

电磁兼容技术展望及建议(中)

The Expectation & Suggestion on EMC (Middle)

高攸纲¹, 高思进²

(1. 北京邮电大学, 北京 100876;

2. 蓝天电信进出口公司)

Gao You-guang, Gao Si-jin

(1. Beijing University of Posts and

Telecommunications, Beijing 100876, China;

2. Bluesky Telecom import & export Corporation)

(接上一期)

五. 频谱分配与管理

人类社会各种活动中, 离不开信息的交流, 而电信正是现代社会中重要科技成果的运用。电信就是把各种信息利用现代科技手段, 转化为电磁波进行传输的一种手段。人类赖以生存、发展文明、促进社会进步, 都离不开环境中的三大要素——空气、水、资源(矿山、森林等), 然而到20世纪中叶以后, 由于无线电科技的发展与广泛应用于各个方面, 使人们开始意识到这个由空间、时间和无线电三要素组成的无线电频谱资源, 是人类重要资源, 无线电频谱资源是一种有限的自然资源, 但同时也是一种比较独特的资源。无线电频谱是不可见的, 它虽是有限的, 但不是消耗性的。因此不利用它或不充分利用它是对这一资源的浪费, 无线电频谱各频段传播特性的不同又会因使用不当而造成本身利用率的下降或干扰影响其他信道而再次造成资源的浪费, 因此对这一宝贵而特殊的资源, 既要科学地管理, 又要达到最有效的应用, 各国为了保护各个科技部门领域的发展, 建立专门机构, 进行科学的频谱分配与管理, 并对那些产生无线电干扰的设备, 如家用电器及工业电器系统所辐射的杂波加以严格限制, 以确保无线电的良好电环境。

六. 空间飞行器的电磁兼容问题

空间飞行器是一个具有复杂的

机械结构和复杂的电气、电子结构的混合系统。虽然在目前条件下, 人们已经有能力对系统的一些基本组成单元的电磁兼容情况进行分析, 但如果这个系统在非常有限的空间范围内有数以千计的机械零件, 各电气电子元器件又以随意的方式密集分布, 则要对它们EMC分析预测几乎是不可能的。对于可有效分析的基本组成单元, 应借助于各种较为复杂的、准确度较高的电磁数值分析方法, 编制相应的分析软件包, 建立起尽可能完备的数学模型, 象导线、机箱、天线自身的及相互间的电磁耦合, 电源、接收机、发射机的频谱分析等都是这样的问题, 在此基础上, 我们可以将飞行器内部分为若干相对独立的子系统, 每一个子系统内部的设备数量也不多, 相互间关系较为紧密的, 功能较为单一, 可以等效为一个电磁干扰源或电磁干扰敏感器件, 我们对每个子系统进行EMC分析预测后, 可建立起相应的数学模型。子系统的数学模型与基本组成单元的数学模型相比是简略的, 采用数学方法也较为简单, 因此可以方便地组成更大子系统, 直至空间飞行器整个系统, 使之均能进行EMC分析预测, 我们在研制空间飞行器时, 提出EMC设计要求, 制定EMC设计规范, 将飞行器内部的各个电气电子元器件、设备合理地安排在各个相对独立的单元或子系统中, 子系统内部、子系统之间都可以EMC分析预测, 这样我们就有能力对飞行器系统EMC性能进行评估, 能有效地查找、排

除研制过程中出现的EMC问题, 优化空间飞行器的设计。

七. 地震电磁学

地震电磁学是近十年来为了探索地震短临预报而迅速发展起来的一门新的边缘尖端学科。从直流直至超高频整个频段都有人进行观测研究。从地下几米深直至几千米深, 从人工观测到自动记录数字传送, 各国都进行了大量观测研究。还有一些国家正在积极准备利用卫星进行这方面的探索研究。大家对地震电信号(Seismo Electric Signal简称SES)非常重视, 它与震级、震中距及局部电性质的不均匀性密切相关, 人们可在东西(EW)及南北(SN)两个相互垂直方向测出SES的两个分量。每个地震前电信号中有用的是SES变化的最大值。有一些国家的学者对10KHz—14KHz的长波段信号进行接收, 研究其变化与地震孕育过程的关系。还有些科学工作者对雷电的产生与地震的关系也做了一些探索观测工作。日本还进行了海底电磁波观测。俄罗斯等国家的科学工作者还对电离层进行了大量观测。他们认为地震前, 电离层会出现不同层的扰动。我国学者对地震电磁现象也进行了观测研究, 一般在500km以内, 已可以进行较准确的地震预报。

