Vol. 13 No. 4 Dec. 1997

///线状 GTEM 小室中导线阵截面形状的选择

Choice of Section's Form of Inner Wire Array in Wire GTEM Cell

36 Yang Jun. Fu Junmei

(Institute of Microwave Engineering & Optical Communication, Xi' an Jiaotong Univ. , Xi' an 710049)

「【摘要】本文通过基于坐标变换的准静态分析方法对新型结构的线状 GTEM 小室的场分布进行了计算,提出线状 GTEM 小室中内导线阵较理想的截面形状。

关键词:电磁兼容、GTEM 小室、场分布、数值计算

Abstract. In this paper, the field distribution in a new type of wire GTEM cell is calculated by the method based on coordinate transformation with quasi-static approximation. Ideal section's form of inner wire array is provided.

Key terms: EMC GTEM Cell, Field distribution. Numerical calculation

—、引 蟗

自 1974 年 Grawford 提出橫电磁波小室(TEM Cell,如图 1,图中 EUT 即待测设备)结构^[1]以来,该结构在电磁兼容领域获得了日益广泛的应用,并被许多国家及军队标准所采用。 针对工作频带、场的均匀性、有效工作容积等方面存在的问题,研究者们提出了GTEM 小室 (GigaHertz TEM Cell,吉赫橫电磁波小室)^[2]、WTEM 小室(Wire TEM Cell,线状横电磁波小 室)^[3]等产生 TEM 波裝置的新结构,并把标准 TEM 小室的上下对称结构改进为非对称结构。 研究发现、这些不同结构的小室虽然在应用中各有其优点,但同时存在一些不足之处。为此文 献[7,8]综合了原有几种结构的优点,提出了一种新型 GTEM 小室结构,该结构外形与原 GTEM 小室一样,内部用辐射状线阵替代了芯板,故称线状 GTEM 小室,其结构如图 2 所示, 为了防止电磁能量泄漏并吸收反射波,保证小室工作在行波状态,在小室的开口面加劈形吸收 材料。当小室工作时,等电位的线状内导体一方面减少了电磁波在内外导体之间反射的几率, 减少了小室内谐振的可能,展宽了工作频带,另一方面减弱了由于内导体与待测设备之间的电

[•] 收稿日期:1996-05-14;定稿日期:1996-08-01

1997 年 9 月

磁耦合引起的标准场的畸变,提高了测试精度,内导体的非平面结构可以使标准场的均匀性得 到改善,也增大了有效工作容积。对场结构分布的研究和定性分析,证明了该结构的可行性。



二、问题的提出

研究 TEM 小室的目的,是期望用它来产生一个线极化的均匀平面波,而且幅度可人为干预,以模拟待测设备在自由空间的工作环境。当输入功率相同时,在尽可能宽的频带内建立场强较强、场分布均匀的 TEM 波场是我们对小室研究所要追求的目标,也是我们选择小室内导线阵截面形状的原则。在对线状 GTEM 小室的研究中发现,小室中内导线阵截面的形状对横截面上场分布的强弱和均匀性起着决定性作用,也直接影响到纵向场分量的大小,本文通过定性分析后,选择了图 4 所示的几种不同截面形状进行研究对比,然后从场分布角度给出结论。



I

×.

三、线状 GTEM 小室的电场分布的计算

在计算线状 GTEM 小室的电场分布过程中,采用的是基于坐标变换的准静态场分析计算 方法^[5,6],即先通过坐标变换把渐变截面的小室变成均匀截面,同时将球坐标系下位函数满足 的拉氏方程化为一个直角坐标系下的二阶偏微分方程。对于低于小室截止频率的球面波,其磁 场和电场可表示为:

$$\vec{H} = \nabla \times (\hat{r}g) \tag{1}$$

$$\vec{E} = \nabla \times \vec{H} / j\omega\epsilon \tag{2}$$

式中 $g = e^{-r^{\epsilon}T(\theta,\varphi)}, \beta^{2} = \omega^{\epsilon}\mu\epsilon, r, \theta, \varphi$ 是对应于图 2 中x, y, z的球坐标,且有 $x = r\sin\theta\cos\varphi, y = r\sin\theta\sin\varphi, z = r\cos\theta,$ 和拉氏方程:

$$\nabla^2 T(\theta, \varphi) = 0 \quad \text{if} \quad \frac{\partial}{\partial \theta} (\sin \theta \, \frac{\partial T}{\partial \theta}) - \frac{1}{\sin \theta} \, \frac{\partial^2 T}{\partial \varphi^2} = 0 \tag{3}$$

通过坐标变换:

$$X = x/z = \cos\varphi \, tg\theta$$

$$Y = y/z = \sin\varphi \, tg\theta$$

$$Z = z = r\cos\theta$$
(4)

就可将 xyz 坐标系中渐变的矩形同轴传输线变换为 XYZ 坐标系中均匀截面的矩形同轴传输 线(如图 3),而且拉氏方程式(3)可化成一个二阶偏微分方程:

$$[Y^{2} + X^{2}(1 + X^{2} + Y^{2})]\frac{\partial T}{\partial X^{2}} + [X^{2} + Y^{2}(1 + X^{2} + Y^{2})]\frac{\partial T}{\partial Y^{2}}$$

