

文章编号 1005-0388(2008)03-0411-06

电介质半空间两耦合线天线的时域积分方程法*

李琳^{*} 李丽娟 高长征 谷雪松

(华北电力大学电气与电子工程学院,河北 保定 071003)

摘要 直接从时域为两平行线天线受电磁脉冲激励的瞬态过程建模,建立了自由空间中、大地视为理想导体和有损媒质时两天线耦合的仅由矢量磁位表达的时域积分方程组,并用时域矩量法(MOM)结合时间步进算法(MOT)快速求解。针对实例的计算结果与文献结果吻合,从中可分析天线间距和离地高度变化时媒质对线上电流的影响规律。在三米法电波暗室的实验进一步验证了算法的有效性。

关键词 时域积分方程;电介质半空间;耦合线天线;矩量法;时间步进法

中图分类号 TM153

文献标志码 A

Time domain integral equation method for analyzing coupled wire antennas above dielectric half-space

LI Lin LI Li-juan GAO Chang-zheng GU Xue-song

(School of Electrical and Electronic Engineering,
North China Electric Power University, Baoding Hebei 071003, China)

Abstract The transient process of two parallel wire antennas excited by electromagnetic pulse is modeled directly in the time domain. Time domain integral equations for two coupled wire antennas in free space, above perfect conducting ground or lossy medium are presented, which are expressed only by vector potential. The equations are solved efficiently by MOM combined with MOT. The simulation results are good agreement with data from references, and the affects of the space between two wires or the distance from the wires to the ground on the current of wires could be analyzed. The measured data carried out in the compact anechoic chamber by three-meter method show the validation of the algorithm.

Key words time domain integral equation; dielectric half-space; coupled wire antennas; MOM; MOT

1 引言

近年来,水平放置于有损大地上方两根相同的细线在天线理论和电磁兼容(EMC)应用中备受关注。两根细线相互平行且平行于地面,其中一线受冲激电压源激励。具有这样结构细线的耦合效应在

工程中有广泛的应用,比如:地面穿透雷达、移动通讯、逆散射、多导体传输线、印刷电路板(PCB)以及电磁场对生物组织的刺激作用等^[1]。

大部分学者对细线导体 TD-EFIE 的研究只停留于自由空间或理想半空间^[2,3];Bretones 和 Tijhuis 给出了两线埋于两层介质结构的时域 Hallen

* 收稿日期:2007-03-08.

基金项目:国家自然科学基金项目(50577019);河北省自然基金项目(E2005000561)

☆E-mail:lilin@ncepu.edu.cn

积分方程,但其求解却是在频域进行的所谓“频率步进法”;D. Poljak 等学者对两层介质结构提出了新的时域公式,但方程中包含有代表均匀波动方程的未知函数,其数值解法较为复杂^[1]。

借助镜像理论和反射系数法,建立了水平放置于有损大地上方两线天线耦合的时域电场积分方程组,大地的影响由积分核中加入的 Fresnel 时一空反射系数代替。鉴于两线结构的对称性,方程组解耦后可转化为仅由矢量磁位表达的类似于单根细线导体的 TD-EFIE,并由时域矩量法(MOM)结合时间步进(MOT)程序在时域快速求解。

2 两线天线耦合的时域积分方程组

2.1 自由空间中两线天线耦合的 TD-EFIE

如图 1 所示,两根完全相同的线天线 A 和 B,长为 L,半径为 a,两者相互平行,沿 x 轴水平放置于自由空间中,两线间距离为 d。天线 A 中点受时变电压源激励。沿着天线流动的瞬态电流 I_A 和 I_B 可以通过求解两相互关联的细线系统的 TD-EFIE 来获得,相应方程组可由自由空间单根细线导体的 TD-EFIE 扩展而得

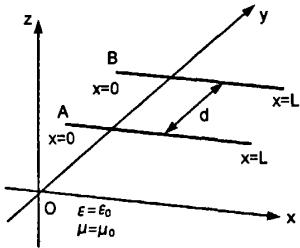


图 1 自由空间中两耦合细线天线

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_a/c)}{4\pi R_a} dx' + \int_0^L \frac{I_B(x', t - R_d/c)}{4\pi R_d} dx' \right\} = -\epsilon \frac{\partial E_{zA}^i}{\partial t} \quad (1)$$

