

学校代码: 10384
学 号: 22320051302467

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

电能质量监测装置的设计

Design of Power Quality Surveillance

李 永 萍

指导教师姓名: 姚 铭 高级工程师

专 业 名 称: 检测技术与自动化装置

论文提交日期: 2008 年 5 月

论文答辩时间: 2008 年 月

学位授予时间: 2008 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2008 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹提交的学位论文,是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果,均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人(签名):

签字日期: 年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家有关部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查询，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

- 1、 保密 () ,在伍年解密后适用本授权书。
- 2、 不保密 ()

(请在以上相应括号内打 " ")

作者签名: _____ 日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

导师签名: _____ 日期: _____ 年 _____ 月 _____ 日

摘要

随着电网规模的扩大和现代科学技术的发展,电能质量显得越来越重要。这包含两方面的内容:一方面,造成电能质量问题的因素不断增长,如以电力装置为代表的非线性负荷的使用、各种大型用电设备的启停等造成大量电能问题。另一方面,各种复杂的、精密的、对电能质量敏感的用电设备不断普及,如高性能家用电器、办公设备、精密试验仪器、精密生产过程的自动控制设备等,对电能质量的要求越来越高,从目前的现状看,可以说电能质量问题已成为严重威胁电力网及国民经济的安全、经济、高效运行的问题,并影响产品质量和人民日常生活的生活质量。

本文综述了电能质量问题的定义、分类和电能质量国家标准,归纳了各项电能质量技术指标的测量原理和计算分析方法,为电能质量监测装置的研制提供了理论依据和算法。本文设计了新型的基于图形界面的电能质量监测装置,以配电系统图主要的操作界面,不同于以往的以对话框为主的用户界面,人机交互性好,操作直观、简便。采用了先进的数字信号处理技术和计算机技术,分析了电能质量监测装置设计中的各种问题及解决方法,介绍了软件系统中数据采集、数据处理、人机交互和数据管理的功能和实现,详细说明了如何利用多线程的编程方法和双缓冲区的数据交换方式,进行对电能质量各个指标的实时监测、记录和分析。

测试结果表明该电能质量监测装置设计正确、运行稳定、测量精度高、它可实现长期运行、录波、实时测量分析、历史数据管理等功能,与传统的仪器相比,具有功能齐全、精度高、操作简单、数据处理能力强以及图形报表输出等优点,可为电力的生产、运行和管理部门提供丰富、完整的实测记录资料也为电力技术工作者选用补偿方式和装置提供了参考依据

[关键词] 电能质量; 数据采集; 监测

Abstract

Electric power is one of product who is using in large scope, high value and more quantity in modern society. As the development of science skill, the elements which cause the power quantity have increased continuously. The problem that making the electric equipment can't be supplied electricity is the problem of power quality, which affects human life and the running of GDP's safe directly.

Definition and categories of power quality(PQ) are discussed firstly. Depending on the national standards about PQ, the measurement principles and computing methods of all technology indexes on PQ are summarized, which supplies theory and arithmetic for the design and implementation of PQ monitors and analyzing equipment. It is a new type of PQ equipment based on graphical user interface. The main user interface of the software is the layout of the distribution network, which improves the alternating capability between the user and computer. It adopts the advanced data signal processing(DSP) and computer technology. In this paper, some key technologies in the design and their solutions are discussed and analyzed. The software function modules, such as data acquisition, data processing, human-machine interface and data management, are introduced. The crucial software design concepts of using multithread and double buffers for exchanging data are emphasized, so as to real time monitor, record and analyze indexes of power quality.

The test result indicates that the design of power quality monitoring and analyzing equipment is correct, it operates stably and has a high precision. The equipment has such abilities as long-term operating, recording, real-time measuring and analyzing, managing of history data, etc. Compared with the traditional analyzer, there are many advantages, such as more function, easy controlling, strong processing and graphics output, etc. It is able to record the abundant and integrated data for the electric department, and provide the reference for selecting correct compensation technology.

