基于虚拟仪器技术的电能质量监测系统研发

为了保证工厂的生产效率及电气设备的安全使用，电能质量的各个指标被提出了越来越高的要求。分析了电能质量指标达不到相关标准所造成的危害，并在LabVIEW平台上研发了基于虚拟仪器技术和串口通信技术的电能质量监测系统，建立了包括电压、电流、频率、功率、不平衡度、谐波和闪变等指标的数学模型，设计了相应的虚拟仪器程序，实现了对反映电能质量多项指标的实时检测。此系统具有操作简单、可扩展性强且周期短等优点，其实际应用可为电能质量出现偏差时采取正确的应对措施提供依据。

张惠娟[1] 郑文龙[1] 张海强[1] 张渭澎[2] 马庆轩[1]／1.河北工业大学电磁场与电器可靠性省部共建重点实验室 2.天津市电力公司城西供电分公司

张惠娟／教授

关键词/Keywords
电能质量·
虚拟仪器·
实时监测·
系统开发·

现代社会对电能的需求与日俱增，而由于目前电力电子器件和非线性元件等元器件的应用，导致了电能质量的恶化，经常有设备因为电能的一些指标不达标而减少了使用寿命或不能正常工作，所以对电能质量的检测就显得越来越重要，因此建立电能质量检测系统以实时检测电能就变得顺理成章。而目前的电能质量检测设备具有研发时间长、检测量单一以及需要大量人工等缺点难以满足检测的需要。而虚拟仪器技术具有成本低、易扩展和周期短等优点，在电能质量监测等方面有较大的应用前景。本文将电能质量的检测与虚拟仪器的运用结合，基于LabVIEW平台，利用虚拟仪器研制了一套电能检测系统，重点研究国标中重要的指标，来监测电能质量。

河北省科技支撑计划项目(13212104)，河北省建设科技研究计划项目(2011－147)，天津市高等学校科技发展基金计划项目(20130423)。

电能质量指标

用电设备对电能质量的要求依据环境和使用的条件而不同。现阶段，依据我国标准，电能质量的指标主要包括电能频率的偏差、电网谐波含量、电压偏差、电压的波动和闪变以及三相不平衡度大小等。

1. 电压偏差

电压偏差由电力系统无功功率不平衡所引起。电压偏差会带来设备无法正常工作、电网系统裂解和电网损耗增加等危害。

2. 频率偏差

由于电力系统负荷不断变化，所以频率偏差难以避免。由于频率偏差影响到设备的正常工作，所以必须将偏差控制在规定范围内。

3. 电力系统谐波

谐波由非线性负载、非线性用电设备等产生。其畸变水平主要由谐波的总畸变率和各次谐波含有率来表示。在谐波的测量中需要将连续的波形进行数字化变换，而这往往要解决一些问题。为了防止频率采集失真，采集频率应依据“奈奎斯特”频率。同时为了防止频率的混叠现象，采样频率也应大于最大谐波频率的2倍，同时还应使信号通过设计合理的抗混叠滤波器来滤除信号中的高次谐波。即便采样频率符合要求，如果用于采样的窗函数选取的不合适同样会造成频谱受其他频率影响而失真，这就是频谱泄露效应。解决方法为寻找一种主瓣很窄、旁瓣很小且边缘变化平缓的

中国知网 https://www.cnki.net

窗函数来取代目前常用的矩形窗函数取样。但是这种做法会导致信号幅值分散，测量结果的误差加大，所以还应进行软采定频采样，在获得基波频率后以较短的间隔进行插值采样，将得到的新序列进行快速傅里叶变换（FFT），不仅减少误差，同时加快了计算速度。

4. 三相不平衡度

一般状况下，三相电压处于不平衡状态，可分解为正序、负序和零序分量。三相不平衡会造成电网损耗的增加，干扰通信，断路器误动作，电动机容量降低等危害。表示三相不平衡程度的物理量为不平衡度。不平衡度可以用零序或者负序的有效值与正序的有效值的比值表示。

