

集群电子设备电磁兼容性评估方法*

严义君**

杨显清

(信息产业部第二十八研究所五部 南京 210014) (电子科技大学微波工程系 成都 610054)

【摘要】对大型信息系统电子设备间的电磁干扰预测分析是个很复杂的问题,其预测的干扰对系统电磁兼容性形成的影响具有随机性,给实际工程的分析应用带来了困难。该文基于系统间电磁干扰预测分析的结果,提出了集群电子设备间电磁兼容性评估的三种方法,研究了具体电磁环境下的评估模型。

关键词 电磁兼容性; 系统法; 集群法; 电磁环境; 电磁干扰

中图分类号 TM155

评估系统中各电子设备是否实现电磁兼容性(EMC),最直接的方法是电磁兼容性试验。采用试验手段可以对系统进行可信度评价,查出破坏电子设备间电磁兼容性的具体原因,并指出系统总体设计方案的缺点。但是,评估系统电子设备电磁兼容性的试验方法在很多情况下无法预测系统设备的变更和变址,使得试验所得的数据与最后的情况不符,而且时间长、费用高。

采用计算法评价系统间电磁兼容性能够克服上述的局限,但计算机的预测评估需要拟定相应的方法并建立计算模型。这些模型包括电子设备在宽频带内影响电磁兼容性的特性、产生和传播无线电波的条件、影响大批电子设备(其中包括不固定的干扰)的特性和程度等可信的原始数据。所以,在实践中区域集群电子设备间的电磁兼容性评估应采用试验与计算结合的方法。用试验的方法确定影响电子设备电磁兼容性技术特性的原始数据,然后用计算方法进行电磁兼容性的评估和定义区域集群电子设备电磁兼容性指标的数量值^[1,2]。

1 区域集群电子设备电磁兼容性评估方法

电磁兼容性评估的计算类型可分为成对(对偶)评估、集群(成组)评估和综合(总体)评估。成对评估方法是研究区域集群中每一个电子设备对另一个电子设备产生的干扰作用;集群评估方法是研究区域集群电子设备的一些或全部的组合对集群中每一个电子设备的干扰;综合评估办法是计算集群里所有电子设备对区域集群电子设备整体功能质量的干扰影响,以及计算电子设备之间的工作联系,是对区域集群电子设备兼容性的系统评估。

电子设备功能质量评估的形式是另一个特征,根据这个特征可以将电磁兼容性评估方法分成确定评估和概率评估。对电子设备功能质量进行概率评估时要确定概率,即在给定的电磁环境(EME)条件下,电子设备按要求质量进行工作的概率。确定评估法则必须查明能否按要求的质量完成电子设备的功能任务。

EMC的评估方法还可按EME说明书的性质分为确定表示和概率表示。EME的概率的说明书要预先计算EME的参数(功率、功率流密度或者是非预料干扰场的电压,以及相互干扰的时间特性,如时间长度、脉冲重复频率等),这些参数以概率或概率密度的随机数形式来表示^[3,4]。EME的确定描述,其参数以确定量的形式(非随机的)计算。

1.1 电子设备电磁兼容性的成对评估

在评估集群电子设备EMC采用成对评估和确定说明EME和电子设备功能质量的方法时,集群

2001年3月30日收稿

* 总装备部预研基金资助项目

** 男 32岁 大学 工程师

电子设备兼容性的结论依据区域集群里的所有电子设备组的兼容性,实际上需要根据每个电子设备的功能质量指标 Q_i 来得出集群电子设备EMC的结论。如果

$$Q_i = 1 \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (1)$$

式中 N 为电子设备数,则认为集群电子设备EMC是有保证的。

对电子设备功能质量的评估,首先要计算不可预见的无线电干扰 P_{ij} (P_{ij} 是第 j 个发射设备对第 i 个敏感设备的干扰),然后同敏感设备的接收机灵敏度 P_{isnr} 比较。第 i 个电子设备的功能质量指标为

$$Q_i = \begin{cases} 1 & \text{当 } P_{ij} \leq P_{isnr} \\ 0 & \text{当 } P_{ij} > P_{isnr} \end{cases} \quad (2)$$

