波传输室 (GTEM Cell) 是目前最为理想的测试设备。GTEM Cell 实质上是一个双导体导波系统, 其始端是一同轴传输线, 传输线的外导体逐渐演变成扩展的矩形箱体, 内导体以一定角度扩张渐变为扁平芯板^[1]。考核 GTEM Cell 性能的重要指标之一是其输入端的电压驻波比, 因此, 位于 GTEM Cell 输入端的过渡接头的结构设计显得尤为重要。

常见 GTEM Cell 的过渡接头如图 1 所示。外导体称铜喇叭; 内导体称斧形过渡块或斧形块。

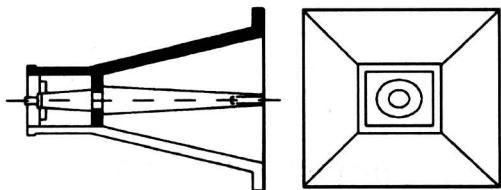


图 1 过渡接头结构示意图

Fig.1 The schematic diagram of transitional adapter

在铜喇叭尺寸已确定的前提下, 斧形块的形状必须满足特性阻抗匹配之要求。但以往的斧形块为便于加工均采用近似设计, 即侧边取直线。它的时域反射法测试结果表明, 此时传输损耗在过渡段的

分布曲线不理想, 妨碍了 GTEM Cell 内行波状态的建立^[2]。因此, 要改善传输室性能, 就务必重新设计斧形块侧边形状, 使过渡接头在每个球形横截面上的特性阻抗均最大限度地接近外阻抗, 即

$$Z_c = 50 \Omega. \quad (1)$$

2 GTEM Cell 过渡接头特性阻抗计算

对于高频无损传输线的特性阻抗, 为

$$Z_c = (L/C)^{1/2}, \quad (2)$$

式中 L 是单位长度传输线的电感, C 是单位长度传输线上的分布电容。对于无损传输线上电磁波的传播速度为

$$v = (\epsilon_0 \mu_0)^{-1/2} = (L/C)^{-1/2} \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s}, \quad (3)$$

式中 ϵ_0 为空气介电常数, μ_0 为空气磁导率^[3]。综合式 (2) 和式 (3), 单位长度传输线的特性阻抗为

$$Z_c = (\epsilon_0 \mu_0)^{1/2} / C. \quad (4)$$

求解 Z_c 的关键在于求单位长度分布电容 C 。

由于 GTEM Cell 中过渡接头部分的横截面具有轴对称性, 因此可将其分成 8 等份, 如图 2 所示, 区域 A 和 B 是其中 2 份。

根据参考文献 [4] 提出的对偶能量法可以得到 A, B 两区的单位长度分布电容为,

$$C_A = \frac{\epsilon_0(m-b)}{4g \ln(m/b)} + \frac{\epsilon_0}{2 \ln(m/b)} \left\{ \frac{m-b}{2g} - \right.$$

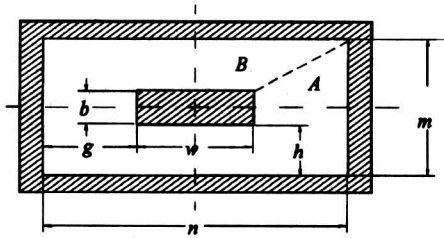


图2 GTEM Cell 过渡接头横截面示意图

Fig.2 The diagram of transitional adapter'cross section

$$\left[\ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\operatorname{arctg} \left(\frac{(m-b)/2g}{1} \right)}{2} \right) - \operatorname{arctg} \left(\frac{m-b}{2g} \right) \right], \quad (5)$$

$$C_B = \frac{\epsilon_0(n-w)/(m-b)}{2 \ln(n/w)} + \frac{\epsilon_0}{2 \ln(n/w)} \left\{ \frac{n-w}{m-b} \cdot \left[\ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{n-w}{m-b} \right) - \operatorname{arctg} \frac{n-w}{m-b} \right] \right\}. \quad (6)$$

