

国内外电能质量控制水平及管理策略

金广厚,李庚银,周 明

(华北电力大学 电气工程学院,河北 保定 071003)

摘要: 随着电能质量问题的重要性日益突出,电能质量问题已经成为当前国际供电界关注的首要技术问题。电能质量问题能否合理解决不仅取决于技术的成熟,同样需要政府采取合理的管理策略。概述了当今电能质量控制技术及设备基本情况,总结和对比了国内外电能质量控制水平的差距,国内外电力行业在电能质量问题认识以及对于电能质量管理策略上的差异。最后,针对我国电能质量方面存在的问题,提出了一些关于体制改革、标准改进和技术提高的建议。

关键词: 电能质量; 电力市场; 控制技术; 管理策略

中图分类号: TM 714;F 123.9

文献标识码: A

文章编号: 1006-6047(2005)01-0001-06

0 引言

随着经济发展和高科技设备的普及,尤其是计算机、现代控制理论、精密测量技术的应用,使得敏感电力负荷所占比重日益增大,社会对电能质量的要求越来越高。而社会电气化程度提高,现代电力电子设备等非线性负荷大量使用,不断恶化电能质量。就全球范围而言,电力工业放松管制,引入竞争机制,用户与供电企业都在追求自身的最大利益。用户会提出满足各自需要的不同质量的电能,出现用电的个性化。这样电力部门不仅要满足用户对电量不断增长的需求,还必须满足用户对电能质量的多样性要求。

电能质量问题的重要性日益突出,引起了广大电力工作者的重视。CIRED 组织第 16 届轮值主席 Connerotte 先生在 CIRED KL2002 大会的专题发言中,把电能质量问题列为当前国际供电界关注的首要技术问题。

近年来,电能质量问题已提到了一些经济发达国家(或地区)电力公司的议事日程。马来西亚、新加坡及香港等地的电力公司与欧美发达国家一样,十分重视电能质量,成立专门机构负责电能质量管理,做了大量工作,解决用户电能质量问题。相比较而言,我国在电能质量问题认识上和措施实践方面存在较大差距,尚未开展细致的电能质量管理工作。日常工作上,对电能质量问题的把握也不够全面,主要集中在电压合格率及谐波方面,对电压骤降以及供电瞬时中断引起的电能质量问题、危害及其反措认识不足。这些弊病既不利于电能质量矛盾的解决,也不利于电能质量控制技术的发展,因此,在电力体制改革深化改革的同时,还必须加强电能质量管理策略的研究与提高。

1 电能质量控制技术概述

电能质量控制技术从控制对象大体分为两类:一类是定制电力技术(custom power),又称用户电力技术^[1,2],是美国 Hingorani 博士于 1988 年提出的概念:把大功率电力电子技术和配电自动化技术综合起来,以用户对电力可靠性和电能质量要求为依据,为用户配置所需要的电力。电力公司(或其他利益群体)利用定制电力技术的新设备,可使单独用户或用户群从配电系统得到用户指定质量水平的电力;定制电力技术可以用来有效抑制或抵消电力系统中出现的各种短时、瞬时扰动,可使用户供电可靠性达到不断电、严格的电压调整、低谐波电压、冲击和非线性负荷对终端电压无影响等^[3,4];另外一类是传统的用于稳态电压、频率调整的技术,如并联电容器、并联电抗器、调整变压器分接头、发电机频率调节技术等。

电能质量控制装置按功能可分为以下三类:有功功率补偿装置,如汽轮发电机调速器;无功功率补偿装置,如并联电容器、晶闸管开关电容器(TSC)、晶闸管控制电抗器(TCR);有功、无功功率补偿装置,如动态电压恢复器(DVR)和统一电能质量调节器(UPQC)等^[5~7]。

文献[8,9]总结了目前研制的电能质量控制装置的种类及其功能特点,并且简要说明了国际上比较知名的几家大公司的生产情况。文献[10]报道了超导磁储能(SMES)在欧洲航空航天领域的应用情况。为了使这些电能质量控制装置充分发挥其设计功能,及时、准确的有关源信息,准确、高效的分析与控制方法是至关重要的。因此,对电能质量扰动信号的检测、分类、识别、定位和电能质量控制装置的控制方法的研究一直是国内外电力学者的研究热点^[11~13]。