对电子设备功能质量进行随机评估时,在已知的EME条件下,第 i 个电子设备的 Q_i 可利用电子设备功能质量指标同干扰/噪声比的关系式来确定。当信号/噪声比门限值 W_0 为已知时,第 i 个电子设备在第 k 个EME条件下的功能质量为

$$w_i(k) = \Phi_i \left(\frac{P_s}{P_{oi}} \right) \left/ \left(1 + \frac{P_{ij}}{P_{oi}} \right) \right. \quad (3)$$

式中 P_{ij} 为第 i 个电子设备接收机入口的干扰功率; P_{oi} 为第 i 个电子设备本身的噪声功率。 Φ_i 为

$$\Phi_i = \begin{cases} 1 & \text{当 } P_{ij} / P_{oi} \geq W_0 \\ 0 & \text{当 } P_{ij} / P_{oi} < W_0 \end{cases} \quad (4)$$

当采用EME概率模型分析时,对于第 i 个电子设备的功能质量,针对所有电磁情况,用违反EMC的平均概率来评估

$$W_i = \sum_{k=1}^K P_k w_i(k) \quad (5)$$

式中 P_k 是电磁环境的第 k 个状态发生的概率, K 是电磁环境可能的状态数。

当评估EMC时,可认为电子设备的工作时间、工作频率值、干扰信号的辐射和接收方向是主要的因素,这些因素带有随机性质。确定电磁环境的第 k 个状态的概率为

$$P_k = P^f P^t P^Q \quad (6)$$

式中 P^f 为频率重叠的概率; P^t 为瞬时重叠的概率; P^Q 为空间重叠的概率。

1.1.1 频率重叠概率的计算

对于第 i 个和第 j 个电子设备频率均匀分布情况,若第 i 个电子设备和第 j 个电子设备分别工作在 $(f_B - f_H)_{i,j}$ 频率带中,并在频带 $(f_\beta - f_\alpha)$ 中重叠,则频率重叠的概率为

$$P^f = P_1 P_2 \quad (7)$$

式中 $P_1 = \frac{(f_\beta - f_\alpha)^2}{(f_B - f_H)_i (f_B - f_H)_j}$ 为第 i 路接收通道和第 j 路干扰信号的频率处于频带 $(f_\beta - f_\alpha)$ 内的

概率; $P_2 = \frac{\Delta f_{gon}}{|f_\beta - f_\alpha|}$ 是电子设备调谐好的工作频率 f_j 在 $(f_\beta - f_\alpha)$ 内,且频率偏差的大小

$\Delta f = |f_i - f_j|$ 不超出允许值 Δf_{gon} 的概率。

1.1.2 时间重叠概率的计算

假设知道电子设备一次工作和它们间歇期间概率密度分布规律,并依据脉冲电流的基本理论推导出来,对于无线电通信设备而言,间歇分布的指数定律在大多数情况下成立。在该场合

$$P' = 1 - \bar{\theta}_j \bar{Z}_j \exp\left(-\frac{t_k}{\bar{Z}_j}\right) \quad (8)$$

其中 $\bar{\theta}_j = 1/(\bar{Z}_j + \bar{t}_j)$ ，为第 j 个电子设备发射机开机的平均频率； \bar{Z}_j 、 \bar{t}_j 为第 j 个电子设备开机期间的间隔的平均值和时间长度； t_k 为第 i 个电子设备受干扰的工作时间。

无线电探测设备在多数场合是不间断的工作，所以适合于本类型的电子设备。如果电子设备的工作周期重合，则 $P' = 1$ ；如果电子设备的工作周期不重合，则 $P' = 0$ 。

1.1.3 空间重叠概率的计算

空间重叠与电子设备相互的位移和天线扫描有关。空间重叠概率依据具体原因分析来计算，这些原因引起空间重叠的随机特性。在实践中经常发生在天线扫描时确定 P^Q 的问题。在计算带扫描天线的电子设备的 P^Q 时，天线方向图通常用几个电平(天线方向图的主瓣电平、副瓣电平、旁瓣电平或尾瓣电平)来近似。当电子设备的两个天线随机独立地扫描时，空间重叠概率有以下几种情况：