5. 电压的波动与闪变

电压波动与闪变产生的根本原因是电网中冲击性的负荷使得有功功率和无功功率大幅波动，造成照明设备闪烁、图像摆动等不良后果。目前常用IEC推荐的方法对电压的波动、闪变进行检测，闪变仪的整体结构如图1所示。

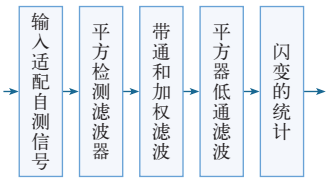

图1　闪变仪的结构框图

短时间闪变值是对短时间内闪变进行测量得到的结果，国际上规定短时间闪变值的一般检测时间为10 min。将测得的结果进行由小到大排序并进行分级，一般不少于64级。根据IEC定义，每一级的累积概率为

$$累积概率=\frac{大于第n级视感度的累积时间}{总统计时间}\times 100\% \quad (1)$$

短时间闪变值为

$$P_{st}=\sqrt{0.08P_{50}+0.28P_{10}+0.657P_3+0.052\,5P_1+0.031\,4P_{0.1}} \quad (2)$$

式中，P_{50}、P_{10}等参数分别为大于第50级、第20级视感度的累计时间等。

电能质量监测系统硬件设计

在硬件结构上，电能质量监测系统主要包括数据采集模块、互感器与信号调整模块和有源低通滤波器等，各部分分述如下。

1. 数据采集模块

若要对电能质量进行实时监测，关键是要对与电能质量有关的指标进行快速、准确的数据采集，在此基础上将模拟量转化为数字量。数据采集模块的硬件结构如图2所示。

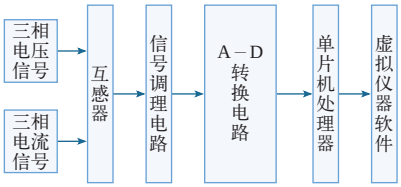

图2　数据采集模块的硬件结构图

2. 互感器与信号调整模块

在本系统中，该模块就其功能而言包括两部分，即：电压互感器与电压信号调整电路，电流互感器与电流信号调整电路。其中，前者的主要作用是将电压信号转为电流信号，再将大电流信号转换为便于处理的小电流信号，然后由电阻将小电流信号转换为单片机可接收的电压信号，由此完成对电压信号的识别与采集。电压互感器与电压信号调整电路如图3所示。

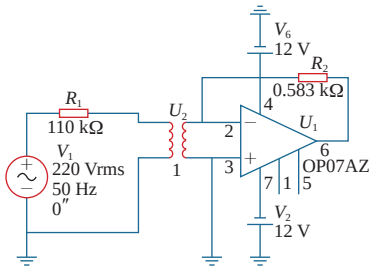

图3　电压互感器与电压信号调整电路

电流互感器与电流信号调整电路则是直接将大电流信号转换为便于处理的小电流信号，信号的后续处理方法与电压互感器及电压信号调整电路基本相同。

3. 有源低通滤波器

为了对信号进行FFT，同时也为了防止出现频谱混叠和信号失真，必须使采样频率大于信号中最高频率的2倍。本文主要分析前50次谐波，即2 500 Hz及以下的谐波信号。由于信号最高频率为

中国知网　https://www.cnki.net

2 500 Hz，又考虑到FFT的要求：每个周期采样点数需为2的整数倍，所以本文选择6 400 Hz作为采样频率，每周期采样128次。这里，滤波器应保留2 500 Hz以内的各次信号，滤除高于该频率的各次谐波，所以采用4 000 Hz的低通滤波器。滤波器的电路设计如图4所示。