式(5)至式(6)中 m, b, g, n, w 的尺寸含义见图2。由图2得到

$$C = 4(C_A + C_B). \quad (7)$$

将式(5)至式(7)代入式(4), 便得到精确的 GTEM Cell 过渡接头特性阻抗计算公式

$$Z_C = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} / 2 \left\{ \frac{1}{\ln(m/b)} \left[\frac{m-b}{g} - \left(\ln \operatorname{tg} \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{m-b}{2g} \right) + \operatorname{arctg} \frac{m-b}{2g} \right] + \frac{1}{\ln(n/w)} \left[\frac{2(n-w)}{m-b} - \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \operatorname{arctg} \frac{n-w}{m-b} \right) + \operatorname{arctg} \frac{n-w}{m-b} \right] \right\}. \quad (8)$$

3 建立斧形块侧边曲线方程

在研制 GTEM Cell 中, 根据铜喇叭结构尺寸可得到下列各式:

$$m = 0.418x + 25.707, \quad (9)$$

$$b = 10 - 0.038x, \quad (10)$$

$$g = 0.266x - y + 12.8, \quad (11)$$

$$n = 0.531x + 25.59, \quad (12)$$

式中 x 为斧形块在长度方向上的坐标, y 为斧形块在宽度方向上的坐标。

将 ϵ_0, μ_0 的值以及式(1)、式(9)至式(12)代入式(8), 得到所求斧形块侧边之连续曲线方程:

$$\ln \frac{0.266x + 12.8}{y} \left[\frac{1.72x + 59.16}{x - 3.77y + 48.21} \right] +$$

$$\ln \operatorname{tg} \left(0.785 + 0.5 \operatorname{arctg} \frac{0.86x + 29.58}{x - 3.77y + 48.21} \right) + \operatorname{arctg} \frac{0.86x + 29.58}{x - 3.77y + 48.21} + \ln \frac{x + 615}{23.92 - 0.09x} \left[\frac{2.33x - 8.77y + 112.24}{x + 34.45} - \operatorname{arctg} \frac{1.16x - 4.39y + 56.12}{x + 34.45} \right] - \ln \operatorname{tg} \left(0.785 + 0.5 \operatorname{arctg} \frac{1.16x - 4.39y + 56.12}{x + 34.45} \right) + \operatorname{arctg} \frac{1.16x - 4.39y + 56.12}{x + 34.45} - 3.76 \ln \frac{0.266x + 12.8}{y} \ln \frac{x + 61.5}{23.92 - 0.09x} = 0. \quad (13)$$

4 斧形块侧边曲线方程的求解

式(13)的求解采用抛物线迭代算法, 其过程如图3所示。

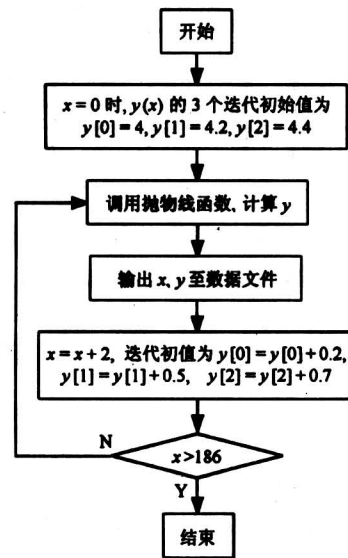


图3 求解连续曲线方程的原理框图

Fig.3 The frame of solving the continuous curve equation

在图4所示的直角坐标系上分别绘出斧形块近似设计和经优化设计的侧边形状。比较后发现, 优化前后的斧形块在宽度方向上最大差距接近2 mm。

5 测试结果兼结语

试验装置由两套完整的过渡接头紧密对接而成, 优化形状的斧形块经由数控加工。测试指标是传输损耗; 测试仪器为 R&S ESI 7 EMI Test Receiver; 测试频率取 0.6~7 GHz。优化前后的测

