

DOI:10.13296/j.1001-1609.hva.2015.06.024

微网电能质量特征及其监测分析

潘爱强¹, 时珊珊¹, 董瑞安², 刘军成³

(1. 上海市电力公司电力科学研究院, 上海 200090; 2. 上海电力通信有限公司, 上海 200002;
3. 西安博宇电气有限公司, 西安 710065)

摘要: 文中综述了微网特点及其控制策略, 分析了微网不同运行模式下电能质量的基本特征及其电能质量监测应关注的主要议题。分析表明: 微网不仅需要关注稳态、暂态电能质量问题, 也需要关注瞬态电能质量议题; 微网电能质量测量不仅要关注基于电能质量国标限值的干扰测量, 还要关注基于设备危害的电能质量测试数据并采用合理的评估方法。在该基础上, 文中概括了目前微网电能质量控制的争议所在, 突出表现在当大电网电能质量不满足要求时, 微网是否需要主动转入孤岛运行模式。

关键词: 微网; 控制; 电能质量; 特征; 监测

Power Quality Characteristics and Detection Concerning in Microgrid

PAN Aiqiang¹, SHI Shanshan¹, DONG Ruian², LIU Juncheng³

(1. Electrical Power Research Institute of Shanghai Electrical Power Company, Shanghai 200090, China;
2. Shanghai Electrical Power Communication Co., Ltd., Shanghai 200002, China;
3. Xi'an Boyu Electric Co., Ltd., Xi'an 710065, China)

Abstract: After outlining the characterizations of microgrid and the strategies of microgrid control, the paper analyses the power quality features on microgrid operations under different operation mode, as well as the key concerns in power quality detection. It is indicated that not only continuous phenomena but also discontinuous phenomena shall be focused on; for power quality measurement issues, among other things like evaluations against national standard limits, the impacts on electrical equipments related to power quality measurement data as well as appropriate estimation methods should be also emphasized. In the end, the paper lists the disputations on microgrid power quality controlling, the key issue is when the power quality levels of connected grid deteriorate, whether the microgrid shall transferred into island operation mode automatically.

Key words: microgrid; control; power quality; characteristics; detection

0 引言

微网(或微电网)概念为分布式发电技术的广泛应用开辟了新的途径, 因此其应用获得了世界很多国家的重视^[1]。微网有多种模式, 如交流微网、直流微网; 还有传统意义上相对于大电网为单一受控源的互联微网, 孤立运行不存在并网运行模式的孤立微网等^[2-5], 其安全性、电能质量、电磁兼容(EMC)等属于微网运行中最主要的几个议题。

就电能质量而言, 不管是运行于并网模式还是孤岛模式的互联微网或是孤立微网, 也不管是交流微网还是直流微网, 理论上其对电能质量的要求应该是相同的, 这是因为电能质量是用户能够感受到的电磁环境, 不管供电方采用什么方式给终端用户供电, 用户对电能质量的要求是不会改变的, 且用户应承担的责任也相同。

1 微网运行控制简析

微网运行的核心内容包括^[6]: 控制策略、保护策

收稿日期: 2014-12-04; 修回日期: 2015-01-07

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2013BAA01B04)。

Project Supported by National Key Technology R & D Program(2013BAA01B04).

略、协调策略、经济调度、与互联系统影响、并网黑启动能力等,其目标在于提高供电可靠性及电能质量。

其电源并网方式包括:①电力电子转换模块;②直挂式;如小风电、柴油发电、小水电等,其一次能源除储能外,多为不稳定可再生能源。

1.1 微网内分布式电源的控制方式

就微网内部的分布式电源而言,其控制策略一般包括以下几类:

1)恒功率控制。图1为恒功率控制原理。由图1中可知:该控制依据有功、无功与频率、电压的解耦下垂关系,不管系统电压频率如何变化,其有功、无功出力总是保持在约定水平,相当于传统电网中发电机的PQ节点。当采用该控制策略时,微网中有维持系统电压、频率的电源(相当于平衡节点的角色)。