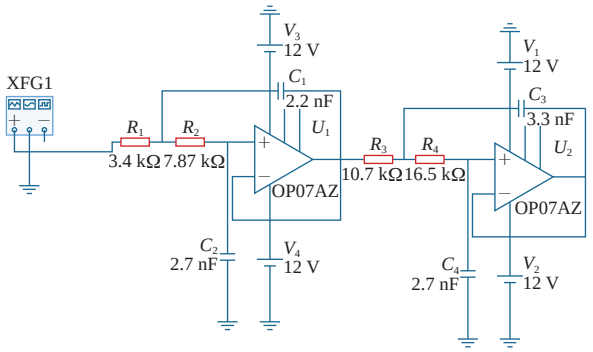

图4 有源低通滤波器的电路设计图

软件设计

1. 开发软件——LabVIEW

LabVIEW是具有采集数据、分析数据和控制等功能的虚拟仪器开发平台软件。本系统采用STM32单片机与LabVIEW结合起来作为上下位机的控制系统，通过串口程序和LabVIEW直接进行通信，提高了数据传输的实时性。

2. 三相有功功率及有效值的测量

功率模块包含有功功率子模块和有效值子模块。三相总的有功功率由各相有功功率相加得到，每相的有功功率P除以其视在功率S即得到该相负载的功率因数λ，进而得到该相负载的功率因数角θ；三相总的无功功率由各相无功功率相加得到。功率模块程序图如图5所示，上述过程中的有关计算式包括：$S=UI$，$P=S\cos\theta$，$\cos\theta=\lambda=P/S$，$\theta=\arccos(P/S)$，$Q=S\sin\theta$。

3. 频率的测量

系统频率测量需要预先得到被测信号的频率，否则当被测信号频率与采样频率比值变化时会带来测量误差，本系统采用零点检测法进行测频，进行多次采样，通过比较前一个采样值与下一个采样值之间是否同号来判定零点位置，进一步确定零点之间的时间差，从而得到信号频率，通过多周期计算来减少误差。其LabVIEW采样测量程序如图6所示。

