

IEEE ICHQP2018 与电能质量发展方向

汪颖, 罗代军, 肖先勇, 胡文曦, 徐方维

(四川大学 电气信息学院, 四川 成都 610065)

摘要:2018年IEEE国际谐波与电能质量会议(IEEE ICHQP2018)分为专题讲座、全体会议和技术研讨会3个部分,将其归纳为4个专题进行概述:配电网的电能质量与电能质量基础理论,与电力电子技术有关的电能质量问题,电能质量的监测、检测、分析与建模,电磁兼容和干扰源。基于大会的交流内容,归纳了当前电能质量领域的几个热点方向,并结合我国实际提出了未来的发展方向,旨在为促进我国电能质量领域的发展、加强国际交流与合作、促进我国电能质量领域走向世界做出应有的贡献。

关键词:谐波与电能质量;配电网;电力电子技术;电能质量监测;电磁兼容;发展方向

中图分类号:TM 761

文献标识码:A

DOI:10.16081/j.issn.1006-6047.2019.04.029

0 引言

国际谐波与电能质量会议 ICHQP (International Conference on Harmonics and Quality of Power) 是电气和电子工程师协会 (IEEE) 组织的每两年召开一次的全球电能质量 PQ (Power Quality) 领域的重要会议。ICHQP2018 是第 18 届会议,于 2018 年 5 月 13—16 日在斯洛文尼亚首都卢布尔雅那举行。会议云集了来自全球 35 个国家的 219 名学者,收录了 145 篇论文,其中 14 篇论文来自中国;大会宣读了 101 篇论文,海报张贴了 44 篇论文。我国大陆四川大学、华北电力大学、重庆大学、武汉大学和我国台湾成功大学、中正大学的学者参加了本次会议。我国学者肖先勇教授向大会组委会提出了在中国大陆举办 ICHQP 的申请,这对加强我国与世界的学术交流、推动我国和全球电能质量领域的发展具有重要的意义。

ICHQP2018 共包含 2 个专题讲座、3 个全体会议(分为 6 个专题报告)和 14 个技术研讨会(由 145 篇论文组成),具体内容如下。

a. 专题讲座:基于电力电子的电力系统谐波稳定;现代电力系统中的电压波动与灯具闪变——新发现与新挑战。

b. 全体会议:从标准化和能源市场看电能质量;电能质量的理论方面;电能质量、可靠性与能效。

c. 技术研讨会:配电网的电能质量;智能电网与电能质量;分布式电源 (DG) 对电能质量的影响;配电系统电力电子化;与谐波畸变有关的新挑战和

新问题;接地;电能质量的经济和责任;测量和监测技术;可再生能源系统的谐波建模与稳定性;扰动源;电磁兼容;用户侧设备发射限值的计算和评估;分析和建模;DG 对电能质量及其调节的影响。

根据大会的交流情况并结合笔者自身的理解,本文将大会的内容概括为 4 个专题进行阐述:①配电网的电能质量与电能质量基础理论;②与电力电子技术有关的电能质量问题;③电能质量的监测、检测、分析与建模;④电磁兼容和干扰源。大会的研究热点主要有谐波发射水平评估与责任量化、配电网新能源消纳能力和超高次谐波。最后,本文提出了我国电能质量领域未来的发展方向,希望能为我国电能质量领域走入国际舞台的中央做出应有的贡献。

1 IEEE ICHQP2018 概述

1.1 配电网的电能质量与电能质量基础理论

该专题由 3 个专题报告和 43 篇论文组成,研究涵盖了智能电网与电能质量、故障定位、电压暂降、配电网谐波和电能质量基础理论等。

1.1.1 智能电网与电能质量

与智能电网与电能质量相关的论文有 13 篇,内容包括了微电网谐波测量、电能质量测量结果分析、电能质量改善措施等。微电网中的谐波是突出问题。微电网孤岛运行的谐波畸变程度高于并网运行的谐波畸变程度,但是当公用电网中存在较严重扰动时,孤岛运行有利于改善公用电网的电能质量。

文献[1]对瑞典微网进行了谐波测量,得到了微网并网/孤岛运行时的谐波均值,并与相关标准进行了比较。文献[2]研究了住宅光伏系统在低光照情况下的谐波电流与光伏系统功率之间的关系,分析了光伏系统离网运行时的电压质量。文献[3]提出了一种有利于改善含 DG 低压电网电能质量的新方法,并提出了一种控制策略。

