



电磁兼容

理论与应用技术丛书

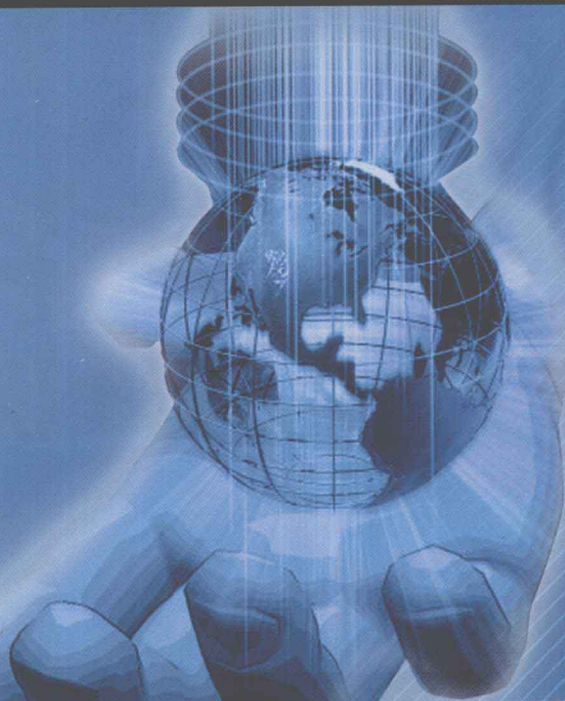


电磁兼容总论

DIANJI JIANRONG ZONGLUN

高攸纲 石丹◎编著

(第2版)



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

电磁兼容理论与应用技术丛书

电磁兼容总论

(第2版)

高攸纲 石丹 编著



北京邮电大学出版社
www.buptpress.com

内 容 简 介

本书对电磁兼容学科作了简要的总体介绍,包括电磁兼容一词命名的由来、历史发展概况、现状及未来的展望、学科的研究对象、国内外的有关学术组织及其主要活动、电磁环境的保护以及频谱管理等内容。由于丛书的其余四个分册很少谈到自然界干扰源及工频电磁场的影响与防护,故本书较为深入地论述了这方面的问题。为了适应我国国防现代化的需要,书中还就核电磁脉冲效应及防护技术进行了扼要叙述。

图书在版编目(CIP)数据

电磁兼容总论:第2版/高攸纲,石丹编著.---北京:北京邮电大学出版社,2011.9
ISBN 978-7-5635-2691-8

I. ①电… II. ①高…②石… III. ①电磁兼容性-研究 IV. ①TN03

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 146041 号

书 名:电磁兼容总论(第2版)
著作责任者:高攸纲 石丹 编著
责任编辑:刘春棠
出版发行:北京邮电大学出版社
社 址:北京市海淀区西土城路10号(邮编:100876)
发行部:电话:010-62282185 传真:010-62283578
E-mail: publish@bupt.edu.cn
经 销 各地新华书店
印 刷 北京联兴华印刷厂
开 本:787mm×960mm 1/16
印 张:12.5
字 数:270千字
印 数:1—3000册
版 次:2001年5月第1版 2011年9月第2版 2011年9月第1次印刷

ISBN 978-7-5635-2691-8

定 价:23.00元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

第 2 版序

《电磁兼容理论与应用技术丛书》初版十年以来，受到了广大读者与有关方面的欢迎与支持，部分分册还进行了多次印刷。在此，特表示深深的谢意。为了反映电磁兼容理论与应用技术近年来的发展与新成果，充实与提高本丛书各分册的内容和水平，现对本丛书进行了修订再版，各分册的主题基本不变，希望能够得到读者与有关方面进一步的帮助与指正。

今年恰逢“十二五”开局之年，现今国家面貌发生了新的历史性变化，“十二五”规划的蓝图令人期待。加快转变经济发展方式是我国经济社会领域的一场深刻变革，我们决心进一步推动电磁兼容理论与应用技术和电磁兼容教育的发展，促进电磁环境保护力度，增强经济社会全面协调可持续发展的能力，为实现“十二五”时期经济社会发展的目标，贡献自己的一切力量。