八. 无线电通信技术中的电磁兼容问题

作为近年来信息技术领域发展最为迅速的无线通信包括移动通信

技术,彻底改变了人们的生活方式和生活方式。无论是工作还是生活,各种无线通信设备已经是人们不可缺少的需要。

由此而来,相关的电磁兼容问题也就愈来愈多,愈来愈复杂。如果不能很好的规划、设计,无线设备与非无线设备之间、无线设备与人之间都会存在严重的电磁兼容问题:性能恶化、相互干扰、相互破坏、危害健康。如果不能很好地规划、设计,总有那么一天,无线通信技术的发展对于信息知识的影响可能就不是健康的,而是恶性的,也就是说无线电通信技术的发展总的来讲有一个饱和度,一旦超过这个限度,那么无线通信技术革新愈发展,破坏性愈大。

本世纪的移动通信技术,必须解决一些关键的电磁兼容问题,使得技术的发展建立在一个合理的基础结构之上,既兼顾到各种无线电技术不同种类之间的电磁兼容性问题,也兼顾到今天和将来技术持续性发展的电磁兼容性问题。研究工作必然包括系统内部和系统之间的电磁兼容两个方面:作为一个系统,特别具有高频器件和电路的无线电系统,其内部的电磁兼容问题非常复杂。对于高速信息传输系统尤其要给予重视,这将是本世纪电磁兼容问题的一个重要研究领域。另外,一些关键的、来自于系统之间的电磁兼容性问题也必须引起重视。

(一) 宽带无线通信系统与窄带无线系统之间的电磁兼容问题

目前,正在使用的900兆赫频段(AMPS、TACS、ETACS、GSM900、CDMA800)和1800兆赫频段(DCS1800、CDMA)之间是一种倍频或者准倍频关系,他们之间的低次谐波之间会出现近似相等的情况,相互影响严重,需要严格和认真的考虑。目前,大力开发的第三代宽带CDMA系统的工作在2400兆赫频

段,其与900和1800兆赫频段系统的兼容能力将是这项新技术在未来几年取得成功的一个关键因素。

(二) 移动通信系统、无线接入系统、无绳和寻呼系统之间的电磁兼容问题

移动通信系统工程与寻呼系统,包括高速Flex系统的电磁兼容问题可能成为一个关键的问题。这些寻呼系统发射功率大,基站多,影响面大,另外许多用户同时使用移动电话BP机,以节约使用费。这些因素会对移动通信系统、城市无线本地接入系统产生重要的影响。而DECT、PHS、PACS等无绳系统的迅速发展,将使得本就已经严重的兼容性问题更加的恶化。

(三) 地面无线电系统、同温层系统和卫星系统之间的电磁兼容问题

当“铱”系统、“Teledesic”等复杂和中低轨道系统建成的时候,这些系统由于直接与地面终端通信,到达地面的功率远高于目前的同步轨道系统,因而与地面无线电通信系统之间的兼容问题将是全球通信网、特别是移动通信网成败的关键。目前,正在研究和实施的同温层移动通信系统,由于其定位高度更低,其与卫星和地面系统之间的电磁兼容问题应格外受到关切。

(四) 宽带、超高速移动通信与其他系统之间的电磁兼容性问题

在本世纪初期,高速宽带移动通信事业将是发展的主要方向,它是全球个人多媒体移动通信业务的基础。相应地宽带电磁兼容性的研究是非常重要的工作。这一方面是为了提高宽带移动业务的可靠性;另一方面是为了降低宽带业务系统设备内部、移动网内部、移动网之间、移动网和非移动网之间、移动通信和非通信业务设备之间的干扰,提高兼容工作的能力和信息的

保密性。研究工作包括基本概念、定义和支撑体系等。作为一项新技术的出现,无线宽带业务由于固有的宽带特性:宽频带信号发射、宽频带信号接收。当考虑到与其他系统的相互作用时,其结果就是宽带信号发射和宽带干扰接收。对于这样的一个系统,没有可行的电磁兼容方案,结果不堪想象。