1.1.2 配电网故障定位

与配电网故障定位相关的论文有 5 篇,涉及故障

收稿日期:2018-06-27;修回日期:2019-01-12

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51807126);四川省科技厅国际合作项目(非线性负荷谐波责任划分)(2017HH-0081)

Project supported by the National Natural Science Foundation of China(51807126) and the International Cooperation Program of Department of Sichuan Province(Responsibility Division of Non-linear Load Harmonics)(2017HH0081)

定位、电能质量监测装置优化配置和故障定位平台等。文献[4]提出了一种基于决策树和人工神经网络的多阶段故障定位方法,该方法可用于相同距离的多重故障定位。文献[5]提出了一种考虑多目标的配电网电能质量监测装置优化方案,与传统方案相比,该方案不仅考虑了成本问题,还能最大限度地实现电压波动干扰源定位。

1.1.3 电压暂降

与电压暂降相关的论文有 6 篇,涉及电压暂降抑制、暂降源识别和分类、测试方法、暂降事件评估等。文献[6]比较了几种常用设备电压耐受曲线的测试方法,提出一种基于二分原理的测试方法。文献[7]使用符合 IEC61000-4-30 A 类标准的监测装置对色雷斯某纺织厂遭受的电压暂降进行了在线监测,并对测得的电压暂降事件进行了评估。

1.1.4 配电网谐波

配电网谐波是本次会议的热点之一,与其相关的论文有 19 篇,内容涵盖了谐波发射水平、公共连接点 PCC (Point of Common Coupling) 谐波贡献、评估谐波电流影响的新指标和谐波源定位等。

文献[8]提出一种 PCC 处用户谐波电压贡献评估方法,分析了其与 IEC 法、电压谐波矢量法在存在谐波消除现象时所得结果不同的原因。文献[9]提出一种量化谐波电流对变压器影响的新指标,并与 K-factor 等指标进行了比较。文献[10]通过构造背景谐波能量波动最小的目标函数来计算系统谐波阻抗,不需要假设背景谐波稳定,仍能取得较好的效果。文献[11]对比分析了不同背景谐波波动和不同系统谐波阻抗、用户谐波阻抗下,典型非干预式谐波阻抗估计方法的不同特点。

1.1.5 电能质量基础理论

围绕电能质量基础理论这一主题,Wilsun Xu、Leszek S. Czarnecki 和 Alfredo Testa 教授分别做了“电能质量未来研究方向”、“为什么功率理论对电能质量研究的贡献有限”和“电压质量与供电可靠性”的专题报告。

Wilsun Xu 教授从《IEEE Transactions on Power Delivery》的投稿、录用、前 25 名下载量等数据入手,分析了全球电能质量领域的研究现状,指出传统研究领域涉及的内容已趋于成熟,需要寻找新方向。借鉴传统领域(如电力系统保护和电磁暂态仿真等)的发展历史,电能质量领域的发展方向主要有:①现代电力设备引起的电能质量问题,如 DG 接入引起的电能质量问题、高压直流系统引起的电能质量问题等;②其他领域的新进展带来的电能质量分析平台的提升,如电能质量在线监测平台、电力扰动数据分析等。

Leszek S. Czarnecki 教授围绕功率理论对电能

质量的贡献进行了系统的分析。功率理论和电能质量的研究对象都是具有非正弦和不对称电压、电流的系统,因此,功率理论本应成为电能质量研究的理论基础,但现有功率理论存在原理上的不足:Budeanu 理论对无功、畸变功率的定义不具有与非正弦电路中功率现象相关的属性;Fryze 理论提出了“非有功电流”的概念,但未给出物理解释;Kuster 和 Moore 理论只适用于理想电压源条件。对功率概念和理论认识、理解的不足,导致了工业界的误解。现有功率理论本身缺少对功率现象、功率原理的合理解释,是导致功率理论对电能质量研究贡献有限的主要原因。Leszek S. Czarnecki 教授提出了基于功率理论的电流物理分量,希望能用于解释与功率相关的物理现象。对此,Emanuel 教授、肖先勇教授等分别与 Leszek S. Czarnecki 教授进行了深入的交流。