我国在电能质量方面的研究总体而言才刚刚起

步,大部分研究都局限在谐波和无功补偿的范围内,与国外还存在着很大的差距。有源电力滤波器(APF),静止无功补偿器(SVC),UPQC,DVR等各种电能质量补偿装置都仍然处于理论和试验研究阶段。西安交通大学已研制出 $120\text{kV}\cdot\text{A}$ 的并联 APF,中科院电工所和清华大学电机系也研制出了小型 SMES 样机。上述这些方法的提出和装置的发明从技术角度为解决电能质量问题奠定了坚实的基础。但是,电能质量问题的治理仍然是一项代价高昂的工作,供电部门和用户分别作为电力市场环境下的独立的经济核算单位,不得不考虑投资的经济性。所以,如果没有健全的市场激励机制和科技成果转化机制,即使有再好的电能质量控制技术和设备也不会被生产部门采纳。可以说,现代电能质量问题的解决已经不仅仅是电力系统生产运行的技术问题,而且已经涉及到社会经济生产和资源配置等经济问题。电能质量问题能否合理解决不仅取决于技术的成熟,同样需要政府采取合理的管理策略。

2 国内外电能质量控制水平现状

2.1 国内电能质量控制水平现状

中国电网近几年每年累计共发生 100 000 多次短路故障,其中 220kV 及以上电网短路 2 000 多次,产生区域全局性影响; $35\sim 110\text{kV}$ 电网短路 20 000 多次,属地区性影响; 10kV 公网约 100 000 次。如计及用户网络短路故障,可能还增加 1 倍。估计每个用户每年经受数百次不同程度的电压骤降冲击。

目前,我国部分供电公司的电能质量测试设备较为陈旧,有的因设备老旧损坏处于无设备可用的情况,而即使最近几年购买的设备也不能测试所有的项目;电能质量在线监测装置安装数量少,且很多性能和指标达不到要求,如测试项目少、测量精度低甚至误差很大、不能实现远方数据传送、数据存储量小、后期处理软件不配套等,使一些故障原因难以分析,也无法对用户的一些超标污染提出有说服力的数据,测试数据也无法及时上报等。迄今为止,我国尚未进行过全国范围的电能质量水平全面调查,即使是全省范围的电能质量水平的细致调查也很少见,电力行业在实际生产中对电能质量问题的重视程度可见一斑。

文献[14]总结了近几年江苏电网电能质量的基本情况,并就江苏电网的电能质量现状和问题作了简要分析。江苏电网的特点之一就是大型电弧炉负荷均接入 220kV 系统,给江苏电网的供电质量带来极大影响。 220kV 电网的谐波问题主要集中在向大型炼钢企业供电的变电站以及 500kV 变电站的 220kV 母线,其他 220kV 电压总谐波畸变率基本都小于 1% 。电压波动和闪变较大的依然是供大型电弧炉负荷的 220kV 母线。另外,城市配电网中,写字楼、办公楼、大型商场集中的商业区、金融区以

及居民小区等地区,由于大量的电力电子设备(调速电机、开关电源、计算机、微波炉、彩电、打印机、电子式和铁磁式镇流器、空调、节能灯、UPS 等)的使用,用户负载电流中的谐波含量占很大比重,由于多用户谐波注入电流的叠加,造成电压总谐波畸变率偏高;且这类负荷产生大量的 3 次谐波电流,由于 3 次谐波的零序性,将在变压器中线中叠加造成变压器中性线过电流;而目前低压系统采用的无功补偿装置通常没有考虑谐波的影响,常由于电容器对谐波的放大造成电容器的损坏。