本丛书的撰写是在北京邮电大学出版社和以高攸纲教授为主编、白同云教授为副主编的《电磁兼容理论与应用技术丛书》再版编委会统一指导下进行的，由他们对丛书的修订进行了统一安排和审定。

由于作者水平有限，不妥之处在所难免，敬希指正。

高攸纲

2011 年 3 月

第 1 版序

电磁兼容一般指电气及电子设备在共同的电磁环境中能执行各自功能的共存状态，即要求在同一电磁环境中的上述各种设备都能正常工作又互不干扰，达到“兼容”状态。现在电磁兼容科技工作者又进一步探讨电磁环境对人类及生物的危害影响，学科范围已不仅限于设备与设备间的问题，而进一步涉及人类本身，因此一些国内外学者也把电磁兼容学科称做“环境电磁学”。

当前，在有限的时间、空间及有限的频谱资源条件下，各种电气及电子设备的数量迅速增加，而家用电器的运用更使这些设备遍及千家万户，用电设备密集程度越来越大，空间电磁环境恶化已成定局。特别是我国即将加入世界贸易组织，更需加强我国在国际市场上的竞争能力，为此电磁兼容知识亟待宣传普及，同时研究开发电磁兼容新技术，采取行之有效的防护措施，以便使国人在高度享受物质文明及精神文明的同时，仍能确保社会生产生活能够得到良性的持续发展。

有鉴于此，北京邮电大学出版社及时组织我们编写了这套《电磁兼容理论与应用技术丛书》。丛书计有五个分册。第一分册主要对电磁环境、电磁兼容技术及相关学术组织机构作了简要的总体介绍，并对工频场的电磁兼容问题进行了深入的分析。第二分册主要是电磁兼容设计方面的内容，在介绍了电磁兼容基本原理的基础上，提出如何对设备产品进行电磁兼容预测，对可能出现的各种干扰进行了分析，并提出抵制干扰的各项措施。第三分册重点介绍了电磁兼容的试验场地、测量设备、测量仪器及详尽的测量方法，对测量设备的计量校准及测试误差分析也进行了阐述。第四分册主要介绍国内外各项现行电磁兼容标准以及规范，对认证组织机构也有介绍。第五分册专就电磁环境对人类及生态的危害影响及相关防护措施进行了系统的论述。

该丛书由高攸纲教授任主编，郭鹤及白同云两位教授任副主编，他们对丛书的内容章节进行了统一安排和审订。

丛书理论结合实际，可供大专以上水平的科技人员阅读参考，也可供电磁兼容研究领域的本科生及研究生用做辅助教材。

高攸纲

2001 年 3 月

前 言

随着科学技术的进步,社会的物质财富及精神财富日益丰富,人们的生活更加便利,但另一方面,科技进步和物质财富的丰富却导致社会均衡遭到破坏,产生了许多副作用。在电工领域这一情况也不例外,随着电工技术的飞跃发展,陆续出现很多危害影响。例如,电气和电子设备的种类及数量的增加以及电能消耗量的加大,不必要的电磁能量也随之加大,由此将伴随产生大系统的误动作;又如,微波及超高压输电线的日益扩展,将对人类及动植物产生严重的影响;此外,超高层建筑和铁塔等设备将产生不必要的反射,从而出现重影问题,而汽车数量的增加将使城市杂波加大等。

尽管环境已包括了种种因素(温度、湿度、日照、气压、空气成分、水质、人口密度、城市构造、地形、经济等),电磁能量还是不能不考虑的环境因素之一,我们把它称为电磁环境。最近国内某些文献已指出环境因素应包括温度、湿度、大气压力、太阳辐射、雨、风、水质、冰雪、灰尘与砂岩、烟雾、大气污秽、腐蚀性气体、爆炸性混合物、核辐射、霉菌、昆虫及其他有害动物、振动、冲击、地震、噪声、电磁干扰、雷电、臭氧等 20 多个因素。