(五) 无线电系统与其他系统之间的电磁兼容性

其他的系统很多,包括家用电器、军事通信、医院设备、广播等,虽然已经制定一些相关的法律,比如禁止在医院、机场、飞机上、军事重地等使用移动电话,但干扰的问题从来就没有停止过。令我们记忆犹新的广州白云机场飞机停飞事件,就是寻呼系统造成的。因此不仅无线电通信系统之间,包括无线电通信系统与其他系统之间的电磁兼容问题,都将是本世纪研究工作的重点课题。

总括起来,由于无线电通信系统的发展,我们面对本世纪的电磁兼容问题包括:

(1) 系统内部和外部、系统之间的工作频谱设计、寄生信号和非线形发射及感应结构的研究;

(2) 各种无线业务包括新业务的电磁兼容概念、定义和标准的研究;

(3) 面向对象,尤其是宽频带系统电磁兼容模型,分析方法和实验方案的研究;

(4) 满足电磁兼容标准的宽带移动通信系统与网络的概念、定义和方案的研究与提出。

开展这些工作的目的,旨在提高新移动通信业务的可靠性和广泛的可应用性,制定无线电业务的电磁兼容定义、概念和标准,提高无线电通信业务对于信息社会信息传输和信息保障的能力,实现良性的无线电通信系统的发展。

九. 计算机中的电磁兼容

(一) 计算机电磁兼容性问题的综述

当前, 计算机已经普遍地应用在工农业、国防、科技、教育、管理等各个领域, 家庭和个人使用计算机的情况也逐渐深化和普及。计算机作为一种数据处理和存储系统, 外界电磁场干扰可能对其正常运行和信息安全造成危害; 而作为一种电子设备, 它的寄生辐射和电磁泄漏也可能污染外界电磁环境或造成自身信息失密。计算机系统的电磁兼容性已成为一个迫切需要研究的问题。

计算机电磁兼容性问题具有一般电子设备的共性, 又有其突出的特点。它既是一个敏感设备, 又是一个干扰源。它是低电平电子系统, 从电磁兼容的角度而言, 主要是一个敏感设备。它的主要电路是数字电路, 数字电路的逻辑元件都有一定的阈电平与之相对应的干扰容限, 因而它不会响应低于容限的干扰, 但对于其所受到的高于容限的干扰的破坏却没有恢复功能。计算机主要由脉冲数字电路和工作于开关状态的电路组成, 所处理的是脉冲信号, 因而易受外界脉冲干扰的影响, 也向外界产生干扰脉冲。脉冲信号具有很宽的频谱, 计算机的主频也有很宽的范围, 包括长波、中波、短波、米波及分米波等很宽的波段与电力电子设备、广播、电视、通信。雷达等的基本工作波段相同, 使计算机工作在一个相当复杂的电磁环境之中, 同时也在很宽的波段内向外界辐射和泄漏电磁干扰, 有人对未采取防泄漏措施的微机进行过测量, 结果表明在很宽的波段内泄漏均显著的超过规定标准的极限值, 在低频段和主振频率及其倍频附近尤为严重。目前, 计算机向高速、宽带、高密度、小型化发展, 可能会导致干扰问题更加严重, 给计算机电磁兼容性问题带来更多急待解决的问题,

但是利用数字化系统的高速运算功能、存储功能和判断功能, 也有可能进一步开辟新的抗干扰路径。

计算机的外界干扰主要来源是射频干扰、工频电源干扰、静电干扰及雷电脉冲干扰等四类, 若计算机处于大功率无线电发射设备、高频大电流设备或射频理疗设备等附近, 当这些设备工作时, 其空间电磁场强若超过 1 伏/米 (120dBuV), 则计算机的工作将受到严重的干扰。在电磁干扰环境中, 计算机所受到的危害取决于干扰场强、频率和计算机自身的电磁敏感度。实验证实, 在离微机 6 米处开关电流为 10 安的交流感性负载, 其接触器触头电弧产生的干扰足以使计算机产生误动作。工频电源电压的大幅度波动或电流冲击有可能通过电源线进入计算机系统, 使计算机出现运行错误或故障, 甚至破坏计算机的某些部件。此外, 某些电气设备产生的尖峰脉冲、工业火花等也可通过供电线路进入计算机。例如, 开关电传机可产生 1 千伏的尖峰脉冲, 它足以损坏某些部件。研究表明, 工频电源干扰和通过电源线的射频干扰十分严重。静电干扰是造成计算机 MOS 电路损坏的主要原因, 有人研究指出, 当穿塑料鞋走动、穿尼龙或丝绸工作服在工作台前长期工作都可产生很高的静电电压, 美国有统计表明, 由于静电导致计算机及其元器件的损坏造成的经济损失每年高达数亿美元。雷电脉冲通常通过电网供电电源进入计算机造成干扰, 甚至使计算机或某些部件损坏。在我国, 由于雷电而致使计算机损坏的事例屡见不鲜。提高计算机系统的抗干扰能力的措施概括起来主要有几个方面。首先, 从硬件、软件设计着手提高系统自身的抗干扰能力, 在硬件设计中要进行 EMC 设计, 综合采用各种抗干扰措施, 在软件设计中, 利用冗余技术、容错技术、标志技术、数字滤波技术都是有效方

