

**apqi** ASIA  
POWER  
QUALITY  
INITIATIVE

“十二五”国家重点图书出版规划项目

现代电能质量技术丛书

# 电力系统中电磁现象 和电能质量标准

亚洲电能质量联盟中国合作组 组编  
林海雪 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

**apqi** ASIA  
POWER  
QUALITY  
INITIATIVE

“十二五”国家重点图书出版规划项目

现代电能质量技术丛书

# 电力系统中电磁现象 和电能质量标准

亚洲电能质量联盟中国合作组 组编  
林海雪 编著



中国电力出版社  
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

## 内 容 提 要

电能质量关系到国民经济的总体效益,因而越加受到关注和重视。本书打破以往电磁兼容书中将电能质量问题简化为“谐波”问题的惯例,将电能质量问题和电磁兼容问题适当结合,从电磁现象入手,对电能质量进行全面介绍。同时对国内外现行电能质量相关标准进行扼要剖析,有助于读者更快速、全面、深入地了解相关知识。本书共7章,分别为电力系统中的电磁现象、电磁骚扰源、电磁兼容和电能质量的概念及相关标准简介、稳态电能质量现象及基本分析、动态电能质量现象及基本分析、电能质量相关国家标准介绍、国外谐波标准现状及发展。

本书可供从事电网电能质量工作的技术、管理人员参考使用,也可作为高等学校电气工程类专业的补充教材。

### 图书在版编目(CIP)数据

电力系统中电磁现象和电能质量标准 / 林海雪编著; 亚洲电能质量联盟中国合作组组编. —北京: 中国电力出版社, 2015.12

(现代电能质量技术丛书)

ISBN 978-7-5123-6346-5

I. ①电… II. ①林… ②亚… III. ①电力系统-电磁现象-研究②电能-质量标准-研究 IV. ①TM71②TM60

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 189030 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街19号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

\*

2015年12月第一版 2015年12月北京第一次印刷

710毫米×980毫米 16开本 20.25印张 387千字

印数 0001—3000册 定价 78.00元

### 敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪  
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

## 丛书前言

电能质量问题近年来受到更多的关注。究其缘由，想来有三：第一，大量的非线性和冲击性负荷的广泛应用，对供电系统电能质量造成了严重的污染，恶化了电气设备的电磁环境；第二，以微电子控制技术为核心的高度自动化和智能化设备极其敏感，抗扰度能力不足，对电能质量的要求越来越高；第三，伴随行业的发展，相关组织和单位举办了各类交流会议以及展览，吸引大量媒体关注报道电能质量。在这样的大背景下，电能质量问题从冷门慢慢热了起来。

行业的健康发展，离不开理论的指导和技术经验的交流分享。但是，国内关于电能质量的书籍不是很多，系列丛书更是没有。基于这样的现状，亚洲电能质量联盟中国合作组（简称合作组）发起编写“现代电能质量技术丛书”，这个倡议当时获得了业内很多专家学者的支持。大家共同推选了林海雪教授担当丛书的牵头人，中国电力出版社也欣然应允出版这套丛书，并作为重点图书报送国家新闻出版总署（现为国家新闻出版广电总局），获批列入“‘十二五’国家重点图书出版规划项目”。原计划两年内完成的这套丛书，因多位作者身体抱恙，直至今天才最终陆续付梓，真是好事多磨。

姗姗来迟的这套丛书，从不同的维度介绍了电能质量，以及相应的

测量与控制技术。以基本理论与方法为主的，有《电力系统中电磁现象和电能质量标准》和《电能质量数学分析方法》；以介绍现代测量与实用控制为主的，有《现代电能质量测量技术》和《电能质量实用控制技术》；还有以热点或新问题为主的，有《电气化铁路供电系统及其电能质量控制技术》、《分布式电源接入电网的电能质量》、《电网中电压暂降和短时间中断》、《电力系统直流干扰》及《交流配电系统的接地方式及过电压保护》。

这套丛书整体适合从事电能质量工作的工程师和管理人员作为理论和实践的指引，也适宜对于电能质量问题感兴趣的相关人士阅读，从不同的侧面了解电能质量问题及其影响。希望我们编著的这套丛书可以更好地促进电能质量知识及技能的传播，使读者有所收获，这也是合作组与作者最希望达到的效果。另外，丛书也将成为由合作组作为主办方之一，并由国家人力资源和社会保障部教育培训中心考核认证的“高级电能质量工程师”培训的指定参考书。