当前,已进入信息化社会,人类的生存环境也已具有浓厚的电磁环境内涵,早在 1975 年专家学者就曾预言,随着城市人口的迅速增长,汽车、电子、通信、计算机与电气设备大量进入家庭,空间人为电磁能量每年增长 7%~14%,也就是说 25 年后环境电磁能量密度最高可增加 26 倍,50 年可增加 700 倍,21 世纪电磁环境恶化已成定局。就电磁环境与人类的关系而论,除电磁环境会对人类生存产生直接影响外,电力和电子技术的进步以及社会活动的逐步发展还会对人类生活乃至人类的社会活动产生影响,因而探讨电磁环境与电工电子学的关系是极为重要的,基于这种原因,各国都已投入较多的人力和物力,积极从事这方面的科研工作,多年来已陆续取得不少成果。我国由于原有工业基础比较薄弱,某些问题尚未充分暴露,矛盾还不够突出,因此某些部门对环境电磁学及电磁兼容技术的重要性的认识还很不够,目前仅有少数单位、少数人力从事这方面的科研工作,技术及物质条件都很贫乏,工作进度较慢。早在 1984 年 1 月 7 日,中国科学院卢嘉锡院长在第二次全国环境保护会议闭幕会上的发言中就曾指出:“重大的环境课题必须进行多学科各部门的协作,开展综合性研究”,呼吁尽快把环境科学技术搞上去,并提出了在国家科委领导下设立环境研究中心的建议。现在我国已成立

环境保护部,对防止电磁危害极为关注。作为环境电磁学及电磁兼容技术的科研工作者,也应积极响应呼吁,抓紧做好这方面的工作,希望能随着第三次产业革命的迅猛发展,引起相关部门对环境电磁学及电磁兼容技术这一新兴边缘学科的重视,迅速组织力量,大力开展这一领域的科研工作,以便协调各项科学技术的发展,加速在我国实现四个现代化的步伐。

高攸纲 石丹

2011年3月

目 录

第 1 章 电磁兼容学科发展历史概况	1
第 2 章 电磁兼容学科的研究对象	3
2.1 人为杂波	3
2.2 共用走廊内各种公用事业设备间的相互影响	5
2.3 重影问题	6
2.4 核电磁脉冲	7
2.5 空间飞行器的电磁兼容问题	8
2.6 电磁兼容预测	8
2.7 地震电磁学	10
2.8 无线电通信技术中的电磁兼容问题	10
2.9 屏蔽测量技术的发展	12
2.10 EMC 系统模型	13
2.11 自然界影响	14
2.12 频谱分配管理	15
2.13 电磁环境对人类的危害效应	15
2.13.1 射频场对人体的危害	15
2.13.2 辐射容许值标准	18
2.13.3 电磁污染的防护措施	24
2.14 计算机中的电磁兼容	25
2.14.1 计算机电磁兼容性问题综述	25
2.14.2 计算机的 TEMPEST 技术	27
2.14.3 计算机 PCB 中的电磁兼容问题	28
2.14.4 计算机 PCB 发展新趋势	30
2.15 电磁兼容计算机建模与仿真	30
2.15.1 通用和全面的评估方法	31
2.15.2 复杂系统的电磁兼容分析	32
第 3 章 国内外有关电磁兼容的学术组织及主要学术活动	45
3.1 国际电工技术委员会	45

3.2	国际无线电干扰特别委员会	48
3.3	国际电信联盟	49
3.4	国际无线电咨询委员会	50
3.5	国际无线电科学联盟	51
3.6	跨国电气电子工程师学会电磁兼容专业学会	52
3.7	国际电线电缆学术讨论会	53
3.8	国内有关 EMC 的学术组织及学术活动	53
第4章	电磁环境	58
4.1	人为辐射源	58
4.1.1	单个的技术装置	58
4.1.2	市区电磁环境	59
4.2	人工接收机	60
4.3	发展趋势	61
4.4	环境保护和电磁兼容	64
第5章	电磁频谱保护及国际协作	66
5.1	引言	66
5.2	无线电规则	68
5.3	国家级频谱保护	74
5.4	结论	75
第6章	高压输电线及电气化铁道对弱电设备的影响	78
6.1	强电线的特性	78
6.1.1	交流输电线	78
6.1.2	电气化铁道	80
6.2	并行回路间的电磁感应影响	82
6.2.1	产生影响的物理过程	82
6.2.2	通信线上感应电位及电流的分布规律	83
6.2.3	通信线长度等于接近长度时的电磁感应影响	87
6.3	危险影响的计算方法	89
6.3.1	电危险影响	89
6.3.2	磁危险影响	90
6.4	干扰影响的计算	91
6.4.1	电话回路的干扰影响	93