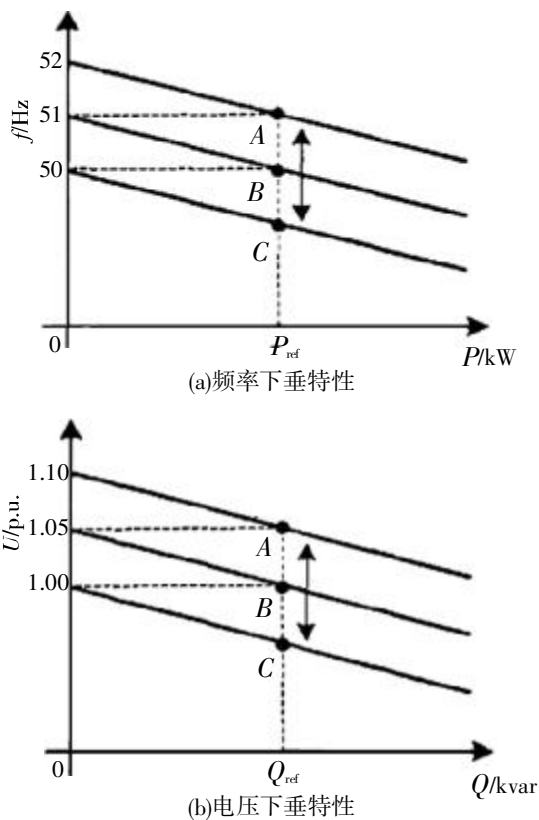
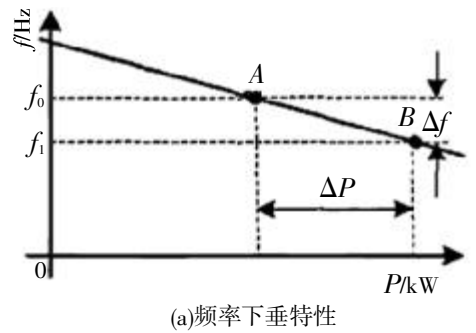


图1 恒功率控制原理

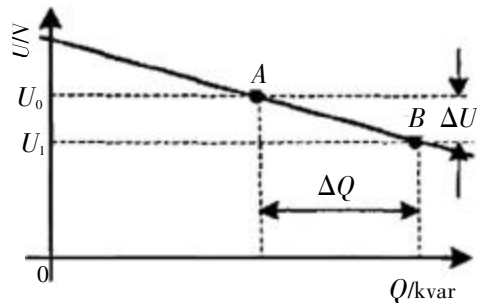
Fig. 1 Theory showing on PQ control

2)下垂控制。图2为下垂控制原理图。由图2中可知:该控制仍依据有功、无功与频率、电压的解耦下垂关系,各电源间不需要相互通信,按拟定的下垂斜率更具系统频率电压变化调节电源出力,该方法一般用在对等控制的微网中。

3)恒压恒频控制。图3为恒压恒频控制原理图。由图3中可知:采用该控制思路的电源一般根据负荷预测,有充足的容量,以满足调节系统电压、频率的目的,即维持系统电压、频率在拟定范围。