Keywords:Power Quality;Data sampling;Monitoring

目 录

第一章 绪论.....	1
1.1 引言.....	1
1.2 电能质量的基本问题.....	2
1.2.1 电能质量的定义.....	2
1.2.2 电能质量的分类.....	3
1.3 电能质量的主要国家标准.....	3
1.4 电能质量研究现状和发展方向.....	5
1.4.1 电能质量监测方式及监测点的设置.....	5
1.4.2 电能质量的内容和分析方法.....	5
1.4.3 电能质量监测现状.....	6
1.4.4 电能质量监测的发展方向.....	7
1.5 本文的主要研究背景及工作内容.....	8
第二章 电能质量问题及其理论基础.....	10
2.1 供电电压允许偏差.....	10
2.2 电力系统频率允许偏差.....	10
2.3 谐波.....	11
2.4 三相电压不平衡度.....	13
2.5 电压波动与闪变.....	15
第三章 谐波测量原理与故障分析.....	17
3.1 谐波测量的实现原理.....	17
3.1.1 离散傅立叶变换DFT谐波分析原理.....	17
3.1.2 快速傅立叶变换FFT原理.....	18
3.1.3 FFT谱分析的误差及本装置改善措施.....	22
3.1.4 频率跟踪法减少频谱泄露.....	23
3.2 谐波故障分析.....	25
3.2.1 并联谐振对谐波的放大.....	25

3.2.2 串联谐振对谐波的放大.....	28
第四章 电能质量监测装置的硬件结构设计.....	30
4.1 电能质量监测装置的总体结构.....	30
4.2 互感器的选择.....	31
4.2.1 仪用互感器.....	31
4.2.2 仪用互感器的精度.....	32
4.2.3 本装置中辅助互感器的选用.....	33
4.3 信号调理电路的原理.....	34
4.3.1 信号的放大和衰减.....	34
4.3.2 信号的隔离.....	34
4.3.3 信号的滤波.....	35
4.4 开关量接口板.....	35
4.5 数据采集.....	36
4.5.1 数据采集的过程.....	36
4.5.2 数据采集系统的过程和基本概念.....	37
4.5.3 数据采集换算关系.....	40
4.6 工控计算机.....	40
第五章 电能质量监测装置的软件结构与实现.....	41
5.1 软件主要技术指标及功能.....	41
5.1.1 主要技术指标.....	41
5.1.2 主要功能.....	41
5.1.3 图形输出.....	41
5.1.4 报表输出.....	42
5.2 软件总体设计及流程.....	42
5.3 电能质量指标计算.....	44
5.3.1 电网频率测量.....	44
5.3.2 谐波测量仿真.....	46
5.3.3 电压偏差的实现.....	48
5.3.4 功率计算.....	49

5.3.5 三相不平衡度的实现.....	49
5.3.6 电压波动与闪变的实现.....	49
5.4 软件设计中的类设计.....	51
5.5 数据结构.....	59
5.6 用户界面设计.....	61
5.7 测试与分析.....	68
第六章 结论与展望.....	75
6.1 结论.....	75
6.2 展望.....	75
符号表.....	76
参考文献.....	78
硕士期间发表论文.....	80
致谢.....	81
附录1.....	82
附录2.....	94

CONTENT

CHAPTER I Introduction.....	1
1.1 Introduction.....	1
1.2 Basic problems of power quality.....	2
1.2.1 Definition of power quality.....	2
1.2.2 Category of power quality.....	3
1.3 Main criterias of power quality.....	3
1.4 Research actuality and direction.....	5
1.4.1 Monitoring way of power quality and monitoring point.....	5
1.4.2 Developpment and content of power quality.....	5
1.4.3 Status of power quality.....	6
1.4.4 Developping direction of surverillance.....	7
1.5 Main research contex and content of task in this paper.....	8
CHAPTER II Problem and foundation of power quality.....	10
2.1 Voltage deviation.....	10
2.2 Frequency deviation.....	10
2.3 Harmonics.....	11
2.4 Three-phase imbalance factor.....	13
2.5 Voltage fluctuation and flicker.....	15
CHAPTER III Measuring principle of harmonics.....	17
3.1 Computing harmonics.....	17
3.1.1 DFT.....	17
3.1.2 FFT.....	18
3.1.3 Analysis error of FFT and the way to amend.....	22
3.1.4 Frequency tracking to reduce leakage.....	23
3.2 Anzlyzing harmonics.....	25