6.4.2 电报回路的干扰影响	96
6.5 防护措施	96
6.6 阻性耦合影响及地电位	98
6.6.1 地中杂散电流场的基本理论	98
6.6.2 强电装置引起的地电位对邻近的弱电设备及工作人员的危害影响	99
6.6.3 阻性耦合影响的防护措施	104
6.7 金属管线对低频磁场的屏蔽作用	104
6.7.1 概述	104
6.7.2 电缆金属护套的理想屏蔽系数	106
6.7.3 电缆金属护套的实际屏蔽系数	108
6.7.4 关于地中金属管线的对地接触电阻	109
6.7.5 缆皮结构的选择	110
6.7.6 多条电缆时缆皮的理想屏蔽系数	112
6.8 架空地线的静电屏蔽作用	115
6.9 超高压线路的电场对人体组织的影响	116
第7章 耦合参数	124
7.1 电容耦合系数	124
7.2 感性耦合系数(互感系数)	127
第8章 雷电、磁暴及核电磁脉冲的影响	130
8.1 雷电的基本概念	130
8.1.1 闪电的种类	130
8.1.2 线状闪电的基本参数	131
8.2 雷电对地下线路及架空线路的影响	132
8.2.1 地下电缆的雷击理论	133
8.2.2 雷电对光纤极化面的影响	140
8.2.3 地下防雷线防雷效果的理论分析	144
8.2.4 云层放电对架空线路的影响	146
8.2.5 电缆在层式结构土壤中遭受雷击的状况	149
8.3 土壤电阻率及其相关测试	151
8.3.1 土壤电阻率与最大雷电流的关系	151
8.3.2 土壤电阻率的测定方法	153
8.3.3 接地电阻的测量	164
8.4 接地装置设计的理论基础	165

8.4.1 工频接地电阻的理论计算	165
8.4.2 雷电冲击电流作用下接地网的接地电阻	170
8.5 雷击大地与邻近地下电缆可能产生的电弧长度	174
8.6 通信电缆线路的防雷措施	174
8.7 架空明线线路的防雷措施	175
8.8 磁暴的产生	177
8.9 有紫外线辐射时地球磁场的变化	179
8.10 当由太阳飞出的带电粒子辐射时地球磁场的变化	179
8.11 磁暴时地球表面不同地点间的电位差及电位差对通信回路的影响	180
8.12 核电磁脉冲的影响	183
参考文献	187

第 1 章

电磁兼容学科发展历史概况

电磁兼容来源于 Electromagnetic Compatibility (缩写为 EMC) 一词。美国学者 Bernhard Keiser 曾把 EMC 定义为:“Electrical and electronic devices are said to be electromagnetically compatible when the electrical noise generated by each does not interfere with the normal performance of any of the others. Electromagnetic compatibility is that happy situation in which systems work as intended, both within themselves and in their environment.”国际电工委员会(IEC)、美国国防部《国防及有关名词字典》以及美国国家标准学会暨美国电工与电子学会联合出版的《IEEE 电工与电子学名词标准字典》都对 EMC 作了类似的定义。根据以上定义,国内不少学者多将 EMC 直译为电磁兼容,但如前言所述,EMC 学科领域范围日益扩大,现已不只限于电子设备本身,还涉及电磁污染、电磁饥饿等一系列生态效应问题以及其他多方面的问题,“电磁兼容”一词已不能包含 EMC 学科的全部内容。日本文献对 EMC 作了如下定义:“EMC 是一门独立的学科,随着电磁能量利用的发展,它将研究:预测并控制变化着的地球和天体周围的电磁环境、为了协调环境所采取的控制方法、各项电气规程的制定以及电磁环境的协调和电磁能量的合理应用等。”正是由于本学科涉及范围很宽,包括工程学、自然科学、医学、经济学、社会学等多方面的基础科学理论,且其理论体系也有一定的特殊性,故本学科有时也取名为环境电磁学。