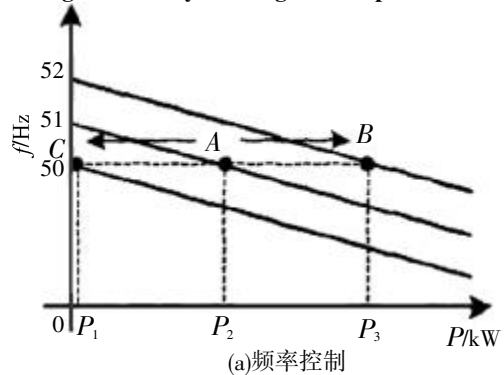
(a)频率下垂特性



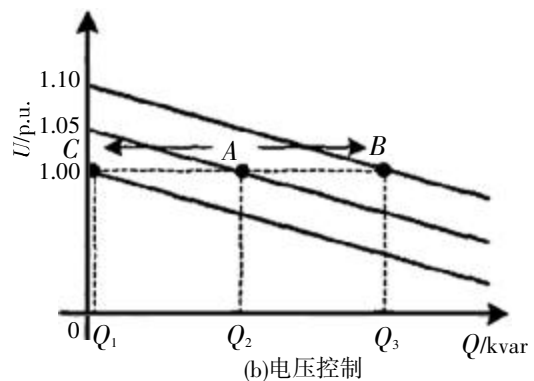
(b)电压下垂特性

图2 下垂控制原理

Fig. 2 Theory showing on droop control



(a)频率控制



(b)电压控制

图3 恒压恒频控制原理

Fig. 3 Theory showing on U/f control

1.2 微网系统控制

微网系统控制主要有两种类型:

- 1)分层控制:①底层分布式电源原动机的控制;②分布式电源接口控制;③微网系统及其上层控制。
- 2)即插即用:不仅是微网相对于大电网而言,而且微网内电源相对与微网系统而言,均具有即插即用特征。

微网系统的控制主要包括以下策略:

1) 整体控制策略上区分有: ①主从控制^[7]。以某一分布式电源为主控制单元的主从控制。在并网运行时, 微网不需要参与频率调节, 此时包括主控制单元在内的所有分布式电源采用 PQ 控制策略; 在孤岛运行时, 主控制单元需要维持系统的频率及电压, 采用 U/f 控制, 承担平衡节点的角色, 一般由大容量储能装置承担; 以上层中心控制器为主控制单元的主从控制。上层中心控制器根据分布式电源原动机输出及负荷需求调整底层分布式电源控制器的稳态参考设定值, 微网内动态功率平衡依然由底层分布式电源控制器承担, 底层分布式电源可以采用对等控制, 也可以采用主从控制; ②对等控制^[8]。在并网运行时, 微网不需要参与频率调节, 此时所有分布式电源采用 PQ 控制策略; 在孤岛运行时, 所有分布式电源切换到下垂控制模式。

2) 从微网控制层次上分(本质上属于主从控制): ①底层分布式电源的控制; ②上层的管理系统。

2 微网电能质量特征分析

微网系统中的电源是分布式发电及储能的统一体, 因此相对于传统供电系统的电源, 如水电、火电, 其电磁环境更加复杂; 同时孤岛运行的微网及孤立微网, 因其供电系统相对较弱, 承受电磁骚扰的能力即抗扰度水平更低, 因此需要认真分析微网电磁环境特征, 在该基础上加强微网运行电能质量监测, 确保微网系统运行的电能质量及供电可靠性。

下面以微网控制相关内容为线索, 分析微网电能质量基本特征。

2.1 频率电压调整

并网运行的微网, 其分布式电源一般运行于 PQ 控制模式, 微网频率由大电网控制; 其电压也受系统电压控制的分量居多, 当然微网内部也有稳态电压、暂态电压质量控制的就地设备。该模式下, 微网背靠大电网, 在电压、频率的控制方面起辅助作用, 微网频率电压相对较好。

孤岛运行的微网或孤立微网, 微网系统采用主从控制或对等控制, 其系统电压、频率的维持完全需要微网自身实现。如果没有足够储备的有功电源储备, 系统频率的维持可能就需要靠切负荷实现, 频率波动及其范围就相对剧烈一些; 尽管微网电源的电力电子并网方式使得其惯性较小, 但是其并网方式的响应却更快^[9-10], 良好规划的微网(良好的电源规划与负荷预测)仍能满足频率调整的要求。对于电压调整而言, 此时微网内部的无功补偿装置可以发挥

电压的调整作用。

设计良好的微网在合适的控制保护策略下, 其频率、电压调整能够满足电能质量控制的基本目标。

2.2 谐波(间谐波)