最后特别感谢美国国际铜专业协会对于亚洲电能质量联盟中国合作组编著丛书的大力支持，感谢牵头人林海雪教授多年来的辛勤工作，感谢所有丛书作者的认真与执著，感谢编辑们的耐心与信任，感谢丛书审稿专家们提出的建设性的意见和建议。亚洲电能质量联盟将继续努力耕耘，为读者带来更多的接地气的电能质量专著。

亚洲电能质量联盟秘书长 黄炜

## 本书前言

随着国民经济快速发展，电力需求不断扩大，面对世界电力发展的新动向，我国提出建设以特高压电网为骨架，各级电网协调发展，以信息化、自动化、互动化为特征的“坚强智能电网”战略目标。当前电力系统正朝着电压等级更高、输电容量更大、距离更远、网络更密集、系统更复杂、设备更先进以及更为智能化的方向发展。电力系统中的各种电气设备通过电的或磁的关系彼此紧密相连，相互影响。电力系统中存在大量电场、磁场和静电干扰以及谐波、电压波动和闪变、不平衡、电压暂降和短时中断、过电压、频率变化等传导性干扰，所有这些干扰现象构成了“电磁环境”，而“电磁环境”直接关系到电气设备的安全正常工作，甚至还产生生态效应。20世纪80年代兴起的电磁兼容学科是对电磁干扰的产生、传播、接收、抑制机理，以及相应的测量、计量技术和标准等进行研究，以求得同一电磁环境下工作的各种电气设备能正常工作，“和谐”相处，达到兼容状态。目前电磁兼容学科已渗透到包括电力在内的所有现代科技和工业领域。与此同时，随着科技和工业的发展，电力负荷的结构发生了“质”变：一方面非线性和冲击性负荷比重不断增加，这些负荷对供电系统电能质量造成了严重的污染，恶化了电气设备的电磁环境；另一方面，以微电子控制技术为核心的现代高度自动化和智能化的电气设备、新型的电力电子装置和IT产业对电能质量的要求越来越高。许多电能质量问题会导致产品质量的下降，生产流程的中断，甚至产品报废、设备损坏，给用户造成巨大的损失。实际上，电能质量关系到国民经济的总体效益。因此，电能质量引起了广泛关

注。自 20 世纪 80 年代以来，国内外投入这方面的研发力量和资金不断增加，相关的产品不断问世。目前电能质量的测量和治理已形成产业，许多电力高等院校均设置“电能质量”课程，而电力企业已把电能质量监督列为生产运行的主要工作之一。

实际上，电能质量涉及的指标基本上属于传导性电磁干扰，电能质量问题可以视为电磁兼容在电力供用电领域的具体体现。因此在深入研究电能质量之前，最好对电磁现象有全面的了解。统观目前出版的电磁兼容专业书，往往把电能质量问题简化为“谐波”现象，并不涉及实际上大量出现其他电能质量现象（例如电压波动和闪变、三相不平衡、电压偏差等），而目前出版的电能质量书中往往缺少对电磁现象的全面描述，这对判断和分析实际工程中许多异常现象也是不利的。本书试图把电能质量问题和电磁兼容问题做适当结合，以弥补现行教材和专业参考书这方面的缺陷。

本书共 7 章：第 1、2 章论述电力系统中电磁现象，对电网中的骚扰源做了全面介绍；第 3 章介绍电磁兼容和电能质量概念以及标准概况；第 4、5 章分别论述稳态和动态电能质量现象及基本分析；第 6 章对有关电能质量指标的现行国家标准做简单介绍；第 7 章对国外谐波标准的现状及发展趋势做了描述。本书内容着重对现象的描述分析，并对国内外现行标准进行介绍。

华北电力大学肖湘宁教授和陶顺博士对本书进行了全面细致的审阅，提出了不少宝贵的修改意见，谨致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编者