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_B(x', t - R_a/c)}{4\pi R_a} dx' + \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_d/c)}{4\pi R_d} dx' \right\} = -\epsilon \frac{\partial E_{zB}^i}{\partial t} \quad (2)$$

式中, c 为真空中光速; $R_a = [(x - x')^2 + a^2]^{1/2}$; $R_d = [(x - x')^2 + d^2]^{1/2}$ 。另外, E_{zA}^i, E_{zB}^i 分别为天线 A 和表面 B 的入射场强。

2.2 大地视为理想导体时两线天线耦合的 TD-EFIE

如图 2 所示,两天线水平置于大地(理想或有损)上方,天线尺寸及激励方式同图 1,线间距离为 d ,离地高度为 h 。根据镜像理论,在自由空间两线耦合的 TD-EFIE 中加入一积分项代替理想大地的影响,经过扩展后得到大地视为理想导体时两线天线耦合的 TD-EFIE

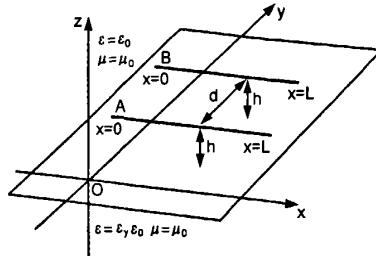


图 2 大地为有损媒质时两耦合细线天线

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_a/c)}{4\pi R_a} dx' - \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_a^*/c)}{4\pi R_a^*} dx' \right\} + \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_B(x', t - R_d/c)}{4\pi R_d} dx' - \int_0^L \frac{I_B(x', t - R_d^*/c)}{4\pi R_d^*} dx' \right\} = -\epsilon \frac{\partial E_{zA}^i}{\partial t} \quad (3)$$

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_B(x', t - R_d/c)}{4\pi R_d} dx' - \int_0^L \frac{I_B(x', t - R_d^*/c)}{4\pi R_d^*} dx' \right\} + \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_a/c)}{4\pi R_a} dx' - \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_a^*/c)}{4\pi R_a^*} dx' \right\} = -\epsilon \frac{\partial E_{zB}^i}{\partial t} \quad (4)$$

各场、源点间的距离为: $R_a = [(x - x')^2 + a^2]^{1/2}$, $R_d = [(x - x')^2 + d^2]^{1/2}$, $R_a^* = [(x - x')^2 + 4h^2]^{1/2}$, $R_d^* = [(x - x')^2 + d^2]^{1/2}$ 。

2.3 大地视为有损媒质时两线天线耦合的 TD-EFIE

两线结构如图 2 所示,考虑土壤损耗时,积分核中需要加入 Fresnel 时一空反射系数^[4-6],以体现损耗大地对耦合天线的附加影响,扩展后积分方程组变为

$$\left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_a/c)}{4\pi R_a} dx' - \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_a^*/c)}{4\pi R_a^*} dx' \right\} +$$

$$\begin{aligned} & \int_{-\infty}^t \int_0^L r(\theta, \tau) \frac{I_A(x', t - R_a^*/c - \tau)}{4\pi R_a^*} dx' d\tau \Big\} + \\ & \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_B(x', t - R_d/c)}{4\pi R_d} dx' - \right. \\ & \left. \int_{-\infty}^t \int_0^L r(\theta, \tau) \frac{I_B(x', t - R_d^*/c - \tau)}{4\pi R_d^*} dx' d\tau \right\} \\ & = -\epsilon \frac{\partial E_A^i}{\partial t} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_B(x', t - R_a/c)}{4\pi R_a} dx' - \right. \\ & \left. \int_{-\infty}^t \int_0^L r(\theta, \tau) \frac{I_B(x', t - R_a^*/c - \tau)}{4\pi R_a^*} dx' d\tau \right\} + \\ & \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I_A(x', t - R_d/c)}{4\pi R_d} dx' - \right. \\ & \left. \int_{-\infty}^t \int_0^L r(\theta, \tau) \frac{I_A(x', t - R_d^*/c - \tau)}{4\pi R_d^*} dx' d\tau \right\} \\ & = -\epsilon \frac{\partial E_B^i}{\partial t} \end{aligned} \quad (6)$$

各未知量定义同前, $r(\theta, t)$ 是 Fresnel 时一空反射系数, 定义如下^[6]

$$r(\theta, t) = A\delta(t) + \frac{4\beta}{1-\beta^2} \frac{e^{-\alpha}}{t} \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^{n+1} n A^n I_n(\alpha t) \quad (7)$$