Alfredo Testa 教授主要分析了电能质量与供电可靠性之间的联系。以往关于供电可靠性与电压质量的研究是独立进行的,前者关注长时供电中断,后者研究短时事件现象(短时电压中断、电压暂降、电压暂升等)和扰动现象(谐波、不平衡、电压波动等)。实际上,独立进行可靠性与电能质量的研究并不实际。从用户角度来看,供电可靠性与电能质量均会导致用户不满。短时中断、电压暂降等造成的影响甚至超过由长时中断造成的影响。“电压质量与供电可靠性”报告提出了一种适用于中压配电网可靠性、电压质量研究的节点模型和系统模型,以及一种评估供电可靠性和电压质量的方法。

1.2 与电力电子技术有关的电能质量问题

与该专题相关的内容包括 32 篇论文(内容涵盖了光伏、电动汽车、电力电子器件等)、1 个主题为“基于电力电子的电力系统谐波稳定”的专题讲座、1 个主题为“重新评估现代低压电力电子器件的效率和电能质量扰动”的专题报告。

1.2.1 光伏并网引起的电能质量问题

与该子专题相关的论文有 13 篇,内容包括并网逆变器引起的超高次谐波、配电网光伏消纳能力、光伏并网对电能质量的影响。文献[12]在实验室条件下测量了 7 个输出功率小于 10 kW 的并网光伏逆变器的超高次谐波,分析了影响超高次谐波发射水平的主要因素。文献[13]提出一种评估配电网消纳光伏能力的积木(Bricks)法,并在意大利奥斯塔中压配电网中进行了验证。文献[14]基于实测数据和 DigSILENT PowerFactory 建模,分析了斯里兰卡高渗透率光伏对低压电网电能质量的影响。

1.2.2 电动汽车

与该方向相关的论文有 7 篇,包括大规模快速充电站引起的电网谐振风险、低压电网消纳能力、充电站对低压电网电能质量的影响、充电装置的谐波

特性等。

文献[15]分析中压电网接入电动汽车快速充电站给电网带来的谐振风险,提出一种换流器谐波分析模型。文献[16]通过电动汽车充电装置仿真模型,分析了单一充电装置的特征谐波特性,讨论了多充电装置的谐波耦合特性等。

1.2.3 电力电子器件

与该方向相关的论文有12篇,涉及基于动态电压调节器(DVC)或动态电压恢复器(DVR)的电压暂降抑制方法、电能质量对感应电动机的影响、有源滤波器控制策略改进和DVC控制策略等。

文献[17]将故障电流限流技术集成到DVC中,用于限制故障电流,并提出了3种控制策略。文献[18]评估了电压幅值变化、不平衡等对不同类型电机物理参数(电流、温升)的影响,得出如下结论:与三相电机相比,单相电机受电压幅值变化、不平衡等的影响更为明显。文献[19]提出一种基于有限控制集模型预测的并联有源滤波器控制策略。

1.2.4 基于电力电子的电力系统谐波稳定

该专题由来自丹麦奥尔堡大学的华人学者Xiongfei Wang教授主讲。电力电子设备主要通过电压源型换流器VSC(Voltage Source Converter)实现与电网的连接,使得电力电子技术正在从推动可再生能源发电和提高能源转换效率的辅助性技术转变为现代化电网的基础技术。然而,VSC在提高电网灵活性和效率的同时,也给系统的稳定和电能质量带来了新挑战,如:大量采用VSC可能加剧电网中超高次谐波(2~150 kHz)的含量;可能引起谐振,导致谐波放大;无源滤波器、VSC和其他系统元件相互作用,可能导致谐波不稳定,出现宽频域范围内的谐振,产生非特征谐波、多VSC间交叉耦合和谐振等。

Xiongfei Wang教授基于VSC系统地阐述了未来基于电力电子的电力系统谐波稳定的概念、建模和分析方法,包括电力系统电力电子化的现状与挑战、谐波稳定的概念与现象、换流器线性化建模、稳定分析方法等。

1.2.5 电力电子器件效率和电能质量扰动评估

在全体会议上,英国学者Sasa Djokic教授围绕低压电力电子器件效率和电能质量扰动评估做了专题报告。电力电子器件被用于提高低压电网的电能转换效率、功率因数以及抑制谐波等。实际测试表明,与传统电力电子器件相比,现代电力电子器件导致的电能质量扰动现象不同,需要研究新方法、新模型、新工具和新指标,需要重新分析、评估和理解现代电力电子器件的效率和导致的电能质量扰动问题。Sasa Djokic教授以开关电源和光伏逆变器为例,分析了现代电力电子器件的扰动特性,并提出了一种评估电能质量扰动和效率的新指标。