由于微网电源并网的基本特点, 不管微网并网运行还是孤岛运行, 对于相同的负荷群而言, 微网供电的谐波环境比传统电网供电更加复杂与严重。

对于并网运行模式, 其谐波贡献不仅包括大系统背景谐波, 微网内部非线性负荷, 同时还包括微网内部所有以电力电子方式并网的电源。就此类电力电子并网装置而言, 目前广泛应用全控型 PWM 逆变电路, 尽管理论上不再产生传统的低次谐波, 但仍产生与开关频率相关的高次谐波, 如单相系统中谐波频谱可表示为: $n\omega_c \pm k\omega_r$ ($n=1, 3, 5, \dots$ 时, $k=0, 2, 4, \dots$; $n=2, 4, 6, \dots$ 时, $k=1, 3, 5, \dots$), 式中: ω_c 为载波频率(开关频率); ω_r 为调制波频率。图 4、5 为其基本频谱、电流波形特征示意^[11]。由图 4、5 可见, 相对于传统的低次谐波特征而言, 低含量、高频段的(间)谐波群特征是微网电力电子并网电源的基本特征。尽管如此, 考虑到微网并网运行模式下系统短路容量较大, 微网系统仍具有承受预期短路容量相匹配的(间)谐波能力。

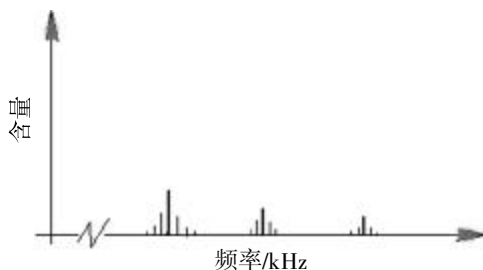


图 4 频谱特征示意

Fig. 4 Characteristic spectrum showing

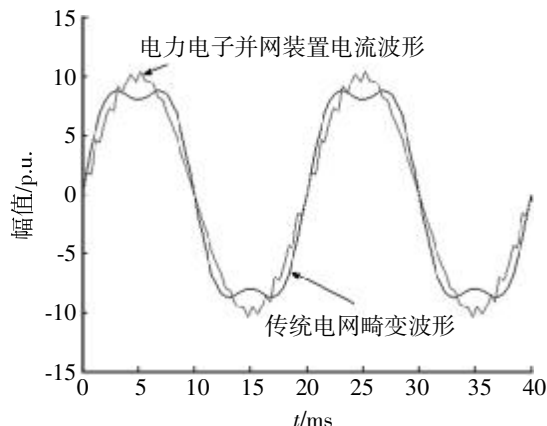


图 5 波形形状示意

Fig. 5 Wave shape showing

对于孤岛运行模式的微网, 尽管没有了互联系统背景谐波叠加, 但是微网系统短路容量陡然降低,

其承受谐波的能力大幅下降,此时若没有良好的针对微网特点的谐波抑制措施,其谐波污染可能就是一个非常棘手的问题。

另外微网由于经常运行在并网与孤岛切换的两种模式,微网内部每一点的固有谐振特性在两种模式下也差异较大。若存在电容补偿装置,需要认真分析,避免在特征频率产生(间)谐波谐振现象。

2.3 三相不平衡度

微网在并网运行模式及孤岛运行模式下由于短路容量的差异,其承受三相不平衡度骚扰的能力也具有较大的差异。

基于微网的用途,其单相负荷比例往往较高,同时微网内分布式单相电源的比例也不容忽视,因此微网负荷、电源应该有较好的三相配置规划。无论在并网运行模式还是孤岛运行模式,三相不平衡度问题均应受到重视,孤岛运行模式尤其应充分重视。

2.4 暂态电能质量问题

暂态电能质量指标主要包括电压暂降、暂升、电压短时中断。并网运行模式下,微网类似于有源负荷,同时考虑到其分布式电源电力电子并网装置的快速响应特性,其承受暂态扰动的能力比无源负荷要强大;但微网内部电源特别是对电压暂降敏感的电源可能存在脱机的风险,特别在大扰动背景下微网按拟定程序转入孤岛运行的过渡过程中,若伴随微网内分布式电源脱机事件,可能造成较大的电能质量事件,甚至危机微网的稳定运行,这是孤岛模式下微网的动态稳定要依赖储能设备及其响应特性。