式中, $\theta = \arctg \frac{|x - x'|}{2h}$, $A = (1 - \beta)/(1 + \beta)$, $\beta = [\epsilon_r - \sin^2 \theta]^{1/2}/(\epsilon_r \cos \theta)$, 并且 $\alpha = \sigma/2\epsilon$, $\delta(t)$ 是狄拉克脉冲, $I_n(t)$ 是 n 阶修正的贝塞尔函数。可见反射系数与半空间的电导率和介电常数均有关, 但是当细线距离半空间分界面足够远时, 式(7)中的指数项随着时间的增加迅速衰减。该距离越大, 镜像细线对于上半空间总辐射场的影响作用越小, 所以工程实际中, 当细线离分界面足够远时, 数值求解过程中只考虑式(7)中的第一项, 也即只考虑介电常数的影响作用。这样的近似明显提高了算法的计算效率, 同时可以节省很多内存。

3 耦合 TD-EFIE 的数值求解方法

3.1 耦合方程组的分解

鉴于两线结构的对称性, 利用线性叠加原理可使得计算量显著减少, 先将总电流 I_A 和 I_B 分别作如下分解^[1]

$$I_A(x, t) = I^+(x, t) + I^-(x, t) \quad (8)$$

$$I_B(x, t) = I^+(x, t) - I^-(x, t) \quad (9)$$

式中, I^+ 和 I^- 分别表示在对称和非对称激励情况下

流过天线 A 和 B 的相应电流。同理, 对激励也需作相应分解^[1]

$$V^+ = \frac{V_A + V_B}{2} \quad (10)$$

$$V^- = \frac{V_A - V_B}{2} \quad (11)$$

对于天线辐射模式, 入射电场仅仅存在于馈源段 Δl_g 内, 入射电场可简单写为如下形式

$$E_z^i = \frac{V_g}{\Delta l_g} \quad (12)$$

以大地视为有损媒质时两天线耦合的积分方程组为例, 该时一空方程组需求解两次, 一次为对称模式(加号), 另一次则为非对称模式(减号), 方程(5)和(6)可分解为如下形式

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I^+(x', t - R_a/c)}{4\pi R_a} dx' - \right. \\ & \left. \int_{-\infty}^t \int_0^L r(\theta, \tau) \frac{I^+(x', t - R_a^*/c - \tau)}{4\pi R_a^*} dx' d\tau \right\} + \\ & \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I^+(x', t - R_d/c)}{4\pi R_d} dx' - \right. \\ & \left. \int_{-\infty}^t \int_0^L r(\theta, \tau) \frac{I^+(x', t - R_d^*/c - \tau)}{4\pi R_d^*} dx' d\tau \right\} \\ & = -\epsilon \frac{V^+}{\Delta l_g} \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} & \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I^-(x', t - R_a/c)}{4\pi R_a} dx' - \right. \\ & \left. \int_{-\infty}^t \int_0^L r(\theta, \tau) \frac{I^-(x', t - R_a^*/c - \tau)}{4\pi R_a^*} dx' d\tau \right\} - \\ & \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} - \frac{1}{c} \frac{\partial^2}{\partial t^2} \right] \left\{ \int_0^L \frac{I^-(x', t - R_d/c)}{4\pi R_d} dx' - \right. \\ & \left. \int_{-\infty}^t \int_0^L r(\theta, \tau) \frac{I^-(x', t - R_d^*/c - \tau)}{4\pi R_d^*} dx' d\tau \right\} \\ & = -\epsilon \frac{V^-}{\Delta l_g} \end{aligned} \quad (14)$$

假设 $t \geq 0$ 时刻天线两端点电流已知, 即

$$I^\pm(0, t) = I^\pm(L, t) = 0 \quad (15)$$

以及天线在 $t = 0$ 时刻以前不受激励作用, 即

$$I^\pm(x, 0) = 0 \quad (16)$$

则方程组(13)、(14)可以视为初值问题来处理。

3.2 耦合方程组的求解

时域电场积分方程方法实质上可以理解为仅仅比频域上的积分方法多一个时间维, 其求解过程也和频域积分方法类似。传统求解采用时域 MOM, 但其有诸多缺点^[7], 本文采用 MOM 结合 MOT 程序求