3.2.1 Parallel connection magnifying harmonics current.....	25
3.2.2 Series connection magnifying harmonics current.....	28
CHAPTER IV Hardware structure of surverillance.....	30
4.1 General structure of surverillance.....	30
4.2 Choosing interchange.....	31
4.2.1 Interchange.....	31
4.2.2 Precision of interchange.....	32
4.2.3 Choosing accessorial mutual inductance equipment.....	33
4.3 Principle of mediator.....	34
4.3.1 Magnifying and attenuation of signal.....	34
4.3.2 Insulating signal.....	34
4.3.3 Flitering signal.....	35
4.4 Interface of switch.....	35
4.5 Collecting signal.....	36
4.5.1 Course of collecting.....	36
4.5.2 Course and principle of collecting system.....	37
4.5.3 Data conversion relation.....	40
4.6 Computer.....	40
CHAPTER V Software structure of surverillance.....	41
5.1 Main indexes and function.....	41
5.1.1 Main indexes.....	41
5.1.2 Main function.....	41
5.1.3 Outputing graph.....	41
5.1.4 Outputing report forms.....	42
5.2 Designing of software' s main body and flow.....	42
5.3 Computing indexes of power quality.....	44
5.3.1 Computing power frequency.....	44
5.3.2 Simulinking harmonics.....	46
5.3.3 Realizing voltage devitation.....	48

5.3.4 Computing power.....	49
5.3.5 Realizing of three-phase imbalanced factor.....	49
5.3.6 Realizing of voltage fluctuation and flicker.....	49
5.4 Realizing of class.....	51
5.5 Structure of data.....	59
5.6 Designing of interface.....	61
5.7 Testing and analyzing.....	68
CHAPTER 6 Conclusion and expectation.....	75
6.1 Conclusion.....	75
6.2 Expectation.....	75
List of symbols.....	76
References.....	78
Publication.....	80
Acknowledgements.....	81
Appendices I	82
Appendices II.....	94

第一章 绪论

1.1 引言

电力是现代社会使用范围最广，使用价值最高和使用量最大的产品之一。随着现代科学技术的发展，引起电能质量的因素越来越突出。使用电设备不能正常供电的问题都属于电能质量问题，它直接影响人类的生活质量和国民经济的安全运行。

对钢铁厂供配电系统来说，由于大中型冶金设备多是非线性冲击负荷，如轧机、电炉、卸船机等设备，其会产生大量谐波电流、负序电流注入供配电系统，常常引发严重的事故，造成极其严重的损失，对本设备及其它负荷设备都将造成影响，这就是钢铁厂供电质量与负荷的电磁兼容问题^[1]。冲击性负荷产生的供电质量问题，会产生以下危害：

1. 电压偏差超标会使用电设备的损耗增加、寿命缩短、工作不正常，会破坏电力系统同步运行的稳定性、电压的稳定性以及电网的经济运行。

2. 电压的波动和闪变主要由波动性负荷(如电弧炉)引起，其超标会危害与其连接在公共供电点的其他用户的设备，如使照明灯闪烁、电机转速不均匀和计算机及电子设备工作不正常等。

3. 谐波由谐波源(非线性设备和负荷)注入系统，会损坏系统设备(如电容器、电缆、电动机、电压互感器等)，威胁系统的安全运行(如继电保护及自动装置误动)，增加系统的功率损耗(如线损)，增大测量仪表的误差(如电能表)，干扰通信等。

4. 三相不平衡会使发电机工作不正常，增加变压器的附加损耗造成其局部过热，继电保护及自动装置误动，变流器产生非特征谐波，增加中性线电流产生电噪声干扰，增加输电线损耗，干扰通信等。