微网内若存在冲击性波动负荷,在孤岛运行模式下,其承受冲击的能力较弱,容易对敏感负荷造成较大影响,因此应该有暂态电能质量事件的应对策略,如某些微网专门研究微网内暂态电能质量控制器对敏感负荷的保护作用,图6为文[12]中采用动态电压恢复器(DVR)为用户提供高质量电能供应。

2.5 瞬态电能质量

瞬态过程在电力电子装置中有多种表现形式,其中之一为功率开关的关断过电压、开通过电流(微秒或纳秒级),续流二极管的反向恢复过程(纳秒级)等,广义上即器件运行中的 di/dt ($1\ 000\text{ A}/\mu\text{s}$ 以上)和 du/dt ($500\text{ V}/\mu\text{s}$ 以上)问题^[13]。图7为文[13]中给出的实测IGCT关断过程的电压电流波形,图8为该文中给出的开关器件输出电压波形。

微网中存在大量电力电子器件,在运行中应重视瞬态电能质量干扰,电力电子器件正常运行条件下本身类似一种高速的开关操作,产生频繁的振荡型瞬态现象。

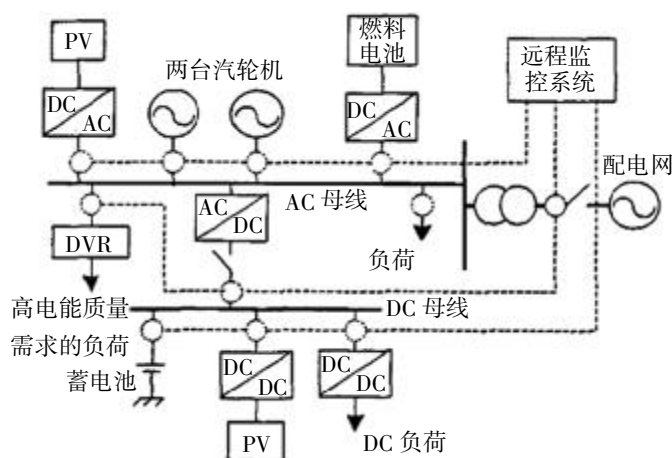


图6 日本仙台微网中采用动态电压恢复器示意图

Fig. 6 Application of DVR in micro-grid in Sendai

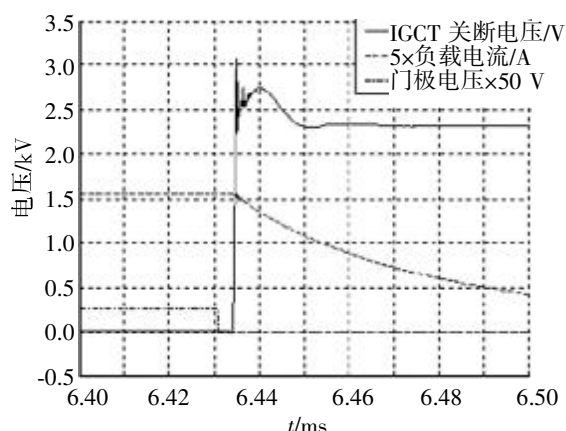


图7 实测IGCT关断过程的电压电流波形

Fig. 7 Voltage and current waveforms measured during IGCT turning off

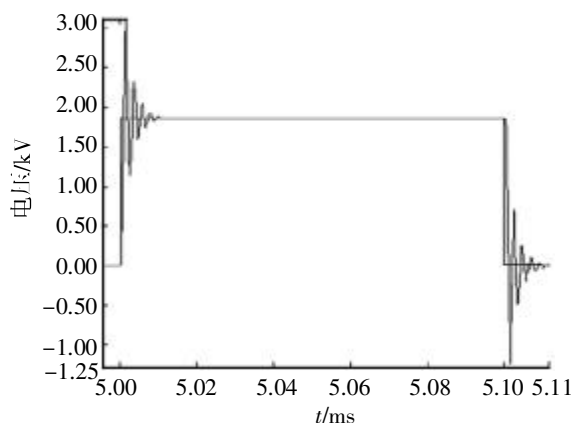


图8 开关器件输出电压波形

Fig. 8 Voltage and current waveforms outputted by power electronic unit

振荡型瞬态现象是一种正负极性变化的突变现象,一般以幅值、持续时间、主要频谱(低频、中频、高频)特征进行描述。频率大于500 kHz的为高频振荡,多由系统操作引起,或由脉冲型瞬态现象诱发。电力电子转换电路也会产生高频振荡型瞬态现象,而且按照一定的频率重复出现^[14];频率在5~500 kHz