文献[15]总结了近几年湖南省电网电能质量的基本情况。依湖南省电力系统对外发布的公告,按现有国家标准统计,近几年来湖南电网的频率特性 100% 符合国家标准;供电电压偏差 1999 年全网的综合电压合格率达到 95.23% 。然而,纵观湖南的电能质量状况,无论从向社会提供的电能质量指标,还是从电网的管理和控制的状况看都还不令人满意,主要表现在以下 2 个方面。

a. 主要电能质量指标仍未达国家标准要求。以电力部门常用的电压合格率而言,关注的是主网的电压合格率,即 110kV 及以上的电压合格率,而国家标准规定的,或者社会公众关注的是供电电压合格率,即 35kV 及以下的电压合格率,特别是用户最多的 220V , 380V 网,其电压合格率是最低的。据某电业局的统计,1999 年 220V , 380V 的电压合格率只有 77.68% ,某电业局的 35kV 及以上专供用户,1999 年的电压合格率也只有 89.55% 。估计由于行政管理上的原因,这些企业也不愿透露自己的名称。

b. 电网污染和干扰源未得到根本性的管制。到目前为止,湘黔电气化铁路已全面开通,湖南境内建有 14 座牵引站,京广线也在湖南境内有 13 座牵引站,每座牵引站按 $25\sim 30\text{MW}$ 负荷计算,则电铁负荷可达 800MW 。由于未采取任何治理措施,电气化铁路所产生的谐波和负序将对湖南电网造成严重的影响和危害。从 220kV 系统接入的谐波源负荷由省公司审批,管理和控制得较好,但是由各电业局管理的 110kV 及以下接入的谐波源,则未得到有效地控制,仅有长沙电业局在供用电协议中明确要求谐波源负荷必须达到国家标准才允许接入系统。

从上面两省的电能质量现状看,有电能质量调查统计数据的省份尚且如此,没有进行电能质量调查的地方更不容乐观。究其主要原因,还是我国电力企业关于电能质量的理解跟不上电力用户对电能质量的要求,一般都停留在传统的电压、频率偏差、可靠性指标上。管理体制和方法落后,这包括两个方面:一方面没有统一的电能质量和监督部门,目前电压合格率、频率指标的管理,一般是通过调度自动化系统进行管理,对电力系统谐波水平的管理,大多数对应的由中试部门负责;另一方面从技术手段的角度而言,大范围(省、地区)的电能质量监测系统尚

未建立。目前,个别电力企业有意识地建设电能质量监测系统,但也仅局限在电网谐波监测和电压合格率的监测上,而且由于需要大量的投资以及电能质量意识淡薄等原因,建立电能监测体系这一工作的推进进程缓慢。

2.2 国外电能质量控制水平现状

从 1990 年到 1995 年,先后分别由加拿大国家电力实验室(NPL)、加拿大电力联合会(CEA)和美国电力科学研究院(EPRI)主持进行了 3 次北美范围全面电能质量水平调查。调查的对象既包括稳态电能质量,如供电中断(outage)、电压偏差(RMS voltage variation)、电压总谐波畸变率(THD)和电压波动与闪变(flicker);还包括暂态电能质量,如瞬时断电(interruption)、电压骤降(sag)、电压骤升(swell)和电压脉冲(surge)等。获得了准确详实的第一手资料,这些数据对于全面把握北美的电能质量水平、确定电能质量扰动特征、定义终端电气环境和建立电能质量评价指标体系都是非常重要的基础。

CEA 主持的加拿大电能质量调查^[16]从 1991 年持续到 1994 年,共有 22 家电力公司参与,对 550 多个电力用户(包括工业用户、商业用户和居民用户)的电能质量进行了监测,监测点大多在用户用电入口处(例如 120 V,347 V),约有 10 % 的监测点同时监测配电站出口电压,每个监测点的监测时间是一个月。文献[17,18]对这次调查结果进行了抽样统计分析,统计结果显示:电力公司的配电系统电能质量是最好的,相比之下工商业和居民用户则要承受更频繁和更严重的电能质量扰动。表 1 给出了配电站及各类用户发生电能质量扰动的具体统计数字。

表 1 不同监测点每月发生各种扰动的次数(CEA)

Tab.1 Disturbance times per month of different PCCs(CEA)