1.3 电能质量的监测、检测、分析与建模

本专题共收录论文38篇,研究涵盖了电能质量监测与检测、分析与建模等。

1.3.1 电能质量监测与检测

与该方向相关的论文有18篇,内容涉及三相监测、超高频次谐波测量、电机的电能质量监测、谐波检测、波形异常检测等。

文献[20]提出了基于旋转不变性和滑动窗的ESPRIT频率估计算法,用于测量超高次谐波,与IEC方法相比,该算法能有效避免频谱泄漏。文献[21]提出了一个基于MATLAB的应用程序来分析和表征电机的特性,并将其应用于电机运行状态和电能质量的监测。文献[22]提出用谐波有功检测谐振,并从理论上证明了该方法的可行性。文献[23]将暂降监测数据的统计特征进行分段,基于奇异值分解提出一种电压暂降自动分段的方法。

1.3.2 电能质量分析与建模

与电能质量分析与建模相关的论文有20篇,研究涉及光伏电站PCC处谐波分析、换流器的谐波分析、电能质量分析平台、多扰动检测、非线性负荷建模等。

文献[24]基于空间矢量和零序分量分析了模块化换流器的谐波特性,给出了换流器谐波电压表达式,并探讨了模块相位移动对空间矢量和零序分量的影响。文献[25]研发了一个电能质量分析平台,可实现从信号处理到电能质量分析研究的整个过程。文献[26]分析了现有的电能质量数学模型,在此基础上建立了一个考虑29种电能质量干扰的积分数学模型,并研发了软件平台,用于实现电能质量干扰的自动检测和分类。文献[27]将系统侧等效为戴维南等效电路,建立了不平衡负载的负序加权等效模型(NSWEN),所建模型适用于PCC处三相电压不对称的情形,并提出了基于负序加权等效模型的负载平衡化方法。

1.4 电磁兼容与干扰源

电磁兼容与干扰源专题共收录论文32篇,研究涵盖接地与磁场、超高次谐波、电压波动与灯具闪变等。另外,该专题还包含一个主题为“现代电力系统中的电压波动与闪变——新发现与新挑战”的专题讲座。

1.4.1 接地和磁场

与接地和磁场主题相关的论文有12篇,研究内容包括地磁扰动下的电力系统谐波分析、电缆护套建模、接地阻抗估计、磁场强度估计、磁场与谐波的相关性等。

文献[28]建立了变压器、输电线和接地系统的时域模型,用于分析由电磁干扰引起的谐波电流在系统中的传播特性。文献[29]提出一种考虑土壤分层时的接地系统阻抗估算方法,用于评估具有不

同电阻率的多层土壤接地系统的阻抗,并分析了接地网的电位分布。文献[30]描述了晶闸管调压器的操作原理和特点,提出了一种用于估计电磁场强度的方法,并分析了电磁场强度对人体安全和控制系统的影响。文献[31]定义了一个新指标——总谐波磁场畸变,并讨论了使用新指标估算由非正弦电流产生的磁场引起的总谐波畸变的方法。

1.4.2 超高次谐波、电压波动与灯具闪变

与超高次谐波、电压波动与灯具闪变主题相关的论文有 20 篇,研究内容包括:超高次谐波引起的家用设备噪声、灯具闪变,灯具和电源间的超高次谐波交互影响,超高次谐波对电容器使用寿命的影响,基于现代照明技术灯具的超高次谐波发射特性以及照明灯具导致的电能质量问题等。

文献[32]概述了家用设备的噪声产生机制,提出了一种可听噪声的测量方法,并基于 103 个设备的噪声测量结果,分析了超高次谐波对噪声辐射的影响。文献[33]评估了 LED 灯在并联线性和非线性电气设备时的谐波发射情况,并指出并联设备的增加通常会降低 LED 灯的电流总谐波畸变,但可能导致其电流有效值增大。文献[34]通过对 LED 灯进行现场测试,指出传统闪变仪无法准确评估 LED 灯等现代灯具的闪变,需研发新型闪变仪来评估现代灯具的闪变。文献[35]提出“光通量增益系数”的概念,并讨论了根据增益系数曲线进行 LED 灯对闪变灵敏性的分析方法。

为了解决智能电网中灯具闪变难以估计的问题,会议开展了主题为“现代电力系统中的电压波动与灯具闪变——新发现与新挑战”的专题讲座,由来自意大利坎帕尼亚大学的 Alfredo Testa、Roberto Langella 教授和来自捷克布尔诺科技大学的 Jiri Drapela 教授共同负责。