之间的为中频振荡,如背靠背电容器投入会产生这样的现象,且脉冲型瞬态现象也会诱发中频振荡瞬态现象;频率小于5 kHz的振荡型瞬态现象为低频振荡。在三相系统中,瞬态现象可能出现在线对地、中性线对地、线对中性线等之间。

3 微网电能质量监测应关注的问题

稳态电能质量的10 min纪录^[15]主要基于干扰的热效应对于电缆、变压器、电动机、电容器等的影响而言的,其3 s纪录主要针对电子设备的危害而言的^[16],由于微网中大量电力电子器件的存在,因此在关注10 min纪录的同时,还应该关注3 s纪录的危害影响。

由于微网中大量的全控型电力电子器件的应用,其控制运行方式不仅决定了其丰富的特征谐波干扰,还决定了大量的特征间谐波的存在;因此基于热效应需要关注其谐波、间谐波的集群效应,同时基于谐波间谐波控制的目的,还需要其精确的间谐波特征的测量,一般间谐波测量的频率分辨率为5 Hz^[17]。

并网型微网存在并网运行与孤岛运行两种模式的切换,由运行方式改变导致的短路容量的变化诱发的谐振问题应该受到关注,因而谐波测量的3 s最大值或99%概率大值纪录应该予以保存。

低压微网分布式电源的并网开关多采用接触器并网,接触器对于暂态电能质量的相位跳变比较敏感,因此微网暂态电能质量监测应考虑相位跳变这一特征参数。

微网能量管理系统(EMS)与电能质量监测系统的信息集成技术需要优化考虑^[18]。

4 微网电能质量议题争议

供电可靠性与电能质量是微网运行关注的两大问题。从技术上来说,电能质量问题本身就是供电可靠性问题,是对传统可靠性议题的进一步延伸,但是实践上两个问题还是区别对待的。目前笔者认为,微网控制中就电能质量议题而言,仍存在以下争议:

1)当大电网电能质量不满足要求时,是否需要孤岛运行?

除大电网故障之外的大电网电能质量指标若严重超标,是否需要控制微网从并网模式转入孤岛运行模式?这一问题仍需广泛讨论。

2)孤岛运行模式下是否需要下调微网运行的电能质量指标?

毕竟孤岛模式下微网是一个较小(弱)的供电系统,此时供电连续性与可靠性应该是问题的主要方

面,适当放宽电能质量指标、放宽到什么程度是否可作为微网孤岛运行控制需要考虑的一个议题?

