

博士丛书

计算机信息 电磁泄漏与防护

韩放 著

科学出版社

博 士 丛 书

计算机信息电磁泄漏与防护

韩 放 著

科 学 出 版 社

1993

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

信息电磁泄漏是近年来在电磁兼容学科基础上发展起来的一个全新的研究方向。它所研究的计算机信息电磁泄漏问题是关系到信息与计算机安全的一大主题。本书根据电磁场理论与电磁兼容原理,全面讨论和分析了计算机系统信息电磁泄漏的形成机制、防护技术、检测方法等关键问题,介绍了作者的一些研究成果。

本书可供从事计算机低辐射技术研究与开发、信息安全与保密等技术工作的科研及管理人员参考;亦可供从事电子、通信、计算机技术工作的一般科研人员及高校师生作为高新技术知识读物。

博 士 丛 书

计算机信息电磁泄漏与防护

韩 放 著

责任编辑 巴建芬

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1993年12月第 一 版

开本: 850×1168 1/32

1993年12月第一次印刷

印张: 6 7/8

印数: 1—2,900

字数: 172 000

ISBN 7-03-003988-2/TP·319

定 价: 7.30元

序

环顾当今世界，国家的发达，民族的振兴，无一例外地离不开科学技术的推动作用。年轻博士们历来是科技队伍中最活跃、最富创造性的生力军。他们的科研成果是学科发展强有力的推动力量，是体现一个国家高层次教育水平和科研水平的窗口。为了系统地反映年轻博士们的科研成果，促使他们的快速成长，加强国际国内的学术交流，在老一辈科学家的热心支持下，科学出版社决定出版一套《博士丛书》。

我们指导思想是突出本丛书的学术性、创造性、新颖性、先进性和代表性，使之成为所有青年博士平等竞争的学术舞台和优秀科研成果的缩影。

这套丛书以专著为主，并适时组织编写介绍学科最新进展的综述性著作。它将覆盖自然科学各个领域，是一套充分体现我国青年学者科研成果和特色的丛书。

丛书编委会将在由著名科学家组成的专家委员会指导下开展编辑工作。本丛书得到了国家自然科学基金委员会和全国博士后管理协调委员会的特别资助。在此我们深表谢意。

《博士丛书》编委会
一九九三年十月

127527/10

《博士丛书》专家委员会

王 元	王 仁	母国光	庄逢甘
庄 毅	刘西拉	沈克琦	汪培庄
李 未	肖纪美	谷超豪	张存浩
陈述彭	张光斗	郝柏林	赵忠贤
唐敖庆	郭慕孙	高景德	高为炳
谈德颜	阎隆飞	谢希德	路甬祥

《博士丛书》编委会

名誉主编	卢嘉锡	钱伟长		
副主编	白春礼	刘增良		
常务编委	王晋军 屠鹏飞	尤政	邬伦	林鹏
编委	王世光 冯恩波 刘增良 许文 杨国平 熊夏幸	王晋军 冯守华 安超 宋岩 林鹏	王颋安 白春礼 乔利杰 张新生 周文俊	尤政 白硕 邬伦 汪屹华 屠鹏飞

前 言

本书将以计算机系统电磁发射与信息泄漏问题为核心,介绍有关信息电磁泄漏的基本原理和防护技术。计算机信息电磁泄漏与计算机病毒是关系到信息与计算机安全的两大主题,也是世界各国十分关注并刻意解决的问题。然而,人们对于前者引起的危害却知之甚少,甚至闻所未闻。例如,利用改装的接收设备,可在 1km 的距离范围内对未加防护的计算机显示器所辐射的电磁波谱进行接收、处理,并实时再现显示器上的信息。在高技术发展日新月异的今天,这种威胁并非危言耸听,它会给很多领域造成无法估量的损失。

早在 50 年代,美国就已开始实施一项所谓 TEMPEST 计划。其主要内容和目标就是要研究和解决以计算机为主的信息技术及系统的信息电磁泄漏及其安全防护问题,与此相关的技术习惯上统称为 TEMPEST 技术。直到 80 年代,这项技术才逐步成熟并得到应用。可以说,它是在电磁兼容(EMC)学科基础上发展起来的一个全新研究方向。尽管其理论与技术仍以电磁兼容为主要基础,但与电磁兼容有本质区别的是 TEMPEST 技术更注重解决以计算机为主的信息系统通过无意的“电磁暴露”而导致的信息泄漏问题。

