

山东大学硕士学位论文

ABSTRACT

Along with the rapid development of technology and national economy, the demands of electric energy largely increase, correspondingly the power quality becomes more and more important and close attention is increasingly paid to power quality by both electric industry and consumers.

Firstly, introduce the meaning and contents of power quality, the reason of paying attention to power quality, and analyze some problems of power quality. Discuss the necessity of power quality monitoring, as well as the present situation and the new trend of power quality monitoring.

Secondly, investigate the feature of rural low voltage network and summarize the basic principle about selecting monitoring spots. Expand the power quality indexes and add a new index of dependable power supply into monitoring range. Find a PQM system which is suit to this paper after using for some references, as well as introduce it's hardware and data management.

Thirdly, this thesis proposes a program of PQM distributed system applying to rural low voltage network, and introduce this system's hardware, data management, communication ways separately.

Lastly, combining with actuality this thesis plan two programs, and prove the practicality and feasibility about this program.

KEYWORD: Rural Low Voltage Network
Power Quality
Power Quality Monitoring
Distributed System

原创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的科研成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律责任由本人承担。

论文作者签名： 于雪莹 日期： 2005.3.20

关于学位论文使用授权的声明

本人完全了解山东大学有关保留、使用学位论文的规定，同意学校保留或向国家有关部门或机构送交论文的复印件和电子版，允许论文被查阅和借阅；本人授权山东大学可以将本学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，可以采用影印、缩印或其他复制手段保存论文和汇编本学位论文。

(保密论文在解密后应遵守此规定)

导师签名： 孙莹 日期： 2005.5.16

山东大学硕士学位论文

引言

随着现代工业技术的发展,电力负荷的种类越来越多,特别是非线性、冲击性负荷在容量上、数量上日益增大,使公用电网中的各种干扰成分不断增加,电能质量日益恶化。近年来,由于电能质量引发的事故和问题呈上升趋势,对电能质量的管理和对电力污染的治理工作势在必行。

随着我国电力体制和电力市场化改革的深入进行,电力市场运营机制必将取代传统、计划、垄断的电力运营机制。电力企业及其与电力消费者之间的关系将转化为在法律、法规指导下,依赖于市场公平竞争、自由选择的关系。市场竞争必然要求电力企业更好地适应电力用户对电力的商业性质量、供电连续性、电压质量、服务质量等方面的要求。

在国外已经进行市场化改革的电力市场中,一般都设立了独立的电能质量工作组,专门负责电能质量的监督、检查与市场监管,我国电力市场的建立和完善也必将面临同样的问题。因此,对电力市场环境下电能质量问题的研究对于保证和维护正常的市场运营具有重要的理论和现实意义。

为了保证电力企业的可持续发展、保证整个社会的安全用电,对电能质量问题的监测已变得越来越紧迫,因为只有充分掌握电网电能质量的情况,才有可能对电能质量问题进行治理。因此开展电能质量监测是能够给供电企业带来经济效益和社会效益的一项重要工作。

山东大学硕士学位论文

1. 绪论

电能是人类生活中最重要的能源。随着国民经济和科学技术的发展,基于大功率电力电子开关设备的普及应用、微电子器件以及电力电子技术的广泛应用,对电能质量的要求越来越高;同时由于扰动负荷(如非线性、冲击性或不对称负荷)接入电力系统或其他扰动源(系统短路故障)存在,造成了大量的电能质量问题。不但影响公用电网的安全运行,还对各种电力用户的用电过程造成直接与间接的危害。因此提高电能质量的新技术已成为近年来电力系统研究领域中的研究热点。

1.1 电能质量的含义和内容

起初,人们在谈论电压和电流干扰电气设备正常工作和所供应的电能质量时,使用的技术名词很不规范。例如,有使用“electric power systems quality”(直译为电力系统质量),或使用“quality of power supply”(供电质量)等词语的。

从普遍意义上讲,电能质量是指优质供电。但是迄今为止,人们对电能质量的技术含义却存在着不同的认识,还不可能给出一个准确统一的定义。这是因为人们看问题的角度不同所致。例如,电力部门可能把电能质量定义为电压与频率的合格率,并且用统计数字来说明电力系统99.9%是安全可靠运行的;电力用户则可能把电能质量简单定义为是否向负荷正常供电;而设备制造厂家则可能定义电能质量就是指电源特性应当完全满足电气设备的正常工作要求。

目前,IEEE标准化协调委员会已经正式采用“power quality”(电能质量)这一术语,并且给出了相应的技术定义:合格电能质量的概念是指——给敏感设备提供的电力和设备的接地系统是否合适于该设备的正常工作【1】(在许多情况下,接地系统对电能质量有很大的影响,以往对此认识不足)。

总的来说,从电力系统与电力用户共同关心的内容看,可以认为电能质量=供电质量=电压质量+供电可靠性。【1】

1.2 电能质量问题的提出

电能既是经济、实用、清洁且容易控制和转换的能源形态,又是电力部门向电力用户提供由发、供、用三方共同保证质量的一种特殊产品。如

山东大学硕士学位论文

今，电能作为走进市场的商品，与其他商品一样，无疑也应讲求质量。从技术角度讲，提高优质电能是供用电双方共同保证的，因而对电能质量日益关注的原因是多方面的，归纳起来主要有4点。

(1) 现代用电设备对电能质量的要求比传统设备更高，许多新的电器和装置都带有基于微处理机的控制器和功率电子器件，它们对各种电磁干扰都极为敏感。

(2) 对电力系统运行总效率的重视程度不断加强，特别在用电设备方面的表现突出，但这些设备的使用又会导致电网谐波污染，致使供电电压干扰水平加重，对电力系统安全运行带来直接的或潜在的危害。例如，高效率电机变速驱动，为降低损耗和校正功率因数而采用的并联电容补偿器，以及大量的用户电子设备等。

(3) 电力用户已经提高了对电能质量的认识，正在了解如供电中断、电压凹陷、电路通断引起的暂态现象等实际问题，为满足高效生产流程的需要，维护用电设备的正常运行，越来越多的用户向电力部门提出了高质量供电的要求，甚至通过签订供电合同和质量协议的方式以获得保证。

(4) 电力网的各个部分都是相互联系的，因此综合协调处理至关重要。任何一个局部的故障或事件都有可能造成大面积的影响，甚至是重大损失。这迫使供电部门在保证向用户提供优质电能的同时，还需要极力避免遭受用电设备产生的电力干扰，维护电网的安全运行。因此电能质量已经成为一项系统工程问题。

因此提高电能质量，满足生产发展的需求已成为供用双方共同的愿望，深入分析和研究电能质量问题，探索在一定条件下发生电磁干扰的因果关系，明确责任和义务，是电力工业适应市场竞争和可持续发展所必须的。

1.3 电能质量问题的分析

1.3.1 谐波的测量与分析

(1) 谐波的一般性质

供电网谐波主要由非线性负荷产生。非线性负荷吸收的电流与端电压不成线性关系，结果电流发生波形畸变且影响端电压波形畸变。这种周期性的畸变波形可按基频(50 Hz)展开成傅立叶级数形式，其大于基频的分量即为谐波。

国际上公认的谐波含义为“谐波是一个周期电气量的正弦波分量，其频率为基波频率的整数倍”【15】。因此谐波次数必须为整数。

另外，由于一些非线性负荷的运行特点，产生的电流、电压畸变波形在各个基频周期不相同，形成了间谐波(internatmonics)，频率在各次谐波之间；畸变电流、电压幅值在各个基频周期不相同，产生了次谐波(subharmonics)，其频率低于基频。GB/T 14549-1993《电能质量— 公用电网谐波》是现行谐波技术监督管理的国家标准。除要求电网各级电压的谐波水平不超出国标限值外，要求用户注入公用电网的谐波电流不超出国标允许值。否则应采取治理措施。

目前，国内外普遍采取的谐波治理措施是安装无源滤波器，在多数场合是有效的。安装无源滤波器的投资可以从功率因数改进和用电效率提高产生的效益收回。因此，不但对电网和其他用户有利，对谐波源用户本身也是有利的。

(2) 谐波测量方法

谐波特征确定了仪表的类型和测量方法。根据IEC 6100-4-7、谐波分类如下：

- a. 准稳态(quasi-stationary)谐波，即变化缓慢的一类谐波，如恒定负载的整流装置、调光灯等产生的谐波。
- b. 波动(fluctuating)谐波，如电机变频调速与换相、电子调节类家电所产生的谐波。
- c. 快速变化(rapidly changing)谐波，如冲击性非线性负荷(电弧炉、电力机车)等产生的谐波。

恒定负载的整流装置(电解锌、铝等)通常只含a类谐波，并由于装置的相对称，只含 $mk+1$ 次特征谐波， m 为工频周期内波头脉动次数， k 为正整数。

实际上非线性负荷可能同时具有以上几种特性。如电弧炉，在熔化初期冲击性突出，熔化期波动频繁，在精炼期相对平稳。所以对谐波电压与电流的评估应采用数理统计方法并持续一个相当长测量

观察时期，只有数字分析仪能满足这样的要求。根据数理统计和数据压缩需要，IEC 6100-4-7推荐以下的统计区间：

山东大学硕士学位论文

a. 非常短的区间(very-short-time interval) $T_{vs}=3s$, 定义为有效测量时间。3s是用于快速傅里叶变换(FFT)的窗口时间相加。3s内所有FFT中同次谐波最大值作为该次谐波的瞬时效应评估;所有FFT的同次谐波均方根值作为3s热效应评估。对于上述准稳态谐波测量,窗口之间允许有间隔(加间隔时间不大于10s),否则不允许有间隔。

b. 短时区间(short-time interval) $T_{sh}=10\text{ min}$, 定义为有效观察时间,即除有效测量时间外还有测量间隔时间。10 min内所有FFT的同次谐波均方根值作为10 min均方根值。

c. 长时区间(long-time interval) $T_l=1\text{ h}$, 定义为有效观察时间。

d. 日区间24 h, 定义为有效观察时间。

有效测量时间与有效观察时间决定对谐波的评估方式:考虑瞬时效应时,取24 h内每3s有效测量的各次谐波最大值的95%,99%概率或24 h内最大值作为评估标准;考虑热效应时,取24 h内每3s有效测量的各次谐波均方根值的95%,99%概率作为评估标准。