解。

先介绍自由空间中单根细线导体 TD-EFIE 的数值求解方法^[2], 椭合方程组(13)、(14)的解法可作相应扩展而得。假设自由空间中单根细线导体沿 x 轴水平放置, 长为 L , 半径为 a , 其 TD-EFIE 为:

$$\frac{\partial^2 A_x}{\partial x^2} - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 A_x}{\partial t^2} = -\frac{1}{c^2} \frac{\partial E_x^i}{\partial t} \quad x \in (0, L) \quad (17)$$

式中, E_x^i 是入射电场 E^i 的 x 方向分量, $A_x(x, t)$ 为

$$A_x(x, t) = \mu \int_{x=0}^L \frac{I(x', t - \frac{|x-x'|}{c})}{4\pi \sqrt{(x-x')^2 + a^2}} dx' \quad (18)$$

采用 MOM 和 MOT 相结合求解方程(17)。用 N 个匹配点 x_1, x_2, \dots, x_n 将细线均匀分为 $N+1$ 个间隔为 Δx 的小段, 时间用间隔 Δt 来划分, 从而得到 $t_n = n\Delta t, n = 0, 1, 2, \dots, \infty$ 。在每一小段上, 选取脉冲函数作为展开基函数, 当 $x_k - \frac{\Delta x}{2} \leq x \leq x_k + \frac{\Delta x}{2}$ 时, $f_k(x) = 1$, 当 x 取其他值时, $f_k(x) = 0$ 。从而得到电流的近似表达式

$$I \approx \sum_{k=1}^N I_k(t) f_k(x) \quad (19)$$

式中, $I_k(t)$ 是第 k 段上未知电流系数。

运用点匹配, 记 $A_{m,n} = A_x(x_m, t_n)$, 式(17)中对空间和时间的二阶微分用中心差分近似。利用 MOT 算法, 可以将当前时刻的电流用先前时刻的电流和激励表达

$$I_{m,n} K_{m,n} = -PA_{m,n} + 2A_{m,n-1} - A_{m,n-2} + (c\Delta t)^2 F_{m,n-1} + \left[\frac{c\Delta t}{\Delta x} \right] [A_{m+1,n-1} - 2A_{m,n-1} + A_{m-1,n-1}] \quad (20)$$

式中, $F_{m,n} = \frac{1}{c^2} \frac{\partial E_x^i(x_m, t_n)}{\partial t}$

$$PA_{m,n} = \sum_{k=1}^N I_k(t_n - \frac{|x_m-x_k|}{c}) K_{m,k}, \quad k \neq m \quad (22)$$

$$A_{m,n} = \sum_{k=1}^N I_k(t_n - \frac{|x_m-x_k|}{c}) K_{m,k} \quad (23)$$

$$K_{m,k} = \mu \int_{x'=x_k-\Delta x/2}^{x_k+\Delta x/2} \frac{dx'}{4\pi \sqrt{|x_m-x'|^2 + a^2}} \quad (24)$$

依照叠加原理, 两天线的原始耦合结构可以转化为两单根天线的模式, 从而可用前已熟知的数值求解程序快速求解。利用矢量磁位 $A_x(x, t)$ 和 $I(x', t')$ 电流的转换

关系(见式(18)), 可将式(13)和(14)用 $A_x(x, t)$ 表达, 其数值解法类似于式(19)~(24)表示的求解过程。需要说明的是, 为简化运算, 反射系数只取了脉冲项, 所以实际计算的是电介质半空间中两耦合天线的瞬态响应问题。

4 计算实例

两根完全相同且相互平行的线天线 A 和 B 水平置于电介质半空间中($\epsilon_r = 10$), 线长 $L = 1$ m, 半径 $a = 2$ mm, 线间距 $d = 0.5$ m。天线 A 的中点受高斯脉冲电压源 $V(t) = V_0 \exp(g^2(t-t_0)^2)$ 激励, 其中, $V_0 = 1$ V, $g = 2 \times 10^9$ s⁻¹, $t_0 = 2 \times 10^{-9}$ s, 天线离地高度 $h = 0.25$ m。图 3 给出了天线 A 、 B 的中点电流随时间的变化波形, 与文献[4]所用的时域有限元积分方程法(FELEM)以及文献[8]的计算结果吻合。