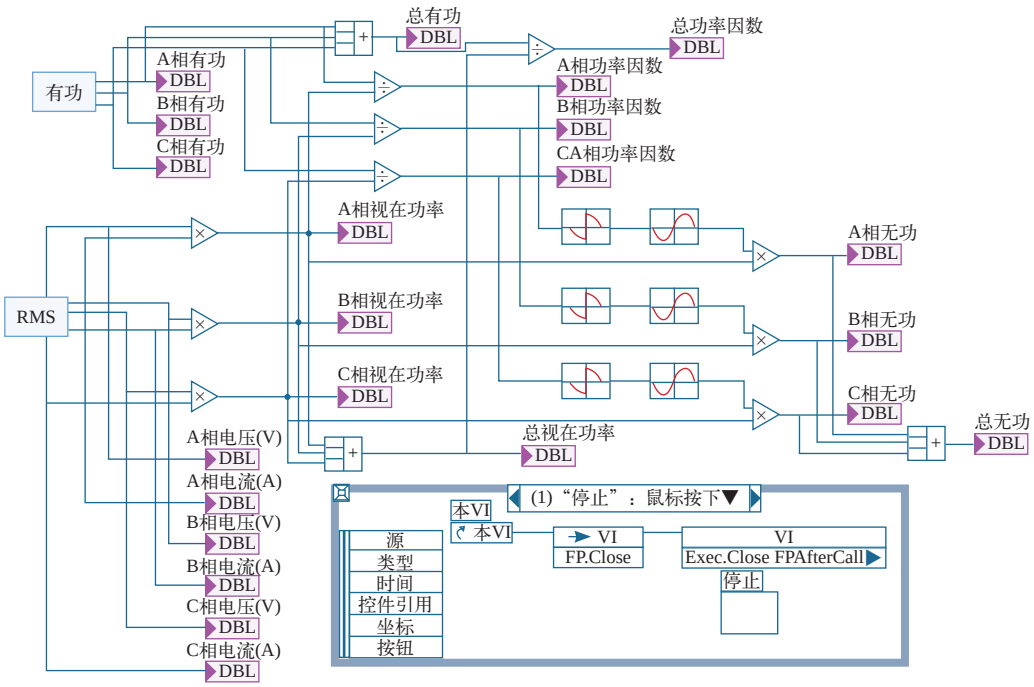

图5 LabVIEW功率模块程序图

中国知网 https://www.cnki.net

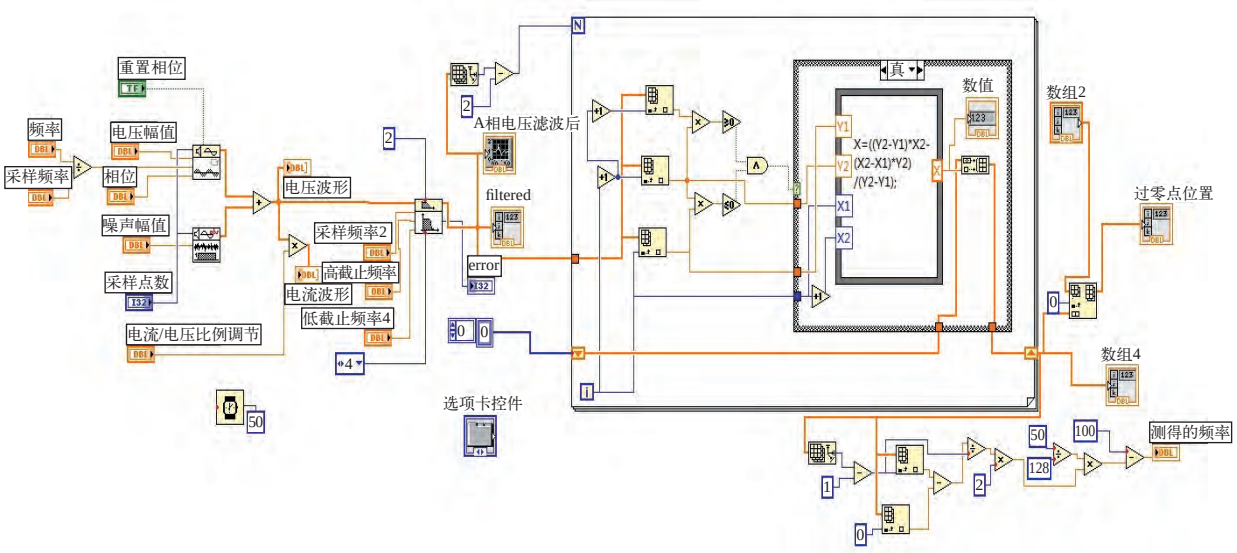

图 6　频率测量模块程序图

4. 三相不平衡度的测量

三相电压电流不平衡度的求法一致，下面以三相电压不平衡度求法来说明。

通过索引分别将各相信息流输入到提取单频信息处理程序中，就可以得到单频的幅值和相位，用极坐标至复数转换将极坐标形式换算为复数形式，通过求绝对值函数求得各相电压、电流绝对值，然后在程序中调用函数（4）来求得三相电压、电流的不平衡度。并有

$$X=(X_1^4+X_2^4+X_3^4)/(X_1^2+X_2^2+X_3^2) \quad (3)$$

$$Y=\mathrm{sqrt}\{[1-\mathrm{sqrt}(3-6X)]/[1+\mathrm{sqrt}(3+6X)]\}\times 100 \quad (4)$$