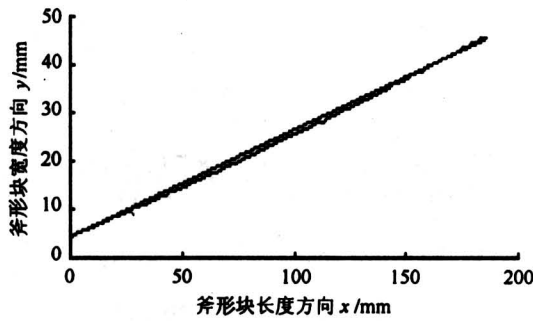


图4 斧形块侧边优化前后形状之比较

Fig.4 Comparison between the optimized curve and the old one

试结果分别见图5和图6。

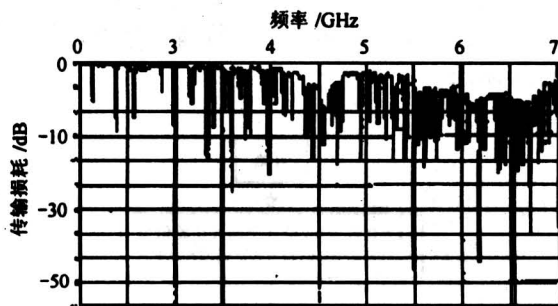


图5 装有近似形状斧形块过渡接头的传输损耗曲线

Fig.5 Transmission wastage of the adapter with an approximative shape

图5与图6对比可见,在某些频率点(如5.5 GHz, 6.5 GHz等处)上的损耗差值超过30 dB,也就是说,在这些频率点上,能量损耗减少了80%,故优化后过渡接头所表现的传输性能要优于安装近似形状斧形块的过渡接头。

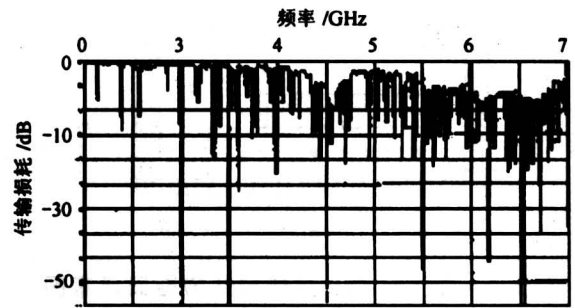


图6 装有优化形状斧形块过渡接头的传输损耗曲线

Fig.6 Transmission wastage of the adapter with an optimized shape

进一步的试验表明,如果在上述优化设计斧形块的基础上,再合理配置一些吸波材料,就能够进一步降低过渡接头的传输损耗,使GTEM传输室的驻波比接近于1^[5]。

参考文献

- [1] Hansen D, Ristau D. History and Development of GTEM Cells [J]. ITEM, 1995, 11: 138~144
- [2] Huang Zhixun, Li Tianshu, Yang Qingshan. A New TEM transmission cell using exponential curved taper transition [J]. ACTA Metrologica Sinica, 1992, 13 (2):13~15
- [3] Tippet J C, Chang D C. Characteristic impedance of a rectangular coaxial line with offset inner conductor [J]. IBID, 1978, MTT(26): 876~883
- [4] Bai Tongyun. A new method of calculating distributed capacity in TEM Cells [A]. Proceed Int Sump Electromagnet Compact [C]. Beijing, 1992. 186~189
- [5] 周旭. GTEM Cell中斧形块的设计与加工[D]. 南京:东南大学, 2000

The Arithmetic of GTEM Cell Axe-shaped Piece's Side Curve Equation

Zhou Xu

(Nantong Institute of Industry, Nantong, Jiangsu 226007, China)

[Abstract] To be convenient for machining, the conventional axe-shaped pieces were approximately designed. It is proved that the traditional transition in a GTEM Cell can not give a satisfactory transmission loss distribution. So this paper gives the exact continuous curve equation for the axe-shaped piece's two sides for the first time.

[Key words] giga-hz transverse electromagnetic cell; the axe-shaped piece; the side curve equation; impedance matching