扰动类别	配电站		工业用户		商业用户		居民用户	
	平均	最大	平均	最大	平均	最大	平均	最大
电压脉冲	10	169	44	809	153	2 764	213	4 187
电压骤降	3	51	28	811	5	171	35	2 924
电压骤升	68	866	73	729	144	3 237	122	2 347
THD超标	0	2	2	27	4	75	2	29
供电中断	1	22	0	3	0	8	0	7

EPRI 主持进行的电能质量调查遍布了美国 24 个电力公司的 277 个主要馈线监测点,监测对象包括乡村负荷、郊区负荷和城市负荷,有工业负荷、商业负荷和居民负荷,电压等级 4.16~34.5 kV,监测线路长度 1~80 km。此次调查从 1993 年持续到 1995 年,共获得了 670 余万组数据,保存在 50 G 大小的数据库里。文献[19,20]在调查数据的基础上对美国的电能质量水平进行了分析和总结,电压骤降和瞬时断电的统计数据如表 2 所示。

澳大利亚的塔斯马尼亚州在 1996 年也对其岛

表 2 监测点平均年出现瞬时断电和电压骤降的次数(EPRI)

Tab.2 Dip and interruption times per year of different PCCs(EPRI)

扰动类型	配电站	馈电线路
瞬时断电 $U < 10\%$	3.65	5.08
电压骤降 $10\% < U < 90\%$	43.60	46.22

上的电能质量进行了一次问卷调查^[21]。调查对象包括电力公司和电力用户。调查内容包括电压骤降、电压骤升、瞬时断电、过电压、欠电压、谐波电压、噪音和供电中断的发生、危害及其原因。

作为第三世界国家,巴基斯坦电力工业也正在进行电力市场化改革,学术界和工程界开始重新审视电能质量问题。在此背景下,Fayyaz Akram M.等人于 1999 年首次对巴基斯坦重要城市拉合尔的电能质量进行了调查和统计^[22],以预估该国的电能质量水平,并且为电能质量标准的制定和改进,以及电能质量事故的确定和预报提供依据。此次调查共进行了几个月,监测的对象为 2 条 11 kV 馈线,分别从 66 kV 和 132 kV 变电站引出,长度分别为 0.76 km 和 7.08 km,终端用户分别为工业负荷和混合负荷(工商业和居民用户)。统计结果显示:在监测的 96 天里,共记录 1 269 次电能质量扰动,其中 57.6 % 是瞬时断电和供电中断事故;过电压事故也很频繁,占总事故数的 40.35 %;其他电能质量扰动如欠电压、电压骤降、电压骤升、频率偏差和波形畸变等总共才占事故总数的 2.05 %;不同地点发生电能质量扰动的幅值和频率是不一样的。

2.3 国内外电能质量控制水平对比

a. 我国电力行业的电能质量意识相对于欧美发达国家还显淡薄,只重视传统的电压、频率偏差、可靠性指标,而且整体水平不高,有些省份开始重视谐波电压的重要性,但也没有很好地解决。

b. 电能质量监测系统不完善,电能质量扰动监测指标单一,缺乏广泛、长期、全面的电能质量监测数据,这方面欧美国家做得更好。

c. 我国电力企业不重视暂态电能质量的提高。

3 国内外电能质量管理策略

国内外电能质量控制水平的差距,一方面有历史原因,包括电力网架结构不同和科学技术发展存在差距等;另一方面是管理策略的原因,正确的管理体系及方法必然促进生产发展,进而带动科技进步,科技进步反之又促进生产效率提高,形成良性循环。可以说,电能质量管理策略的提高是解决电能质量问题的根本出发点。

3.1 我国电力行业对于电能质量的管理策略

目前,我国控制电能质量的对策是遵循“谁污染谁治理”和“堵新治旧”的原则,分散治理和集中治理相结合。

到目前为止,我国电力行业尚无统一的电能质量管理和监督部门,有关的相互关系有待进一步理顺。各供电公司的电能质量专职(兼监督专职)均设在生技部门(或生产运营部),作为专业技术管理这是合理的,但由于电能质量是与生产、计划、运行、用电、设计、基建密切相关的,作为生技部门在电能质量的监督、管理上受到相当大的限制或局限,难以达到电能质量监督要求的规划、设计、基建、运行、用电全过程监督和管理。对高耗电企业对电网的污染和干扰不提出治理要求。电网的污染和干扰源没有得到根本性的管制。