环境电磁学的历史可上溯至 19 世纪。最早出现的电干扰现象是单线电报间的串扰。希维赛德于 1881 年写了一篇“论干扰”的文章可算是最重要的早期文献。但这类干扰现象在当时并未引起干扰者和被干扰者的重视。随着电气运输的出现,在一根通信线与不对称的强电线之间有较长的平行运行,干扰问题日益严重。1887 年柏林电气协会就成立了全部干扰问题委员会,成员有赫姆霍尔兹和西门子等。紧接着英国邮电部门在 1889 年研究了通信干扰问题。美国《电世界》杂志也登载电磁感应方面的文章。20 世纪初期索末菲在这方面进行了卓越的研究。以后人们对电磁感应影响的研究日益深入,其中波拉切克、卡尔生、哈波兰德、尚德、克留威、柯列、韦特、柯斯琴科、米哈依洛夫、拉茹莫夫等学者的工作都很突出。直至目前,此类干扰问题仍为国际电信联盟(ITU)第五研究组在各

研究期的主要研究课题。

除了上述的感性、容性及阻性等耦合方式引起的干扰外,人们还对辐射性干扰进行了大量研究。虽然在早期这些工作进行得还比较零散,但之后逐步走上正轨,各国陆续建立起相关的科研机构。在美国早就有有关射频干扰的专门刊物 *Radio Frequency Interference* 出版,报导了不少科研成果,直至 1964 年,专刊业务范围不断扩大,改名为 EMC 专刊,并沿用至今。苏联在 1948 年即已制定了“工业无线电干扰的极限容许值标准”并颁布施行(1954 年曾进行了一次修改),有很多研究单位从事抗干扰的研究。其他国家也已相继加强了射频干扰的研究工作。斯密施、摩尔、费奇、万斯、康达、迈尔、贺宾、亚诺、皮尔斯东、韦特、卡登、克里莫夫、谢昆洛夫、凯赛、格罗德涅夫、荒木庸夫、酒井洋、佐藤、赤尾等学者在这方面都有较大的贡献。目前国际上除 EMC 专业学会外,还有国际无线电干扰特别委员会(CISPR)等组织从事与 EMC 有关的高频干扰课题的研究。

美国自 1945 年开始,颁布了一系列电磁兼容方面的军用标准和设计规范,并不断地加以充实和完善,使得电磁兼容技术进入新的阶段。60 年代以来,现代科学技术向高频、高速、高灵敏度、高安装密度、高集成度、高可靠性方向发展,其应用范围越来越广,渗透到了社会的每一个角落。大规模集成电路的出现把人类带入信息时代,近年来信息高速公路和高速计算机技术成为人类社会生产和生活水平的主导技术,同时也由于航空工业、航天工业、造船工业以及其他国防军事工业的需要,使得 EMC 获得空前的大发展,放眼未来,EMC 还将在信息安全和生物电磁学等方面获得较大的进展。

特别值得提出的是,美、俄等国正在加紧研究对付核电磁脉冲影响的方法。最近十年,美国科研部门集中力量研究保护通信网和某些军用飞机不受高空核爆炸影响的方法。美国前总统里根 1982 年在宣布美国战略部队现代化计划时说,五角大楼将大力加强它的通信系统。为此拨款近 200 亿美元,其中大部分用以对付“电磁脉冲(EMP)”的作用。欧美还有一些国家也已投入力量从事这类科研工作。

我国开展 EMC 工作较晚,陆续颁布了一些 EMC 设计要求、测试方法等国家标准和国家军用标准,但具体的设计规范仍很缺乏。电磁兼容工作渗透到每一个电气电子系统及设备中,只有通过总体设计部门管理协调,才能解决电磁兼容性问题。我们在长期工作中的组织管理没有投入足够的人力物力做深入的研究,这些经验往往不能很好地积累、提高和推广,形成不了设计规范,EMC 设计更多是在低水平上的重复,这种局面有待改变。

第 2 章 电磁兼容学科的研究对象

如上所述,构成电磁环境的场源很多,如按频谱划分,则可粗略分为以下六类。

(1) 工频干扰(50 Hz):包括输配电以及电力牵引系统,波长为 6 000 km。

(2) 甚低频干扰(30 kHz 以下):波长大于 10 km。

(3) 载频干扰:包括高压直流输电谐波干扰、交流输电谐波干扰及交流电气铁道的谐波干扰等,频谱为 10~300 kHz,波长大于 1 km。

(4) 射频、视频干扰(300 kHz~300 MHz):工业科学医疗设备、输电线电晕放电、高压设备和电力牵引系统的火花放电以及内燃机、电动机、家用电器、照明电器等都在此范围,波长为 1~1 000 m。