闪变是指电光源的电压波动造成灯光照度不稳定的现象,其严重程度由闪变仪估计,但传统闪变仪(IEC 闪变仪)基于调幅电压波动,以白炽灯为测试对象进行设计,无法准确测量由间谐波、超高次谐波引起的闪变。此外,目前白炽灯基本已被紧凑型荧光灯 CFL(Compact Fluorescent Lamp)、LED 灯等现代灯具所替代,它们对间谐波、超高次谐波引发的闪变比白炽灯更敏感,导致现有闪变仪难以准确估计其闪变严重程度。因此,急需研制新的闪变仪,以准确测量现代灯具的闪变效应。讲座重点强调了由电压波动引起的现代灯具闪变的新特点,分析了 IEC 闪变仪的测量原理及其局限性,提出了基于光通量测量和基于电压测量的 2 种新型闪变仪的测量原理和实现方法。

2 研究热点

结合全球研究现状和我国实际,电能质量领域

值得关注的热点问题主要有:入网设备谐波发射水平评估与责任量化,配电网新能源消纳能力,超高次谐波等。

2.1 入网设备谐波发射水平与责任量化

接入电网设备的谐波发射水平评估与责任量化是尚未解决但又很重要的问题之一,文献[10,36-37]提出了改进谐波阻抗估计法;文献[38]建议将背景谐波电压聚类后分为不同数据段,通过含权重函数的回归模型来计算关注时间段的谐波责任。

入网设备谐波发射水平评估及其责任量化是国内外共同关注的问题。文献[39]提出基于用户主导波动量筛选的用户谐波发射水平估计方法,避免了系统侧波动的影响,提高了系统谐波阻抗估计的准确度。文献[40]用均值漂移法聚类背景谐波,按电压值分为不同的数据段,将背景谐波转化为不变的背景谐波,然后计算关注时间段的谐波责任。

近年来,关于谐波责任量化问题的研究进展缓慢,为此,CIGRE/CIREN JWG C4.42 工作组在会议上专门针对基准测试系统建模、多种谐波发射水平估计方法的比较、基于基准测试系统评估谐波贡献等问题的研究进展进行了交流;讨论了几种谐波发射水平估计方法,分析了谐波矢量法、功率方向法在评估谐波发射水平时存在的不足;基于波动量法、参考阻抗法和 IEC 法,提出了一种新的用户侧谐波发射水平估计模型和方法;提出了一个标准测试系统,为后续研究提供了一个标杆。最后,他们指出了谐波责任量化面临的挑战:①谐波阻抗(系统侧或/和用户侧)变化对发射水平的影响;②针对谐波相量叠加的特点,还需提出一个能兼顾谐波增加和减少的发射指标;③谐波阻抗准确测量问题。

2.2 配电网新能源消纳能力

新能源快速发展对配电网新能源消纳能力评估提出了明确的要求。文献[41]将光伏容量和安装位置视为随机变量,用随机法模拟光伏接入,通过过电压、电压偏差等约束确定光伏消纳能力。文献[13]提出一种评估光伏消纳能力的积木(Bricks)法,该方法不需要配电网潮流分析和配电网的完整拓扑,适用范围广,计算速度更快。

我国学者对新能源消纳能力也展开了研究。文献[42]提出了考虑电网安全约束的实时风电消纳能力的评估方法,同时考虑了系统和节点消纳能力,可用于估计局部电网的风电消纳能力。文献[43]对比研究了有/无储能和需求侧响应时的微网光伏消纳能力。

我国“十三五”规划^[44]指出,2020 年新能源发电装机容量将占总装机容量的 16%。因此,评估和提升配电网新能源消纳能力是值得研究的重要课题。

配电网新能源消纳能力与系统总容量 S_T 、负载剩余扰动量等概念密切相关。然而传统 IEC61000-3-X 系列标准对 S_T 和负载剩余扰动量等概念的定义只考虑了负载的影响,而未考虑新能源接入的影响,使得 IEC61000-3-X 系列标准的应用存在缺陷。为了解决上述问题,CIGRE/CIREN JWG C4.40 工作组对 IEC61000-3-X 系列标准中的部分概念进行了重新定义,并在此次会议上开展了主题为“从标准化和能源市场看电能质量”的全体会议报告,对 S_T 、负载剩余扰动量和系统最大化利用等概念的新算法和新定义进行了重点介绍。