3.2 国外电力行业对电能质量的管理策略

欧洲各国发电、输电、供电、用户之间的电力供销协议中对电能质量的条款规定非常具体和细致,以保证协议的可操作性。供用电双方都依照合同保证电能质量指标的实现,一旦出现有关问题,双方也要依照合同明确责任,并采取措施解决问题。为明确分清引发电能质量问题的责任,在产权分界点及用户与系统内安装综合电能质量监测仪十分必要,它给分析问题的原因提供可靠的技术依据。欧盟委员会建议电力市场委员会发布导则,要求电力系统运行部门应该就电能质量及其服务方面作出年度报告并公开出版。电力市场委员会还应建立适当的准则评价报告的内容,以保证电能质量达到电磁兼容的水平。报告中应同时引用 3 个可靠性指标:用户平均每年中断供电的频率(中断次数/a);用户平均丧失电压的时间(min/a);每次电压中断的平均时间($\text{min}/\text{电压中断}$)。为检查此年度报告的内容,电力生产与供电国际联盟(UNIPED)在年度报告的最终期限内成立专家小组对报告进行审查。

法国电力是世界上唯一能盈利的大型国有电力企业,且电价是欧洲最低,停电时间最少。法国电力正在开发第三代企业,即把经济效益和社会公正有机结合起来。法国电力 50 多年来取得成功的原因之一是将专业技术、金融运作及社会效益有机结合,而且法国电力的员工对于工业技术和社会方面的问题有很大的发言权。它的成功之道或许对中国正在进行的电力改革有一定的借鉴意义。

法国国家电力公司已经开始向用户提供不同等级的电能,分别标明翠绿色、银白色、金色和绿色等,按不同的价格收费。用户满意是法国电力公司的重要关注点之一,为此过去 15 年来为提高电能质量作了极大努力。法国电力正在通过《Emerald Contract》^[23]和它的辅助服务开发一套更能满足用户对质量要求的方法。此合同正扩大到最大的工业和第三产业用户,其内容包括供电部门对用户短时和长时断电次数的一个标准承诺。如果超过了上述合同规定的值(以全国范围为基础确定的并被公共事业管理部门批准),法国电力将按用户所受的损失赔偿。

电力部门在公共连接点上,应保证供给的电压

满足标准的要求。用户有时在公用供电网与用户的产权交界处引发一些电能质量方面的问题。在法国,供电部门传统做法是:用户可以选择是在用户内部解决问题还是在供电系统内解决问题的方式;如在供电系统内解决问题,用户必须承担经济责任。

4 关于我国电能质量管理策略的建议

在我国,对电能质量的研究尚未普及和深入。绝大多数用户对电能质量的意识较淡漠,甚至根本不关心,只是在电能质量影响到其正常生产和经济利益时,才被动地与电力部门协商采取有关措施。事实上,只有通过法律手段赋予电力市场各方关于电能质量的权利与义务,才能促使电能质量上台阶,同时促进电力科技的发展与进步,促进国民经济的健康发展。另一方面,应抓紧有关电能质量技术法规的制定,将电能质量管理作为具有民事法律约束力的条款写入电力供销合同中,对保证电力系统的电能质量有着十分重要的意义。

4.1 体制改革

明确电能质量归口管理和监督部门,成立独立于电力企业的电能质量监督管理机构。要能负责全网的频率、电压和波形等各项电能质量指标的考核、统计和对外发布,制定相关的、可操作的考核管理办法;接受有关电能质量的咨询、投诉,制定改善电能质量的计划、措施,并督促执行;严格执行对新电网污染用户接人的审批和控制。