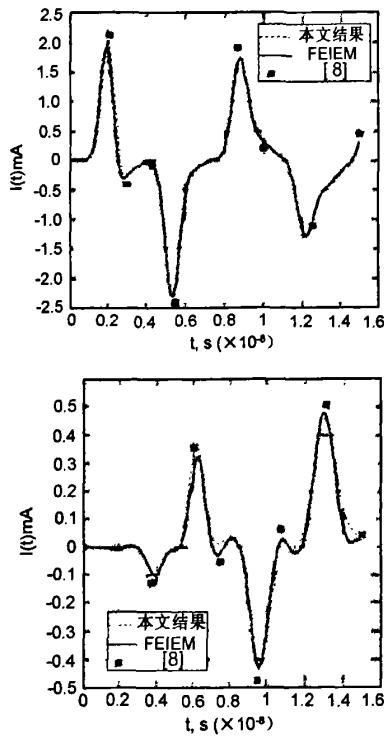


图 3 大地有损时天线 A 和 B 中点电流

天线参数和激励形式同前两例, 图 4、5 分别给出了在距离地面不同高度以及两线间距变化时天线 A 和 B 中点电流随时间的变化波形。通过观察得出寄生天线 B 上的瞬态电流受反射半空间(大地)的影响作用比较大, 两线之间的距离 d 越小、两线离分界面的距离 h 越大, 有损半空间对真实结构瞬态响应的影响越小。

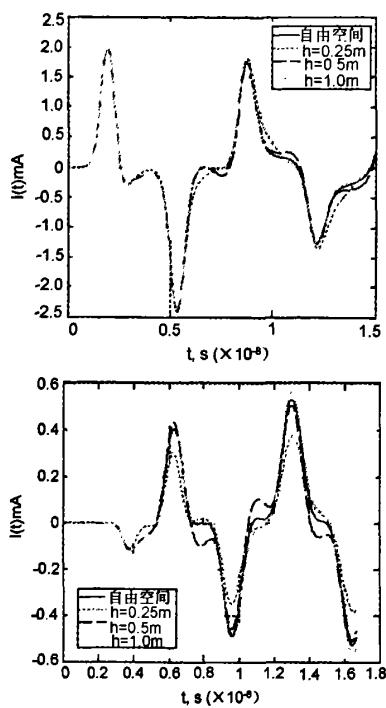


图4 距离地面不同高度时天线 A 和 B 中点电流

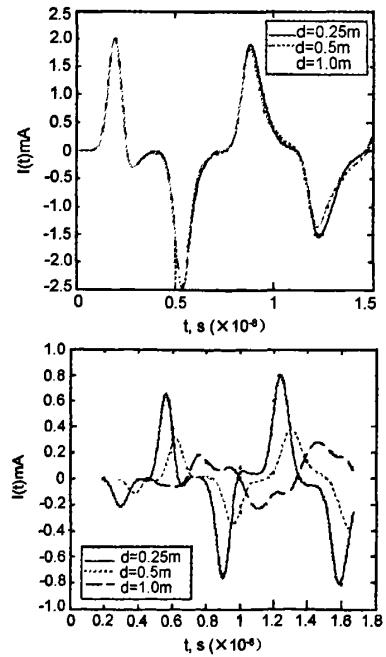


图5 两线间距变化时天线 A 和 B 中点电流

5 三米法电波暗室实验

实验设备:夏弗纳三米法电波暗室 IMPACT2,

IFR 高频信号源 2023A, 夏弗纳射频功率放大 CBA9413A, 夏弗纳宽带天线 CBL6140, 夏弗纳场强探头 EMC20。

选取一根长为 0.5 m, 半径为 0.9 mm 的均匀细铜线水平置于暗室中并受水平入射平面波照射, 分别用电场探头测量铜线中点正后方 0.5 m 处和 1.0 m 处的电场强度(图 6), 并与本文方法计算结果对比(图 7)。