2.3 超高次谐波

电力系统电力电子化引发了超高次谐波问题^[45], CFL、LED 灯等照明灯具既是典型的超高次谐波源,也是受害者。文献[46]对 LED 灯进行了免疫测试,发现超高次谐波会引起 LED 灯闪变。文献[47]通过实测发现,电源电压畸变会严重影响 LED 灯的超高次谐波发射。

国内对照明灯具引起的超高次谐波的研究较少,文献[47]对 CFL 和 LED 灯引起的超高次谐波进行了测量,分析了原生发射特性。

关于超高次谐波的研究往往仅限于测量与仿真分析,尚缺乏对产生机理、传播特性和交互影响等方向的研究。

3 未来发展方向

通过与国际同行的交流并结合笔者自身的理解,电能质量领域未来的发展方向主要概括如下。

a. 入网新元件产生的扰动及其受扰动的影响。

越来越多的 DG、电动汽车充电桩接入电网, CFL 和 LED 灯将成为主要照明,直流输电和配电将更广泛应用,新型电力元件广泛使用,这些均将给电网带来新的电能质量问题。因此,研究解决新型电力元件引起的电力扰动,研究其受系统内扰动的影响,必将成为发展方向之一。

b. 电力扰动数据分析与主动应用。

电力扰动既包括已有清晰定义的电能质量指标,也包括客观存在并可能导致的问题且目前尚未明确定义的各种扰动。国内外已对电力扰动开展了大量监测,获得了海量数据,其中包含的信息不仅可用于分析已定义的电能质量指标,还可用于解决故障诊断、设备运行状态监测等问题,我国学者肖先勇教授于 2016 年提出的主动电能质量,在本次会议上受到了国际同行的关注,这或许将成为电能质量领域的发展趋势。

总体而言,电能质量领域的研究已不再局限于已定义的指标,而是正从被动电能质量走向主动电能质量。

4 结语

ICHQP2018 是全球电能质量领域的重要学术会议,不仅影响力较大,而且收录的论文基本能代表全球电能质量的发展水平。该会议最早每四年召开一次,目前已成为每两年召开一次的 IEEE 重要会议。我国在电能质量领域的研究总体上处于与国际并跑的水平,局部领域处于领先水平,因此,我国学者肖先勇教授在大会期间向大会组委会提出了在我国大陆举办该会议的申请。我国大陆和台湾近 20 位学者参加了这次会议,并与国际同行进行了较深入的交流,相信这对提升我国电能质量领域的国际影响力将起到积极的作用,我国在电能质量领域的研究在不久的将来必将达到国际领先水平。希望本文能为我国电能质量领域的发展提供参考信息。

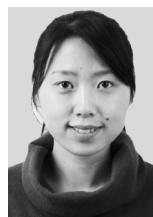
参考文献:

- [1] NÖMM J, RÖNNBERG S, BOLLEN M H J. Harmonic voltage measurements in a single house microgrid[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-5.
- [2] HICKS C, BAGHZOUZ Y, HADDAD S. Power quality of residential PV system under low solar irradiance and off-grid operation[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-5.
- [3] MALACZEK M, WASIAK I. Forming a microgrid to islanded operation as a mean to improve quality of supply in low voltage networks with distributed generation[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-6.
- [4] PESSOA A L S, OLESKOVICZ M, MARTINS P E T. A multi-stage methodology for fault location in radial distribution systems[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-6.
- [5] MARTINS P E T, OLESKOVICZ M, PESSOA A L S, et al. Optimized allocation of power quality monitors in distribution systems considering fault location[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-6.
- [6] MA Zhiyuan, XU Zhong, MO Wenxiong, et al. A new method for sensitive single-phase equipment testing to voltage sag[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-6.
- [7] POLAT O, SEZGIN M S, YUMAK K, et al. Assessment of voltage sag events based on measurement studies in an industrial facility[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-6.
- [8] ŠPELKO A, PALIC I, SHALOUDEGI K. A voltage-only method for assessing harmonic contribution from a customer installation[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-7.
- [9] BAGHERI P, XU W, DJOKIC S Z. New indices to evaluate the impact of harmonic currents on power transformers[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018: 1-6.
- [10] XU Fangwei, WANG Lu, ZHAO Jinshuai, et al. A new method for