2015 年 1 月

# 目 录

丛书前言

本书前言

<b>1</b>	电力系统中的电磁现象 .....	1
1.1	电力系统的组成及其电磁环境 .....	1
1.2	电力系统电磁现象的分类 .....	3
1.3	电力系统电磁现象的描述 .....	4
<b>2</b>	电磁骚扰源 .....	19
2.1	概述 .....	19
2.2	高压电路中开、合操作引起的暂态（或瞬态） .....	20
2.3	高压电路中因击穿和放电引起的暂态（或瞬态） .....	26
2.4	高电压设施产生的工频电场和磁场 .....	27
2.5	雷击和短路电流在接地系统中引起的电位升高 .....	32
2.6	雷电及其引起的瞬态骚扰 .....	33
2.7	低压设备开、合操作引起的电快速暂态 .....	47
2.8	静电放电 .....	50
2.9	无线电发射装置产生的高频场 .....	52
2.10	电气或电子设备产生的无线电频率干扰 .....	53
2.11	输电线路无线电干扰 .....	54
2.12	来自电力网的低频骚扰 .....	56
2.13	核电磁脉冲 .....	56



2.14	直流及地磁干扰	58
<b>3</b>	<b>电磁兼容和电能质量的概念及相关标准简介</b>	<b>59</b>
3.1	电磁兼容的概念	59
3.2	IEC 电磁兼容标准简介	61
3.3	IEC 关于低频传导方面的兼容水平规定	66
3.4	美国电磁兼容和电能质量标准	67
3.5	欧洲配电网的电能质量规定	70
3.6	电能质量的定义和分类	72
3.7	标准的局限性	74
3.8	我国电能质量标准概况	75
3.9	关于完善我国电能质量标准体系的若干问题	78
<b>4</b>	<b>稳态电能质量现象及基本分析</b>	<b>79</b>
4.1	供电电压水平	79
4.2	电力系统频率水平	85
4.3	谐波	88
4.4	间谐波	99
4.5	电压波动和闪变	106
4.6	三相电压不平衡	114
4.7	换相缺口	122
4.8	电网信号传输	126
4.9	高频(50次谐波以上)电压的畸变	127
4.10	直流及地磁干扰	128
<b>5</b>	<b>动态电能质量现象及基本分析</b>	<b>131</b>
5.1	电压暂降和短时供电中断	131
5.2	暂时过电压和瞬态过电压	139

<b>6</b>	<b>电能质量相关国家标准介绍</b>	164
6.1	供电电压偏差	164
6.2	电力系统频率偏差	169
6.3	公用电网谐波	175
6.4	电压波动和闪变	180
6.5	三相电压不平衡	184
6.6	暂时过电压和瞬态过电压	189
6.7	公用电网间谐波	193
6.8	电压暂降与短时中断	198
<b>7</b>	<b>国外谐波标准现状及发展</b>	202
7.1	国外谐波电压标准	202
7.2	国外谐波电流限值标准	210
7.3	国外谐波测量标准新进展	223
	<b>附录 I 基本术语、定义</b>	232
	<b>附录 II 缩略语</b>	241
	<b>附录 III 电能质量指标的国家标准 (摘要)</b>	243
III.1	GB/T 12325—2008《电能质量 供电电压偏差》	243
III.2	GB/T 12326—2008《电能质量 电压波动和闪变》	246
III.3	GB/T 14549—1993《电能质量 公用电网谐波》	257
III.4	GB/T 15543—2008《电能质量 三相电压不平衡》	264
III.5	GB/T 15945—2008《电能质量 电力系统频率偏差》	268
III.6	GB/T 18481—2001《电能质量 暂时过电压和瞬态过电压》	270
III.7	GB/T 24337—2009《电能质量 公用电网间谐波》	283
III.8	GB/T 30137—2013《电能质量 电压暂降与短时中断》	293
	<b>参考文献</b>	309

## 1.1 电力系统的组成及其电磁环境

### 1.1.1 电力系统的组成

简单说，电力系统主要由以下部分组成：发电机、变压器、输电线路、配电网及负荷，或者说，发电厂中发电机所产生的电力（电功率），升压后经过输电线路送出，而后经几级降压由配电网把电力分配到电能用户（负荷），这样的一个统一整体叫做电力系统。电力系统示意图如图 1-1 所示。

