

$$S_i = (\vec{a}_{E_i}^0 \times \vec{n}_i) \cdot \vec{t}_i \quad (6)$$

$$\text{则 } Y_{12} = Y_{21} = k^2 Y_0 / (2\pi j) \iint \iint_{S_1 S_2} dS_1 dS_2 E_2(\vec{r}_2) E_1(\vec{r}_1) \cdot [S_b f_b H_{bb} + f_i S_i H_{ii}] \quad (7)$$

$$\text{式中 } f_b = (\vec{a}_{E_2}^0 \times \vec{n}_2) \cdot \vec{b}_2 \quad (8)$$

$$f_i = (\vec{a}_{E_2}^0 \times \vec{n}_2) \cdot \vec{t}_2 \quad (9)$$

$$\vec{a}_{E_i}^0 = [\cos(\delta\varphi_i)] \vec{a}_\varphi + [-\sin(\delta\varphi_i)] \vec{a}_z \quad (10)$$

$$\text{而 } (\vec{a}_{E_i}^0 \times \vec{n}_i) \cdot \vec{b}_i = \vec{t}_i \cdot \vec{a}_{E_i}^0 \quad (i=1,2) \quad (11)$$

$$(\vec{a}_{E_i}^0 \times \vec{n}_i) \cdot \vec{t}_i = -(\vec{a}_{E_i}^0)^\varphi \vec{t}_i + (\vec{a}_{E_i}^0)^z \vec{t}_z \quad (12)$$

此外, $(\vec{a}_{E_i}^0)^\varphi$ 和 $(\vec{a}_{E_i}^0)^z$ 为 $\vec{a}_{E_i}^0$ 的 φ 和 z 分量。而 t_φ 和 t_z 分别为 $t = t_i$ ($i=1,2$) 的 φ 和 z 分量。

$$\text{而 } H_{bb} = [(1 - j/kt) V(\xi) - U(\xi)] / (kt)^2 + j\xi V'(\xi) + j\xi t g^2 \theta U'(\xi) \mid G(kt) \quad (13)$$

$$H_u = j \{ V(\xi) + [1 - 2j/(kt)] U(\xi) + j\xi U'(\xi) \} G(kt) / (kt) \quad (14)$$

$$\text{式中 } G(kt) = e^{-j\theta}/(kt) \quad (15)$$

$$\xi = \{0.5[\cos^2 \theta / (kt)^2]\}^{1/3} \quad (16)$$

式中, θ 为射线方向矢量与 \vec{a}_φ 的夹角, a 为圆柱体的半径。

设 Q' 的圆柱坐标为 (a, φ_1, z_1) , Q 的圆柱坐标为 (a, φ_2, z_2) , 则

$$\cos \theta = a(\varphi_2 - \varphi_1) / t \quad (17)$$

$$t = \sqrt{[a(\varphi_2 - \varphi_1)]^2 + (z_2 - z_1)^2} \quad (18)$$

$$\vec{t} = t_\varphi \vec{a}_\varphi + t_z \vec{a}_z \quad (19)$$

$$t_\varphi = a(\varphi_2 - \varphi_1) / t \quad (20)$$

$$\text{则 } t_F = (Z_2 - Z_1) / t \quad (21)$$

图 2 中 $\delta\varphi$ 为本地坐标系的 X 轴与圆柱坐标系的 z 轴之间的夹角。

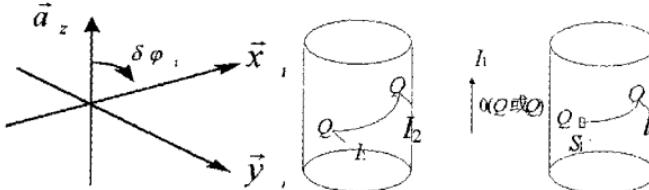


图 2 磁流源的本地坐标

b. 电流源间的互耦 Z_{12} 或 Z_{21} 的计算
计算方法与磁流源类似,

$$Z_{12} = Z_{21} = \int_{I_2} \vec{j}_2^* \cdot \vec{E}(j_1^*) dl_2 \quad (22)$$