电能质量作为重要的电力市场辅助服务内容,必须在电力市场环境中得到完善的解决。市场环境下就要充分尊重市场主体的选择权,法国电力的做法很值得借鉴:出现电能质量问题,用户可以选择是在用户内部解决问题还是在供电系统内解决问题的方式;在用户内部解决,供电系统给用户提建议,如装设消除干扰的设备,或采用新的高质量的设备减少其干扰;在供电系统内解决问题,用户必须承担经济责任。将电能质量问题的解决融入到电力市场中,将电气环境的污染和治理推向市场,建立电磁污染排放权交易市场和备用电源交易市场是解决电磁污染问题和提高供电可靠性的有效途径^[24,25]。通过建立合理的市场结构体系,制定合理的市场管理政策,并采取有效的市场激励手段,达到社会效益的最优化。

4.2 标准改进

我国已针对电能质量某些指标制定和颁布了相关国家标准,但对于电压骤降、电压中断、间谐波、直流分量等有待进一步研究,并制定标准。另外电能质量标准的制定,涉及到供电企业、用户以及用电设备制造商,需要设计、咨询、标准化组织,研究部门以及监测仪器制造商的广泛参与。例如,家用电器的技术标准必须尽快制订,由于对居民无功、谐波等指标无法考核,必须对家用电器的该 2 项指标实行限制,

如海尔空调出口产品均装有消谐装置,由于国内没有标准,国内产品就没有消谐装置。我国现在有 2 个标准化技术委员会从事电能质量标准的制定,应加强相互交流,制定电能标准体系,特别是暂态电能质量标准的细化和制定,统一规划标准的制定。

以往,电能质量标准都是以电力企业自身需要规定,现在需要改变,一是应以电力用户“所感受到的”影响和对电网造成的影响为依据;二是可从可靠性和供电质量两方面考虑。电力用户已提高了对电能质量的认识,正在了解如供电间断、电压骤降、电路通断引起的暂态现象等实际问题。为满足高效生产流程的需要,维护用电设备的正常运行,越来越多的用户向电力部门提出了高质量供电的要求,甚至通过签订供电合同和质量协议的方式以获得保证。目前苏州、南京等地的 IT 企业已向供电公司就供电的电能质量和供电可靠性提出了要求。

电力行业应打破同网同价,实行优质优价,如美国盐湖城电网,法国的彩色电能。提高电能质量,实现提供不同标准的电能质量是现代社会发展需要,是供用电双方共同愿望,也是电力行业的重要课题。定制电力既含有向用户供电的新型电力技术的意义,又意味着用户至高无上,应根据用户需求采用供电技术的含义,是电力市场化改革的必然产物。以定制电力技术为依托而产生的定制电力市场,是实现多种品质电能供应、优质优价的有效途径^[24,25]。

4.3 技术提高

a. 加强全电网电能质量的在线监测,明确引发电能质量问题的责任。

b. 积极推广使用电能质量控制和治理的技术、设备^[26~28]。

c. 积极研究有关电能质量方面的新技术及其应用^[29~31],推动科研与生产部门的密切结合,推动企业技术改造,增强科研单位自我发展的能力,促进科技成果和信息的应用并迅速转化为直接生产力,可以建立促进有关电能质量技术有偿转让的电能质量技术与信息市场。

参考文献:

- [1] 严干贵,姜齐荣,黄民聪. 未来的用户电力技术[J]. 电力系统自动化,2002,26(1):62-69.
YAN Gan-gui,JIANG Qi-rong,HUANG Min-cong. Custom power technologies in the future[J]. **Automation of Electric Power Systems**,2002,26(1):62-69.
- [2] HINGORANI N G. Introducing custom power [J]. **IEEE Spectrum**,1995,32(6):41-48.
- [3] SHATSHAT R E,KAZERANI M,SALAMA M M A. Power quality improvement in 3-phase 3-wire distribution systems using modular active power filter [J]. **Electric Power Systems Research**,2002,61(3):185-194.
- [4] AMBRA S,JAN S,TOMAS L. Power-electronic solutions to power quality problems [J]. **Electric Power Systems Research**,2003,66(1):71-82.
- [5] ARINDAM G,GERARD L. A unified power quality cond