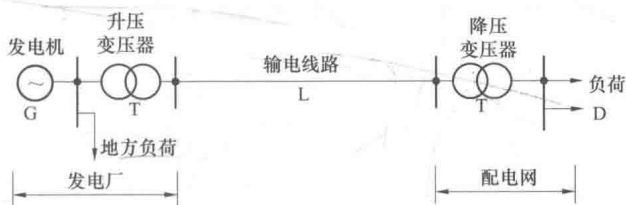


图 1-1 电力系统示意图

发电厂的基本任务是通过原动机和发电机把一次能源转变成电能（这里指的是常规的发电方式）。现在我国用于发电的能源（即原动机的消耗）主要是火力（煤炭、天然气、石油等）、水力和核能，其他如地热、风力、生物质能、太阳能、潮汐、波浪、燃料电池等分布式能源比例还很小（发电量约 2%），目前尚处于大力发展阶段。

以上概述的电力系统五个组成部分构成了电力系统的躯干，叫做“一次系统”。电力系统在运行中需要对其状态工况进行测量、监视和调控以保证供电的质量。另外电力系统在运行中经常要进行运行操作（例如启停发电机、切换变压器、投切线路等），同时也不可避免要发生事故或异常，引起过（或低）电压或大电流，以致损坏电力设备，中断对用户供电。因此，电力系统中设有调度、通信以及保护和自动控制装置。这些都是电力系统不可缺少的组成部分，通常叫做“二次系统”。电

力系统是由一、二次系统组成的特殊电磁环境，其中存在着多种电磁现象和相互作用。

### 1.1.2 电力系统电磁环境的特点

随着国民经济的快速增长，电网的发展正面临新的挑战：一方面以消耗化石能源（即煤炭、天然气、石油等）为主的发电方式面临资源枯竭和环境污染（即温室气体排放）的双重压力；另一方面以微电子技术为核心的大量新技术、新产业的发展以及用电智能化对供电可靠性和电能质量提出越来越高的要求<sup>[1]</sup>。在这个背景下，面对世界电力发展的新动向，我国提出建设以特高压电网为骨干网架，各级电网协调发展，以信息化、自动化、互动化为特征的“坚强智能电网”的战略目标<sup>[2]</sup>。同时，电网本身正朝着电压等级更高、输电容量更大、距离更远、电力网络更密集、系统更复杂的方向发展，这导致电力系统产生的电磁干扰更严重、更复杂，另一方面，智能电网的建设对电磁环境（包括电能质量）提出了严峻的挑战，主要有<sup>[3]</sup>：

(1) 大量分布式电源的接入，改变了传统电网的单向供电模式，对电网电压水平的控制和调整带来一系列复杂的问题。

(2) 大量新能源的利用，特别是风能和太阳能等不稳定电源的接入，引起供电电压的波动和闪变。

(3) 许多分布式电源通过电力变换器（变流器）接入电网，带来谐波和间谐波的干扰。

(4) 智能电网中为使电网灵活、可控和提高电能质量，将大量使用各种电力电子装置；为解决“海量”的数据、信息传递，“集成”通信技术将成为智能电网的基础技术之一。这些技术的应用，均会使电网中电磁环境大大复杂化。

(5) 对电能质量敏感的负荷不断增加，用电智能化的发展要求根据用户需要提供相应等级的电磁环境和电能质量，对电能实现“按质论价”。

(6) 需要解决一些特殊的电磁环境和电能质量问题，例如“孤岛”运行时电网电压和频率的控制；防止故障时可能引发的铁磁谐振；防止分布式电源对电网3次谐波和直流干扰等。

电力系统中的各种电气设备通过电的或磁的关系彼此紧密相连，相互影响。由于运行方式的改变、开关操作、故障、雷击等引起电磁振荡会很快（以ms和s计）波及许多电气设备，使其工作受到影响或遭到破坏，甚至危及人体健康。即使在正常运行状态下，某些整流及非线性设备产生的谐波、冲击负荷引起的电压波动和闪变、单相负荷造成电压不平衡也会危害其他设备。因此，电力系统内部存在着大量的电磁兼容问题，所有一次回路都面对非常复杂的高电压、强电磁环境，而一次回路中开关操作、雷电流及短路电流在接地网上引起的电位升高、甚至二次回路的操作通过电缆之间的电磁耦合，都会对二次回路产生干扰。电力系统中存在大量的电

场干扰、磁场干扰、静电干扰，以及谐波、电压波动和闪变、不平衡、电压暂降和短时中断、过电压、频率变化等传导性干扰，均可能造成一次设备以及微机保护、综合自动化系统和调度自动化系统等二次设备异常或故障，特别是二次装置系统大都是以微电子元件为核心，对电磁干扰十分敏感<sup>[4]</sup>。