5. 电力系统稳定运行时，全系统有相同的频率。在允许的频率偏差范围内，主要是引起设备的效率问题；当偏差超过范围，则会危及设备的安全，严重时甚至造成系统瓦解崩溃。

现代工业中占能耗比例最大的电动机已经广泛使用变频技术,其中交流变频调速已成为主流,在钢铁企业,几乎所有的大型轧机的传动装置均采用现代电力电子变频调速技术。第三代电力半导体器件如IGBT驱动功率小、开关速度快,通态压降小、截流能力大等优点集于一身,性能十分优越,已经成为现代电力电子技术的主导器件,被广泛地应用于交流变频调速设备中^{[2][3]}。由于IGBT开关速度快,控制技术复杂,应用IGBT等高速全控电力电子器件的PWM整流器装置使钢铁厂配电网中存在的谐波干扰频率上限由1250Hz提高到5000Hz左右,使配电系统出现了新的问题—高次谐波。电力系统受到高次谐波污染后,轻则影响系统的运行效率,重则损坏设备以至危害电力系统的安全运行。现在由于高次谐波问题引发的事故越来越多,比如,北京丰沙电气化铁路投入运营后,电网中谐波幅度激增,曾发生因谐波和负序电流共同作用,引起大同二电厂2号发电机负序保护动作、跳闸,造成北京市广大地区停电的重大事故。湖北孝感铝厂与棉纺厂为同一母线供电,棉纺厂受铝厂整流器谐波的影响,380V系统的电压总畸变率高达8%,几百台电动机烧坏。

以前,电力系统考核电能质量的主要指标是电压的幅值和频率,现在世界各国都把电网电压正弦波形畸变率极限值作为电能质量考核指标之一,电能质量研究主要集中在与谐波相关的电能质量问题上,20世纪20年代至今,已经取得了大量的研究成果^{[4][5]},相关的监测和治理装置在现场中得到了广泛的应用,但这些监测装置大都只能监测到50次谐波,并且只能监测五项电能质量指标中的一项或者几项,并不能实现五项电能质量指标的同时监测,更不能对高次谐波进行监测。

因此,人们想得到关于电能质量更为准确的实时信息,这需要对电能质量指标进行全面的监测和分析,实时监测电网的电能质量状态,进行记录和分析,要求电能质量监测装置提供更为直观的分析结果,以利于对电能质量问题做出决策,这可以为钢铁厂的生产、运行和管理部门提供丰富、完整的实测记录资料,也可以为电力技术工作者有效地改善电能质量水平提供理论和现实的参考依据。

1.2 电能质量的基本问题

1.2.1 电能质量的定义

一个理想的电力系统应以恒定的频率(50Hz或60Hz)和正弦波形,按规定的电压水平标称电压对用户供电。在三相交流电力系统中,各相的电压、电流应处于幅值大小相等,相位互差 120° 的对称状态。但实际负载是动态、非纯电阻、非线性、不对称的,从而引起电网运行、电气设备和用电中的各种各样的问题,也就产生了所谓的电能质量(Power Quality)问题。

IEEE 技术协调委员会对“Power Quality”的技术定义为:“合格的电能质量是指给敏感设备提供的电力和设置的接地系统适合于该设备正常工作^[6]”。但是,IEC并没有采用“Power Quality”这一术语,而是提出“EMC”(电磁兼容)术语,指出并强调设备与设备、电源与设备之间的相互作用和影响。在IEC提出的电磁兼容概念中,采用排放(Emission)来表示由设备产生的电磁污染,它反映出电流质量问题,采用抗扰(Immunity)来表示设备免除电磁污染的能力,它与电压质量有关,并且基于此,制定出了一系列相关的电磁兼容标准。虽然IEEE与IEC标准分析的角度不同,但是电磁兼容术语与电能质量术语有很大的重叠性,在它们中间有很多的同义词。

1.2.2 电能质量的分类

根据电能质量的相关指标,参考国际电工委员会IEC标准,从电磁现象及相互作用和影响的角度的角度来考虑引起扰动的现象分类如下^[7]:

低频传导现象:谐波、间谐波、电压波动、电压跌落与短时断电、电压不平衡、电网频率变化、低频感应电压、交流网络中的直流;