式中，X_1、X_2和X_3分别为A、B和C相的电压（或电流）幅值，式（3）中的X即为式（4）中的X；Y为不平衡度值。三相不平衡度测量程序如图7所示。

5. 谐波的测量

为防止数据在处理前被后面的数据覆盖，需根据采样频率大小设置缓冲区，为测量频谱一般

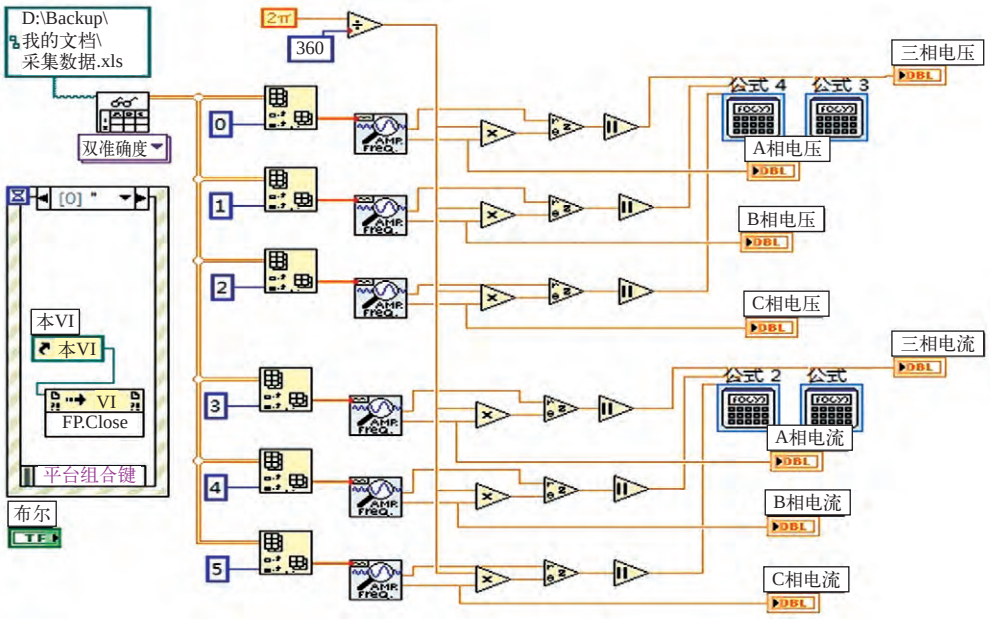

图7　三相不平衡度测量程序图

中国知网　https://www.cnki.net

采用傅里叶变换对非正弦周期信号进行分解。根据n次谐波的幅值，按下式谐波含量

$$\mathrm{HRU}(n)=\frac{U(n)}{U(1)}\times 100\% \qquad (5)$$

总电压的谐波率为

$$\mathrm{THD}_{总}=\frac{\sqrt{\sum_{K=2}^{\infty}U(K)^2}}{U(1)}\times 100\% \qquad (6)$$