## 1.2 电力系统电磁现象的分类

电能质量的研究以电力系统中的电磁现象为基础。国际电工委员会（IEC）把电磁现象按其来源和频率分成如下几大类<sup>[5]</sup>：

- (1) 低频传导现象：谐波、间谐波（或谐间波），信号电压，电压波动，电压暂降和短时中断，电压不平衡，电源频率变化，低频感应电压，交流电网中的直流。
- (2) 低频辐射现象：磁场，电场。
- (3) 高频传导现象：感应连续波（CW）电压和电流，单向瞬态，振荡瞬态。
- (4) 高频辐射现象：磁场，电场，电磁场（连续波，瞬态）。
- (5) 静电放电（ESD）现象。
- (6) 核电磁脉冲（NEMP）。

美国 IEEE 标准协调委员会（IEEE SCC22）提出电力系统电磁现象的分类，主要从波形特点（频谱成分、持续时间、电压幅值）区分，如表 1-1 所列<sup>[6]</sup>。

表 1-1 电力系统电磁现象的分类和典型特征

种 类		典型频谱成分	典型持续时间	典型电压幅值
电磁冲击瞬态	ns 级	5ns 上升	<50ns	
	μs 级	1μs 上升	50ns~1ms	
	ms 级	0.1ms 上升	>1ms	
电磁振荡瞬态	低频	<5kHz	0.3~50ms	0~4（标么值*）
	中频	5~500kHz	20μs	0~8（标么值）
	高频	0.5~5MHz	5μs	0~4（标么值）
瞬时电压变动 （均方根值）	暂降 暂升		0.5~30 周波	0.1~0.9（标么值）
			0.5~30 周波	1.1~1.8（标么值）
暂时电压变动 （均方根值）	中断 暂降 暂升		0.5 周波~3s	<0.1（标么值）
			30 周波~3s	0.1~0.9（标么值）
			30 周波~3s	1.1~1.4（标么值）
短时电压变动 （均方根值）	中断 暂降 暂升		3s~1min	<0.1（标么值）
			3s~1min	0.1~0.9（标么值）
			3s~1min	1.1~1.2（标么值）

续表

种类		典型频谱成分	典型持续时间	典型电压幅值
长期电压变动 (均方根值)	持续中断		>1min	0.0 (标么值)
	欠电压 过电压 过电流		>1min >1min >1min	0.8~0.9 (标么值) 1.1~1.2 (标么值)
不平衡	电压		稳态 <sup>c</sup>	0.5%~2%
	电流		稳态 <sup>c</sup>	1.0%~30%
波形畸变	直流偏移		稳态 <sup>c</sup>	0~0.1%
	谐波	0~9kHz	稳态 <sup>c</sup>	0~20%
	间谐波	0~9kHz	稳态 <sup>c</sup>	0~2%
	缺口		稳态 <sup>c</sup>	
	噪声	宽带	稳态 <sup>c</sup>	0~1%
电压波动		<25Hz	间歇	0.1%~7% 0.2~2 $P_{st}^b$
工频变动			<10s	0.10Hz

<sup>a</sup> 对于瞬态, 以标称电压峰值为基值; 对于均方根值 (rms) 变动, 以标称电压均方根值为基值。

<sup>b</sup> 闪变指标  $P_{st}$  在 IEC 61000-4-15: 2003 中定义。

<sup>c</sup> “稳态”是指经常存在, 不是恒定不变。

对于表 1-1 中列出的各种电磁现象, 可以进一步用其适当的属性来描述。对于稳态现象, 可利用幅值、频率、频谱、调制、电源阻抗、缺口深度、缺口面积来描述; 对于非稳态现象, 可能需要上升率、幅值、持续时间、频谱、频率、发生率、能量、电源阻抗等属性来描述。

### 1.3 电力系统电磁现象的描述

如本章 1.2 中所述, 电力系统中的设备电磁环境是相当复杂的, 除了核电磁脉冲以外, IEC 定义了三类电磁环境现象来描述常见的骚扰: 低频电磁现象 (传导的和辐射的, 除 ESD 以外); 高频电磁现象 (传导的和辐射的, 除 ESD 以外); 静电放电 (ESD) 现象。低频和高频之间的分界线一般是 9kHz。研究表明, 在设备使用时所遇到的各种环境中, 预计出现的传导骚扰和辐射骚扰强度变化很大, 因此将其适当分等级。辐射骚扰出现在设备周围的媒质中, 而传导骚扰出现在各种金属导电媒质中。骚扰通过“端口”对设备产生影响。图 1-2 标示 IEC 标准中考虑的设备 5

