

● 高等学校电力类教材 ●

电力系统电磁兼容

■ 王洪新 贺景亮 主编

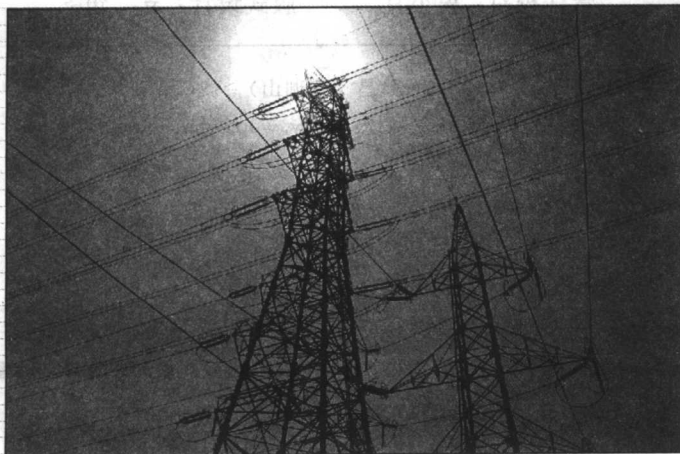


全国优秀出版社
武汉大学出版社

● 高等学校电力类教材 ●

电力系统电磁兼容

■ 王洪新 贺景亮 主编



全国优秀出版社
武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电力系统电磁兼容/王洪新,贺景亮主编. —武汉: 武汉大学出版社,
2004. 5

高等学校电力类教材

ISBN 7-307-04140-5

I. 电… II. ①王… ②贺… III. 电力系统—电磁兼容性—高等学校—教材 IV. TM71

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 013458 号

责任编辑: 瞿扬清

责任校对: 程小宜

版式设计: 支 笛

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: wdp4@whu.edu.cn 网址: www.wdp.whu.edu.cn)

印刷: 华中科技大学印刷厂

开本: 787×1092 1/16 印张: 16.375 字数: 382 千字

版次: 2004 年 5 月第 1 版 2004 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 7-307-04140-5/TM·7 定价: 25.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购我社的图书, 如有缺页、倒页、脱页等质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

内 容 简 介

本书是为高等学校电气工程类专业所编写的专业教材,亦可适用于同类专业的研究生选修课教材。本书全面、系统地介绍了电力系统电磁兼容的基本原理和方法,共分十章,包括电力系统的电磁环境、骚扰源、骚扰效应、骚扰测量、骚扰的抑制方法及抗扰度试验等。

本书内容丰富、翔实,取材广泛,文字通俗易懂,便于自学。除用作高等院校电气工程类专业教材以外,亦可供工程技术人员参考之用。

序 言

电磁兼容是一门研究电磁环境的边缘性学科，它是根据生产和科学研究的需要而产生和发展起来的。自从人类社会进入微电子时代以来，对电磁环境的要求日益提高，从而大大推进了电磁兼容学科的发展。

电力系统是由一次、二次设备组成的特殊的电磁环境，其中存在着多种电磁骚扰和相互作用。当前电力系统正朝着电压等级更高、容量更大、电力网络更密集、系统更复杂、设备更先进的方向发展，导致电力系统产生的电磁骚扰更严重、更复杂。另一方面，先进的电力系统采用了更多的自动化及其他电子及计算机等控制、测量、通信和保护系统，而以固态电子为基础的先进设备和系统耐受电磁骚扰的能力更弱，更容易受外界电磁环境的影响。因此，电力系统中的电磁兼容问题日益突出，它不仅是影响电力系统安全可靠生产的一个十分重要的因素，而且涉及到电力设施的规划、设计和运行的各个方面，甚至对电力水平和运行成本都产生影响。所以，它已引起电力系统设计、制造、运行各个部门的广泛关注，在电力系统中某些单位的工作岗位招聘和职称晋升时，电磁兼容方面的知识已作为考核的内容之一。因此，作为将来为电力系统服务的大学生，应当具备一些电磁兼容方面的基本知识。为此，在电气工程类专业中开设电力系统电磁兼容课程是十分必要的。其目的在于使学生增强电磁兼容意识，掌握电磁兼容的基本原理和技术，更好地为电力系统和国民经济服务。