(5) 微波干扰(300 MHz~300 GHz):包括特高频、超高频、极高频干扰,波长为 1 mm~1 m。

(6) 雷电及核电磁脉冲干扰:由吉赫直至接近直流,范围很宽。

研究对象除传统设施外,涉及芯片级,直到各型舰船、航天飞机、洲际导弹,甚至整个地球的电磁环境,各种测试方法和测试标准已展开了全方位的研究,例如,VDE、FTZ、FCC、BS、MIL-STD、VG、PTB、NACSIM、IEC、CISPR、ITU-T 等标准逐年更新版本,趋于全球公认化,各种规模的 EMC 论证、设计、测试中心如雨后春笋般出现。各国都注重 EMC 教育和培训及学术交流,以 1994 年为例,全球就举办了 25 次国际性的一流学术交流会和培训班,涉及东道国有美国、德国、日本、瑞士、波兰、西班牙、意大利、英国、澳大利亚、以色列等国家。研究的热点已涉及许多方面,如计算机安全,电信设备电磁兼容,无线设备、工业控制设备、自动化设备、机器人、移动通信设备、航空航天飞机、舰船、武器系统及测量设备的电磁兼容问题,各种线缆的辐射和控制,超高压输电线及交流电气铁道的电磁影响,电磁场生物效应,地震电磁现象,接地系统、滤波、屏蔽系统等。

本章将介绍电磁兼容的具体研究内容。

2.1 人为杂波

1. 输电线电晕杂波

关于输电线的杂波已有许多实测数据,基于这些数据,可以求得计算电晕杂波的实用

公式。然而关于这种杂波的发生机理、发射及传播特性还不完全清楚,这方面的理论仍需继续深入探讨。

2. 汽车杂波

汽车杂波是产生甚高频(VHF)至特高频(UHF)频段城市杂波的主要原因。根据其强度和特性的测定结果,已可采取相应措施,使广播和电视的质量基本不受影响。但最近由于电子设备用于汽车控制以及移动数字通信设备的运用,这个问题又被重新提出。

斯坦福研究所(SRI)对点火系统发射杂波的主要部件——点火栓、配电器接点等——进行了改进,使处于30~500 MHz频段的杂波降低了13~20 dB。此外,还有人求出6引擎发动机各点火栓的脉冲杂波振幅分布。对配电器的情况,若电极间隙从0.27 mm增至2.39 mm,则杂波可下降10 dB。若在负荷电极上增加银接点,或用金属合金履盖,也可降低杂波。点火系统以外的汽车电装置也能发出杂波,其特征正在测试研究中。

3. 接触杂波

接触杂波大体可分为接触器自身杂波及导体开合时放电而引起的杂波。继电器和电机触点、整流子电刷间的开合所产生的放电杂波在人为杂波中占相当大的比例。

日本学者相田氏等曾求得杂波电压及电流的频率特性,它表明电流的极大值与材料性质有密切关系。高木氏等对电弧电压波形与感应电压波形同时观测对比,对放电现象进行了分析。铃木氏等对整流子电刷之间的放电现象进行了研究,发现离开的速度不同,杂波会有很大的差异。接触杂波的本质在将放电物理学与电磁学及回路学结合起来后才逐步明确。

4. 电气机车杂波

电气机车运行时,导电弓架与触线间的放电也是人为杂波的根源之一。如果导电弓架的电流通路用滤波材料包围起来并采用一些辅助措施,则可将杂波降低20 dB,但至今尚未找到防止杂波的绝对有效的方法。

5. 工业科学医疗用射频设备(ISM)杂波

该类设备是把50 Hz交流通过射频振荡变为射频的变频装置,用于工业感应和电介质加热、医疗电热法和外科手术工具以及超声波发生器、微波炉等。虽然ISM设备本身有屏蔽,但在有缝隙、孔洞、管线进出和接地不良等情况下,仍会有电磁场泄漏并形成干扰。