种主要端口。注意，图 1-2 中的“外壳”既可以是像屏蔽层、金属室等那样的实际屏蔽，也可以是像塑料外壳那样没有屏蔽效应的“屏蔽物”。外壳端口是设备的物理边界。外壳端口提供辐射和静电放电能量的传播途径，而其他端口提供传导能量的传播途径。

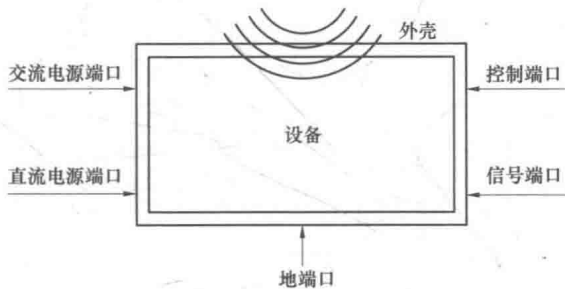


图 1-2 电磁骚扰进入设备的端口

以下主要对各类电磁现象出现的原因和骚扰度做扼要论述，以使读者对电力系统电磁现象有初步了解<sup>[5]</sup>。

### 1.3.1 低频电磁现象

#### (一) 低频传导现象

(1) 谐波 ( $\leq 3\text{kHz}$ )。谐波电压是由非线性负荷的谐波电流 (谐波源) 流过网络阻抗 (频率为谐波频率) 并引起相应的电压降而引起的。各种谐波源 (例如相控整流器) 作用的电流和电压相量相加，使得合成电压小于或等于所有作用量的代数和。谐波源有以下两种：

1) 在低压配电网中，来自于各种带整流器输入的电子负荷 (家用电器、个人计算机等) 的大量小型源。

2) 在低压、中压或高压网中，来自工业负荷 (例如调速传动装置)、牵引整流器等大型独立源。

大量的小型源是公用配电网络中引起谐波的主要原因；在工业区大型源是主要的，在那里还要加上来自居民的谐波。表 1-2 列出了预期的骚扰度范围、各次谐波及谐波总畸变率。要注意到这样一个事实，并不是所有的谐波都将同时达到相应的值。

(2) 电力系统中的信号电压。电力网是为传输电能设计的，但同时它们还要以“电网信号系统”用于传送信息。有关的标准化文件将电网信号系统分为三类 (见表 1-3)：

1) 在公用配电网中由电力部门使用的纹波控制系统，频率范围为  $100\text{Hz} \sim 3\text{kHz}$ ，一般低于  $500\text{Hz}$ ，信号电平 (或电压) 最高可达到标称电压 9%。这类系统

在欧洲的一些国家和其他一些地区使用。

表 1-2 低压电力网中谐波骚扰度的范围 (%)

骚扰度	畸变率 (%)	奇次 (非 3 的倍数)							奇次 (3 的倍数)					偶次				
		5	7	11	13	17	19	23~25	>25	3	9	15	21	>21	2	4	6~10	>10
A (被控的)	根据设备要求逐项考虑																	
1	8	6	5	3.5	3	2	1.5	1.5	*	5	1.5	0.3	0.2	0.2	2	1	0.5	0.2
2	10	8	7	5	4.5	4	4	3.5	**	6	2.5	2	1.7	1	3	1.5	1	1
X (苛刻的)	根据情况逐项考虑																	

- 注 1. A 级适用于对谐波敏感设备 (如计算机类、测量仪表、医疗器械等) 的有保护的电源。  
 2. 1 级对应于低压公用配电网规定的兼容水平 (见 IEC 61000-2-2), 也适用于轻度骚扰的工业网络 (中、小型工厂, 商业大楼)。  
 3. 2 级适用于工业网络和大型商业大楼。  
 4. X 级适用于强骚扰工业网络 (钢厂等)。  
 上述值根据对时间的统计分布, 为不超过时间的 95% 的水平。对应于 IEC 61000-2-2 和 IEC 61000-2-4 中给出的兼容水平  
 \*  $=0.2+12.5/h$  ( $h$  为谐波次数)  
 \*\*  $=3.5 \sim 1.0$  (随频率的增大而减小)