- itioner (UPQC)for simultaneous voltage and current compensation [J]. **Electric Power Systems Research**,2001,59(1):55-63.
- [6] KAZEMI A,BADRZADEH B. Modeling and simulation of SVC and TCSC to study their limits on maximum loadability point [J]. **International Journal of Electrical Power and Energy Systems**,2004,26(8):619-626.
- [7] ARINDAM G,GERARD L. Compensation of distribution system voltage using DVR [J]. **IEEE Trans. on Power Delivery**,2002,17(4):1030-1036.
- [8] 朱桂萍,王树民. 电能质量控制技术综述[J]. 电力系统自动化,2002,26(19):28-31,40.
ZHU Gui-ping,WANG Shu-min. A survey on power quality control technology[J]. **Automation of Electric Power Systems**,2002,26(19):28-31,40.
- [9] 许海文,李庚银,彭咏龙. 用户电力技术与暂态电能质量的改善[J]. 华北电力大学学报,2002,29(4):30-35.
XU Hai-wen,LI Geng-yin,PENG Yong-long. Custom power technology and improvement of transient power quality [J]. **Journal of North China Electric Power University**,2002,29(4):30-35.
- [10] BRIAN M. SMEs in the European aerospace industry[J]. **Air & Space Europe**,1999,1(4):13-17.
- [11] LI Geng-yin,ZHOU Ming,ZHANG Zhi-yuan. Research on power quality disturbance automatic recognition and location [A]. **IEEE PES General Meeting 2003** [C]. Toronto, Canada;IEEE,2003. 687-691.
- [12] 关天祺,梅生伟,卢强,等. 超导储能装置的非线性鲁棒控制器设计[J]. 电力系统自动化,2001,25(17):1-5.
GUAN Tian-qi,MEI Sheng-wei,LU Qiang,*et al.* Nonlinear robust controller design of superconductor energy storage [J]. **Automation of Electric Power Systems**,2001,25(17):1-5.
- [13] TZOU Y Y,JUNG S L,YEH H C. Adaptive repetitive control of PWM inverters for very low THD AC-voltage regulation with unknown loads [J]. **IEEE Trans. on Power Electronics**,1999,14(5):973-981.
- [14] 刘成民. 江苏电网电能质量管理工作现状 [J]. 江苏电机工程,2003,22(1):11-15.
LIU Cheng-min. The present status of power quality management in Jiangsu electric power network[J]. **Jiangsu Electric Engineering**,2003,22(1):11-15.
- [15] 何志华. 以全新的电能质量意识管理电网以优质电能服务二十一世纪[J]. 湖南电力,2001,21(增刊):71-74.
HE Zhi-hua. Managing network with advanced power quality consciousness and provide high quality power to 21st century[J]. **Hunan Electric Engineering**,2001,21(Supplement):71-74.
- [16] HUGHES M B,CHAN J S. Canadian national power quality survey [A]. **Proc. of 12th International Conference on Electricity Distribution (CIRED'93)** [C]. Birmingham,UK:[s.n.],1993. 1-5.
- [17] HUGHES M B,CHAN J S. Canadian national power quality survey results [A]. **Proc. of Transmission and Distribution Conference** [C]. Los Angeles,USA:The Institute of Electrical and Electronics Engineers,Inc.,1996. 45-51.
- [18] KOVAL D O,BOCANCEA R A,KAI Y,*et al.* Canadian