法, 逻辑电路技术与软件技术的巧妙结合, 可以用来作为抑制噪声的有力工具。其次屏蔽接地是提高计算机抗干扰能力的又一有力措施, 屏蔽包括机房屏蔽、整机屏蔽、元器件之间的屏蔽和隔离, 电源的进线及传输线的输入线和输出线也应屏蔽接地。系统与机房不仅要有良好的接地, 而且要有针对性对交直流接地、高频接地、防雷接地和安全接地进行合理设计。此外, 滤波也是抑制传导耦合干扰的重要方法。电源线滤波器可以显著降低来自电网的干扰, 在屏蔽体的出入口或导线的适当位置安装滤波电路也是非常必要的。采用光技术能传输高密度信息不易受电磁感应噪声影响, 是提高计算机抗干扰能力的途径。

计算机的寄生辐射和传导所造成的电磁泄漏具有很宽的频谱, 它一方面是外部敏感设备的噪声源; 另一方面也造成计算机数据信息的失密和失窃的可能。测试结果表名: CPU、内存、I/O 接口、时钟、视频、字库、传输线、电源线等部位都有较强的电磁辐射, 一般辐射约为 40 - 80 分贝微伏, 最高可达 75 分贝微伏, 用灵敏度较高的接收机或电视机在几百米外就可有效地截收显示器显示信号。在低频段, 数字时钟谐波次数低, 信号较强, 更易截收显示器视频显示信息, 有实验研究说明, 计算机显示信息泄漏的主要途径是显示控制器与显示路之间的接口传输电缆所产生的辐射。抑制计算机电磁泄漏的手段主要是屏蔽技术、接地技术、滤波技术、隔离技术和源场抵消技术。此外, 采用光纤接口可有效地提高微机系统防电磁泄漏的能力。实验表明, 采取防泄漏措施之后, 传导泄漏在整个频段内都能达到技术标准要求, 对于辐射泄漏, 除低频段、主振频率及其倍频之外, 也都能达到标准的要求。

(二) 计算机 TEMPEST 技术

计算机 TEMPEST 技术发展至今已有 40 年的历史,它是在电磁兼容 (EMC) 领域发展起来的一个新的研究方向。TEMPEST 计划的具体内容是针对信息设备的电磁辐射与信息泄漏问题,从信息接收和防护两个方面所展开的一系列研究和研制工作,包括信息接收、破译水平、防泄漏能力与技术、相关规范标准及管理手段等。

以美国为首的几个少数发达国家在 TEMPEST 发展中经历了这样几个阶段:

1. 认识阶段(上世纪 50 年代初、中期)这个阶段主要解决信息泄漏严重性的认识问题,对具体技术问题进行了归类预研。

2. TEMPEST 技术发展阶段(上世纪 50 年代后期至 70 年代末)这一阶段主要制定了 TEMPEST 发展方案,对 TEMPEST 问题展开了一系列有计划、有组织、有针对性的攻关研究,使 TEMPEST 技术系统化、成熟化。

3. TEMPEST 技术标准化、专业化、市场化(上世纪 80 年代后期至今)这一阶段制定和颁布了一系列 TEMPEST 标准和规范,建立了一整套利用信息设备的电磁发射来获取信息情报更为及时、准确、广泛、连续,且安全、可靠、隐蔽。技术与行政管理机构,TEMPEST 技术也开始产品化、市场化。由于其他高新技术的发展,又进一步促进了 TEMPEST 技术的提高,使 TEMPEST 问题的研究深入到一个更新的层次。

