

# Grid Power Quality Assessment with Wind Farm and the Setting Method of Monitoring Device

Jianhua Zheng<sup>1</sup>, Qiang Liu<sup>2</sup>, Yang Yang<sup>3</sup>, Baohua Wang<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jiangsu Kunshan Electric Power Corporation, Kunshan

<sup>2</sup>Jiangsu Xinhai Power Generation Company, Lianyungang

<sup>3</sup>Nanjing University of Science and Technology, Nanjing

Email: wangbaohuaa@sohu.com

Received: Jul. 25<sup>th</sup>, 2012; revised: Aug. 20<sup>th</sup>, 2012; accepted: Sep. 4<sup>th</sup>, 2012

**Abstract:** It is necessary to evaluate and test the power quality (PQ) of wind farm to safeguard it to meet the PQ requirements after its access to grid, so that PQ monitoring device is installed in the grid access point. The data required for the setting of PQ monitoring device is listed first, then an example of the setting method of monitoring parameters of PQ monitoring devices is provided based on the provision and calculation method in National Standards, including voltage deviation and harmonics, etc. Through simulation and analysis, results are compared with the setting values. Finally, if the PQ of wind farm can not satisfy the requirements when wind speed disturbance happens, then PQ improvements should be taken.

**Keywords:** The Utility Grid; Wind Farm; Power Quality Monitoring; Setting of Harmonics

## 含风电场的电网电能质量评估及监测装置整定方法

郑建华<sup>1</sup>, 刘 强<sup>2</sup>, 杨 鸯<sup>3</sup>, 王宝华<sup>3</sup>

<sup>1</sup>江苏昆山供电公司, 昆山

<sup>2</sup>江苏新海发电有限公司, 连云港

<sup>3</sup>南京理工大学, 南京

Email: wangbaohuaa@sohu.com

收稿日期: 2012 年 7 月 25 日; 修回日期: 2012 年 8 月 20 日; 录用日期: 2012 年 9 月 4 日

**摘 要:** 为保证风电场接入电网后系统的电能质量满足要求, 需要对其进行电能质量评估和测试; 同时在并网接入点装设电能质量监测装置。文中首先提出了对风电场电能质量监测装置进行整定所需的数据, 进而针对某一实际风场, 根据电能质量国标中的规定及计算方法对其接入点装设的监测装置各监测量进行整定, 包括电压偏差和谐波等; 并通过建模仿真额定运行及风速扰动下的电能质量情况, 与整定值进行比较分析。结果表明, 风速扰动下的风场电能质量若不能完全满足要求, 则需进行相应的改善。

**关键词:** 公用电网; 风电场; 电能质量监测; 谐波整定

### 1. 引言

风能是 21 世纪重要的可再生能源, 但由于其随机性, 使得风场输出功率具有短时波动性, 引起电网电压的波动, 进而导致闪变现象的发生<sup>[1]</sup>; 风机中的大功率电力电子装置将给电网带来谐波污染<sup>[2]</sup>。随着风机容量的提高, 风电场的注入功率变化会影响电网

潮流分布, 并网后对电网的电能质量及安全稳定性等方面也会有影响等, 这些都会对风电场的并网容量和规模产生约束<sup>[3]</sup>。对于风场电能质量的测试和评估, 国内外的很多学者已进行了大量的工作<sup>[4-6]</sup>, 但主要集中在评估方法的理论研究, 如风电场谐波及闪变的计算方法和电能质量综合评估等方面<sup>[7,8]</sup>; 而根据实际的

风场对其进行电能质量的评估相对较少,对于实际工程中风场装设的电能质量在线监测装置检测量的整定,且与风场评估相结合的措施却少有提及。风场电能质量评估的关键在于对谐波及电压波动和闪变的评估,并根据结果决定是否采取滤波及无功补偿措施<sup>[9]</sup>,这些通常采用专业软件仿真并结合计算的方法来获得结果。本文将根据工程实例,对风场电能质量在线监测装置进行相应整定,同时通过仿真及计算对其电能质量进行评估和比较分析。

## 2. 电能质量评估及参数整定所需资料

在进行风电场电能质量评估及监测装置的整定时,供电公司需要提供风场所接入系统的相关数据资料,而风机提供商也需提供相应的风机测试报告。以风场接入电网某电压等级的变电站为例,需提供的数据资料如下:

- 1) 系统最大、最小运行方式;及对应方式下主变高压侧的短路容量;
  - 2) 主变电站的主接线图;
  - 3) 主变参数,包括主变容量、主变数量、接线方式、短路电压百分数和短路功率损耗;
  - 4) 连接风场的设计方案,包括线路长度、导线型号、接线方式等;
  - 5) 主变电站内的背景谐波数据及无功补偿装置的参数;
  - 6) 风场升压箱的参数,包括容量、接线方式、配置方案等;
  - 7) 风场的接入容量,风机参数,包括谐波参数等。
- 利用上述数据即可对风场电能质量对应的电气量进行相应计算,同时对监测装置的监测量进行整定,进而进行仿真分析并提供相应的评估报告。

## 3. 风场电能质量监测装置参数整定实例

### 3.1. 含风场的电网系统结构及参数

某地区拟新建一容量为 45 MW 的风力发电场,共装设 30 台单机容量为 1500 kW 的风机,风机出口额定电压为 690 V。每台风机各配一台相应容量的箱式变压器并升压为 35 kV,每 6 台风机为一组,通过 5 km 输电线路连接至主变电站低压母线。主变容量为 100 MVA,主变高压侧电压为 220 kV;无穷大系统最

小运行方式下的短路容量为 2820 MVA。该风场接入系统结构如图 1 所示。

### 3.2. 电能质量监测装置的参数整定

根据 GB-Z 19963-2005 风电场接入电力系统技术规定<sup>[10]</sup>,风电场接入系统的电能质量监测量主要有:电压偏差、电压波动、频率偏差、电压不平衡度、电压与电流谐波畸变率、闪变等。故在公共连接点处所装设的电能质量监测装置需对以上这些参数进行实时监测,以保证系统的电能质量。针对 3.1 中所述实例模型,将 220 kV 母线处作为公共电网连接(PCC)点,对该处所装设的电能质量在线监测装置的监测量进行整定。

#### 3.2.1. 电压偏差

当风机启动时,需吸收大量无功,因而会导致并网点电压下降;同时输出功率的变化会引起系统并网点的电压偏差。

根据 GB-Z 19963-2005 风电场接入电力系统技术规定及 GB/T 12325-2008 供电电压偏差标准,该风场的并网点电压为 220 kV,正常运行时风电场并网点电压允许偏差为额定电压的-3%~+7%。

#### 3.2.2. 频率偏差

由于风速变化的随机性使风电机组的发出有功功率时刻都在发生变化,当发电容量与用电负荷间的有功不平衡时,系统频率将会发生变化。

由 GB/T 15945-2008 电力系统频率偏差标准,风场正常运行条件下并网点的频率偏差限值可整定为 $\pm 0.2$  Hz。

#### 3.2.3. 电压不平衡度

当电网三相负荷不平衡或者含有大容量单相负荷,即正常性不平衡运行时,会产生负序电流分量;进而将会引起旋转电机附加发热,以及继电保护装置的误动作等。

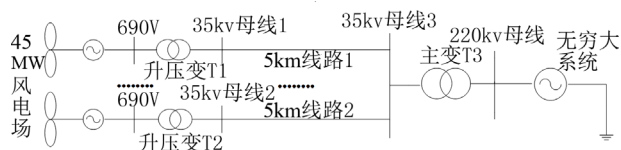


Figure 1. The structure of power grid with wind farm  
图 1. 含风场的电网结构图

根据 GB/T 15543-2008 三相电压不平衡标准, 220 kV 公共连接点处的三相电压不平衡度整定值不应超过 2%。

### 3.2.4. 谐波含量及畸变率

对于目前主流的双馈感应风电机组, 其采用电力电子变频装置, 因而在运行过程中将产生各种谐波分量; 并且随着风场容量的增加, 谐波的影响将不可小觑。

根据 GB/T 14549-93 标准规定<sup>[11]</sup>, 220 kV 电压等级的谐波电压畸变率限值为 2%, 其中奇次谐波畸变率应不超过 1.6%, 偶次谐波畸变率不超过 0.8%。