电磁兼容涉及的专业领域很多，不同专业领域内的电磁环境、对电磁环境的要求，解决问题的侧重点和方法都不尽相同。本教材的基本要求是，使学生具备电力系统电磁兼容方面的基础知识和基本概念。在内容安排上则考虑电力系统的特点，把重点放在低频（如谐波）和暂态骚扰上，同时吸收其他学科（如无线电、通信等）的有关知识。这些知识对于学习强电专业的学生来讲，无疑是比较生疏的，因此只能介绍一些必要的基本概念，尽量避免过于繁琐的数学和公式推导以及不适宜的概念延伸。

为了使学生了解电力系统电磁兼容的全面而系统的知识，本书共十章，分为五大部分。分别讲述骚扰源及骚扰效应（第二～第六章）、骚扰的防护（第七章）、骚扰的测量（第八章）、抗扰度试验（第九章）和输变电工程的电磁环境问题（第十章）。

鉴于电力系统电磁兼容的内容十分丰富，涉及面极广，国内外相关的研究成果发展很快的特点，本教材在原有教材的基础上，充分注意国内外最新研究成果，增加了 GIS 中的电磁兼容问题和输变电工程的电磁环境问题两部分内容，充实并完善了有关骚扰的防护方面的内容，同时还更新和充实了其他方面的内容。但是限于水平，书中谬误、遗漏之处在所难免。在此，恳切希望使用本书的师生和读者批评指教。

本书由中国电机工程学会电磁干扰专委会委员、清华大学博士生导师何金良教授主

审，并提出了许多宝贵意见；广东省电力公司钟连宏高级工程师也对本书的编写提供了支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

编 者

2003 年 11 月

目 录

序 言	1
1 绪 论	1
1.1 电磁兼容的研究内容	1
1.2 EMC 的发展概况	3
1.3 电力系统中的 EMC 问题	6
2 电力系统谐波	9
2.1 电力系统的波形畸变	9
2.2 大功率可控硅整流器产生的谐波	11
2.3 可控硅调速器产生的谐波	23
2.4 变压器的非正弦励磁电流	25
2.5 电力机车产生的谐波	28
2.6 电弧炉产生的谐波	31
2.7 市政生活用电中的谐波源	32
3 谐波效应及谐波抑制	37
3.1 谐波谐振	37
3.2 谐波对一次设备的影响和危害	41
3.3 谐波对二次设备骚扰的评价	46
3.4 谐波对用电设备的影响	48
3.5 减小谐波影响的技术措施	50
3.6 电力系统谐波的限值和标准	59
4 变电所的暂态骚扰	64
4.1 概 述	64
4.2 由开关操作引起的暂态骚扰	65
4.3 阻性耦合产生的骚扰	69
4.4 直流回路操作产生的暂态骚扰	72
4.5 电磁式电压互感器对暂态电压的响应	73
4.6 电容式电压互感器对暂态电压的响应	77

5 高频辐射骚扰	80
5.1 单元偶极子产生的电磁场辐射	80
5.2 高压变电所中的高频辐射骚扰源	81
5.3 直流换流站产生的辐射骚扰	84
5.4 变电所开关操作产生的辐射骚扰	87
5.5 核电磁脉冲的辐射骚扰	90
5.6 雷击变电站避雷针（线）时产生的辐射骚扰	91
6 GIS 中的电磁兼容问题	93
6.1 概 述	93
6.2 GIS 中开关操作的快速暂态过渡过程	94
6.3 GIS 中的暂态地电位升高问题	100
6.4 GIS 中开关操作等暂态过程产生的瞬态辐射骚扰	107
7 变电所电磁骚扰的防护	112
7.1 电缆的屏蔽原理	112
7.2 变电所设计中应考虑的几个问题	119
7.3 交流电源系统中的电磁暂态（电涌）防护	123
7.4 提高二次设备抗骚扰能力的措施	140
7.5 计算机受电网骚扰的抑制方法	142
7.6 晶体管逻辑电路的骚扰容限	143
8 骚扰信号的测量	146
8.1 谐波测量	146
8.2 稳态波形的记录	152
8.3 暂态波形的记录	157
8.4 自动测试系统	165
8.5 辐射骚扰场强的测量	169
9 抗扰度试验	172
9.1 概 述	172
9.2 低频骚扰抗扰度试验	175
9.3 传导暂态和高频骚扰的抗扰度试验	181
9.4 静电放电抗扰度试验	191
9.5 磁场抗扰度试验	193
9.6 辐射电磁场抗扰度试验	197