第 i 个电子设备和第 j 个电子设备的天线方向图主瓣发射和接收的概率

$$P_{ijm} = P_{im} P_{jm} \quad (9)$$

第 i 个电子设备的天线方向图主(副)瓣跟第 j 个电子设备的天线方向图副(主)瓣重叠的概率

$$P_{ijms} = P_{im(s)} P_{js(m)} \quad (10)$$

第 i 个电子设备和第 j 个电子设备的天线方向图副瓣(旁瓣)重叠的概率

$$P_{ijs} = P_{is} P_{js} \quad (11)$$

式中 P_{im} 、 P_{is} 分别为电子设备 i 的天线主瓣和副瓣朝向电子设备 j 的天线概率。

对在方位平面(在 X - Y 范围)和测角平面(在 Y - Z 范围)内扫描的电子设备

$$P_{i(j)}^Q = \frac{\theta_{i(j)}}{360} \cdot \frac{\varphi_{i(j)}}{90} \quad (12)$$

式中 $\theta_{i(j)}$ 为电子设备 $i(j)$ 在水平平面上的天线波束宽度； $\varphi_{i(j)}$ 为电子设备 $i(j)$ 在垂直平面上的天线波束宽度。

1.2 集群电子设备EMC的成组评估

集群电子设备EMC的成组评估是计算几个电子设备不可预料的无线电干扰的总和对第 i 个敏感设备的影响。由于不同类型的干扰同时影响敏感接收设备的功能质量，因而计算很复杂，但可把成组评估简化为成对评估：从不可预见的干扰中分解并计算主要的干扰，选取组中使电子设备性能变得最坏的干扰，根据干扰类型及其参数，用等效干扰来代替总的不可预见的干扰。如果干扰由连续信号源产生并只影响敏感设备接收的主选择性或辅助性接收信道，则它们的影响可以认为是等效于带有下列功率的连续干扰的作用

$$P_{iSUM} = \sum_{n=1}^N P_{in} \quad (13)$$

式中 N 为电子设备数； P_{in} 是第 n 个干扰源对第 i 个敏感设备的干扰。

在脉冲干扰或脉冲干扰加连续干扰影响条件下，对电子设备的影响结果不能减化为等效干扰。总的干扰功率等于各种干扰功率之和，需要非常精细的分析，既要考虑干扰的属性，还要考虑接收机灵敏度。实践分析中，电子设备的成组评估通常采用逐个检查电子设备组中所有的电子设备对被评估的电子设备的影(对偶评估)，然后再研究两站在不同组合情况下的影响。雷达站的集群电子设备之间所产生的不可预见干扰，是集群电子设备研究并保证电磁兼容性的最具代表性的一个情况，由于雷达站布局的高密度和使用几乎相同的频段使得雷达系统间不兼容^[5]。

1.3 电子设备电磁兼容性的综合评估

利用上述区域集群电子设备电磁兼容性的局部指标,能够评估电磁兼容性状态对电子设备功能质量特性的影响。但是,集群系统要完成提出的电磁兼容性评估任务,要求将集群电磁兼容指标作为整体来研究。

区域集群的功能质量指标一般可表示为一个函数,此函数依赖于单个的电子设备的功能质量 W_i 、电磁环境状态 P_k 以及外部功能条件 Y_n , 即

$$M = f(W_i, P_k, Y_n) \quad (14)$$

据此,在进行EMC总体评估时,为保证集群电子设备的电磁兼容性,集群的质量指标采用在不可预见干扰的影响下,集群系统中受干扰而降低功能质量程度的数量。这个数量称为保持区域集群电磁兼容性的功能质量系数

$$K_{EMC} = \frac{M}{M_0} \quad (15)$$

式中 M_0 是在保证区域集群中所有电子设备电磁兼容时,区域集群的功能质量。在这个条件下,电磁兼容性的判别标准满足不等式

$$K_{EMC} \geq K_{EMC0} \quad (16)$$

集群电子设备EMC的综合评估步骤由两个阶段组成:1)用数学模型和局部方法计算电子设备的功能质量以及能量和信息指标,这些指标是在电磁环境的外部功能条件下实现;2)利用集群的功能模型来确定式(14)的指标,模型的输入参数是电子设备的功能质量指标,然后,利用 M 值进行集群电子设备EMC的综合指标计算,见式(15)。