由于计算机系统是各种信息处理设备中最关键和重要的组成部分,因而也是利用信息设备的电磁发射来获取信息情报更为及时、准确、广泛、连续,且安全、可靠、隐蔽。正是这样,EMPEST 防护研究一般都是针对计算机系统及其外设配置而言的。TEMPEST 的研究对象还包括接收系统、电传机、数字电话等。

信息处理设备的电磁辐射有两方面影响:

1. 对电磁环境构成污染;

2. 对信息安全与信息保密会构成严重威胁。

通过捕捉各种电磁波谱来获取所需要的情报和信息已是司空见惯,这是现代科技在侦察技术上的集中表现。例如在海湾战争中,美国就发射了一颗间谍卫星,据悉这颗卫星装有最先进 TEMPEST 收发系统用以截取伊拉克及海湾地区的政治、军事、经济情报,这些情报中一部分是破译出来的,而相当多的部分是利用对方电子设备无意电磁发射来截取的,这颗卫星的另一个功能是由 TEMPEST 发射系统释放乱真发射,以保证美军 C³I 系统的情报信息不被破译。

已经分析表明:对于由数字电路组成的信息处理设备来说,由于辐射频谱及谐波非常丰富,因而很容易被窃收和解译,其信息泄漏问题更为突出和严重。以计算机视频显示器为例,其中各种印刷电路板、各部件之间的电源、信号接口与连线、数据线、接地线、驱动电路、阴极射线管等都可以产生程度不同的电磁辐射。在辐射频谱中,所包含的信息也各不相同,包括时钟、数据信息、视频信息等。从理论上讲这些信息都是可以接收和解译的,只是难易程度有所区别。利用信息设备的电磁发射来获取信息情报更为及时、准确、广泛、连续,而且安全、可靠、隐蔽。

总之,在信息化社会,研究计算机 TEMPEST 技术已和研究计算机病毒一样,被认为是涉及计算机安全的重要方面,受到国内外学者的广泛关注。

最近美国国防部召开 E³ (Electromagnetic Environmental Effects) 工程,议题很广,有人倡言电子战 (Electronics Warfare) 之后为信息战 (Information Warfare),并提出孙子兵法中之知己知彼,百战百胜的名言,我们也应为此作好相应准备,迎接挑战。

(三) 计算机印刷电路板 (PCB) 中的电磁兼容 (EMC) 问题

信息化社会的电子产品越来越趋向高速、宽带、高灵敏度、高密度集度和小型化,这种趋势导致了 EMC 问题更加严重。计算机系统中 PCB 是一个典型的代表,PCB 的电磁兼容 (EMC) 问题是目前微型计算机设计中急待解决的技术难题。

1. 印刷电路板 (PCB) 中带状线、电线、电缆间的串音和电磁耦合

印刷电路板 (PCB) 中带状线、电线、电缆间的串音是印刷电路板线路中存在的最难克服的问题之一。这里所说的串音是较广义意义上的串音,不管其源是有用信号还是噪声,串音用导线的互容和互感来表示。当在 EMC 预测和解决 EMI 问题时,首先应确定发射源的耦合途径是传导的、辐射的、还是串音。例如,当 PCB 上某一带状线上载有控制和逻辑电平,与其靠近的第二条带状线上载有低电平信号,当平行布线长度超过 10 厘米时,预期产生串音干扰。当一长电缆载有几组串行或并行高速数据和遥控线时,串音干扰也成为主要问题。靠近的电线和电缆之间的串音是由电场通过互容,磁场通过互感引起的。

当考虑在 PCB 带状线、电缆中导体或靠近的电线和电缆的串音问题时,最主要的是确定电场(互容)、磁场(互感)耦合哪个是主要的。确定那种耦合模型主要取决于线路阻抗、频率和其他因素。对线路阻抗,一个粗略的原则是:

(1) 当源和接收器阻抗乘积小于 300^2 时,耦合的主要是磁场。

(2) 当源和接收器阻抗乘积大于 1000^2 时,耦合的主要是电场。

(3) 当源和接收器阻抗乘积在 $300^2 - 1000^2$ 之间时,则磁场或电场都可能成为主要耦合,这时取决于线路间的配置和频率。◇(未完待续)