10 输变电工程的电磁环境问题	200
10.1 概 述	200
10.2 电力系统对邻近其他设施的电磁影响	201
10.3 电力系统工频磁场问题	216
10.4 工频电磁场的生物效应问题	230
 附录	237
 参 考 文 献	251

1 绪 论

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的主导技术。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多彩,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,最突出的问题就是环境问题。日趋严重的环境污染影响了人们的生产和生活,使人类认识到在发展生产的同时必须重视环境的治理。

电磁骚扰是环境污染的一种形式,它是继水质污染、大气污染和噪声污染之后,被世界公认的第四大污染。电磁污染是随着电气化水平的不断提高而产生的一种环境问题。众所周知,现代社会离不开电与磁。电磁以各种形式无孔不入地渗透到人们生活的各个领域。人们置身于一个十分复杂而广阔的电磁环境之中。正是在这种环境中,人们常常为随时可能出现的电磁骚扰而烦恼。例如,当你正在兴致勃勃地观赏精彩的电视节目时,荧光屏上突然出现令人讨厌的光带或光斑;或者在收音机里传出悦耳音乐的同时,一种不和谐的噪声使你感到沮丧等。

随着科学技术的发展和人们的生活水平不断提高,对电磁环境的要求越来越高。然而事物往往是在矛盾中发展的。人们在改善电磁环境的同时,又在不断地制造着新的骚扰源。目前,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,这就给电磁环境的治理增加了难度。它不仅要求人们深入地研究电磁骚扰的规律,从而有效地抑制骚扰,提高电气设备的抗骚扰能力,而且要加强管理,制定相应的措施,以便使各种电气设备之间达到协调的工作状态。因此,一门边缘性学科——“电磁兼容”就迅速发展起来了。

1.1 电磁兼容的研究内容

电磁兼容性是英文 Electromagnetic Compatibility 的译名,简称 EMC。EMC 是研究电磁环境(指存在于给定场所的所有电磁现象的总和)的学科,所以又称为环境电磁学。按照国际电工委员会(IEC)的定义,电磁兼容性是指设备或系统在其电磁环境中能正常工作,且不对该环境中的任何事物构成不能承受的电磁骚扰的能力。根据这个定义可知 EMC 的主要研究对象是电磁骚扰(所谓电磁骚扰是指任何可能引起装置、设备或系统性能降低或者对生物或非生物产生不良影响的电磁现象),即骚扰源的形成及其性质;骚扰的耦合和传输;敏感设备的响应特性和抗骚扰措施等。换句话说,电磁兼容是研究在有限的空间、有限的时间、有限的频谱资源条件下,各种用电设备(分系统、系统、广义的还包括生物体)可以共存

并不致引起降级的一门科学。

电磁兼容所研究的场源频率范围,大致可分为六类。

1) 工频及音频骚扰(50Hz 及其较低次谐波分量)。它包括输配电、电力牵引系统等。

2) 甚低频骚扰(30kHz 以下)。它包括高压交、直流输电中的特高次谐波及电气铁道中的特高次谐波。雷电也可列在此范围内。

3) 载频骚扰(30 ~ 300kHz)。例如载波通信。

4) 射频、视频骚扰(0.3 ~ 300MHz)。工科医(ISM)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、家用电器、电动机、照明电器等都在此范围之内。