2 结束语

对集群电子设备EMC可能的评估方法进行的研究和分析表明,EMC的评估是一个非常复杂的问题。实物试验的方法是最直接的方法,是评估的主要方法之一。利用这种方法可以得到关于集群电子设备EMC状态的最可信的信息。由于组织和试验的复杂性,进行系统EMC的测试评估需要大量试验,要耗费大量的时间和设备,使试验的可能性受到限制,因此对电子设备EMC评估必须借助计算方法。

集群电子设备EMC评估的主要方法是成对评估法、集群评估法和综合评估法。基于计算的评估方法,必须根据集群组成(电子设备的型号)、彼此的位置关系、工作特性和电子设备相互影响的半径、电子设备所具有的EMC技术特性和对不可预见的干扰的抗干扰能力等数据,用到的并需考虑EMC评估的目的和任务等等。所以,EMC评估方法的正确选择必须适合于集群电子设备工作的具体环境。在区域集群中评估电子设备EMC的试验结果表明,在实践中主要方法是成对评估法。

参 考 文 献

- 1 Violette Norman J L, Write R J, Violette Michael F. Electromagnetic compatibility handbook. New York: Van Nostrand Reinhold Company Inc, 1987: 106~211
- 2 王定华, 赵家升. 电磁兼容原理与设计. 成都: 电子科技大学出版社, 1995
- 3 Hu Haoquan, Zhao Jiasheng. Research on the mathematics models for electromagnetic compatibility prediction between electronic systems, Journal of Electronic Science and Technology of China, 1995, 24(7): 63~68 [胡皓全, 赵家升. 电子系统电磁兼容预测模型研究. 电子科技大学学报, 1995, 24(7): 63~68]
- 4 Hu Haoquan, Zhang Zhijun. Monte Carlo method for prediction of random electromagnetic interference. Journal of Electronic Science and Technology of China, 1995, 24(4): 384~386 [胡皓全, 张志军. 在随机电磁干扰预测中引入蒙特卡罗方法. 电子科技大学学报, 1995, 24(4): 384~386]

- 5 Hu Haoquan, Yang Xianqing, Zhao Jiasheng. Research on mathematics models for electromagnetic interference prediction between radar systems. Journal of Electronic Science and Technology of China, 2001, 30(1): 37~40[胡皓全, 杨显清, 赵家升. 雷达之间电磁干扰预测模型研究. 电子科技大学学报, 2001, 30(1): 37~40]

Methods of Evaluating Electromagnetic Compatibility of Cluster Electronic Equipments

Yan Yijun

(Fifth Department, The 28th Electronic Research Institute of the Ministry of Information Industry Nanjing 210014)

Yang Xianqing

(Dept. of Microwave Eng., UEST of China Chengdu 610054)

Abstract The prediction of electromagnetic interference between the electronic equipments of a large information system is a complex problem. Furthermore, the prediction of the effect of interference on electromagnetic compatibility of the system is a random process, which causes much difficulty on practical application. Based on the results of electromagnetic interference analysis, three methods of evaluating the electromagnetic compatibility are presented. Evaluation model on certain electromagnetic environment is also discussed in this paper.

Key words electromagnetic compatibility; system method; cluster method; electromagnetic environment; electromagnetic interference

(上接第240页)

解决扩充现实中的遮挡问题

申 杰* 吴永红 刘浩吾

(四川大学水电学院 成都 610065)

【摘要】提出了一种新的解决扩充现实中遮挡问题的方法。该算法的核心是在每一帧图像中追踪至少四个基准点, 构成仿射基, 进而对虚拟物体与真实物体之间的遮挡轮廓进行重建和重投影, 且在前两帧图像中交互指定这些遮挡轮廓相对于虚拟物体的前后位置, 从而解决了扩充现实的遮挡问题。两个典型实例表明, 此算法是可行的。

关键词 遮挡; 扩充现实; 仿射不变量; 轮廓; 重建

中图分类号 TP391