+ 2XY(Y^{2} + X^{2}) $\frac{\partial T}{\partial X \partial Y} + 2X(X^{2} + Y^{2})\frac{\partial T}{\partial X} + 2Y(Y^{2} + X^{2})\frac{\partial T}{\partial Y} = 0$ (5)

这里已注意到 $\partial Z/\partial r = 0$, $\partial T/\partial Z = 0$ 。

对于球面 TEM 波函数 T 在导体的表面为常数,即

$$T = 0,$$
 ${\rm tr} X = \pm a \, {\rm sty} \, Y = b_1, Y = -b_2$ (6)

$$T = C, \qquad \qquad \text{tr} Y = 0 \underline{1} - w \leqslant X \leqslant w \qquad \qquad (7)$$

式(7)中C是与输入功率或内外导体之间电压有关的常数。

把求解区域划分为 $Y \leq 0$ 和 $Y \geq 0$ 两部分,加上上述边界条件,就可以应用伽辽金法解式 (5)的偏微分方程从而求得T,具体步骤可参阅文献[5]。然后由式(1)、(2)得出球坐标中电、 磁场的表达式。再由关系式:

$$E_x = E_{\theta} \cos\theta \cos\varphi - E_{\theta} \sin\varphi$$
$$E_y = E_{\theta} \cos\theta \sin\varphi - E_{\theta} \cos\varphi$$
$$E_z = -E_{\theta} \sin\theta$$

即可得出相应的直角坐标系中的场分量。

利用上述方程、作者分别对原GTEM 小室和新型线状GTEM 小室进行了编程计算,计算 中小室上下两底面、左右两侧面的夹角均为 45°,内导线阵的最大张角为 40°,小室总长 6.0m, b₂ = 3 b /4,为了说明程序的正确性,给出文献[5]所得结果图 5(b)(文献[6]指出了文献[5]中 372

1997年9月



推导的偏微分方程系数有误,本文仍采用原文结果,未作更正)与本文结果图 5(a)的对比,这 里数量上的差别是因为图 5(b)用中部电场进行了归一化,而图 5(a)图使用的是相对大小。形

图 6 不同形状的内导线阵截面时横向场的对比

1

e

X 坐 标(+a)

C.5

0

140

-1

-0.5

80

60

-1

-0.5

ۍ٥

1

0

X坐标(*a)

状上的差异则是由错误的系数造成的,这点作者通过反推进行了证明。显然,从物理概念上讲图 5(a)所示的结果更符合矩形同轴线中准 TEM 波的场分布规律,在证明程序正确后,我们对图 4 所示(为了绘图方便,仅给出内导线阵排列的截面形状,实际计算情况与图 3 类似,而非薄

板)的几种结构分别进行了计算,计算时均选用 15 根内导线,对称放置,除形状外其它尺寸相同。图 6 所示为小室内 $Y = -0.50 b_2$ 和 $Y = -0.75 b_2$ 两面上的横向场相对值的对比,由图可见图 4(c)所示形状产生的场最强,而图 4(a)的场最弱,纵向场的分布同样如此。作者又对两种极端情况下横向电场的等位线分布(图 ?)作了对比,发现图 4(c)所示形状对应的电场均匀区域不但没有变窄,而且明显加宽,分析原因,是因为截面形状的改变将 $Y \ge 0$ 区域的部分能量下移的结果。因此,对于线状 GTEM 小室,内导线阵的截面选取以测试区域底面中心为圆心,以 b_2 为半径的圆弧较为理想。



图 7 两种小室截面上横向电场的等值线分布对比



本文从场结构分布角度对线状GTEM 小室中内导线阵截面的选择问题进行了讨论,给出 了较为理想的情况,明显改善了场分布的均匀性和强度,提高了小室的效率。文献[8]中已证 明,线状GTEM 小室与外形尺寸相同的GTEM 小室具有相同的单模工作频带,由此可见,线 状GTEM 小室不失为一种产生标准 TEM 波的理想装置。

- M. L. Grawford. Generation of standard EM field using TEM field using TEM transmission cells. IEEE Trans. y 1974; EMC-16: 189~195.
- 2 D. Koemgstein, D. Hansen. A new family of TEM-cells with enlarged bandwidth and optimized working volume. in proc. 7th Int. Zurich Symp. and Techn. Exh. on EMC. Mar. 1987:127~132.
- 3 L. Carbonini. Theoretical and experimental analysis of a multiwire rectangularly shielded transmission line for EMC measurements. in Proc. IEEE Int. Symp. on EMC, Cherry Hill, N. J. Aug, 1991, 8~13.
- 4 L. Carbonini. Comparison of Analysis of a WTEM Cell with Standard TEM Cells for Generating EM Feilds. IEEE Trans., 1993;EMC-35;189~195.
- 5 K. Huang, Y. Liu. A Simple Method for Calculating Electric and Magnetic Fields in GTEM Cell. IEEE Trans., 1994; EMC-36: 355~358.
- 6 杨显清, GTEM Cell 的坐标变换分析, 电子科技大学学报, 1996; 25(1); 32~35.
- 7 杨 军.傅君眉,线状GTEM小室,微波电磁兼容及超高 頻移动通信第三届学术会议(NSDMC'96、张家界,1996 年10月)。
- 8 杨 军.线状 GTEM 小室的场分布和谐振频率的研究. (西安交通大学硕士学位论文), 1996 年 4 月。