谐波测量程序如图8所示。

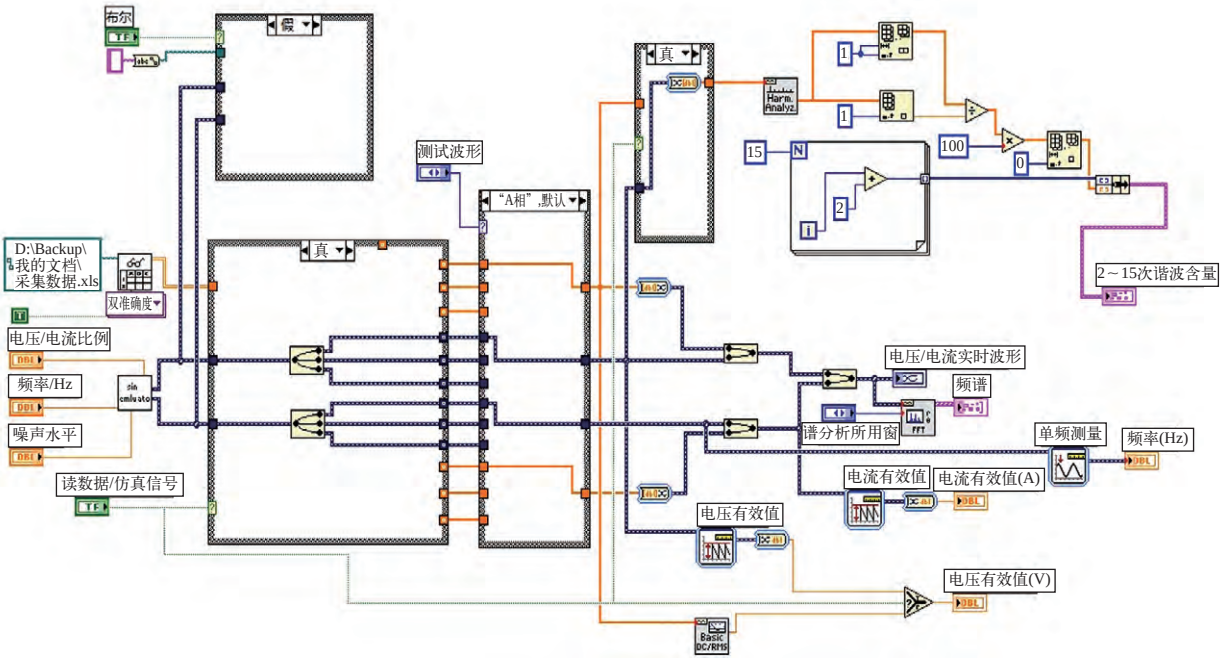

图8　谐波测量程序

6. 电压波动与闪变的测量

IEC推荐的闪变测量方法存在一些不足，例如当间谐波的频率高于85 Hz或低于15 Hz时，自平方信号通过带通滤波器后，很多信号成分会被滤去，使得通过这种方法测量出来的闪变结果不能正确地反映闪变的大小。为了克服这一缺陷需对方法进行改进，采用正弦插值与工频采样结合的方式来替代自平方，其他方案不变。改进前后的测量结果如下表所示。正弦插值程序如图9所示。

表　改进前后两种方法测量结果对比

间谐波/Hz	波动频率/Hz	电压波动量d (%)	改进后的P_{st}	改进前的P_{st}
152	3	3.000	6.244	0.008
156	6	3.000	10.456	0.008
158	8	3.000	16.530	0.008
160	10	3.000	16.024	0.008
164	14	3.000	11.286	0.008
166	16	3.000	8.856	0.008

(续)

间谐波/Hz	波动频率/Hz	电压波动量d (%)	改进后的P_{st}	改进前的P_{st}
169	19	3.000	6.632	0.008
171	21	3.000	5.641	0.008
173	23	3.000	4.812	0.008

注：P_{st}为短时间的闪变值。

由结果可看出，改进后的方法可明显测量到高次谐波引起的闪变，较改进前有了改善，说明改进是合理的。

结束语

本文重点研究将虚拟仪器技术应用在电能质量检测中，以检测国标中的一些指标为目的，基于LabVIEW平台进行电能质量检测系统的设计。通过运用单片机和串口通信，搭建了硬件模块，实现了上下位机控制系统，该系统基本满足电能质量检测的要求，但是在设计时仅考虑到稳态状况，没考虑到暂态状况，需要在今后进行改进。