5) 微波骚扰(0.3 ~ 300GHz)。它包括特高频、超高频、极高频骚扰。

6) 核电磁脉冲骚扰。这种骚扰由直流直至千兆赫。

针对以上这些场源,一般将电磁兼容的研究对象分为以下几项内容。

1) 人为杂波,如输电线电晕杂波、汽车杂波、接触器自身杂波、隔离开关关合时产生的杂波、电气机车杂波、工科医设备杂波、城市杂波,以及其他如静电放电、无线电台的杂波等。

2) 公共走廊内各种公用事业设备,如输电线、通信、石油等金属管线、电气铁道、公路等的相互影响。

3) 大型建筑物,如超高层建筑、输电线、铁塔等所引起的反射。

4) 电磁环境对生态的影响。

5) 核电磁脉冲(NEMP)。

6) 电子设备的误动作。

7) EMC 系统模型(包括电磁环境的模型及电子设备的 EMC 试验)。

8) 雷电、磁暴、风沙放电等自然界影响。

表 1-1 给出了我国的 EMC 标准化工作中所考虑的主要的电磁骚扰现象。

EMC 技术就是要对以上各项内容进行研究,包括 EMC 基础理论研究,由实践和试验结果对设备规定出骚扰极限值,提出抗扰度的要求,研究测试设备及测量方法,提出消除或减少电磁骚扰的措施,以达到提高电气及电子设备电磁兼容性并减少电磁环境的其他有害影响的目的。

EMC 研究范围是如此之广,以至于可以说凡是与电磁有关的学科中都有 EMC 问题。有人作过统计,大约有 30 多种学科和 EMC 有关。所以说 EMC 是一门渗透到各个学科领域中的边缘性学科。有人将 EMC 比做“不管部”。当然,不同学科有不同的侧重面,例如,在通信方面主要研究高频骚扰问题;对于电力系统则侧重于低频(如谐波)及暂态骚扰。

随着科学技术的进步,电磁环境日益复杂,EMC 的研究范围也不断扩大。近年来,除了增加电磁污染、电磁饥饿等一系列生态效应以外,还增加了电子对抗等军事方面的内容。现代的 EMC 已经不仅仅限于研究电磁骚扰问题而发展成为一门内涵丰富、外延广泛的综合性学科了。它涉及的范围很广,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。

EMC 的研究开始于输电线对通信线的骚扰。初期阶段的频率较低,以传导和耦合形式的骚扰为主要研究对象。随着无线电广播和通信事业的发展以及电子元件敏感程度的提高,辐射骚扰逐渐起着重要作用。近代的数字电路产生的脉冲具有很陡的前、后沿,因而也会辐射出电磁波,形成骚扰。一台微型计算机所发出的电磁骚扰有时也不容忽视。所以,

表 1-1

主要的电磁骚扰现象

传导的低频现象: —谐波、谐间波 —电网信号系统 —电压波动 —电压暂降和短时中断 —电压不平衡 —电源频率变化 —感应的低频电压 —交流网络中的直流分量	辐射的低频现象: —磁场 —连续的 —瞬态的 —电场
传导的高频现象: —感应电压或感应电流 —连续波 —调制波 —单向瞬态 —振荡瞬态 * 单次或多次重复(脉冲群)	辐射的高频现象: —磁场 —电场 —电磁场 —连续波 —调制波 —瞬态 * 单次或多次重复
静电放电(ESD)现象	核电磁脉冲(NEMP)

现在不仅要考虑强电系统对弱电系统产生的骚扰,而且也要考虑弱电系统本身元件之间或设备之间的相互骚扰。严格地讲,在一个系统中,只要把两个以上很小的元件放在同一个环境中就会产生电磁骚扰。而且,每加入一个新的元件都会增加电磁骚扰的可能性。即使看来很小的骚扰都可能引起严重的故障或降低其稳定性。在一些特殊的环境中,如航空航天飞机上、舰艇上、高压变电所和高电压实验室中,设备之间电磁兼容性的问题格外突出,因为在这些环境中,敏感仪器和骚扰源都处在一个非常有限的空间中。