国标GB/T 14549-93采用热效应作为谐波的评估标准。即取观察期内3s有效测量的各次谐波均方根值的95%概率作为评估标准。

为了评估工作日与非工作日的区别,观测期可能持续1周以上,但IEC 6100-4-7不作专门要求。

采用FFT的谐波测试仪对采样频率和同步性有很高的要求。否则频谱混迭与频谱泄漏造成的误差不可忽视,尤其是频谱泄漏问题。IEC 6100-4-7要求同步偏差小于 3×10^{-4} (矩形采样窗口)。有一些频域或时域的线性插值方法减小同步偏差的影响,而采用锁相环实现仪器与被测信号频率同步是仪器分析精度的基本保证。

(3) 电网谐波模型与分析方法

节点导纳矩阵是电力网络的一种数学模型。在谐波条件下构成节点导纳矩阵需要知道各元件的谐波模型与参数,文献【15】中有详细介绍。

基本的谐波分析方法分为非线性时域仿真、非线性频域分析与线性频域分析。这3种方法对系统本身作了同样的线性处理,只是对非线性装置的模拟方法不同。

山东大学硕士学位论文

a. 非线性时域仿真法

非线性时域仿真法从网络状态方程出发, 求解电力系统谐波响应。非线性时域仿真用暂态网络分析仪、模拟计算机和数字计算机进行。它能同时进行谐波的暂态和稳态分析, 并且很容易模仿各种暂态事故。已有多种软件如Matlab, Syber, Emtdc能在数字计算机上完成仿真分析, 但解算规模不宜过大。

b. 非线性频域分析法

非线性频域分析法是以谐波条件下节点的有功和无功潮流平衡为解算依据。谐波电压由节点导纳矩阵算出, 非线性负荷产生的注入电流表示为基波与各次谐波以及非线性负荷特征变量(每个非线性负荷需2个, 对应有功与无功功率平衡)的函数。用牛顿—拉夫逊法可得出修正方程(只考虑6k±1次特征谐波)如下【16】。

$$\begin{bmatrix} \Delta W \\ \Delta I^{(s)} \\ \vdots \\ \Delta I^{(h)} \\ \Delta I^{(l)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J^{(l)} & J^{(s)} & \dots & J^{(h)} & 0 \\ TG^{(s,l)} & TG^{(s,s)} & \dots & TG^{(s,h)} & H^{(s)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ TG^{(h,l)} & TG^{(h,s)} & \dots & TG^{(h,h)} & H^{(h)} \\ TG^{(l,l)} & TG^{(l,s)} & \dots & TG^{(l,h)} & H^{(l)} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta U^{(l)} \\ \Delta U^{(s)} \\ \vdots \\ \Delta U^{(h)} \\ \Delta \Phi \end{bmatrix}$$

式中第1行反映谐波条件下的有功和无功功率平衡。第2行至倒数第2行反映谐波电流与谐波电压、非线性负荷特征及导纳矩阵关系。最后一行反映基波电流平衡。

该方法理论上较完整。但谐波功率较小, 各次谐波视在功率通常小于基波时的百分之一, 形成的雅可比矩阵元素敏感度较低。低收敛精度难以看到谐波功率影响, 高收敛精度又影响收敛性。且规模比同节点的基波潮流计算要大得多, 迭代的收敛性是主要问题。通常只适应较小规模。已有商品化应用软件。

c. 线性频域分析法

线性分析法通过线性化系统的非线性装置进行谐波分析。在忽略了一些次要因素后, 可以近似认为非线性负荷的谐波电流在大小和相位上仅与基波电流成线性关系。给出基波电流以后, 各次谐波电流即为已知。根据节点导纳方程可计算出各节点谐波电流:

$$I_h = Y_h U_k$$

该方法较为简单，不存在收敛性问题。是目前国内外使用最多的分析方法，尤其是检验滤波器效果和分析电容器分组投/切的谐波放大现象时常使用。国外商品化谐波分析软件大部分采用该方法。

1.3.2 电压凹陷的分析

电压凹陷是指电压幅值的暂时下降。电压凹陷在电力系统的频繁出现将引起许多电能质量问题。最近十几年来，由于敏感负荷的增加，由电压凹陷造成的经济损失也迅速增加。

电压凹陷由电压跌落的幅值和持续的时间界定。大体上，电压凹陷事件中电压均方根值的跌落在10%-90%，持续时间在10 ms-1 min【2】。典型的电压凹陷事件持续时间在0.5-30个周期(10-600 ms)，凹陷深度取决于距离故障点的位置和电网结构。

电压凹陷分析是非常复杂的课题，涉及到大量的随机因素，主要有以下几种：

- a. 短路类型。三相故障比单相线一地故障造成更大的电压凹陷。
- b. 故障位置。输电系统故障比配电系统更严重，并造成更大面积影响
- c. 保护装置性能。电压凹陷时间直接与保护装置性能—故障清除时间有关。
- d. 大气层放电观察显示大多数电压凹陷发生与大气层放电有关。
- e. 冲击性负荷启动的不确定性。如电弧炉起弧、大型感应电机启动等。

电压凹陷没有国际(或国家)标准，系统和电力用户都接受电压凹陷是不可避免的事故，问题是应采取什么措施减缓其影响。事实上，电压凹陷造成的最大损失在使用敏感设备的用户一方。电压凹陷使程序逻辑控制器 PLC's (Programmable Logic Controllers) 误动，造成工业生产过程局部或全部停顿；调速装置 ASD's (Adjustable Speed Drives) 失灵，导致产品报废；接触器与辅助继电器跳开；不可预计的低电压跳闸；计算机系统丢失数据。电压凹陷已成为现代化供电与用电不可回避的问题

(2) 电压凹陷的评估方法

电压凹陷评估方法基于比较负荷的电能质量敏感度和系统的供电特征,包括电压凹陷程度、持续时间和出现次数。评估分4个步骤【3】:

a. 根据故障类型、位置、故障阻抗和短路阻抗等参数,以及线路的故障率和故障清除装置的特点,确定电压凹陷程度、持续时间和出现次数。进而定义动态电压幅值 U_c 和持续时间 t_c 。

b. 根据敏感性负荷或工业生产过程对用电质量的要求,确定可接受的低电压幅值 U_L 和断电持续时间 t_L 。如图1所示。然后由实际电压质量,定义负荷工作在状态1还是在状态2。

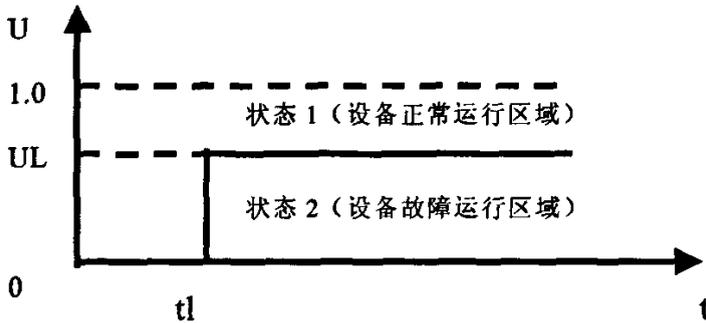


图1-1 负荷敏感度曲线

因此负荷跳闸的概率能够确定如下:

$$P_F = [(U_c < U_L) \cap (t_c > t_L)]$$

c. 预计负荷 i 每年的平均跳闸次数 N_i 为 $N_i = \sum_{J \in SF} \Delta L_j \lambda_j$ 。式中 ΔL_j 为故障距离

(km); SF为负荷 i 的设备故障区域; λ_j 为各类故障率(次/a. km)。

d. 为了计算负荷母线和供电系统的质量指标,使用了频度和持续期间的概念(F&D)。最后计算出系统受电压凹陷影响后的整体性能指标: $P1(S)$ 为负荷的平均有效用电率; $P2(S)$ 为负荷的平均故障失电率; $P_{dnd}(S)$ 为系统每年因电压凹陷无法提供给各负荷的平均功率; $W_{end}(S)$ 为系统每年因电压凹陷无法提供给负荷的平均电量。

1.3.3 电压波动与闪变的测量与分析

(1) 电压波动与闪变的一般性质

电压波动与闪变由波动负荷产生。交直流电弧炉、电弧焊机、工业轧

机、绞车、电力牵引机车等是产生这类电能质量问题的扰动源。

根据电压波动与闪变的国家标准GB 12326-2000(参考国际电工委员会电磁兼容标准IEC 61000-3-7制定【4】),电压波动是指每半个基波电压周期均方根值的一系列变动或连续的改变。其每一次改变称作电压变动,以标称基波电压的百分比表示。衡量电压变动的量是幅度和频度(指每秒、每分钟或每小时电压变动的次数),频度在数值上是频率的2倍。电压变动不同于电压偏差,电压变动反映了基波包络线波峰与波谷之间的每一次差值;电压偏差是指基波包络线波峰与波谷相对于标准基波电压的变化量,通常取10 min内的平均值【17】。