目前,很多发达国家都在投入大量人力物力对这项技术进行研究和开发。80 年代后期,尤其是海湾战争以后,这项研究在我国开始受到特别关注和重视。几年来,作者针对信息电磁泄漏机理、电磁泄漏防护理论与技术、信息泄漏检测与评估方法等一些关键课题进行了研究,拓展和深化了这一领域的研究成果。TEMPEST 技术所涉及的学科领域非常广阔,目前国内尚无这

方面的专著或译著，国际上这方面的专著也不多见。将其主要的基本原理、技术方法和研究成果撰著成书是作者的一种尝试，旨在帮助信息科技工作者了解和掌握电磁发射与信息泄漏的机制，促进这一领域的研究与开发工作。

本书将根据电磁兼容原理，系统介绍 TEMPEST 技术的发展背景、电磁发射与信息泄漏机理、电磁泄漏防护理论与技术、信息泄漏检测与评估方法等。

第一章将对 TEMPEST 技术的发展过程、相关技术与标准、研究动态等加以介绍。第二章将对计算机系统电磁发射与信息泄漏的机理进行讨论和分析，包括显示器中 CRT 电子束、印制电路板、各器件之间连线及信号传输电缆等。第三章将讨论视频泄漏信息的接收原理与重现方法。第四章将阐述泄漏防护的屏蔽理论，分析几种结构与激励的屏蔽问题。第五章将介绍信息电磁泄漏的综合防护技术，包括屏蔽、滤波、搭接、伪泄漏、加密等抑制方法和技术。第六章将以微机为例，介绍信息电磁泄漏的检测和分析方法，并对前几章中提出的理论模型进行验证。

本书撰著过程中，得到了科学院学部委员叶培大教授、北京邮电学院高攸纲教授、北方交通大学张林昌教授、东南大学章文勋教授、清华大学石长生教授等前辈的指教与帮助；高攸纲教授对本书进行了审阅并提出了宝贵意见。值此机会，谨致谢意！

限于作者水平，书中不无疏漏遗误之处，敬祈广大读者批评指正。

韩 放

1993 年 8 月于北京



韩放, 35岁, 北京邮电学院工学博士(1989), 清华大学博士后(1989—91), 北方交通大学副教授(1991—93)。研究领域包括: 电磁兼容、电磁场理论、TEMPEST、数值方法、干扰模拟与预测等。在国内外发表论文50余篇、著作3部; 1990、93年连续两届荣获“国际无线电科学联盟青年科学家奖”, 曾获得首批北京市青年学科带头人、国家教委科委优秀青年骨干教师称号, 《IEEE Trans. on EMC》刊物特邀审稿人, 中国电子学会《电波科学学报》编委, IEEE会员。

国家自然科学基金委员会资助

中国博士后科学基金会资助

目 录

前 言

第一章 绪论	1
§ 1.1 引言	1
§ 1.2 电磁发射对信息技术设备的影响	2
1.2.1 信息技术设备电磁发射的危害	3
1.2.2 外界电磁污染对信息技术设备的影响	4
§ 1.3 TEMPEST 技术的发展背景	5
1.3.1 研究内容	5
1.3.2 发展过程	7
§ 1.4 TEMPEST 技术标准与产品	8
1.4.1 TEMPEST 技术标准	9
1.4.2 TEMPEST 技术产品	12
§ 1.5 TEMPEST 测试	14
§ 1.6 我国 TEMPEST 技术的发展动态	15
第二章 电磁泄漏分析和预测	18
§ 2.1 引言	18
§ 2.2 主机板基本结构及其泄漏分析	18
§ 2.3 计算机显示器基本结构及其泄漏分析	21
2.3.1 CRT 结构及工作原理	22
2.3.2 Z 轴部件	26
2.3.3 偏转部件	26
2.3.4 其它部件	28
§ 2.4 CRT 的辐射泄漏	29
2.4.1 CRT 电子束特性	29