在电力及电子产品的设计中应当考虑电磁兼容性,EMC 设计应当成为电力及电子产品设计中不可缺少的环节。

1.2 EMC 的发展概况

EMC 的发展经历了从“路”到“场”,从低频到高频,从狭义的电磁骚扰到广义的电磁兼容的过程。

对于电磁骚扰的研究可以追溯到 19 世纪。最早出现的电磁骚扰现象是单线电报间的串扰。希维赛德于 1881 年写了一篇“论骚扰”的文章,被认为是最重要的早期文献。但这类骚扰现象在当时并未引起骚扰者和被骚扰者的重视,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,骚扰问题日益严重,这样在 1887 年柏林电气协会就成立了全国骚扰问题委员会。紧接着英国邮电部门也在 1889 年研究了通信骚扰问题,与此同时,美国《电世界》也刊登了电磁感应方面的文章。20 世纪初期,索末菲在这方面进

行了卓越的研究工作,20 世纪 20 年代以后,各个工业先进的国家都日益重视电磁兼容的研究,于是相应的国际组织纷纷成立。人们除了深入研究电磁感应的影响外,还对辐射性骚扰进行了大量研究。另外,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,并不断加以充实和完善,使得电磁兼容技术进入新的阶段。特别值得提出的是,美、俄等国正在加紧研究对付核电电磁脉冲影响的方法。

目前与 EMC 有关的国际组织很多,最重要的是 IEC。IEC 是国际制造商(团体)组成的关于电气标准规范的国际组织,它是最有权威性的国际组织之一。IEC 下设 78 个技术委员会(Technical Committee,简称 TC)和 4 个特别委员会,其中包括国际无线电特别委员会(CISPR)。与 EMC 关系密切的是 TC-77 和 CISPR。当然,其他委员会也接受与 EMC 有关的课题研究。下面着重介绍 TC-77 和 CISPR。

1.2.1 TC-77

TC-77 主要研究低压网络中电气设备之间电磁兼容性的有关标准及法规,与电力系统电磁兼容的关系最为密切。1981~1986 年公布的一系列出版物中提出,家用电器和类似电气设备在供电系统中引起的骚扰包括谐波和电压波动,推荐了谐波和电压波动的测量方法和计算方法,以及基准阻抗的确定原则,并规定了限值。除此之外,在 1985 年的 IEC816 出版物中,还专门讨论了低压及通信线路暂态骚扰的测量方法。