- harmonic impedance estimation[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-4.
- [11] ZHENG Xian, LIU Yamei, CHEN Feiyu, et al. A comparison of typical non-invasive method for utility harmonic impedance estimation [C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-5.
- [12] DARMAWARDANA D, MEYER J, JAVATUNGA U, et al. Investigation of high frequency emissions(supraharmonics) from small, grid-tied, photovoltaic inverters of different topologies[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [13] MIRBAGHERI S M, MONCECCHI M, FALABRETTI D, et al. Hosting capacity evaluation in networks with parameter uncertainties [C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [14] CHATHURANGI D, JAYATUNGA U, RATHNAYAKE M, et al. Potential power quality impacts on LV distribution networks with high penetration levels of solar PV[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [15] SUN Y, DE JONG E C W, CUK V, et al. Harmonic resonance risk of massive ultra fast charging station grid integration[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [16] DING Tong, CHEN Hongkun, WU Bin, et al. Harmonic characteristics analysis of PWM-based electric vehicle chargers considering control strategy[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-5.
- [17] BAHRAMI A, FARANDA R, HAFEZI H. Integration of fault current limiting function into a single-phase series compensator[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [18] ELPHICK S, CRAWFORD M, PERERA S, et al. Laboratory investigation of the impact of PQ on induction motor performance[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [19] GONUGUNTALA V K, FRÖBEL A, VICK R. Performance analysis of finite control set model predictive controlled active harmonic filter [C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [20] SHADMEHR H, CHIUMEO R, BELLONI F R. Beyond FFT algorithm in analyzing harmonics at frequency range of 2 kHz to 500 kHz [C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [21] FRANCISCO M, CAMPOS A, ALCAYDE A, et al. A MATLAB application for monitoring the operation and power quality of electrical machines[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-5.
- [22] BOTTENBERG A, DEBRUYNE C, PETERSON B, et al. Network resonance detection using harmonic active power[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-5.
- [23] HU Wenxi, XIAO Xianrong, JIN Yunling, et al. Automatic segmentation method for voltage sag detection and characterization[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-5.
- [24] NEGRI S, BARCELLONA S, GABRIO S F. Detailed analysis of harmonic distortion in modular three-phase converters: analytical and numerical evaluation [C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-7.
- [25] PIAZZI A C, CERQUEIRA A S. Reproducible research platform for electric power quality algorithms [C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [26] IGUAL R, MEDRANO C, ARCEGA F J, et al. Integral mathematical model of power quality disturbances[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [27] LIAO Kunyu, TAO Shun, ZHAO Lei, et al. A balance compensation method based on negative sequence weighted equivalent model of unbalanced load[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [28] MELIOPOULOS S, XIE Jiahao, COKKINIDES G. Power system harmonic analysis under geomagnetic disturbances[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [29] BRENNA M, FOIADELLI F, LONGO M, et al. Particular grounding systems analysis using FEM models[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [30] SOSNINA E, MASLEEVA O, BEDRETDINOV R, et al. Research of TVR electromagnetic field[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [31] COSTEA M, BĂRAN I, LEONIDA T. Features of magnetic fields produced by distorted or unbalanced systems of currents[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [32] KÖRNER P M, STIEGLER P, MEYER J, et al. Acoustic noise of massmarket equipment caused by supraharmonics in the frequency range 2 to 20 kHz[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [33] LIMAS M, MARTINEZ D A, RODRIGUEZ J B, et al. Conducted emission variations using low power LED lamps connected to other devices[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [34] DRAPELA J, LANGELLA R, TESTA A, et al. A real life light flicker case-study with LED lamps[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [35] DRAPELA J, LANGELLA R, TESTA A, et al. Experimental evaluation and classification of LED lamps for light flicker sensitivity[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [36] SERFONTEIN D, RENS J, BOTHA G. Harmonic impedance assessment using prevailing phasors[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-5.
- [37] MONTEIRO H L M, DE OLIVEIRA M M, DE OLIVEIRA R R S, et al. Harmonic impedance estimation in frequency deviation scenario [C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia; IEEE, 2018; 1-6.
- [38] ZHANG Jingzong, CHEN Hongkun, ZENG Linghua, et al. Responsi-