而对于谐波电流, 其允许值大小与监测点处的电网三相短路容量密切相关。在实际的工程计算中, 当电网公共连接点的短路容量不同于基准短路容量时, 可按实际的短路容量  $S_{k1}$  与基准短路容量  $S_{k2}$  的比值进行修正, 得到公共连接点处所有用户的谐波电流注入允许值, 即  $I_h = (S_{k1}/S_{k2}) \cdot I_{hp}$ 。其中  $I_{hp}$  为基准容量下的第  $h$  次谐波电流允许值;  $I_h$  为实际短路容量下的第  $h$  次谐波电流允许值。而对于公共连接点处的某一用户允许注入系统的第  $h$  次谐波电流允许值可按式:  $I_{hi} = I_h (S_i/S_r)^{1/\alpha}$  进行计算, 其中  $S_i$  为该用户的用电协议容量,  $S_r$  为供电设备容量,  $\alpha$  为相位叠加系数。针对 3.1 节中所给出的系统参数, 经计算可得系统公共连接点的谐波电流允许值如表 1 所示。

### 3.2.5. 电压波动和闪变限值

风力发电机在风速扰动时功率会快速变化, 将产

Table 1. Allowed values of harmonic currents at PCC  
表 1. 公共连接点的谐波电流允许值

标准电压/kV	短路容量/MVA	谐波次数及谐波电流允许值/A					
		2	3	4	5	6	7
220	2820	16.92	13.54	8.46	13.54	5.64	9.59
		8	9	10	11	12	13
		4.23	4.51	3.38	6.06	2.82	5.22
		14	15	16	17	18	19
		2.40	2.68	2.12	3.95	1.83	3.53
		20	21	22	23	24	25
1.69	1.97	1.55	2.96	1.41	2.68		

生电压波动和闪变现象。并网运行的风机在启动、连续运行和停机的过程中均会引起电压闪变。根据 GB/T 12326-2008 标准<sup>[12]</sup>, 如电压每小时变动频度在  $100 \leq r \leq 1000$  次范围内, 可知公共连接点的电压波动限值为 1%; 而风场在公共连接点引起的长时间闪变限值为 0.6, 短时间闪变限值可取为 0.8<sup>[13]</sup>。

### 3.2.6. 暂态过电压

暂时过电压是指在给定安装点上持续时间较长的不衰减和弱衰减的振荡过电压, 主要由电力系统运行操作, 或遭受雷击, 或发生故障等因素引起。

国家标准 GB/T 18481-2001 暂时过电压和瞬态过电压, 规定了 220 kV 系统的工频过电压不得超过 1.3 p.u.

### 3.2.7. 电压暂降和电压中断

电压暂降是指由于系统故障或干扰造成用户持续时间 0.5 周波至 1 min 内电压下降到 0.1 p.u~0.9 p.u 时, 系统频率仍为标称值, 然后又恢复到正常水平。故电压暂降一般整定为 0.9 p.u.

当电压幅值低于 0.1 p.u 或大于 0.5 个周波的供电中断对敏感用户和严格用户而言都属于断电故障。若断电持续时间大于 3 min, 即为电压中断, 故其整定值一般为 0.1 p.u.

## 4. 风电场电能质量仿真分析模型

### 4.1. 系统模型建立

运用 Matlab 的 Simulink 仿真工具中的电力系统元件库 SimPowerSystem, 搭建的系统仿真模型如图 2 所示。

模型各主要元件参数如下: 无穷大系统的电压等级及三相短路容量分别设置为 220 kV 和 2820 MVA; 主变采用 YN, D11 接线, 中性点直接接地, 其容量为 100 MVA; 单台风机的额定输出功率为 1.5 MW,

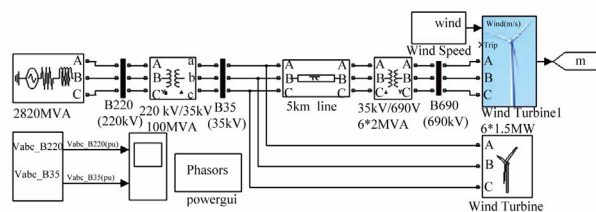


Figure 2. Wind farm simulation model  
图 2. 风场仿真模型

此处将6台风机作为一组考虑,共5组,故每组风机输出功率为 $1.5 \times 6 \text{ MW}$ ,机端电压为 $690 \text{ V}$ ,额定运行点的风速大小为 $12 \text{ m/s}$ ,图2中“wind turbine”为子模块,包含其余4组风机;箱式升压变则采用D, Y11接线,每台容量设置为 $6 \times 2 \text{ MVA}$ 。线路的参数如下:正序阻抗为 $0.132 + j0.386 \Omega/\text{km}$ ;零序阻抗为 $0.396 + j1.203 \Omega/\text{km}$ 。