TC-77 下设若干工作组(WG)和分委员会(SC)负责具体工作,其组织机构及分工如图 1-1 所示。

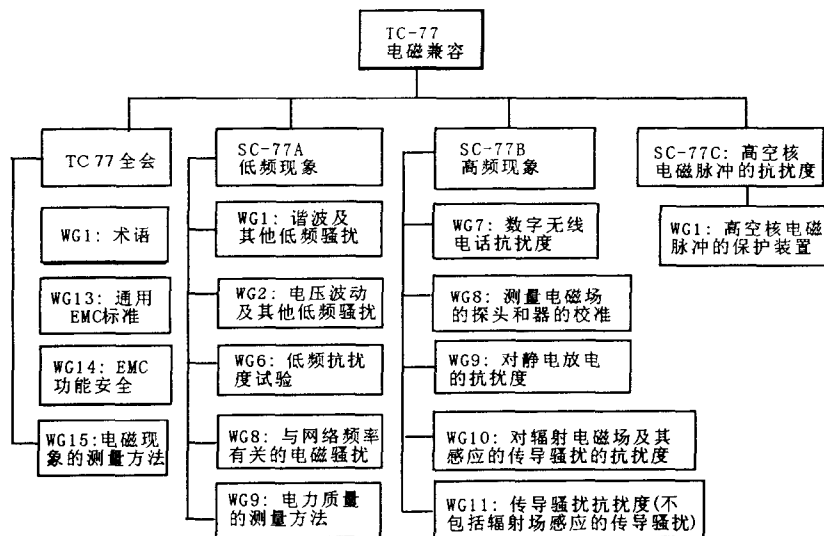


图 1-1 TC-77 组织机构及分工示意图

1.2.2 CISPR

CISPR 是为了研究防止广播接收、通信等受电气设备的骚扰而设立的特别机构。它成

立于1934年,主要研究统一的测试方法,并对各种电气设备提出电磁骚扰限值的建议。CISPR有7个分委员会,它们的分工如下:

- 1) SC-A为无线电骚扰测定及统计方法;
- 2) SC-B为来自工科医用高频设备的骚扰;
- 3) SC-C为来自架空线、高压设备及电力牵引系统的骚扰;
- 4) SC-D为来自汽车和内燃机等方面的骚扰;
- 5) SC-E为接收机的骚扰特性及抗骚扰性能;
- 6) SC-F为来自电动机、家用电器以及照明器具等的骚扰;
- 7) SC-G为来自信息技术设备(包括二进制脉冲波形,具有电子计算、情报交换记录或图形再现功能的电气或电子设备等)的电磁骚扰及抗骚扰性能。

除了IEC的TC-77及CISPR以外,与EMC有关的国际组织还有:IEC TC-65(工业过程测量和控制技术委员会)、IWCS(国际电线电缆学术讨论会)、ITU(国际电信联盟)、CCIR(国际无线电咨询委员会)、URSI(国际无线电科学联盟)、IEEE EMC-S(跨国电气电子工程师学会电磁兼容专业委员会)等。另外,CIGRE(国际大电网会议)也成立了专门研究高压线路对通信线路的无线电骚扰问题工作组。这些组织都定期召开学术会议进行学术交流。尽管各个组织在EMC的领域中研究的侧重面不同,但是有不少问题是共同关心的,如EMC标准、测量技术、电缆与接地、屏蔽与滤波、设备电磁兼容、天线与传播、频谱利用、核电磁脉冲、雷电、静电放电、生态效应等。

在我国,随着生产和科研的发展,EMC的研究也日益受到重视,并得到迅速发展。国家有关部门,如国家科委、国防科工委、国家无线电管理委员会、国家技术监督局、国家安全部、公安部、外交部、原能源部、铁道部、邮电部、中国船舶总公司等都加速了EMC的研究步伐,纷纷成立了与EMC有关的学术组织。目前与EMC有关的学术组织有:全国无线电干扰标准化技术委员会、中国电工技术学会电磁兼容委员会、中国电机工程学会电磁干扰专业委员会、中国电源学会电磁兼容委员会、中国通信学会电磁兼容委员会、中国电子学会电磁兼容分会、中国铁道学会电气化专业委员会防干扰学组、中国造船学会电磁兼容学组、湖北省电磁兼容学会、湖南省电磁兼容学会、陕西省电子学会电磁兼容委员会等。这些组织成立以后,EMC领域内的学术气氛空前活跃。1984年,首先由中国通信学会、中国电子学会、中国电机工程学会、中国铁道学会在重庆联合召开了第一届全国环境电磁学学术会议,出席代表88人,交流论文49篇,内容涉及工频、音频、射频、视频、核电磁脉冲及雷电等。1987年在深圳召开了第二届全国EMC学术会议,主办单位增加至6个,宣读论文107篇,内容涉及EMC的机理研究与工程实践、EMC动态、测量技术与设备、骚扰分析、电磁脉冲、EMC模型与工程设计、计算机抗骚扰、电子对抗等。1990年在北京召开了第三届全国EMC学术会议。由10个单位主办,与会代表200多人,共宣读论文127篇,内容涉及面更广,增加了EMC教育的内容,同时还举办了国际EMC展览会。1996年在苏州、1999年在北京分别召开了第四、五届全国EMC学术会议,分别录用论文133、96篇。此外,各学会还另外开展了很多学术活动,中国通信学会及中国电子学会还在国内举办了多次有关EMC的国际会议。