2.4.2	电子束辐射模型与计算	30
2.4.3	偏转部件的辐射模型与计算	39
§ 2.5	PCB 的辐射泄漏	41
2.5.1	计算机 PCB 的特点	41
2.5.2	电偶极子与磁偶极子模型	44
2.5.3	差模电流与共模电流的辐射模型	47
§ 2.6	传输线的辐射泄漏	52
§ 2.7	一般电缆的辐射泄漏	59
§ 2.8	辨接屏蔽电缆的电磁泄漏	62
2.8.1	辨接效应	63
2.8.2	激励耦合模型	65
2.8.3	辐射泄漏分析	71
第三章	视频信息辐射泄漏的接收与重现	78
§ 3.1	引言	78
§ 3.2	电视信号接收基本原理	78
§ 3.3	电视视频显示中的扫描与同步	81
3.3.1	逐行扫描与隔行扫描	81
3.3.2	扫描的同步	84
§ 3.4	计算机视频信息及其信号特性	87
§ 3.5	泄漏视频信息的接收与重现机理	91
§ 3.6	重现泄漏视频信息的改进方法	95
第四章	泄漏防护的屏蔽理论	98
§ 4.1	引言	98
§ 4.2	屏蔽效能	99
§ 4.3	正入射平面波的多层平板屏蔽	100
4.3.1	电磁场方法	100
4.3.2	多层屏蔽的传输线等效方法	103
§ 4.4	任意斜入射与极化平面波的多层屏蔽	111

§ 4.5 电流环的平板屏蔽	118
§ 4.6 电流元的平板屏蔽	123
4.6.1 垂直取向	124
4.6.2 平行取向	128
§ 4.7 圆柱体的屏蔽	133
4.7.1 多层屏蔽效能	133
4.7.2 单层屏蔽效能	138
§ 4.8 球体的多层屏蔽	139
第五章 综合防护技术与方法	146
§ 5.1 引言	146
§ 5.2 抑源方法	146
§ 5.3 屏蔽方法	147
5.3.1 整体屏蔽	148
5.3.2 密封屏蔽	149
5.3.3 防泄漏外套管	149
5.3.4 导电涂层	150
5.3.5 弹性指簧	151
5.3.6 孔径和窗口的屏蔽	151
§ 5.4 滤波技术	153
5.4.1 滤波器特性	154
5.4.2 滤波器的设计和选用	155
5.4.3 特种滤波器	156
§ 5.5 其它方法	157
5.5.1 分区与隔离	158
5.5.2 数据压缩技术	159
5.5.3 光纤传输技术	159
§ 5.6 伪泄漏技术	160
5.6.1 白噪声法	160

5.6.2 相关噪声法	161
§ 5.7 加密方法	161
5.7.1 数据压缩与加密	162
5.7.2 视频显示加密	162
§ 5.8 信息技术设备的改进	164
第六章 信息电磁泄漏的检测与分析	165
§ 6.1 引言	165
§ 6.2 主机电磁辐射的测量与分析	169
§ 6.3 磁盘驱动器与键盘电磁辐射的测量与分析	170
6.3.1 软盘驱动器	170
6.3.2 硬盘驱动器	171
6.3.3 键盘	171
§ 6.4 视频通路电磁辐射的测量与分析	171
6.4.1 点阵信息	172
6.4.2 随机信息	174
6.4.3 泄漏信息的电视接收	175
§ 6.5 电路参量的测量与计算	175
6.5.1 初始视频信号	176
6.5.2 最终视频信号	177
§ 6.6 视频电缆的辫接效应及其防护	180
6.6.1 辫接效应的理论计算与实验验证	181
6.6.2 辫接效应的抑制与防护	183
§ 6.7 视频在线与辐射频谱的相关性检测及分析	184
结束语	201
参考文献	202

第一章 绪论

§ 1.1 引 言

信息电磁泄漏就是通常所说的 TEMPEST 问题。TEMPEST 一词是缩略语，其英文全称有多种写法，但其内容含义可定义为信息电磁泄漏检测与防护技术（标准），习惯上就简称 TEMPEST 技术。为简便起见，本书也将采用 TEMPEST 一词代表信息电磁泄漏检测与防护技术。

TEMPEST 技术研究至今已有近 40 年的历史，它是在电磁兼容（EMC）领域里发展起来的一个全新研究方向。其理论与技术仍以电磁兼容为主要基础，目标也是降低和抑制无意的电磁发射，包括辐射发射和传导发射。但与电磁兼容有所不同的是 TEMPEST 技术更注重解决信息技术设备（ITE）通过无意电磁发射而导致的信息泄漏（被截获和复原）问题，这是二者的本质区别所在。为了防止信息泄漏，除了电磁兼容的抑制技术外，也可以采取加密方法，对需要防护的信息系统构造和工作方式进行加密处理与改造，加大实际侦收和解译的难度。此外，还可以采取乱真发射的方法施加干扰，避免有意窃收，但这与电磁兼容的宗旨是大相径庭的。