电压变动与电压凹陷(或电压骤降)的区别在于,在电压变动中其幅度不超过标准供电电压的±10%;而电压凹陷中电压下降的幅值低于标准供电电压90%甚至达到10%以下。当供电电压下降到额定值的1%以下时,称为电压中断【17】【5】。

闪变是人对光线照度波动的主观视感,即人的视觉所觉察到的由电压波动引起的光线变化。IEC以试验观察者50%闪变觉察率作为瞬时闪变的衡量单位:闪变较为敏感的频率范围大约在6-12 Hz,并与波形有关。这样,闪变值应理解为一定频率、波形与强度这3种要素支配的电压变动水平的综合评估,并用持续一段时间的统计结果表示。闪变不仅通过白炽灯照度变化对人的视觉、精神产生影响,与闪变有关的电压波动同样影响到电气设备,例如:0.1 V/s的电压均方根值变动会使生产的精密产品质量受到损失【17】。电视机或监视器画面闪烁、抖动;电动机转速不均匀,影响电机寿命和产品质量等。

(2) 电压波动与闪变的测量方法

现有的闪变仪从其工作原理来说,仍是针对正弦电压波动的测定,将电压波形看作是工频电压为载波、其电压的均方根值或峰值受以正弦电压变动量作为调幅波的调制。其对电压变化的数学描述为

$$u(t) = A(1+m\cos \omega t)\cos \omega' t$$

式中A、 ω' 分别为工频载波电压的幅值和角频率;m、 ω 分别为调幅波电压的幅值和角频率。

目前，国内外的闪变仪测量电压变动的方法有以下3种：

a. 平方检测法，这是IEC推荐方法。将电压变化进行平方运算后再经过解调滤波器得到电压波动信号。由公式(2)两边平方，用带通滤波器滤去直流分量和工频以上分量便可测出电压波动分量 $U_v(t)$ ：

$$A^2 U_v(t) = m A^2 \cos \omega t$$

b. 整流检测法，这是英国ERA闪变仪采用的方法。电压变化 $u(t)$ 经过整流得到的波形理论上相当于该电压乘以幅值为1、频率为工频的矩形波 $P(t)$ 。

c. 有效值检测法，这是日本闪变仪使用的方法，本文不做阐述。

这三种方法都是检测单一频率调制信号。在处理时变的非正弦电压波动信号可能带来误差。另外，用数字方式获取电压波动分量时，因频率变化产生的频谱泄漏会影响精度。利用小波变换的时频局部特征抽取电压波动信号的检测方法也在研究中【6】，这类方法能从非正弦电压波动中分解出多个频率的正弦电压波动分量。但如何建立不同非正弦分量波形系数仍是难题。

1.3.4 电网的频率

电网的频率偏移程度：是指电网的实际频率和额定频率的偏离程度。

用下式表示：
$$\Delta f = \frac{f - f_N}{f_N} \times 100\%$$

式中： Δf 为频率偏差； f 为实际频率； f_N 为额定频率，值是50HZ。

《电能质量电力系统频率允许偏差》(GB/T15945—95)对电压偏差的限值规定为电力系统正常频率偏差允许值 $\pm 0.2\text{HZ}$ 。当系统容量较小时，偏差值可放宽到 $\pm 0.5\text{HZ}$ 。用户冲击负荷引起的系统频率变动不得超过 $\pm 0.1\text{HZ}$ 。

1.3.5 三相的不平衡度

三相电压不平衡度是指电力系统三相不平衡的程度，用电压或者电流负序分量与正序分量的均方根值的百分比表示。

对电力三相不平衡度的分析可以通过对称分量法进行，在分解出正序和负序分量之后，电力网络的三相不平衡度就可以求出。计算三相不平衡

度的时候，可以通过下面的简化算式求得：

$$\text{三相不平衡度: } \epsilon u = \frac{A_2}{A_1} = \frac{\sqrt{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}}{\sqrt{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$$

$$\text{其中, } \beta = \frac{U_{ab}^4 + U_{bc}^4 + U_{ca}^4}{(U_{ab}^2 + U_{bc}^2 + U_{ca}^2)^2} \quad (U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} \text{ 分别是三个线电压的幅值}).$$

《电能质量 三相电压允许不平衡度》(GB/T15543-1995)中规定，电力系统公共连接点正常电压不平衡度允许值为2%，短时不得超过4%。

2. 电能质量监测

2.1 电能质量监测的必要性

对电能质量监测的必要性可以从电能质量低劣对电网造成的重大影响方面来分析。

2.1.1 电压质量低劣的影响

电压是电能质量中一个比较重要的方面，如果系统的电压偏移过大，就会造成严重的后果。本文重点讨论供电质量低劣对广大电力用户造成的影响【18】。

(1) 供电系统的电压降低时，各类负荷中所占比重最大的异步电动机的转差率将增大，从而，电动机各绕组中的电流将增大，绕组的温升增加，电动机的效率将减少、寿命将缩短。这种变化将会对工农业生产产生巨大的影响。例如，使造纸和制丝不均匀，降低精加工机床制品的光洁度，严重时将会产生废品。炼钢厂中的电炉将会因为电压的降低而影响冶炼的时间，从而影响炼钢厂的产量。

(2) 当系统的电压过高时，将使所有的电气设备绝缘受到损害。而且，变压器、电动机等的铁芯会因为电压的升高产生饱和现象，铁芯的损耗将增大，温升将增大，寿命将缩短。

(3) 居民负荷中大量的照明负荷，尤其是白炽灯，对电压变化的反应是最灵敏的。电压过高，白炽灯的寿命将大为缩短；电压过低，白炽灯的亮度和发光效率又将大幅度的下降。电压的波动，会引起人的视觉疲劳，影响工作和日常生活。

(4) 三相电压不平衡会引起电机附加振动力矩和发热。如负序电压含量为4%，由于发热其绝缘寿命缩短约一半。如果其相电压高于额定值，则其绝缘寿命缩短更严重。一些保护会因负序和谐波的干扰而发生动作。

2.1.2 谐波的影响

电力系统之中存在大量的感应电动机，当电动机的基波电流或者是谐波电流增加时，定子的磁饱和增加，基波短路电阻和电抗，谐波电阻和电抗都下降。因此，在电动机的端电压一定的情况下，这些电阻和电抗的下降，使得电机的谐波功率损耗增加，这样就导致了电动机内部的温升，影响电动机的工作，缩短其寿命。

(1) 电力变压器的铁芯本身就是一个非线性的设备，因此在变压器的运行

期间，激磁涌流中就含有大量的谐波。在变压器正常工作或刚通电时，谐波的影响不会太大。但当变压器绕组中流过直流电流、低频电流、或者是地磁感应电流时，变压器会发生严重的磁饱和，使激磁电流和其中谐波电流大增，可以危害设备和电网的安全运行。同时，谐波电流还会引起变压器的外壳、外层硅钢片和其他紧固件发热，并且有可能引起局部的过热。

(2) 谐波在配电网中出现，会对用户设备产生干扰。影响电压峰值的谐波会引起电视画面大小和图象亮度变化。用户的荧光灯中含有电容器、镇流器和回路的电感，他们具有一定的谐振频率，如果该频率与产生的谐波响应，就会引起荧光灯具的过热和损害。

(3) 谐波对电力测量的影响。电力系统的测量仪表都是在纯正的正弦波形下进行校验的，只是允许存在少量的高次谐波。如果供电的波形发生畸变，测量仪表易产生误差。电度表的准确数据记录不但是公平收、付电费的依据，而且也是科研所需的重要数据。电网中的谐波问题是最近几年才得到了广泛的重视。因此，我国和国际对家庭电度表和厂用电度表所规定的允许波形畸变都比较小。随着配电网中非线性负荷的急剧增加，谐波污染的问题将会越来越严重，对于电度表的影响将随之增加。

2.1.3 敏感负荷与用电质量需求

低水平的电能质量可能对敏感负荷造成损害。电能质量对用户和电网的影响可由图2-1说明

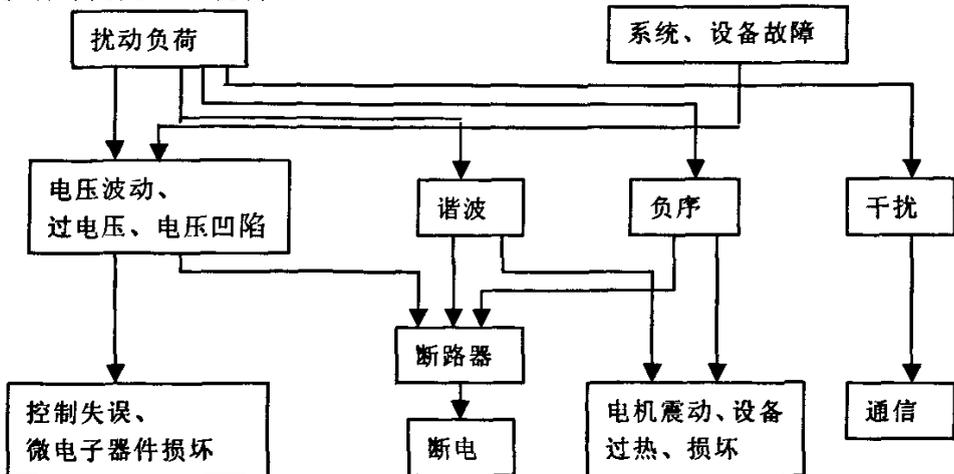


图2-1 电能质量对用户的影响

扰动负荷由其负荷特性决定，可能产生电压波动、过电压、电压凹陷(电

山东大学硕士学位论文

压跌落)以及谐波、负序和其他干扰。如冶金电弧炉产生电压波动与闪变、谐波与负序等电能质量问题;电气化铁路牵引负荷产生电压波动、谐波与负序等电能质量问题。现场测量显示这一类冲击负荷还形成电压突然跌落(或电压凹陷),瞬间电压下降超过10%。较平稳的整流负荷如电解锌、铝厂等主要产生特征谐波。