式中 $\vec{j}_i^* = \vec{n}_i \cdot \vec{j}_i^*(l_i)$, $\vec{j}_i^*(l_i)$ 为电流源 j_i^* 的分布函数 ($i=1,2$), 而

$$\vec{E}(\vec{j}_i^*) = \int_{I_1} k^2 z_0 E_{nn} \vec{j}_1^* \vec{n}_2 dl_2 / (2\pi j) \quad (23)$$

z_0 为自由空间的本征阻抗

$$\text{则 } Z_{12} = Z_{21} = k_2 z_0 / (2\pi j \iint_{l_1 l_2} dl_2 dl_1 J_2(l_2) J_1(l_1) |E_{mn}|) \quad (24)$$

$$\text{式中 } E_{mn} = \{ [1 - j/(kt \cos^2 \theta)] F_h(\zeta, y_1, y_2) + [j t g^2 \theta / (kt) - 1/(kt)^2] F_s(\zeta, y_1, y_2) \} G(kz) \quad (25)$$

$$\text{这里 } F_h(\zeta, y_1, y_2) = V(\zeta) - j/(4\zeta) V_1(\zeta) (y_1^2 + y_2^2) \quad (26)$$

$$F_s(\zeta, y_1, y_2) = U(\zeta) + j/(2\zeta) [U'(\zeta) - 3/(2\zeta) U(\zeta)] (y_1^2 + y_2^2) \quad (27)$$

$$y_i = k l_i [(2 \cos^2 \theta / (ka))^{1/3}] \quad (28)$$

c. 电流源的自耦 Z_{11} 的计算

设电流源的分布函数为

$$J^p(z) = a_z \sum_{n=1}^N \frac{\sin[k(\Delta - |z - z_n|)]}{\sin(k\Delta)}, |z - z_n| \leq \Delta \quad (29)$$

式中, N 为奇数, $\Delta = l/(N+1)$, l 为线电流源的长度, $z_m = m\Delta$ 。

上述电流源产生的轴向电场强度为

$$\text{式中 } R_0 = \sqrt{a^2 + (z - z_n)^2}, R_1 = \sqrt{a^2 + (|z - z_n|) + \Delta)^2}$$

$$R_2 = \sqrt{a^2 + (|z - z_n|) - \Delta)^2}, a \text{ 为线电流源的半径。}$$

$$\text{则 } \begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_p \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \cdots & Z_{1N} \\ Z_{11} & \cdots & Z_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{N1} & \cdots & Z_{NN} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 1 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (30)$$

式中 $\rho = (N+1)/2$, 则

$$Z_{mn} = \frac{30}{j \sin^2(k\Delta)} \int_{E_n - \Delta}^{E_n + \Delta} [k(\Delta - |z - z_m|)] \left\{ \frac{2 \cos(k\Delta)}{R_0} e^{-jkR_0} - \frac{e^{-jkR_1}}{R_1} - \frac{e^{-jkR_2}}{R_2} \right\} dz \quad (31)$$

$$\text{而 } Z_{11} = 1/I_p \quad (32)$$

d. 磁流源的自耦 Y_{11} 计算

根据面磁流源与线电流源的对偶原理, 矩形磁流源的自导纳 Y_{11} 与其对偶线电流源的自阻抗 Z_{11} 满足如下关系:

$$\frac{|Y_{11}|}{\text{矩形}(l \times w)} = \frac{|Z_{11}|}{\text{圆柱}(l \times a)} / 7200\pi^2 \quad (33)$$

式中, l, w 为矩形的长与宽, l, a 为圆柱的长与半径, 且 $a = w/4$ 。

三、研究成果

(一) 飞行器天线间隔度预测软件及说明

本课题研究共开发了三套软件包: DLIOS 程序、YSLSF 程序和 IPAM 程序。DLIOS 程序主要用于计算圆柱体上同一横截面上的多付振子天线之间和多付横向缝隙天线之间的间隔度; YSLSF 程序主要用于计算锥-柱复合体上纵向直缝天线之间和纵向赋形缝天线之间的间隔度; IPAM 程序主要用于计算圆柱体上电流源天线之间、磁流源天线之间, 以及电流源与磁流源之间

的隔离度。

(二) 理论分析数据与实测数据如表 1 所列

表 1 部分计算机预测与实测数据表

项目	控制仪天线间 同频干扰耦合度	引信天线间 同频干扰耦合度	两遥测天线对控制仪 天线的干扰耦合度
预测数据	- 86.17	~ 43.48	~ 76.86
实测数据	- 85.00	~ 44.85	~ 80.83
误差	- 1.17	0.36	3.97

表 1 表明,理论分析和实验数据基本吻合,证明本课题研究的基本分析方法、建立起的数学模型和预测程序是可信的。

致谢 参加本课题研究的还有赵姚同、金豪等同志。

参考文献

1. 毛廉侯、方振民。飞行器天线工程设计指南。国防工业出版社,1989年2月。
2. 白同云、赵姚同。电磁干扰与兼容。国防科技大学出版社,1991年2月。

作者简介

薛梦麟 航天总二院二部高级工程师,1986年毕业于成电,1989年获硕士学位,现从事电磁兼容和天线的研究和设计工作。

毛廉侯 航天总二院二部研究员、兼职教授,1958年毕业于哈军工,现从事飞行器天线理论、设计及电磁兼容的研究工作。

一种新型抗干扰器件的研制

秦 亮

中日合资上海三基电子工业有限公司 上海 200063

摘要 本文着重介绍了一种抗干扰的新思路及在该思路指导下所开发的新型抗干扰产品。

关键词 抗干扰 器件 群脉冲 影响测试方法

近年来,国际上对电气电子产品的电磁兼容性要求越来越高,产品电磁兼容性问题开始引起国内各方面的重视,国家及各行业的电磁兼容标准相继颁布。但国内企业对该方面的研究投入较少、起步较晚,这造成很多产品通过相应标准的难度较大,尤其有较多的客户反映产品很难通过 IEC1000-4-4 的标准,即产品抗快速瞬变脉冲群干扰的能力较差。