计算机系统是各种信息技术设备中最为关键和重要的组成部分，因而也是 TEMPEST 问题中的主要研究对象之一。正是这样，TEMPEST 研究一般都是针对计算机系统及其外配置而言的。当然，TEMPEST 的研究对象还包括接收系统、电传机、数字电话等。

本章将就信息电磁泄漏产生的危害、TEMPEST 研究的起

因、研究内容、发展过程、相关标准与技术、研究动态等作以介绍。通过这些介绍，一方面可以了解 TEMPEST 技术的发展历史；另一方面，对 TEMPEST 技术研究的重要性和迫切性有一个基本的了解。

§ 1.2 电磁发射对信息技术设备的影响

电磁发射的种类和形式很多，但就性质而言，电磁发射可以归结为辐射发射和传导发射。辐射发射是通过天线效应向空间辐射和传播的电磁场或电磁波，通常以电场强度和磁场强度来表征辐射的强弱和方向。传导发射则是通过有线电路传播的信号，通常以电压和电流表征信号的大小和相位。

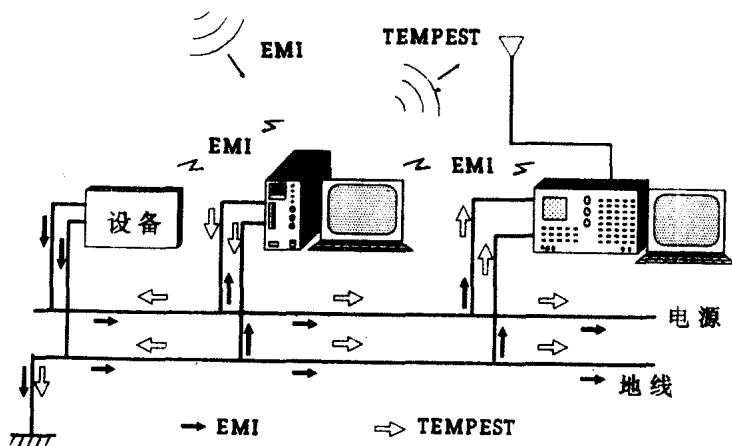


图 1.1 电磁发射对信息技术设备的影响

如图 1.1 所示，电磁发射对信息技术设备的影响表现在两个方面：一是信息技术设备自身的电磁发射产生的电磁干扰和信息泄漏；二是外界电磁发射对信息技术处理设备的干扰和破坏。这

两类影响中，既有电磁干扰问题，又有信息泄漏问题。两者的传播途径既有辐射发射，也有传导发射，或者兼而有之。

1.2.1 信息技术设备电磁发射的危害

信息技术设备自身的电磁发射会造成两种危害：即电磁干扰与信息泄漏。信息技术设备主要是由数字电路和器件组成的，它们处理的大都是数字信号。这些数字信号一般都是低电压（几伏到十几伏）、大电流（可高达上百毫安）的方波信号，这些信号一方面会通过公共电源线和数据控制线的传输作用对其它设备构成传导干扰，另一方面，信号本身会产生很强的寄生电磁辐射，对周围其它设备或系统构成辐射干扰。由于这些发射的射频谱非常丰富，频率范围可从几十赫兹到几千兆赫，周围的敏感设备和系统很容易受其干扰和影响。

一般来讲，人们对于电子设备产生的电磁发射和电磁干扰较为熟识；但对于某些电子设备，如信息技术设备在运行过程中由于电磁发射而导致的信息泄漏问题却知之甚少，甚至闻所未闻。直至 50 年代，由于计算机和信息技术的发展，国外才注意到信息电子设备信息泄漏问题的严重性，以美国为首的少数几个西方国家相继对此问题展开了一系列研究。这些研究统称为 TEMPEST 计划或 TEMPEST 项目，直接由国家安全部门及军方组织有关电磁兼容专家负责实施。

信息技术设备的电磁发射在对电磁环境构成污染的同时，也对信息安全与信息保密构成了严重威胁。通过捕捉各种波谱尤其是电磁波谱来获取所需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。已经验证，信息技术设备或计算机设备的无意电磁发射，在某些情况下很容易被窃收和解译。对于由数字电路组成的系统来说，由于带有信息的发射频谱及其谐波非常丰富，因而导致信息泄漏问题更为突出和严重。以计算机视频