需要特别指出的是,随着电力电子技术的推广,工业生产过程对电能质量与供电可靠性的要求越来越高。如电压凹陷与短期/中期电压中断对使用微电子器件的装置或生产过程产生严重影响,常常是装置误动、损坏或产品报废的主要原因。工业用户对电能质量与供电可靠性有不同的要求【7】,见表2-1。

表2-1 电能质量与供电可靠性对工业生产的影响

		电压凹陷影响		
		大	中	小
供 电 中 断 影 响	大	精加工、化工、塑料制造	印刷、造纸、玻璃、汽车制造	冶金、水泥、交通运输、食品生产、电弧炉
	小	轧制、铝加工	金属加工、工业煤气、化纤	电解、粉碎机械

2.2 电能质量监测的研究现状

由于电能质量关系重大,美、日等发达国家对此已经进行了多年的研究,取得了许多重要的理论和应用成果,同时也制定出电能质量的一系列标准。国内对电能质量的研究起步较晚一些,这主要是因为长期以来,我国的电力供应一直比较紧张,人们关注的焦点主要在电力供应方面,对电能质量关心不多,通常只对电压和频率两个指标进行考核。但是近年来,随着电力供应紧张局面的逐步缓解、电能质量的日益恶化和用户对电能质量的要求不断提高,这一问题已经引起了各级电力部门的高度重视,国家也颁布了有关的技术标准。这些电能质量标准分别从发电、供电、用电端对电能质量提出了要求,无疑对我国的电能质量水平起到了促进作用。

近年来,国际上对电能质量问题的普遍关注使得电能质量监测成为了一个热门的研究方向。各种电能质量监测产品也被推出,有固定式的,比如美国通用电气公司(GE)的电能质量监测器(Power Quality Meter, PQM);

山东大学硕士学位论文

有便携式的，比如 GE 的便携式电能质量监测器(Portable PQM PPQM)；还有仪表式的，比如 FLUKE 公司的 F43B 电能质量分析仪等等。以上都是近年来推出的新产品，相对于过去的产品已经有很大改观，但在功能、成本、应用方面仍有许多要改进的地方。尤其是很多传统的产品在设计上大多采用工业计算机配备数据采集卡的方式，在进行电网的数据采集和分析时，主要针对稳态指标进行监测，对暂态指标考虑的不多，智能化和网络化水平也不高。目前电能质量监测设备主要存在以下一些不足【8】：①部分产品由于采用通用计算机作为现场监测分析工具导致成本偏高；②设备配置的灵活性、通用性差，往往只能用于特定的现场环境；③远程通讯能力有限，不易实现远程监控和数据共享；④对干扰的分类和故障的辨识能力有限，不具备智能分析功能，不能提供给用户可直接用于决策的信息；⑤实时性差，时频分析手段落后，不具备对瞬时扰动和暂态谐波的跟踪和捕获能力；⑥现场设备不具备联机处理能力，大量数据都要传送给专门的分析工具脱机处理，导致对现场设备的存储容量要求很大。这一方面是由于人们对电能质量的认识还不够，另一方面也受限于当时的技术条件，这些产品已经与如今电能质量监测系统的在线监测、实时分析、网络化、智能化的发展方向不相适应了。

现场监测设备本身的不足不仅影响到现场监测，也影响设备所处的整个系统的功能。比如因为现场设备的实时性不好，对瞬时扰动的识别能力差等，会影响到系统对问题的快速反应能力、电能质量评估能力和决策分析能力。面对这些问题，需要新的思路和新的办法来解决。

随着集成电路技术和计算机技术的飞速发展，网络技术和嵌入式实时系统技术日益成熟和完善，已经被引入到电能质量监测领域，传统的设计方法也逐渐被摒弃。文献【8】(意大利)提出了一种基于WEB的电能质量监测系统的设计实例并且采用小波变换技术作为分析手段，整个系统的设计基本上顺应了目前的发展方向，但文中主要介绍了系统的体系结构和小波变换技术的应用，未对现场的实时监测设备做具体介绍。文献【9】(美国)提出了一种基于DSP(Digital Signal Processing)的实时系统解决方案，该方案采用DSP (Digital Signal Processor)和PC (Personal Computer)机的双处理器结构，DSP处理实时任务，PC机用于人机交互，虽说也是联机处理系统，可进行在线实时监测，但还没有达到智能化和网络化的程度，而且PC机的

采用加大了设备的成本，不适于作为固定的在线监测设备大量安装在现场。文献【19】是国内提出的一种基于双CPU的主从式结构的电能质量监测设备，由于设计时间早，采用TMS32010型DSP，性能上已经落后，没有考虑远程通信，分析手段只局限于采用FFT (Fast Fourier Transform, 快速傅里叶变换)进行稳态谐波分析，也没有提出实时性要求。由此可见，利用先进的技术手段，采用精确合理的计算方法，研制功能齐全、性能优良、安装简单、使用方便的电能质量监测装置，是十分必要的，对提高电力系统供电的安全性、可靠性和经济性，保证用电设备的正常工作和工农业生产的持续高效，都有十分重要的意义。

2.3 电能质量监测的发展趋势

随着电能质量对国民经济的影响逐渐加大和电能质量研究的逐步深入，对电能质量关注的焦点也已经不仅仅是电压、频率和谐波等各种稳态指标，人们想得到关于电能质量更为准确的实时信息，比如瞬时扰动和暂态谐波等，同时也要求电能质量监测系统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，比如要求系统能够进行故障辨识、干扰源识别、故障预测和信息共享等功能。如今电子技术和网络技术的飞速发展使得这种需求的实现成为可能。电能质量监测系统正在朝着在线监测、实时分析、网络化和智能化的方向发展，新一代电能质量监测系统的体系结构如图2-2所示。

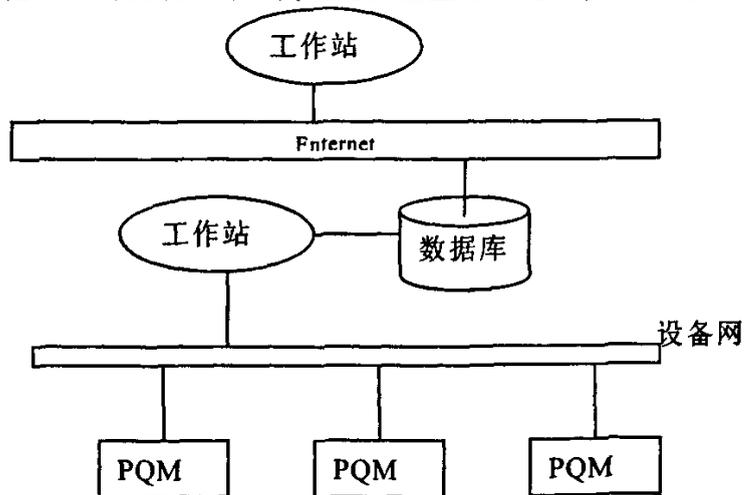


图2-2 电能质量监测系统体系结构

从设备的角度，目前电能质量监测设备的发展趋势倾向于采用永久性

的固定设备对现场数据进行在线监测【10】【11】【12】。对设备的具体要求可以概括为：

- 设备能满足实时性要求，具备对电网问题的快速捕获能力；
- 在分析手段上能够对采样数据预处理，比如小波去噪，能对数据在线分析，对稳态和瞬时干扰性事件进行跟踪和预分类。以降低对存储容量的要求，也为现场的监控人员提供更快速更准确的评估和决策信息；
- 具备强大的通信能力，能方便集成到企业信息管理系统中和互联网上，便于对电能质量现象进行更深入的分析、统计、长期评估和预测；
- 在功能上具备配置的灵活性，以适应电力系统的不同应用场合；
- 在成本上要能适合大量安装到现场。

2.4 本文所做的工作

①首先对农村电网的现状、对电能质量的要求进行了详细的论证，同时结合本人所在单位历城区供电公司实际电网状况，提出了一种选择电能质量监测点的原则，其目的是为了更好的对电能质量进行监测。

②在借鉴很多电能质量监测系统的优点的同时，提出了一种适合于农村低压电网的电能质量监测系统的总体规划方案。方案中监测终端规划的较为简单，具备基本的采集、测量、存储、传输电能质量指标的功能。同时，在与公司实现遥控、遥测功能的变电站规划了一个能进行采集、上传、接收、下达命令的集中器，每个集中器采集所辖变电站供电区域内的监测终端数据。其目的是使监测管理中心能根据监测点所属变电站的不同，分别进行分析，这样更有利于结合变电站自身的运行情况，对电能质量有一个更完善、更系统的了解。另外，集中器的采用可以减少通讯线路的敷设，能够降低通讯成本、缩短工程周期。

③当前，本人所在单位的郭店供电所正在辖区的新凤线开展远程集中抄表系统的应用工作，这套抄表系统中采用GPRS的通讯方式给了我一个新的思路。因为电能质量监测系统与集抄系统最大的相似之处就是都需要借助一定的通讯手段传输数据，目前广泛使用的专线、光纤通讯以及低压电力载波通讯我们并不陌生，它们的优缺点也在很多论文中有详细的论述。