低频辐射现象:磁场、电场;

高频传导现象:感应连续波电压与电流、单向瞬态、振荡瞬态;

高频辐射现象:磁场、电场、电磁场(连续波、瞬态);

静电放电现象。可见,电能质量问题基本上属于EMC中的低频传导现象。

1.3 电能质量的主要国家标准

国家技术监督局最新颁布了电能质量的有关标准即:GB12325-2003《供

电电压允许偏差》，GB12326-2000《电压允许波动和闪变》，GB/T14549-93《公用电网谐波》，GB/T15543-1995《三相电压允许不平衡度》，GB/T 15945-1995《电力系统频率允许偏差》。上列标准的摘要如表1.1所列：

表1.1 电能质量国家标准摘要

标准编号	标准名称	允许限值	说明
GB12325-2003	供电电压允许偏差	(1)35kV及以上为正负偏差绝对值之和不超过10%； (2)10kV及以下三相供电为±7%； (3)220V单相供电为±7%~10%。	衡量点为供用电产权分界处或电能计量点。
GB12326-2000	电压允许波动和闪变	电压波动： (1)10kV及以下2.5%； (2)35~110kV为2%； (3)220kV及以上1.6%。 闪变： (1)对照明要求较高，0.4%； (2)一般照明负荷，0.6%。	(1)衡量点为电网公共连接点(P.C.C)，取实测95%概率值； (2)给出闪变电压限值和频度的关系曲线，可以根据电压波动曲线查得允许值，并给出算例； (3)对测量方法和测量仪器作出基本规定。
GB/T14549-93	公用电网谐波	各级电网谐波电压限值 电压(kV)THD 奇次 偶次 0.38 5 4.0 2.0 6、10 4 3.2 1.6 35、66 3 2.4 1.2 110 2 1.6 0.8 (220kV电网参照110kV执行)	(1)衡量点为P.C.C，取实测95%的概率值； (2)对用户允许产生的谐波电流，提供计算方法； (3)对测量方法和测量仪器作出基本规定； (4)对各次谐波随机性合成提供算法。

GB/T 15543 -1995	三相供 电电压 允许不 平衡度	(1)正常允许2%，短时不超 4%； (2)每个用户一般不得超过 1.3%。	(1)各级电压要求一样； (2)测量点为P.C.C，实测95% 概率值或日累计超标不超过 72min，且每32min中超标不 超过5min。
GB/T 15945 -1995	电力系 统频率 允许偏 差	(1)正常允许 $\pm 0.2\text{Hz}$ ，根据系 统容量可以放宽到 $\pm 0.5\text{Hz}$ ； (2)用户冲击引起得变动一般 不得超过 $\pm 0.2\text{Hz}$ 。	对测量仪器提出了基本要求。

1.4 电能质量研究现状和发展方向

1.4.1 电能质量监测方式

电能质量的含义和内容非常广泛，对不同的电能质量问题的监测方式和要求也不尽相同。迄今为止，国内外对电能质量的监测方式可以概括为：1. 单点“快照”监测方式。使用便携式仪器即时监测选定点的电压、电流变化，掌握电压偏差、谐波、闪变、电压不平衡等稳态电能质量水平；2. 时间“趋势”方式。使用流动安装的电能质量监测装置，监测记录一段时间(1 星期或 1 个月)内的电能质量变化，应用后台分析软件，对监测时间段内电能质量变化进行分析统计，给出这段时间内电能质量变化规律与趋势；3. 系统监测方式。在若干系统选定点安装在线监测装置，通过通信网与电能质量监测主站通信，实时监测系统电能质量状态，对系统内电能质量变化进行分析统计，给出电能质量变化的历史趋势。

1.4.2 电能质量监测的内容和分析方法

电能质量问题由来已久，但其内容一直在变，随着现代工业技术的快速发展，对供电质量的要求越来越高，电能质量的内容和定义也在不断发展和扩充。由早期的“电压频率合格率”到“波动闪变、谐波、三相不平衡”。

现代电能质量分析的常用方法：1. 时域仿真法。2. 频域仿真法。3. 基于变换的

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库