由于风场电能质量评估主要在于谐波和电压质量,以及风机模型的复杂性,其它方面如三相不平衡度等或影响较小亦或仿真较为困难,因此,以下将分别对电压和谐波进行仿真和计算分析。

## 4.2. 仿真结果及分析

### 4.2.1. 额定运行情况

当风场在额定输出功率下运行时,其所接入的 $35 \text{ kV}$ 及 $220 \text{ kV}$ 母线处的电压波动情况如图3所示。

从图3的仿真波形可以看出,由于风场运行时对无功功率的需求,使得其 $35 \text{ kV}$ 母线处电压在 $0.91 \text{ p.u} \sim 1.02 \text{ p.u}$ 之间波动,波动范围较大。进而 $220 \text{ kV}$ 母线电压低于额定值 $1 \text{ p.u}$ ,且在 $0.991 \text{ p.u} \sim 0.996 \text{ p.u}$ 之间波动,其波动范围为 $0.5\%$ ;而电压偏差在 $1\%$ 范围内,故均可满足电能质量要求。

### 4.2.2. 风速扰动情况

由于风速的随机性和波动性,主要考虑在渐变风和阵风情况下的风场响应,仿真曲线如图4所示。

从图4可以看出, $220 \text{ kV}$ 母线电压在 $0.989 \text{ p.u} \sim 1.002 \text{ p.u}$ 之间波动,其波动范围为 $1.3\%$ ,超过了允许范围;而电压偏差在 $1\%$ 范围内;对于 $35 \text{ kV}$ 母线电压波动范围为 $0.90 \text{ p.u} \sim 1.08 \text{ p.u}$ ,且较额定风速运行时波动范围有所增加。根据以上结果,最好应对电压质量进行改善。

## 4.3. 谐波分析

风机的谐波主要来源于转子回路,其中采用的变频装置将会向系统注入谐波电流。在未提供风机谐波电流发生量测试报告的情况下,其产生的特征谐波次数为 $n = 6k \pm 1 (k = 1, 2, 3, \dots)$ ,其谐波电流含量按 $THD_n(\%) = 0.8 \sim 1/n$ 进行估算,这里按 $1/n$ 计算;其余非特征次谐波按照 $THD_n(\%) = (0.1 \sim 0.2)/n$ 估算,这里按 $0.2/n$ 计算<sup>[14]</sup>。对于单台风机,按照功率因数

为1考虑,其额定电流应为:

$I_1 = 1500 / (0.69 \times \sqrt{3}) \text{ A} = 1255 \text{ A}$ ,故对于整个风场的30台机组,可估算出其注入 $220 \text{ kV}$ 公共连接点的各次谐波电流值如表2所示。