山东大学硕士学位论文

我公司10kV新风线上的集中器将采集的电表数据，通过GPRS的通讯方法传输到移动公司设置在距我公司很近的接收基站（留学人员创业园），然后从创业园敷设800米光缆到我公司的主站系统，从而完成通讯任务。经过半年的试用，这种通讯方式的实时性、可靠性、传输效率都很令人满意。因此，本文认为完全可以借助这种抄表系统的通讯手段来实现电能质量的传输。而且这一思路无形之中借用了这种正在使用的通讯手段，会大大降低我们整套方案在通讯费用上的成本。

④结合农村电网的自身特点，本方案对分布式监测系统提出了更进一步的监测思路，就是针对某些特殊低压用户的需求以及对电网技术指标的考核，采用临时性可移动的电能质量监测设备（便携式监测仪），不定期的对电能质量进行监测。这种监测仪要求具备的功能齐全、测量的数据更完善。这种便携式监测仪将会成为分析农村电网电能质量状况的一种有利补充，而且花费不高，非常适合对一些新上工厂、企业的监测，以便确定它们对电网的污染程度以及是否需要安装固定监测终端。

⑤另外，针对农村电网的特点，把供电可靠性作为一项重要的监测指标，加入了监测系统。因为，供电可靠性目前已经成为供电企业创一流、达标的必不可少的指标。同时，对可靠性指标的实时正确监测，有利于供电企业制定合理、有效率的停电计划，从而保证对重要用户供电，避免供用电纠纷的发生。

3. 方案的调研与准备

3.1 方案的调研阶段

3.1.1 电力市场环境下的电能质量问题

(1) 近几年我国对电能质量的重视程度

随着我国电力体制和电力市场化改革的深入进行，电力市场运营机制必将取代传统计划、垄断的电力运营机制。电力企业及其与电力消费者之间的关系将转化为在法律、法规指导下，依赖于市场公平竞争、自由选择的关系。市场竞争必然要求电力企业更好地适应电力用户对电力的商业性质量、供电连续性、电压质量、服务质量等方面的要求。电力市场的竞争是在政府颁布的质量标准、行业标准和有关法律、法规的监管、约束下进行的，所有市场参与者都必须在这样的约束下进入市场。政府通过电力监管委员会、技术监督局、电力企业联合会、消费者协会等监督和控制市场的规范化运营和电能质量，其目的是保证和控制电力市场下的公平竞争、供电的连续性与电能质量，维护电力企业和电力消费者的利益。

以下引用《电力法》的有关规定，进一步论证了对电能质量进行监测的重要性的必要性。《电力法》规定“供电企业应当保证供给用户的供电质量符合国家标准，对公用供电设施引起的供电质量问题，应当及时处理。电力企业未保证供电质量，给用户造成损失的，应当依法承担赔偿责任。用户用电不得危害供电、扰乱供电，对危害供电和扰乱供电的，供电企业有权制止。情节严重或者拒绝改正的，可以中止供电。”对电力污染源的治理必须坚持“谁污染谁治理”的原则。

(2) 国外值得借鉴的电能质量监督、控制方法

国外常用的方法【13】是颁布发电公司之间关于电能质量性能比较性的文件，或通过评判标准的竞争刺激竞争行为。评判标准的竞争要求对电能质量的检测方法和测量数据提供清楚和详细的规则，主要约束如下：

a. 对于电能质量不符合标准的发电企业进行经济处罚。处罚力度必须足够大，以便创造刺激来维持公共的上网电能质量标准，或用罚金支付受影响的电力用户或电力企业，或利用罚金成立一个质量基金，以解决因上网电能质量所造成的一般经济问题，然后再追究有关责任人的责任。

b. 其他处罚, 例如警告处罚, 包括修改发电公司的上网许可证中的有关条款直至撤销其上网资格。

c. 降低上网电价或进行其他经济处罚, 这将直接影响发电公司的收入或效益。通过使用一个特定的电能质量系数 Q , 用于以性能为基础的控制性能指标引入到上网电价决策公式中。系数 Q 可以包含不同的电能质量因数、电力用户的满意指数、员工情况和企业生产安全指标等。

3.1.2 农村低压电网的发展

我国的农村电网经过近50年的发展, 已经形成巨大的规模, 截止到2002年, 农村电网已经覆盖了全国绝大部分农村人口, 山东省农户通电率早已达到100%。随着农网改造工程的大面积完成, 使农网结构得到改善和优化, 技术装备水平大大提高, 县以下行政区用电量达到4500多亿KWh, 占全社会用电量的40%以上, 对促进农村经济的发展, 提高农民的生产生活水平起到了积极的作用。

以下以本人所在工作单位——历城供电公司为例, 说明农村电网的巨大发展。从1998年我国开始对农村全面实施电网建设与改造工程, 并同时进行农电体制改革和城乡同网同价工作, 作为农电企业的历城供电公司经过近几年的努力, 已取得显著的成效。工程首先投入巨资进行农村电网建设与改造, 从1998年至2002年11月, 已投入农改资金1.6亿元。在一期和二期农改工程中, 新建和改造35kV变电所7座, 35kV线路80-90km, 10kV线路1072km, 低压线路5430km, 安装和更换配电变压器2124台约1.2万kVA, 受益乡镇20个、28万多农户。这一举措加速了历城区的农村经济发展, 提高了农民的生活水平。农网改造很大地改善了电力设施的供电能力和可靠性, 与此同时国家还加强了供电管理, 促进电力营销规范化, 电价大幅度下降, 农村用电量持续发展和增加。以2002年1月至6月供电量为例, 2002年1-6月的供电量为48404万kWh, 比上年同期37803万kWh增加了10601万kWh, 增长28.04%。农村供电设施的改善提高了电能质量, 调动了农民用电积极性, 象征城市家庭生活的电饭煲、电风扇、电视机、电冰箱、洗衣机, 甚至空调都已普及到农村家庭, 这也预示着农村生活用能商品化过程的开始。与此同时乡镇企业、私营企业、农副产品加工也得到了发展。“网改”后三相四线制动力供电线路进村到户, 个体加工企业迅猛发展, 仅某乡镇的一

个村就先后兴建起粮食加工厂20多个，每个加工厂都安装了专用配电变压器，年用电量达110万kWh。过去不少乡镇企业和私营粮食加工厂因用电困难大都采用柴油机作动力，随着供电设施的完善和柴油的涨价，柴油机纷纷“下岗”，用户开始改用清洁方便同时价格合理的电能。电能又成为农田排灌首选的动力能源，价格便宜，使用方便，而且不污染环境。

通过上面的举例和数据，我们可以很清楚的看到，在经历了严重短缺时期、基本满足时期和商品化时期之后，中国农村经济和社会的迅速发展使家庭能源消费进入一个新的时代。农村家庭能源短缺现象已不复存在，能源结构也在发生深刻的变化。农民不仅用上了电，而且对电能的质量有了更高的要求，因此，供电部门要与时俱进，转变观念，以市场为导向，提高自身素质和服务水平，为进一步改善农村用能结构，增加农村用电而努力。

3.1.3 农村低压电网对电能质量的要求

电力系统中电能质量问题同时存在于输电系统与配电系统，输电系统可靠性高、发生故障的概率比较低，大部分的故障、异常现象出现在配电系统。因此，实际供电系统中，电能质量危害主要体现在与用户密切相关的配电系统以及低压网（400V）中，如电压跌落问题引起的设备误跳闸、短时断电现象造成计算机服务器数据丢失、谐波问题引起用户设备不正常发热等。

以前，关注电能质量问题的主要是系统工程师以及相关的技术人员，电能质量监测主要是基于系统侧来考虑的，分布于大电网的各个变电站和关键用户接入点处的电能质量监测单元通过通信网络连接成一个有机的整体，共同完成整个电网的电能质量分析。电力部门可以为其本身及其关键用户提供监测数据，这对于整个电网电能质量水平的监测分析，谐波污染源的定位，电压质量的持续监测都有很大的益处。

然而随着社会的快速发展和电力市场机制的不断完善，越来越多的小型加工工业、化工厂、冶炼厂、有电弧炉的工厂、精密仪器制造厂都在近郊农村设点建厂，他们对电能质量问题有了新的认识，越来越关注电能质量问题，因此有必要从低压用户的角度，来重新认识电能质量监测的相关技术。

同时，这些工厂、企业在办厂用电，极大提高农电企业销售电量的同时，也不可避免的为农电企业带来电能质量低劣的后果，譬如各种极其复杂的谐波污染、三相电压不平衡等等，都极大的危害了农村电网的安全可靠运行。

因此，开展对农村低压电网的电能质量监测已经成为一种必然趋势，以下是对农村低压电网进行电能质量监测的几点意义：

- ① 是保证农村电网甚至与其有联系的大电网安全、稳定、经济运行的必要条件，是电网运行水平高低的重要标志。
- ② 是提高农村经济效益、用电效益、改善电气环境的重要保证、促进农业、工业生产可持续发展的重要保证。
- ③ 是面向电力市场，适应竞争机制强有力的手段。

3.2 农村低压电网电能质量监测点的选择

电力系统是一个庞大的系统，从发电侧到系统末端的配电网侧，都存在很多不稳定因素，会不同程度的影响电能质量。

本节将首先从影响农村电网电能质量的因素着手，找出安装监测仪地点的基本原则，然后依据电网实际用电状况设立监测点。

3.2.1 影响电能质量的因素

(1) 电力系统谐波源

电力系统会产生谐波的设备即谐波源是多种多样的，主要的谐波源是具有非线性特性的用电设备。这些设备即使供给它一个完全正弦电压，负荷本身取用的电流也不是一个完全正弦的电流，即存在谐波电流。他们的谐波含量取决于他本身的特征和工作状况。基本与电力系统的参数没有关系。因此，可以看作是电力系统的谐波恒流源。这些设备主要是换流设备、电气化铁道、电弧炉、荧光灯、家用电器和各种各样的电子节能控制设备等。变压器的激磁回路也是非线性的电路，同样会产生谐波电流。荧光灯和家用电器虽然他们的功率不很大，但数量很大而且分散在各处，这种现象同样也能给电力网络造成谐波电流。