1.3 电力系统中的 EMC 问题

众所周知,处于同一电力系统中的各种电气设备通过电的或磁的联系彼此紧密相联,相互影响。由于运行方式的改变、故障、开关操作等引起的电磁振荡会波及很多电气设备,使这些设备的工作性能受到影响,甚至遭到破坏。即使在正常的运行状态下,某些整流设备及非线性元件等产生的谐波也会危害其他设备,因此,电力系统内部存在着大量的 EMC 问题。可以把电力系统电磁兼容问题归结为三个方面:①变电站电磁兼容技术问题;②输变电工程的电磁环境问题;③电力质量问题。

电力系统中的电磁骚扰大致可分为三种情况:一次设备之间、一次和二次设备之间、二次设备之间。

电力系统中设备之间的电磁骚扰按其所引起的后果来分,可以分为危险影响和干扰影响两种。危险影响是指绝缘破坏,完全丧失其功能;干扰影响则是指其性能劣化或运行状态改变。

电力系统电磁骚扰的频率范围也很广,包括工频、谐波、冲击和高频振荡。

电磁骚扰的耦合途径有传导、耦合(感应)和辐射以及它们的组合。

变电所是一次设备和二次设备最集中的场所。一次回路中的开关操作,雷电流及短路电流在接地网上引起的电位升高,甚至二次回路中电缆之间的电磁耦合都会对二次回路产生骚扰。因此,变电所是电力系统电磁兼容的主要研究对象。

变电站中主要的电磁骚扰源如图 1-2 所示。电磁骚扰源的起因及其传播途径包括:

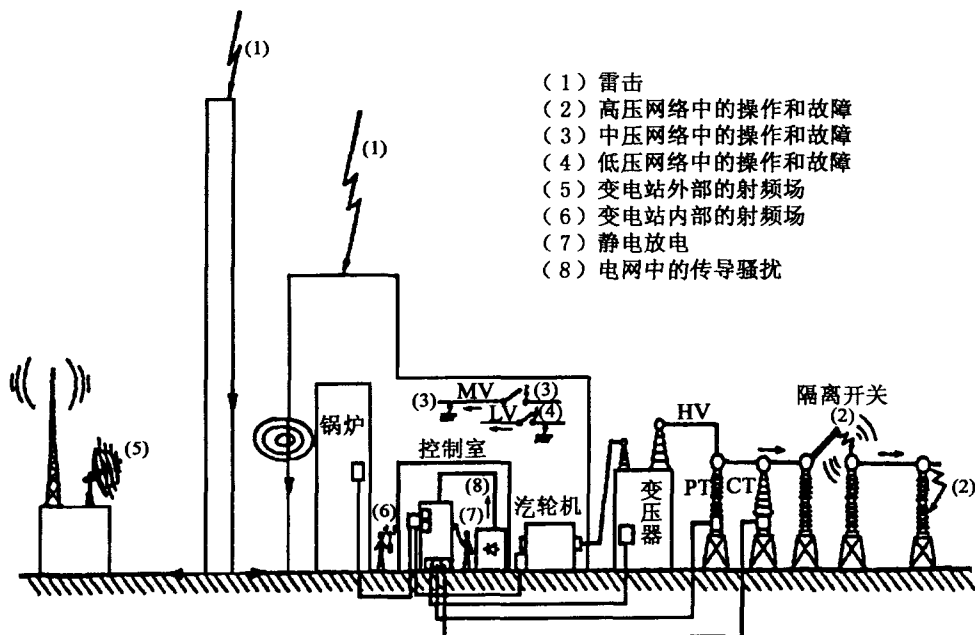


图 1-2 变电站电磁骚扰源示意图

1) 高压隔离开关和断路器的操作。这些操作可能在母线或线路上引起含有多种频率分量的衰减振荡波。母线(或电气设备间的连线)相当于天线,将暂态电磁场的能量向周围空间辐射,同时通过连接在母线或线路上的测量设备(CT、PT、CVT等)直接耦合至二次回路。