2) 在公用配电网中, 由电力部门使用的电力线路载波系统的频率范围为 3k~95kHz, 信号电平最高可达标称电压的 2.5%。然而, 这些信号在网络中被强烈地衰减 (>40dB)。这类系统主要在美国使用, 其他地区正在发展中。

3) 用于以终端用户 (居民或工业) 的信号系统, 在欧洲频率范围为 95k~148.5kHz (ITU 1 类地区); 在美国和日本为 500kHz, 信号电平最高可达到标称电压的 6% 或 5%。

表 1-3 电力系统中信号电压骚扰度的范围

骚扰度	频率范围 (kHz)			
	0.1~3	3~95	95~148.5	148.5~500
A-无信号网络	根据设备要求逐项考虑			
1-发射机附近的发射水平	0.1k~0.5kHz: 5%; 0.5k~3kHz: 5%~1.3%	3k~9kHz: 考虑中; 9k~95kHz: 5%	一般: 6%; 工业区: 5%	2~0.6 (mV)



续表

骚扰度	频率范围 (kHz)			
	0.1~3	3~95	95~148.5	148.5~500
X-特殊条件下 (谐振)	9%	根据情况逐项考虑		

注 1. A 级: 可能存在残余信号, 是由附近有特殊信号的系统耦合的。这个级别与其他表格中的不同, A 级不是受控制的环境。当骚扰来自邻近网络, 可能需要安装阻波电路或吸收电路。

2. 1 级: 对于频率范围为 0.1k~3kHz, 其值对应于实际设备中正常注入电平; 对于其他频率范围, 其值是在参考阻抗上测得的最大允许注入电平。这些值只在国际电信联盟 (ITU) 的 I 类地区采用, 其他的值可在 ITU 的 II 类或 III 类地区采用。

3. X 级: 正常情况下信号在网络中多少会被衰减。然而, 在一定的谐振条件下, 信号可能被加强。在 0.1k~3kHz 的范围内, 允许的最大信号为标称电压的 9%。

### (3) 电力系统电压和频率变化。

#### 1) 幅值变化: 50/60Hz 电源电压幅值会遭受各种骚扰。

a. 在正常运行范围内, 连续或随机重复的快速波动 (出现的频率范围为 25 次/s~1 次/min)。电压波动的主要骚扰影响是使灯光发生闪烁 (主要是小功率的白炽灯), 引起生理上的不适 (有关电能质量的国家标准中将这种现象称为闪变)。一般而言, 波动来自工业负荷, 例如电弧炉 (高压网), 电焊机 (低压网), 投切大负荷和电容器组。这些快速波动应与正常情况下慢速变化分开, 后者不能作为电磁兼容 (EMC) 问题考虑。

b. 电压暂降 (dip,  $\Delta U$  的范围为标称电压的 10%~99%) 和短时中断 ( $\Delta U > 99\%$  标称电压) 可持续半个周期到若干秒<sup>①</sup>。当中断持续时间超过 1min 时, 就不再作为低频 EMC 问题考虑, 而认为是电源中断。电压暂降和短时中断有各种的起因:

- ① 熔断器动作 (几毫秒) 以消除低压网络中的短路;
- ② 中压和高压线路或其他设备的故障, 有或无自动重合闸 (100~600ms);
- ③ 投切大负荷, 尤其是电动机和电容器组。

c. 电压不平衡是三相系统的一种状态, 在这种状态下各相的幅值不同, 或者偏离正常的相位关系 ( $3 \times 120^\circ$ )。不平衡度通常是通过对称分量法、按负序分量 (或零序分量) 与正序分量的比值定义的。电压不平衡是由不对称负荷 (例如电弧炉) 或大型单相负荷 (例如牵引系统或单相电炉) 引起的。

2) 频率变化: 电力系统频率一般是非常稳定的, 大电网 (例如装机容量在 3000MW 以上) 其变化小于 0.1Hz。当电网受到骚扰时, 它会在一个较宽的范围内

<sup>①</sup> 这是 IEC 的定义。IEEE 关于暂降 (sag) 的定义是: 指工频电压或电流均方根值降到 0.1~0.9 (标么值), 持续时间为 0.5 周波~1min。