(2) 工业性负荷的影响

山东大学硕士学位论文

系统的负荷是千变万化的，因为大量的非线性负荷和各种冲击性负荷的存在，使得电力系统负荷侧的电力谐波源数量大大超过了发电端的谐波源数量和种类。根据90年代的一组统计数字可以说明（如表3-1所示）。在存在大型的工业负荷的供电中心，往往就存在以上我们提到的一些谐波源，比较经典的就是给电力系统供电电压造成影响的压缩机、电弧炉以及电焊机。一方面，这些谐波源功率很大，往往会在电力系统中产生谐波电压，产生破坏作用。一方面，这种大容量的电力负荷投入或者切除于供电系统时，就会在电力系统中产生较短时间的负荷冲击作用，从而造成电力系统电压的波动、发生电压闪变、电压的凹陷和凸起。

类型 比重%	综合性 中小工 业	棉纺工 业	化学工 业—化 肥厂、焦 化厂	化学工 业—电 化厂	大型机 械加工 工业	钢铁工 业
异步电动机	79.1	99.8	56.0	13	82.5	20.0
同步电动机	3.2		44.0		1.3	10.0
电热炉	17.7	0.2			15.0	70.0
整流设备				87.0	1.2	

表3-1几种工业负荷用电设备比重统计

注：比重按照功率计算；照明设备的比重很小，未在统计之列。

(3) 居民生活负荷的影响

除了部分负荷功率比较大的工业用户之外，随着人们生活水平的日益提高，家用电器的数量和类型也逐渐的增多，随着电子技术的飞速发展，非线性负载将逐渐增多，表3-2说明了农村用电中的典型用电设备情况。

用户类型	典型的用户设备
农村居民用电	电冰箱、电视机、电暖气、居民日常用电设备
农业生产用电	农作物烘干设备、电动机、灌溉设备
农村手工业	电动机、速度调节器、以及电动机控制设备

表 3-2 农村用电中的典型设备

山东大学硕士学位论文

(4) 配电变压器的影响

电力变压器是电力系统中一个重要的元件，它可以实现不同电压等级之间的转换，提高电力系统电能输送的效率。变压器激磁回路本身就是一个具有铁芯线圈的电路，如果不计磁滞的影响，当电磁铁芯未达到饱和时，这个电路就是线性的。当电压是正弦波时，它的电流也是正弦的，反之亦然。铁磁线圈饱和的程度越大，变压器对波形的畸变程度就越厉害。在正常的情况下，电力变压器是工作在线性区域之内的，它的饱和程度不是很严重，所以它产生的谐波并不明显，但是在夜间，尤其是在偏远的地区，由于运行的电压偏高，于是，铁磁的饱和程度就加重，又值是负荷较低的时间段，激磁电流的比重比较大，因此对系统的影响是比较大的。另外，文献【18】中还提到，在太阳的耀斑爆发引起的地磁暴在电力系统中的电磁感应电流（GIC），其基波周期可达6—15min，峰值在5—100A或者更高，它相当于在电力系统中注入一个准直流，使变压器的铁芯在半个周期内较深的进入一个饱和区，也会使电力系统的谐波电流和它的影响大为增加。

(5) 其他影响因素

电力系统的负荷是随着国民经济的发展和广大人民群众的生活水平密切相关的，国民经济的发展，必然会带来大量的工业性负荷和农业生产负荷的增。人民群众生活水平的好转，必将导致居民供电负荷的急剧增加。这种情况导致的结果是，在不同的区域将出现负荷绝对增加值的差异。增加随着时间的推移，这种没有预计并且不加控制的随机负荷的增加必然会破坏原有供电系统的三相平衡，出现供电系统的三相负荷的不平衡。随着时间的延长，这种不平衡的积累必将严重造成供电系统的三相不平衡，影响供电企业的供电，使供电质量下降。另外，供电系统是一个很庞大的系统，它包含有很多的元件。这些项目包括降压变压站、母线、整流装置、变压器、馈电线路、架空接户线、接户变压器和其他所有相关设备。使这些设备能可靠的运行对提高供电的可靠性，实现持续的供电是十分重要的。而实际的情况是，在供电系统存在很多的不稳定因素，或者是外力因素或者是其他认为因素，都可能导致设备故障使电力供应中断。

3.2.2 结合实际选取农村低压电网电能质量监测仪安装地点

通过对影响电能质量的各种原因的分析，本文总结了选择监测点的原

山东大学硕士学位论文

则，首先确定用户种类和用电量大小以及对电能质量的要求，见表3-3。

	用户种类	用电量大小	供电质量要求
1	农业排灌、农村副业（林、牧、渔）	25%	较高 （农业排灌的要求尤其受季节影响）
2	重工业（建材、冶金铸造、造纸）	20%	高
3	轻工业（化工、机械、服装、医药）	20%	高（尤其化工、精密仪器、医药）
4	其他行业（建筑、旅游、供销、仓储）	5%	一般 （但历城区南部旅游风景区也是济南市开展会议的重要场所，对供电可靠性要求高）
5	居民用电	30%	一般 （谐波污染复杂）

表3-3 农村用户分类与用电量大小

接下来，根据表3-3以及影响电能质量因素的分析，选取了监测地点，见表3-4。

安装地点	安装原因
重要工业用户、大用户	①用户拥有较多影响电能质量的设备 ②同时又对电能质量有较高要求
专线用户	用户对持续可靠供电有较高要求
乡镇所在地变压器	① 存在较多小工厂、小作坊，有较多电动机、电焊机在使用 ② 居民生活用电量较大，家用电器多
用电负荷较大的台变或配电室	台变所辖区域用电状况复杂，影响因素多

表 3-4 农村低压电网电能质量监测点

3.3 农村电网需要监测的电能质量指标

3.3.1 对供电可靠性的讨论

【20】提到，DIN EN 50160（德国工业标准）认为供电可靠性应该作为电能质量和其他别的电能质量特征同样对待。这是因为在高度自动化的今天，供电负荷中各种类型的断电对于现代的生产设备都是特别敏感的。即使是时间较短的停电也可以造成很大的经济损失。此外，对于家庭用户，由于电子控制的家用电器不断的增加，也是希望尽可能的不发生停电事故，

以保证各种用电设备的正常工作。虽然，用户的停电事件可以认为是供电系统的电压中断问题，但是，电压水平和用户停电（有时候停电并不一定就是因为电力供应系统的电压问题）是不同的两个概念。

3.3.2 结合现代农村用电实际扩展的电能质量指标

目前，在农村尤其是城乡结合地带，越来越多的中、小加工企业开始涌现，甚至越来越多的大工厂、大生产基地在近郊选址。这些用户对电能最大的关心就是希望少停电甚至不停电，因此，也可以说供电可靠性的提高是供电企业与用户之间的一种双赢。

经过上面的分析，我们将电能质量考察的范围扩大了。不仅包含了平时所谓的电能质量含义，还将用户的供电可靠性指标也作为电能质量的一部分拿来考虑。这样，不仅可以更加全面的衡量电力系统的运行情况，而且吸取了国外电能质量标准中重要的东西，有利于我国行业标准的优化、改进。在本方案中，就采用下列项目作为电能质量的指标。

- 电压水平
- 频率水平
- 谐波水平
- 三相不平衡程度
- 供电可靠性指标

对于前四项第一章已做了详细介绍，此处不再重复。以下将重点阐述有关供电可靠性的问题，从而把本方案涉及的电能质量指标完善起来。

3.3.3 供电可靠性指标

目前我国的低压可靠性的统计规则基本上是借鉴了中压用户供电可靠性的一些标准。在《供电系统用户供电可靠性评价规程》中，将中压用户供电可靠性指标分为主要指标和参考指标两大类。主要指标包括用户平均停电时间、供电可靠率、用户平均停电次数。这些指标直接反映了用户供电的可靠性，也是开展低压用户供电可靠性统计的主要指标。《规程》定义了如下进行低压供电可靠性统计的内容【21】

1、 低压用户平均停电时间

山东大学硕士学位论文

$AIHC = \Sigma (\text{每次停电持续时间} \times \text{每次停电用户数}) / \text{用户总数}$

2、低压用户供电可靠率

$RS = (1 - \text{用户平均停电时间} / \text{统计时间}) \times 100\%$

3、低压用户平均停电次数

$AITC = (\Sigma \text{每次停电用户数}) / \text{用户总数}$

文献【14】采用了另外的供电可靠性标准，对用户的可靠性标准有了更加细致的统计准则，这些标准除了能反映电力用户获得的电能质量情况，而且还能根据这些数据来判断系统缺陷。提到的各种标准具体如下。

1、系统平均停电频率 (SAIFI)

$SAIFI = \text{用户停电次数之和} / \text{停电用户之和}$

注释：此处的停电应该定义为连续性停电。SAIFI定义了在一个时间段里，一个用户的供电服务被中断的平均次数。

2、平均停电持续时间 (SAIDI)

$SAIDI = \text{停电持续时间总和} / \text{总的停电用户数}$

SAIDI定义了每个服务用户的平均停电持续时间。

3、用户平均持续停电时间 (CAIDI)

$CAIDI = \text{用户停电时间的总和} / \text{停电用户的总户数}$

CAIDI反映了在发生了持续停电后，恢复供电的平均期望时间

4、系统平均可靠供电标准 (ASAI)

$ASAI = \text{用户可靠供电的实际小时数} / \text{用户要求的供电小时数}$

ASAI反映了用户实际能获得的可靠供电的时间

5、暂时性停电事故发生率 (MAIFI_E)