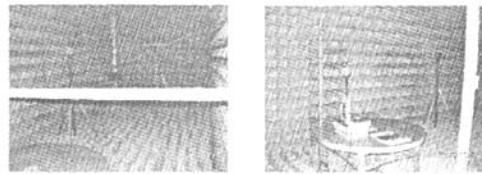


图6 三米法电波暗室内的实验设备

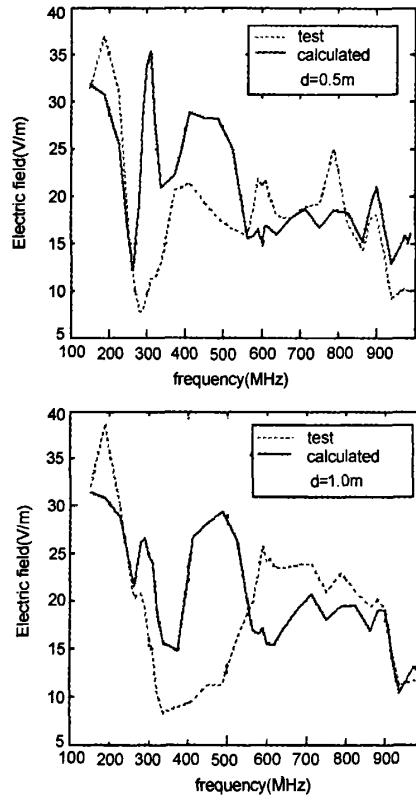


图7 实验结果与计算结果对比

由图 7 可见在高频段两者吻合较好, 但中间分频段产生很大畸变, 原因可能如下:

(1) 电波暗室内电波吸波材料的反射特性、测量系统中所用电缆的传输质量、电场探头的引入所带来的影响等引起的误差;

(2)暗室本身存在谐振频率,当测量频率接近该谐振频率时,暗室的谐振使其场分布结构复杂,场的起伏加大,从而产生较大差异。特别地,为使铜线所受激励均匀,将其置于暗室中心轴线上,更易引起谐振;

(3)由于暗室尺寸有限,天线发射的电磁波到达铜线时并不是严格的均匀平面波;

(4)随着频率的升高,吸波材料的性能改善,所以高频部分结果误差较小。

6. 结论

依照自由空间中单根细线导体的TD-EFIE及其数值解法,提出了不同媒质情况下两水平放置线天线相互耦合的时域电场积分方程组,将其解耦转化为单根天线模式后采用MOM结合MOT程序快速求解。该算法结构简单,易于实现,可以方便地应用于工程实际当中。针对电介质半空间中线天线中点电流的计算实例与文献结果较为吻合,并可从中看出天线离地高度以及两线间距变化时半空间对该瞬态响应的影响规律。由于实验条件的限制,在三米法电波暗室中进行的实验在低频段有较大误差,但高频部分的实验结果在一定程度上可以验证算法的有效性。

参考文献

- [1] D Poljak, C Y Tham. Integral Equation Techniques in Transient Electromagnetics [M]. Southampton, Boston: WIT Press, 2003.
- [2] S M Rao. Transient Electromagnetics [M]. London: Academic Press, 1999.
- [3] D Poljak, V Roje. Time domain calculation of the parameters of thin wire antennas and scatterers in a half-space configuration [J]. IEE Proc.-Microw. Antennas Propag., 1998, 145(1): 57-63.
- [4] D Poljak, V Roje. Transient response of coupled wires in a half-space configuration [C]. IEEE Int. Symposium on Electromagnetic Compatibility, 1999, (1): 456-461.
- [5] D Poljak, E K Miller, C Y Tham. Time-domain energy measures for thin wire antennas and scatterers [J]. IEEE Antenna's and Propagation Magazine, 2002, 44(1): 87-95.
- [6] Paul R. Barnes. On the direct calculation of a transient plane wave reflected from a finitely conducting half-space [J]. IEEE transactions on electromagnetic compatibility, 1991, 33(2): 90-96.
- [7] 谢秦川, 刘顺坤, 陈雨生. 细线结构时域电场积分方程的有限差分求解 [J]. 电波科学学报, 2000, 15(1): 45-48.
Xie Q C, Liu S K, Chen Y S. A finite difference method for the solution of time domain electric field integral equation of thin wires structures [J]. Chinese Journal of Radio Science, 2000, 15(1): 45-48.
- [8] Brettones, A R. Transient excitation of two coupled wires over an interface between two dielectric half-spaces [J]. Radio Sci., 1997, 32(1): 25-41.

- 李琳 (1962—),男,河北人,教授,博士生导师,研究方向为电磁场数值计算、电力系统电磁兼容。

李丽娟 (1981—),女,贵州人,硕士生,研究方向为电力系统电磁兼容。

E-mail: lilijuan_zz@163.com

高长征 (1978—),男,河北人,博士生,研究方向为电力系统电磁兼容。

E-mail: emc_gaozheng@yahoo.com.cn

如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训(www.edatop.com)专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…



HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



关于易迪拓培训:

易迪拓培训(www.edatop.com)由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网(www.mweda.com)，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>