- bility division optimization for multiple harmonic sources based on the improved hampel weight function[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia;IEEE,2018;1-6.
- [39] 龚华麟,肖先勇,刘亚梅,等. 基于主导波分量筛选原理的用户谐波发射水平估计方法[J]. 中国电机工程学报,2010,30(4):22-27.
GONG Hualin,XIAO Xianyong,LIU Yamei,et al. A method for assessing customer harmonic emission level based on the dominant fluctuation filtering principle[J]. Proceedings of the CSEE,2010,30(4):22-27.
- [40] 王瑜,臧天磊,符玲,等. 考虑背景谐波电压变化的多谐波源谐波责任划分[J]. 电力系统自动化,2015,39(18):55-61.
WANG Yu,ZANG Tianlei,FU Ling,et al. Harmonic contribution partition of multiple harmonic sources considering background harmonic voltage fluctuation[J]. Automation of Electric Power Systems,2015,39(18):55-61.
- [41] TANG N C,CHANG G W. A stochastic approach for determining PV hosting capacity of a distribution feeder considering voltage quality constraints[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia;IEEE,2018:1-5.
- [42] 康重庆,贾文昭,徐乾耀,等. 考虑网络安全约束的实时风电消纳能力评估[J]. 中国电机工程学报,2013,33(16):23-29.
KANG Chongqing,JIA Wenzhao,XUN Qian Yao,et al. Capability evaluation of wind power accommodation considering security constraints of power grid in real-time dispatch[J]. Proceedings of the CSEE,2013,33(16):23-29.
- [43] 彭政,崔雪,王恒,等. 考虑储能和需求侧响应的微网光伏消纳能力研究[J]. 电力系统保护与控制,2017,45(22):63-69.
PENG Zheng,CUI Xue,WANG Heng,et al. Research on the accommodation of photovoltaic power considering storage system and demand response in microgrid[J]. Power System Protection and Control,2017,45(22):63-69.
- [44] 国家发展和改革委员会,国家能源局. 电力发展“十三五”规划(2016—2020)[R]. 北京:国家能源局,2016.
- [45] 汪颖,罗代军,肖先勇,等. 超高次谐波问题及其研究现状与趋势[J]. 电网技术,2018,42(2):353-365.
WANG Ying,LUO Daijun,XIAO Xianyong,et al. Review and development tendency of research on 2~150 kHz supraharmonics[J]. Power System Technology,2018,42(2):353-365.
- [46] SAKAR S,RÖNNBERG S,BOLLEN M H J. Immunity test of LED lamps based on IEC 61000-4 19 and unexpected consequence[C]//18th International Conference on Harmonics and Quality of Power(ICHQP). Ljubljana, Slovenia;IEEE,2018:1-6.
- [47] 林顺富,黄娜娜,朱明星. 不同照明负荷对配电网电能质量的影响[J]. 电网与清洁能源,2017,33(3):1-7.
LIN Shunfu,HUANG Nana,ZHU Mingxing. Influence of different lighting loads on power quality of the distribution system[J]. Power System and Clean Energy,2017,33(3):1-7.

作者简介:



汪颖

汪颖(1981—),女,重庆人,副教授,博士,主要研究方向为电能质量与优质供电(E-mail:20312028@qq.com);

罗代军(1994—),男,重庆人,硕士研究生,主要研究方向为电能质量与谐波责任划分(E-mail:330869522@qq.com);

肖先勇(1968—),男,四川宜宾人,教授,博士,通信作者,主要研究方向为电能质量与优质供电(E-mail:xiaoxianyong@163.com);

胡文曦(1993—),男,四川内江人,博士研究生,研究方向为电能质量与数据分析(E-mail:408803186@qq.com);

徐方维(1978—),女,四川仁寿人,副教授,博士,主要研究方向为电能质量和谐波责任划分(E-mail:xfwlovely@126.com)。

IEEE ICHQP2018 and development directions of power quality

WANG Ying, LUO Daijun, XIAO Xianyong, HU Wenxi, XU Fangwei

(College of Electrical Engineering and Information Technology, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: IEEE ICHQP2018(2018 IEEE International Conference on Harmonics and Quality of Power) includes three parts of tutorials, plenary sessions and technical sessions. It is summarized into four topics: power quality issue and its basic theory in distribution network, power quality issue related to power electronic technology, monitoring, detection, analysis and modeling of power quality, electromagnetic compatibility and interference sources. Based on the conference contents, several hot topics in power quality field are summarized, and the future development directions are put forward based on China's actual situation. The aim is to make due contributions to promoting the development of power quality in China, strengthening the international exchanges and cooperation and promoting Chinese power quality research to the world.

Key words: harmonics and power quality; distribution network; power electronic technology; power quality monitoring; electromagnetic compatibility; development directions