$MAIFI_E = \text{用户发生暂时性停电事故总和} / \text{供电用户总数目}$

在一段很短的时间里，在同一个用户上发生一次、两次或者多次的暂

时性停电就称为是一次事故。为了能够连续性的供电而进行的一系列的断路器重合闸操作,就可以被认为是和这个断路器相关母线用户的一次事故。

6、 暂时停电发生频率 (MAIFI)

$MAIFI = \text{暂时性停电事故数目总和} / \text{供电用户的总户数}$

MAIFI 定义了一个用户在一段时间可能经历的暂时停电事故的平均次数。例如,当一个断路器断开两次并且每次都能自动重合闸,这就是馈线用户的两次暂时性停电事故。

从上述的几个公式来看,我国中低压供电可靠性中的几项标准在国外供电可靠性标准中已经被包含在内。

- 低压用户平均停电时间: $AHHC=CAIDI$
- 低压用户供电可靠率: $RS=ASAI$
- 低压用户平均停电次数: $AITC=SAIFI$

3.3.4 供电可靠性统计为农网带来的益处

(1) 供电可靠性向低压用户的延伸是加快电力企业发展的条件

用户供电可靠性是反映供电企业供电能力和供电质量的最主要的指标之一,是供电系统规划、设计、设备选型、施工、生产和运行及供电服务等方面水平的综合体现,目前我国只是统计到中压用户。随着市场经济和电网商业化运营步伐的加快,新颁布的《供电营业规则》规定在城市要实行一户一表制管理。尤其是国家在关于“两改一同价”的通知中要求,结合农网改造,在农村也要实行“一户一表”,实现城乡同网同价。因此,由供电企业直接管理服务、直接承担责任的低压用户数量将迅速的增加。作为以户为统计单位的可靠性管理若继续只统计中压用户将是不完整的,不能全面反映各类用户实际的供电可靠性。同时,在国际上,发达国家的可靠性统计、分析与管理向低压用户的延伸,是供电企业自身发展、提高广大用户供电质量以及逐步实现与国际接轨的必要条件。

(2) 优化配电网

文献【14】中,对供电可靠性准则做了较为详细的定义。并且根据统计的资料,对可靠性的数据和供电网络联系了起来。大量的统计数据表明,

山东大学硕士学位论文

供电可靠性数据中往往能说明供电系统存在的问题，并且从中找到了供电可靠性低下与供电系统之间的联系。如表 3-5 所示。

标准	典型的事故原因
MAIFI 暂时停电发生率	过大的 MAIFI 可能意味着网络需要进行调整，预示着需要进行分段协调工作来减少暂时停电的数目，也可能表示雷击保护或者是接地措施需要提高
CAIDI 用户平均持续停电时间	比普通的标准大，预示着在确定停电故障上存在困难，或者可能是维修的设备和材料不可用。也可能预示着存在着地下故障和变压器因为故障过负荷的趋势
SAIDI 平均停电时间	SAIDA 过大表明配电设备没有进行要求的保养，绝缘损坏和破裂很难检测到。也预示着数量巨大的地下故障或地下区域缺少交互反馈
MAIFIE 暂时性停电事故发生率	可以用来衡量用户对于公共事业服务和操作的抱怨和不满，其过高的原因与 MAIFI 相同
SAIFI 系统平均停电频率	与 MAIFI 和 SAIDI 相同

表 3-5 供电可靠性和系统之间的关系

从上面的表格中我们可以看到，如果我们选择的可靠性标准是上面所述的数据，而且数据量又是足够的充足，就可以从侧面反映出供电网络中的问题，从而发现并解决问题。因此进行农村低压用户可靠性的统计和分析的意义也就不言而喻了。

(3) 为新型可靠性准则提供数据支持

电力网络的供电可靠性，目前仍沿用 N-1 准则，这样的标准在分析系统的可靠性上存在一定的缺陷。这种不足之处在北美、法国、意大利以及德国都引起了广泛的关注和研究。研究的共同目的是在于将供电可靠性进行量化，并且定义出比较合适的设计准则。经过实践，将实际停电是由用户的事件还是故障事件引起的加以区分，是有着很大意义的。在文中预测了几种将来可能会被应用到的可靠性准则。如表 (3-6) 所示。

任务及时间区域	发电厂	输电网和配电网
原理设计	概率性准则	具有费用估计值的概率性准则
结构设计	概率性准则	具有故障事件边界值的概率性准则、具有多个目标功能的优化
运行规划	概率性准则	(n-x) 准则
运行指令	概率性准则	(n-x) 准则

表 (3-6) 未来可能使用的可靠性准则的预测

我们可以看到，在上述的几种准则中，暂且不管电厂的可靠性准则标准。在配电网进行原理设计和结构设计时，都采用的是概率性准则。他们的基础都是建立在低压供电用户的各种概率基础之上的，因此，我们对农村低压用户的可靠性进行统计和分析，对于将来实施更加准确的可靠性分析准则将会起到基础作用。

3.4 方案的参考依据

3.4.1 电能质量监测的硬件环境设计的参考依据

本文在参考国内使用的诸多电能质量监测PQM (Power Quality Monitoring) 系统后，决定把下面的PMQ硬件环境作为将来规划设计的依据。

电能质量硬件环境框图如图3-1所示【22】。

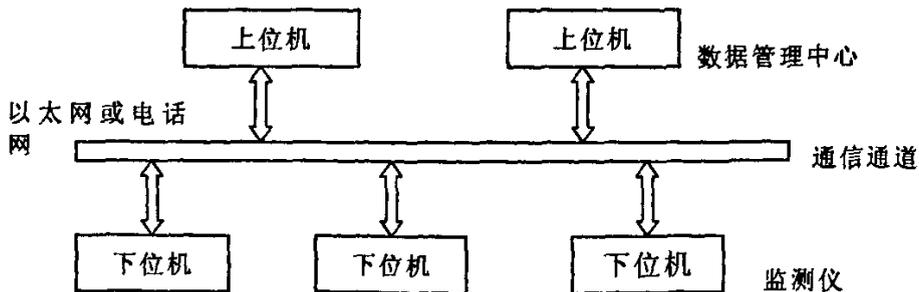


图3-1 电能质量监测的硬件环境

该种硬件环境有3层：

终端监测仪(又称下位机)、通信通道和数据处理中心(上位机)。

a. 监测仪：分立型，采用单片机或数字信号处理器DSP(Digital Signal Processor)技术，带有6-8个测量通道，满足一个测量点的三相电压、电流测量，带有存储卡作为数据存储；集成型，采用工控机或扩充DSP技术，可扩充到32路以上测量通道，满足多点三相测量，用硬盘存储数据。组网时所有监测仪应具有对时功能，与中心计算机同步。高层次的通过GPS同步。

b. 通信通道：PQM利用现有的通信系统，分立型通过Modem拨号或以太网下载数据。要求监测仪有RS-232串行接口，当通信出现故障时可直接在测试现场下载数据。Modem拨号适应点对点的操作。以太网方式便于组建大的监测网。

c. 上位机：作为PQM的数据管理平台，直接接受下位机上传数据。以太网需要专门的服务器。Modem方式不需要专用服务器，上位机也就是客户机。分立型具有紧凑的内部结构，适应移动式的测量。在组网监测时，由于本身数据存储容量较小，需要定期上传数据。作为一地多点监测时投资成本较大。集成型具有通道扩展功能适应定点监测，一地多点监测时投资较少。且本身带有硬盘，可保存数据一年以上。即使通信出现故障也可到现场下载数据，在边远地区变电所的多点监测或大范围的组网监测时有其优越性。

3.4.2 电能质量监测系统中数据管理系统的参考依据

PQM的数据管理、分析是整个电能质量管理的核心【22】。简单的监测网可在上、下位机之间通过Modem建立点对点的联接。每台上位机备有应用软件，根据自己需要建立相应的数据系统。各上位机是相互独立的，上、下位机之间联系是内部公开的。大型监测网可采用以太网方式完成数据交换，下位机测量数据上传服务器(上位机)集中处理。

用户层从服务器取得数据。不管采用哪种方式。都涉及到庞大的上传数据的管理。能够以最简单的方法得到想要的资料，包括长时期的各种历史数据资料，是管理软件的任务。

本文提出主从文件的数据管理方式。通过目录检索数据库、核心数据查询、动态报表组合完成数据管理，具有灵活、简捷的特点。

a. 检索数据库。下位机以小时为单位上传每分钟记录的标准二进制文件放入上位机的指定数据区。上位机在处理标准二进制文件时产生相关的从属文件。标准二进制文件每小时字长约19 kB(通信传送压缩至1/3), 含每分钟记录的所有电能质量指标。日从属文件是每日各电能质量指标的统计结果(最大值、95%、平均值), 包括相应的基波运行参数, 字长约3 kB。同理可建立月从属文件、年从属文件。以日从属文件中的核心数据建立目录检索数据库, 并以特征地址与各个数据文件链接。通过目录检索数据库的核心数据查询得到想要的数据库, 如同图书馆按目录查找书籍一样。主从文件的管理方式如图3-2所示。

b. 核心数据查询。成为核心数据的是日统计值, 谐波只取电压总畸变率。检索方式为各项电能指标, 如电压总畸变率、电压偏差、闪变、负序等作为数据文件的参数索引。选中某测试点一项电能指标后, 第一层检索通过参数索引调用所有相关日从属文件中的该项指标值组成日统计值队列, 用趋势图表示。根据想要的数据库种类(日详细资料、监测点日报表、全网日报表), 并选择相应日期, 作为第二层数据文件的参数索引, 对应资料即以图形、表格形式出现。其检索方式如图3-3所示。