6. 城市杂波

城市杂波与社会活动有着密切的关系,因而它总是随时代的变化而变化。在日本每年都定期进行城市杂波测试,欧美也有不少学者专家收集杂波测试数据,在我国这一工作也已开始。城市杂波的根源、程度及特性等均在随时变化,其测试方法及统计处理的方法都还有待进一步探讨。

7. 其他

以上主要介绍了几种人为杂波的现状及存在的问题。此外,如静电放电、无线电台的异常动作有时也很严重。况且几乎所有机器设备的电源线上都有瞬变产生的各种杂波混合波在传播,这样就会引起机器的误动作。随着数字电路的普遍采用,问题更为严重。另外,还发现有不明原因的干扰波存在。食品工业的自动化锅炉点火器的微动开关也有接触不良的情况,因此也很有必要加速研究以探明产生这些杂波的原因。

2.2 共用走廊内各种公用事业设备间的相互影响

为了充分利用有限的土地资源,使石油、电力、铁路、交通、邮电等部门的线网占地面积最小,常使这些线网共用同一走廊。显然这种共用走廊必须就土地使用、环境、社会经济、审美以及法律等多种因素综合进行考虑,而从技术观点看,则必须确定共用走廊的最低宽度,以便这些公用事业的设备在此宽度范围内虽有相互影响,但仍能协调运行。共用走廊内各系统间的相互影响见表 2.1。

表 2.1 共用走廊内各系统间的相互影响

受影响系统 产生影响系统	输电线	通 信	石油等金属管线	铁 道	公 路
输电线	可靠性下降、维护中由电压梯度引起的安全问题	正常运行状态下的音频干扰、故障及闪击损害、电击危险、电缆皮的腐蚀、施工中的损害	腐蚀、电击危险、起火/爆炸危险、施工中的损害	电击危险、出现虚假控制信号、起火危险、通信干扰	无线电杂波、可闻噪声、起火危险、电击危险
通 信	施工中出现阻断	串话、阴极保护影响、施工中的损害	阴极保护影响、施工中的损害	施工中的损害	接口干扰
石油等金属管线	施工中出现阻断起火/爆炸危险	阴极保护影响、漏油损害/人身安全、施工中的损害	阴极保护影响、漏油/起火及爆炸危险	施工中的损害、起火/爆炸危险	接口干扰、起火/爆炸危险

续表

受影响系统 产生影响系统	输电线	通 信	石油等金属管线	铁 道	公 路
铁 道	可靠性下降	电气铁道将产生与输电线相同的影响、出轨会危及增音站或地上设备	电气铁道将产生与输电线相同的影响、出轨会危及阀门、压缩机或泵站等	由于可能出现的事故使可靠性下降、安全度下降	由于突然事故引起的安全度下降、接口干扰
公 路	由于事故使可靠性下降	由于车辆事故会危及增音站或地上设备	由于车辆事故会危及地上设备	由于可能出现的事故使可靠性下降、安全度下降	由于突然事故引起的安全度下降、接口干扰

在这些影响中,输电线对其他公用事业的影响最为严重,输电线的故障电流及电流引起的电磁效应会对其他公用事业的设备及维护人员造成很大的危害,因此在研究这些影响时首先要考虑输电线的影

响。输电线对其他设备的影响主要由三种耦合造成,即容性耦合、感性耦合和阻性耦合。

除故障情况下,强电线在正常运行时的不平衡电流也会对其他设备形成干扰或使其其他地下金属管线产生腐蚀。

强电线大电流入地时,地中会出现很高的地电位,当有足够高的电压加到附近金属管线外围的绝缘层上时,将出现电弧,并使绝缘穿孔,甚至引燃起爆,因此必须保证一定的隔距或采用有效的防护措施。

2.3 重影问题

对大型建筑物(超高层建筑、输电线、铁塔等)的散射问题在理论上和实验上都进行了研究。重影现象不仅限于残留侧波带,还随有用波与重影波的振幅比、图样形式等变化,且重影还与电波传播路径上空气密度的扰动有关。因此重影问题非常复杂。为了对重影进行定量测试,现已制成重影分析仪。

为了减轻重影问题,可针对建筑物反射,采用吸收壁(磁铁矿粉末等)结构。这里既要