将表2与表1数据进行对比可以发现,该风场注入系统的各次谐波电流值均远小于允许值,而在实际

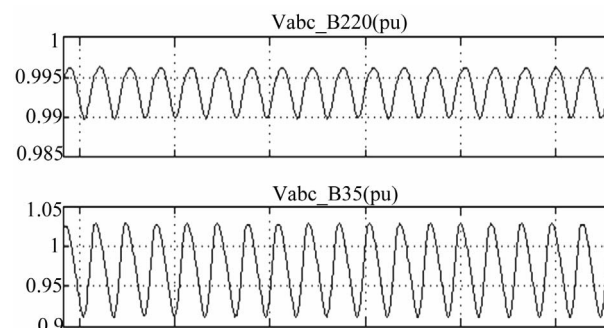


Figure 3. Voltage wave at rated condition  
图3. 额定运行时母线电压波形

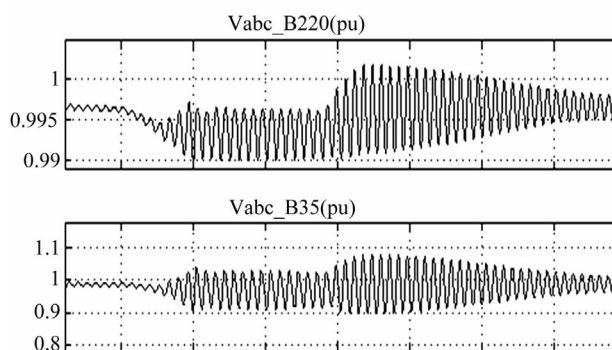


Figure 4. Voltage wave with wind speed disturbance  
图4. 风速扰动时母线电压波形

Table 2. Harmonic currents injected into PCC at wind farm  
表2. 风场注入公共连接点的谐波电流值

谐波次数	2	3	4	5	6	7
谐波电流值/A	0.12	0.10	0.06	0.24	0.04	0.17
谐波次数	8	9	10	11	12	13
谐波电流值/A	0.03	0.03	0.02	0.11	0.02	0.09
谐波次数	14	15	16	17	18	19
谐波电流值/A	0.02	0.02	0.02	0.07	0.01	0.06
谐波次数	20	21	22	23	24	25
谐波电流值/A	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.04

运行过程中,需进行谐波测试,一般来说含量相对较大的为5次和7次谐波<sup>[15]</sup>。结合4.2中的仿真结果,建议可在35 kV母线处装设静止无功补偿装置TCR带5次和7次滤波支路来抑制电压波动和谐波。根据《国家电网公司电力系统无功补偿配置技术原则》,其补偿容量按照主变容量的10%~25%进行配置。

## 5. 结论

并网风电场的接入点通常装设电能质量监测装置,必须对其监测参量进行正确整定。本文针对实际风场中主变220 kV高压侧PCC点所装设的电能质量监测装置,结合电能质量国标及风场接入系统技术规范中所规定的数值和换算方法进行计算和整定,而对于不同电压等级的PCC点,其监测装置的整定方法相似。仿真和计算得到的风场电能质量评估结果应与整定值进行比较分析,以此作为是否采取改善电能质量措施的参考。

当然,由于风力发电机模型的复杂性以及实际运行过程中风机出力的不确定性,文中无法对所有监测量进行仿真,所得结果可能不一定能完全反映出某一参数的变化,以上得出的风场电能质量监测装置的整定结果还要在现场运行中进行调整,但其对电能质量监测装置参数设置有很好的参考价值。

## 参考文献 (References)

- [1] 买亮. 宁夏风力发电并网电能质量研究[D]. 宁夏大学, 2009.
- [2] 顾力, 曹文等. 对风力发电机组并网的电能质量监测评估[J]. 供用电, 2011, 28(1): 71-72.
- [3] 蔡红军. 武川风力发电场电能质量综合评估及治理措施研究[D]. 华北电力大学, 2011.
- [4] 白鸿斌, 王瑞红. 风电场并网对电网电能质量的影响分析[J]. 电力系统及其自动化学报, 2012, 24(1): 120-124.
- [5] E. Vittal, M. O'Malley and A. Keane. A steady-state voltage stability analysis of power systems with high penetrations of wind. IEEE Transactions on Power Systems, 2010, 25: 433-442.
- [6] J. Kabouris, F. D. Kanellos. Impacts of large-scale wind penetration on designing and operation of electric power systems. IEEE Transactions on Sustainable Energy, 2010, 1(2): 107-114.
- [7] 孙涛, 王伟胜, 戴慧珠等. 风力发电引起的电压波动和闪变[J]. 电网技术, 2003, 27(12): 62-70.
- [8] D. Naim, T. Bouktir. Impact of wind power on the angular stability of a power system. Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies, 2008, 12: 83-94.
- [9] 王家乐. 风力发电机组电能质量监测与改善的研究[D]. 湖南大学, 2010.
- [10] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/Z 19963-2005 风电场接入电力系统技术规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2006.
- [11] 全国电压电流等级和频率标准化技术委员会. GB/T 14549-1993 电能质量公用电网谐波[S]. 北京: 中国标准出版社, 1993.
- [12] 全国电压电流等级和频率标准化技术委员会. GB/T 12326-2008 电压波动和闪变[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [13] 刘海涛, 洪嘉炜, 丛雨等. 风电场电能质量监测及风机功率特性曲线修正分析[J]. 内蒙古电力技术, 2011, 29(1): 34-36.
- [14] 白雪松, 于海洋, 吕飞孔等. 风电场电能质量的评估[J]. 黑龙江电力, 2011, 33(1): 46-49.
- [15] 陈建军, 龚南斌. 风力发电并网对电力系统电能质量的影响分析[J]. 华北电力技术, 2010, 5: 10-13.