中国知网 https://www.cnki.net

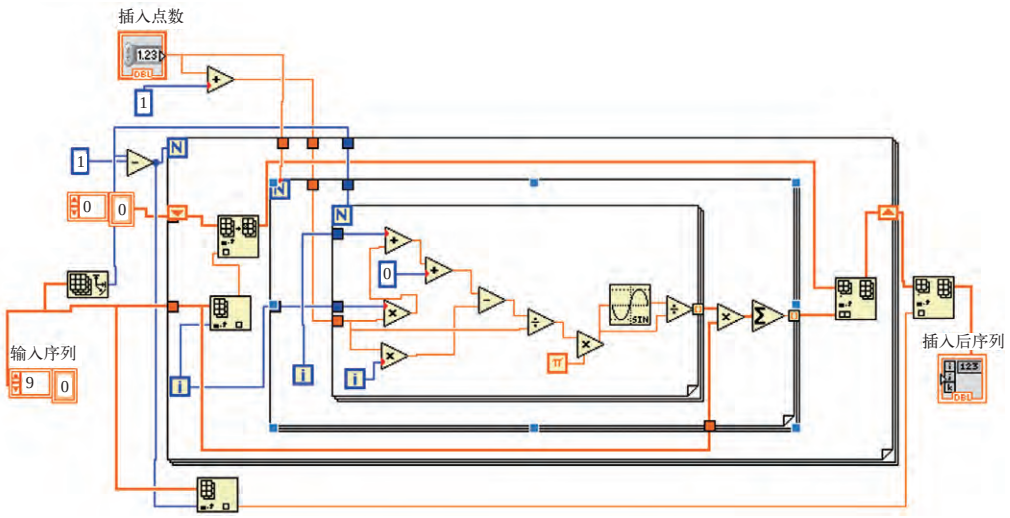

图9　LabVIEW正弦插值程序

参考文献

[1] 曾庆辉，刘晓华，麦洪．电能质量在线监测系统的数据分析与应用 [J]．电气应用，2012，31 (6)：26-30．

[2] 何早红．电力网中的谐波及其抑制技术 [J]．电气应用，2005，24 (6)：65-67．

[3] GB/T 15543—2008 电能质量三相不平衡 [S]．北京：中国标准出版社，2008．

[4] 薛蕙，杨仁刚．基于FFT的高精度谐波检测算法 [J]．中国电机工程学报，2002，22 (12)：106-111．

[5] 柴建中．基于LabVIEW的电能质量分析及监测装置的设计与应用 [D]．太原：太原理工大学，2007．

[6] 赵刚，施围，林海雪．闪变值计算方法的研究 [J]．电网技术，2001，25 (11)：15-18．

[7] 孙树勤．电压波动与闪变 [M]．北京：中国电力出版社，1998．

[8] 贾秀芳，赵成勇，胥国毅，等．IEC闪变仪误差分析及改进设计 [J]．电工技术学报，2006，21 (11)：121-126．

[9] 马玉龙，刘连光，张建华．IEC闪变测量原理的数字化实现方法 [J]．中国电机工程学报，2001，21 (11)：92-95．

[10] 杨乐平，李海涛．LabVIEW高级程序设计 [M]．北京：清华大学出版社，2003．

（收稿日期：2014－07－29）EA

(上接第99页)

[5] Q/GDW 392—2009 风电场接入电网技术规定 [S]．北京：中国电力出版社，2009．

[6] GB/T 19963—2011 风电场接入电力系统技术规定 [S]．北京：中国标准出版社，2011．

[7] Q/GDW 212—2008 电力系统无功补偿配置技术原则 [S]．北京：中国电力出版社，2008．

[8] 张强，仇卫东．风电场内集中无功补偿容量的设计与研究 [J]．中国电力，2012，45 (9)：25-28．

[9] 王凯，谈英莲．风电场最佳动态无功补偿容量的选择 [J]．电机技术，2012 (5)：28-30．

[10] 张永武，孙爱民，张源超，等．风电场无功补偿容量配置及优化运行 [J]．电力系统及其自动化学报，2011，23 (6)：150-156．

[11] 姚骏，陈西寅，廖勇，等．抑制负序和谐波电流的永磁直驱风电系统并网控制策略 [J]．电网技术，2011，35 (7)：29-35．

[12] 刘思，徐永海，王金浩，等．静止无功补偿器容量确定及补偿性能改善方法研究 [J]．电测与仪表，2013，50 (9)：1-5．

[13] Q/GDW 212—2008 电力系统无功补偿配置技术原则 [S]．北京：中国电力出版社，2008．

（收稿日期：2014－09－01）EA

中国知网　https://www.cnki.net