我公司多年从事电磁兼容技术的研究,在该方面做了较多的工作,积累了大量的经验,现已研制开发了一种新型的抗干扰器件——群脉冲对抗器/KEFT 系列。

一、工作原理

IEC1000-4-4 是关于电快速瞬态脉冲的测试标准,它是模拟电网中的为数众多的接触器、继电器等一类电感性负载在开关过程中所造成的低能量、高频率、前沿陡峭的脉冲串干扰。标准中所要求的波形参见图 1,上升沿为 5ns,半波宽 50ns,出现的频率为 2.5kHz 与 5kHz 两档,如此又陡又窄的脉冲波其谐波频率可达 100MHz 左右。而普通的电源滤波器的高衰耗区在 400kHz~3MHz 之间,参见图 2,对于如此宽的频谱的骚扰信号,普通的低通反射式滤波器便无法起抵制骚扰的作用。

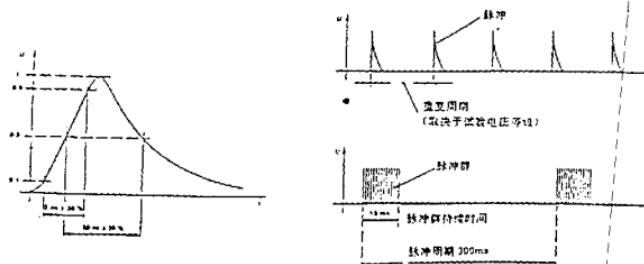


图 1 IEC1000-4-4 标准波形定义

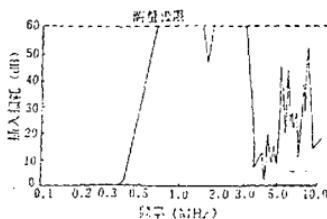
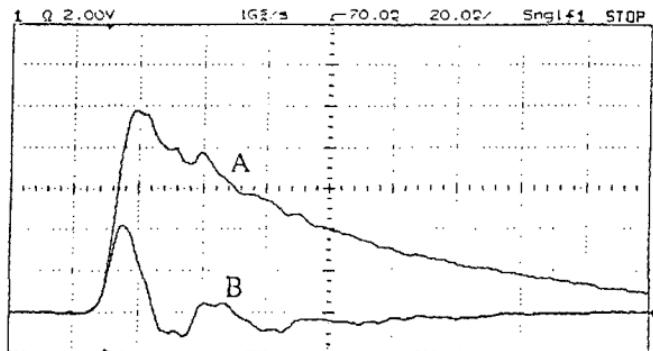


图 2 低通反射滤波器的损耗特性

普通的电源滤波器是由一些无损耗的电抗元件构成,能阻止有用频带以外的其它信号通过,并把它反射到信号源。但当它与信号源不匹配时,一部分有用的信号将被反射,重新返回信号源,这样反而导致干扰电平的增加而不是减小。而群脉冲干扰对抗器则克服了电源滤波器的上述缺点,采用了吸收与反射相结合的原理。

吸收部分采用从日本 TDK 公司定制的专用铁氧体材料以及美国 PROTEK 公司生产的新型半导体器件组成的复合结构。铁氧体由于其自身的特点,即对直流或低频信号几乎没有功率损耗,而对于 1MHz 以上的高频噪声则有很强的损耗作用,并将这些能量以热的形式释放、而不是反射回信号源,也不是辐射出去。在用于群脉冲对抗器的铁氧体材料的定制中,我们要求有很大的饱和磁通密度,并且,单位体积损耗与饱和磁通密度比要求要足够高,从而使得该器件在体积足够小的情况下能起到较强的干扰抑制作用。

半导体器件吸收部分,我们采用 PROTER 公司的吸收器件,它具有极高的响应速度,实测值响应时间均小于 1ns,图 3 是在 IEC1000-4-4 三级标准下,在波形输出端未加该器件所测得的波形与并联该器件后所测得波形。由图看出,这对于 5ns 上升沿的脉冲串的削幅起着重要作用,从而减弱了干扰的能量。



a. 未并该半导体器件 b. 并该半导体器件

a. 未并该半导体器件 b. 并该半导体器件

图 3 EFTB 输出波形

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>