- national power quality survey: Frequency and duration of voltage sags and surges at industrial sites[J]. **IEEE Trans. on Industry Applications**, 1998, 34(5): 904–910.
- [19] ALTO P. An assessment of distribution system power quality[R]. CA: EPRI, 1996.
- [20] SABIN D D, GREBE T E, SUNDARAM A. Surveying power quality levels on U.S. distribution systems[A]. **Proc. 13th Int. Conf. Electricity Distribution (CIRED '95)**[C]. Brussels, Belgium: The Institute of Electric Engineers, 1995. 178–185.
- [21] NEGNEVITSKY M, MILANOVIC J, GREEN M. Survey of power quality problems in Tasmania [A]. **Proc. of Fourth International Conference on Advances in Power System Control, Operation and Management** [C]. Hong Kong: Institution of Electrical Engineers, 1997. 11–14.
- [22] FAYYAZ A M, MUMTAZ B S. A sample power quality survey for emerging competitive electricity market in Pakistan[A]. **Proc. of IEEE International Technology for the 21st Century** [C]. LUMS, Pakistan: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2001. 38–44.
- [23] ELMITWALLY A, ABDELKADER S, ELKATEB M. Universal power quality manager with a new control scheme[J]. **Proc. Inst. Elect. Eng.**, 2000, 147(3): 183–189.
- [24] DRIESEN J, GREEN T, VAN C T, *et al.* The development of power quality markets [A]. **IEEE PES 2002 Winter Meeting** [C]. New York, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2002. 262–267.
- [25] 金广厚, 李庚银, 周 明. 电能质量市场理论的初步探讨[J]. **电力系统自动化**, 2004, 28(12): 1–6.
- JIN Guang-hou, LI Geng-yin, ZHOU Ming. Primary study of power quality market theory[J]. **Automation of Electric Power Systems**, 2004, 28(12): 1–6.
- [26] NARA K, MISHIMA Y, HASEGAWA J. A new type power delivery system for reliable power supply—Friends and its optimal network design[A]. **Proc. of POWER-CON 2000**[C]. Perth, Australia: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2000. 649–654.
- [27] WOO Sung-min, KANG Dae-wook, LEE Woo-chol, *et al.* The distribution STATCOM for reducing the effect of voltage sag and swell [A]. **The 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronic Society, IECON'01**[C]. Denver, USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 2001. 1132–1137.
- [28] WOODLEY N H, MORGAN L, SUNDARAM A. Experience with an inverter-based dynamic voltage restorer[J]. **IEEE Trans. on Industry Applications**, 1999, 14(13): 1181–1185.
- [29] 潘国美. 改进输配电系统接线以改善电能质量的评估[J]. **供用电**, 2003, 20(1): 15–16.
- PAN Guo-mei. Evaluation of modification of transmission and distribution system connections to improve power quality [J]. **Power Supply and Consumption**, 2003, 20(1): 15–16.
- [30] 奚 珣. 优质供电的一个实例[J]. **供用电**, 2002, 19(1): 42–44.
- XI Xun. An example of power supply with high quality [J]. **Power Supply and Consumption**, 2002, 19(1): 42–44.
- [31] 孙 辉, 魏庆海, 邹积岩, 等. 电能质量调节技术及其应用[J]. **大连理工大学学报**, 2003, 43(2): 243–247.
- SUN Hui, WEI Qing-hai, ZOU Ji-yan, *et al.* Power quality conditioner technology and its application [J]. **Journal of Dalian University of Technology**, 2003, 43(2): 243–247.

(责任编辑: 李育燕)

作者简介:

金广厚(1977–), 男, 吉林通榆人, 博士研究生, 研究方向为电能质量的管理与控制(E-mail: jinghu001@126.com);

李庚银(1964–), 男, 河北雄县人, 教授, 博士研究生导师, 系主任, 博士, 现主要研究方向为电能质量、电力市场、新型输配电技术等(E-mail: ligy@ncepu.edu.cn);

周 明(1967–), 女, 湖北宜昌人, 副教授, 博士研究生, 研究方向为电力市场、电网调度自动化等(E-mail: zhouming@ncepu.edu.cn)。

Power quality mitigation level and management policy in domestic and foreign electric utilities

JIN Guang-hou, LI Geng-yin, ZHOU Ming

(North China Electric Power University, Baoding 071003, China)

Abstract: The conflicts caused by PQ (Power Quality) disturbances turn more serious and solution to PQ problems becomes more important. It depends on both engineering technology and management policy of government. The PQ mitigation technology and equipment are reviewed. The disparities in the consciousness and management policies of power quality between domestic and foreign electric utilities are summarized and contrasted, as well as the power quality mitigation levels. Aiming at the problems in China, the author gives some suggestions about system reformation, standards improvement and technology elevation.

This project is supported by Foundation for University Doctoral Subject by the Ministry of Education(20040079002).

Key words: power quality; electricity market; mitigation technology; management policy