2) 雷击线路、构架和控制楼。直接雷击到户外线路或构件,会有大电流流入接地网,二次电缆的屏蔽层在不同的接地点接地时,就会因不同的接地点间具有不等的电位而产生流过接地网接地电阻和二次电缆屏蔽层的瞬态电流,从而在二次电缆的芯线中感应出骚扰电压;线路感应的过电压也会通过测量设备引入二次回路。

3) 系统短路故障。这会和雷击构件一样引起地网电位的升高,从而引起二次电缆中的骚扰电压。

4) 靠近高压线路受其工频电磁场作用。这对于电子束类的显示设备产生骚扰是十分明显的。在户外变电站中,高压线路或汇流排会产生工频电磁场。

5) 局部放电(电晕、沿面放电)。产生频率较高的电磁辐射,可能在电子设备的线路中引起骚扰。

6) 二次回路中的开关操作。由于感性负载的存在,在二次回路的信号、电源端口以及控制端口产生快速瞬变的脉冲骚扰。

7) 电源本身,如电压波动、电压暂降、短时中断、电源频率变化及谐波等。

8) 静电放电。这是由于工作人员对设备处置造成的,可能引起设备丧失其功能。控制设备可能遭受到工作人员向金属外壳或电子线路静电放电的影响。

9) 无线电发射机(步话机)。变电站工作人员用的无线电通信工具(发射机)是变电站内高频场的主要来源。它也比局部放电(电晕、沿面放电)要严重些。

电力用户是电力系统的服务对象,应保证其设备安全可靠并处于最佳运行状态。然而电力系统中的谐波和电压波动增加了用电设备的损耗,破坏了用电设备的最佳运行条件,因此研究用电设备之间以及用电设备和系统之间的电磁兼容性有着重要的实际意义。当然,有些用电设备本身就是骚扰源(如谐波源),加上用电设备种类繁多,分布广,这给研究工作带来一定的困难。

在电力系统发展初期,电压等级较低,用电设备主要是照明和电动机,二次设备的结构也比较简单,因此,电力系统中的电磁兼容问题不太突出,主要表现为低频传导形式的骚扰。电力系统发展到今天,容量和电压等级都大大提高了,并且出现了直流高压输电,可控硅大量应用;在用电设备方面,电气机车、电解工业、电弧炉等大型整流设备的发展以及大量电子类型的家用电器的广泛使用使电力系统的谐波污染问题变得相当严重;二次设备的微型化、数字化、电子化增加了二次设备对暂态骚扰的敏感性和脆弱性,使暂态骚扰和高频辐射骚扰问题日益突出。尤其是目前将监控设备直接下放到开关间隔中,甚至安装在一次设备上已成为趋势,因为实现由控制楼下放到开关场中具有重要的技术经济意义,而制约这项技术的关键问题是如何抵御变电站瞬态电磁环境对开关场的设备的辐射和传导电磁骚扰。所有这一切都说明电力系统电磁兼容问题已经成为不容忽视的重要问题,并已引起电力系统科研、设计、运行等各个部门的关注。

电力系统电磁兼容所研究的课题主要有:

1) 骚扰源分析,包括谐波、雷电、开关操作、系统短路、静电放电、核电磁脉冲等。

- 2) 传播方式,包括传导、耦合(感应)和辐射以及它们的组合。
- 3) 骚扰效应,包括一次和二次设备对各种骚扰的响应特性,骚扰引起热的、机械的和电气的破坏作用及误动作。
- 4) 骚扰的测量和计算,包括测量方法、测量设备、数据处理等。
- 5) 骚扰模拟,包括骚扰条件的再现、骚扰机理的模拟研究等。
- 6) 抗扰度试验,包括试验方法和试验标准。
- 7) 骚扰限值及有关法规。
- 8) 电力系统对其他系统的骚扰。