5 结语

微网仍然是电力供应市场的一个新议题;微网运行控制的规范仍需要经验的积累;电能质量议题是微网运行的一个主要议题之一;认识并研究微网运行电能质量特征及其监测也需要实践上进一步完善。

参考文献:

- [1] BARNES M, KONDOH J, ASANO H, et al. Real-world micro grids all overview[C]//IEEE International Conference on System of Systems Engineering. USA: IEEE, 2007: 1-8.
- [2] AMLAMPALAM A, BARNES M, ENGLER A, et al. Control of power electronic interfaces in distributed generation micro grids[J]. International Journal of Electronics, 2004, 91(9): 503-523.
- [3] LASSETER R, ABBAS A, MAMA C, et al. Integration of distributed energy resources: The CERTS micro grid concept[R]. USA: California Energy Commission Report, 2002.
- [4] JAYAWARNA N, BARNES M, JONES C, et al. Operating micro grid energy storage control during network faults[C]//IEEE International Conference on System of Systems Engineering. UK: IEEE, 2007: 1-7.
- [5] WANG Zhutian, HUANG Xinhong, JIANG Jin. Design and implementation of a control system for a micro grid involving a fuel cell power module[C]//Electrical Power Conference. Canada: IEEE, 2007: 207-212.
- [6] 肖朝霞. 微网控制及运行特性分析[D]. 天津: 天津大学, 2009.
XIAO Zhaoxia. Control and operation characteristic analysis of a micro-grid[D]. Tianjin: Tianjin University, 2009.
- [7] LASSETER R H. Control and design of micro grid components[R]. USA: Power Systems Engineering Research Center, 1996.
- [8] 王长贵, 崔容强, 周 篁. 新能源发电技术[M]. 北京: 中国电力出版社, 2003.
WANG Changgui, CUI Rongqiang, ZHOU Huang. New energy generation technology development[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2003.
- [9] BORGHETTI A, BOSETTI M, BOSSI C, et al. An energy resource scheduler implemented in the automatic management system of a microgrid test facility[C]//International Conference on Clean Electrical Power. Italy: IEEE, 2007: 94-100.
- [10] NIKKHAJOEI H, LASSEFER R H. Microgrid protection[C]//IEEE Power Engineering Society General Meeting. USA: IEEE, 2007: 1-6.

- [11] 刘军成,焦莉,智能电网概念下的电能质量环境分析[C]//中国电机工程学会2011年年会论文集.北京:中国电机工程学会,2011:11.
- LIU Juncheng, JIAO LI. Power quality environment analysing in smart grid[C]//CSEE Annual Meeting. Beijing: CSEE, 2011: 11.
- [12] MOROZUMI S. Micro-grid demonstration projects in Japan[C]//IEEE Power Conversion Conference-Nagoya.[S.l.]: IEEE, 2007: 635-642.
- [13] 赵争鸣,白华,袁立强.电力电子学中的脉冲功率瞬态过程及其序列[J].中国科学E辑:技术科学,2007,37(1):60-69.
- ZHAO Zhengming, BAI Hua, YUAN Liqiang. Impulse power transient process and its related sequence on power electronics[J]. Science in China: Technology Science, 2007: 60-69.
- [14] 刘军成.电能质量分析方法[M].北京:中国电力出版社,2011.
- [15] IEC 61000-4-30:2003 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 4-30: Testing and measurement techniques—Power quality measurement methods[S].2003.
- [16] IEC 61000-3-6:2008 Electromagnetic compatibility (EMC)—Part 3: Limits-section 6: Assessment of emission limits for distorting loads in MV and HV power systems-basic EMC publication[S].2008.
- [17] GB/T 24337—2009 电能质量 公用电网间谐波[S]. 2009.
- GB/T 24337—2009 Power quality—Inter-harmonics in public supply network[S].2009
- [18] 时珊珊,董瑞安.智能社区(微网)电能质量信息集成系统研究[J].高压电器,2014,50(2):12-17.
- SHI Shanshan, DONG Ruian. Study on power quality information integrated system in smart community (micro-grid)[J]. High Voltage Apparatus, 2014, 50(2): 12-17.
- 潘爱强(1984—),男,硕士,研究方向为电能质量。
- 时珊珊(1985—),女,博士,研究方向为分布式电源与微网。
- 董瑞安(1971—),男,高级工程师,研究方向为通信与电子系统。
- 刘军成(1966—),男,教授级高级工程师,从事电能质量监测及其控制方面的研究。

(编辑 赵彩莉)