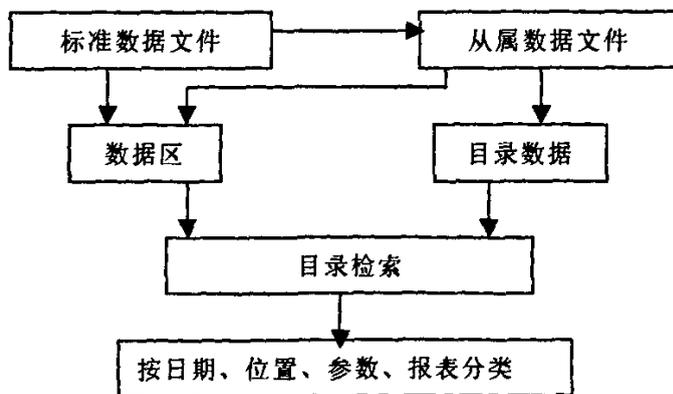


图3-2 主从文件管理方式

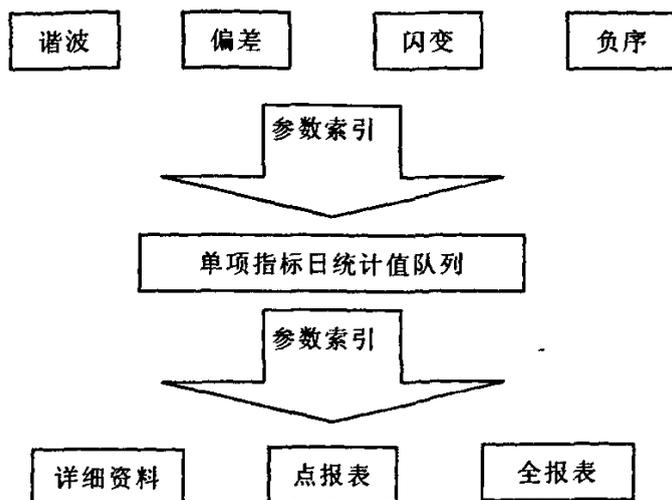


图3-3 对主从文件两层检索方式

统计队列提供了该项电能质量指标强弱的直观认识，以此为基础查看测量的详细数据资料，目的明确、选择性强。

c. 动态报表组合。报表管理是PQM应具备的重要功能。它涉及基础数据的调用、数据输出和查询等各方面。管理部门和用户对报表有不同要求。电力调度部门强调频率和电压偏差指标，供电营销部门关心谐波、负序和闪变是否超标，用户更关心电能质量扰动出现的时间段。并且需要通过报表管理历史数据以及更新数据。因此提出动态组合报表的建议。报表处理系统结构见图3-4。

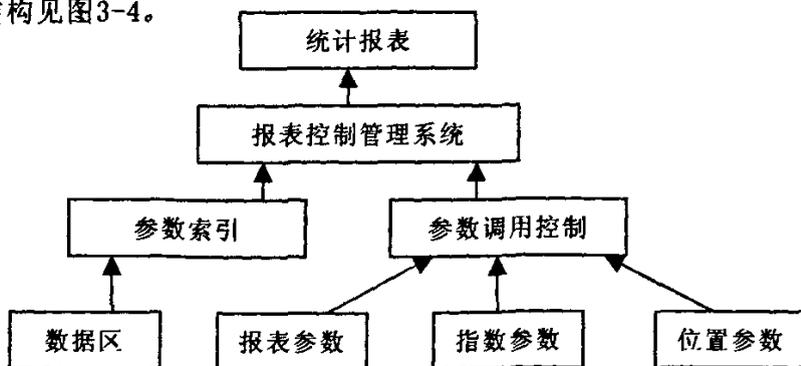


图3-4 报表处理系统结构

数据区由前面所述主从数据文件组成，并按监测网、变电站、监测点、主从数据文件逐级管理。数据区数据经过参数目录索引到达报表控制处理

山东大学硕士学位论文

系统中的报表数据库,该数据库管理所有监测点日报表(或月报表、年报表)资料,日报表可为同一日期也可为不同日期,由报表控制处理系统管理。报表库的资料不一定全部在统计报表中出现,它接受参数调用控制。

动态报表组合的特点主要体现在对所定义报表内容的快速生成。采用以下技术:

- a. 根据PQM数据统计的不同要求,系统自制统计报表;
- b. 多行复杂表头的智能生成技术;
- c. 利用报告期的前期数据自动装填功能技术;
- d. 数据源的迅速定位处理。

动态报表组合为积木式报表结构。不同选择项(如测量位置、电压等级、指标分类、越限值等)对应报表中的信息块,信息块是可以拼装的。通过简单的“流程式”向导组合选择项,从而组合成积木式报表【23】。

4. 监测系统规划与设计

4.1 系统目标

4.1.1 设计宗旨

(1) 对电能质量监测的目的是为生产运行和电能质量治理服务;系统自动形成统计报告,超标情况报警报告,以便分类管理,针对治理。

(2) 系统是开放的:

- ① 测试的工作方法对系统操作员是开放的。系统操作员可根据负荷性质重点监测指标,报警限值,可根据负荷性质定义观察窗口宽度;
- ② 监测方法可根据国标修订情况及时变更,主计算机处理芯片预留有充分的工作余量,软件升级无须更换硬件;
- ③ 数据、报告的格式是开放的。操作员可以自行定义报表格式。

(3) 系统是可扩展的

- ① 各监测点的监测仪留有标准的通讯接口,可实现与控制系统的接口,以便扩展监控功能;
- ② 网点的扩展不受限制;
- ③ 管理分析计算机的综合信息可通过互联网远程传送。

4.1.2 系统目标

农村低压电网实时监测管理系统主要针对区县级供电局目前存在的一些电能质量情况,解决电力用户和电力部门对电能质量日益增长的新需求,应用远程通讯等先进的技术手段,对 10KV 以下的低压电网实施全面监测,为农村低压电网的科学运营和管理提供一种有效的、全天候的、实时全面的参数监测分析工具。

通过对配电变压器和大用户的实时监测和分析,及时发现不稳定的运行状态和参数,提高低压电网的运行质量和可靠性。同时进行各种电能质量指标统计和分析、并对电压合格率、供电可靠性进行统计,努力使电力企业取得良好的经济效益和社会效益。

通过本监测系统的运行，能够积累电力污染原始资料和电能质量管理经验，提高系统各级人员及用户对电力污染及其危害的认识，以利于电能质量监督及治理工作的顺利进行，促进电网安全经济运行水平的提高。

4.2 系统总体规划方案

借鉴已有的分布式电能质量监测系统，本文提出针对农村低压网络的分布式电能质量监测系统。组成图如下：

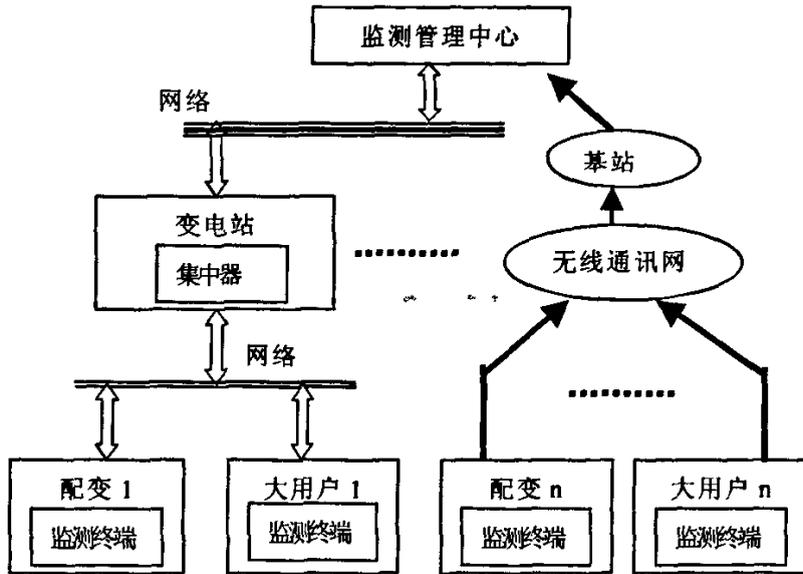


图 4-1 农村低压电网电能质量监测系统

本方案中，在配变、大用户、专线用户端安装的是电能质量监测系统的终端装置，设置在对需要对电能质量进行长期、实时监测的农村低压网络配电变压器或配电室，以及重要用户、专线用户的供电端。监测终端由数据采集器和微处理器构成，采集器用于对电压、电流进行同步采集，微处理器用于对采集数据进行计算、存储、统计分析和管理。监测终端的数据可以有两种通讯方式，①是通过网络将数据传送到配电线路所属的变电站集中器中。集中器负责对分散在现场安装的监测终端设备采集的电能质量数据进行采集，并送到数据库服务器中的数据库管理系统进行存储及处理。②通过GPRS无线通讯网络把数据直接上传到主站的网关计算机。

需要强调的是本方案在参考其他监测系统的基础上进行的扩充的一点是：增加了集中器这一层。目的是能把不同变电站出线所带负荷区分开来，

其目的是更有利于进行电能质量的分析；其次通过集中器向监测管理中心传输数据更可靠、实时性更强。

另外，结合农村电网的自身特点，本方案对分布式监测系统提出了更进一步的监测思路，就是针对某些特殊低压用户的需求以及对电网技术指标的考核，采用临时性可移动的电能质量监测设备（便携式监测仪），不定期的对电能质量进行监测。

4.3 方案涉及的几个重点

4.3.1 监测终端

(1) 监测终端的硬件实现流程图4-2所示

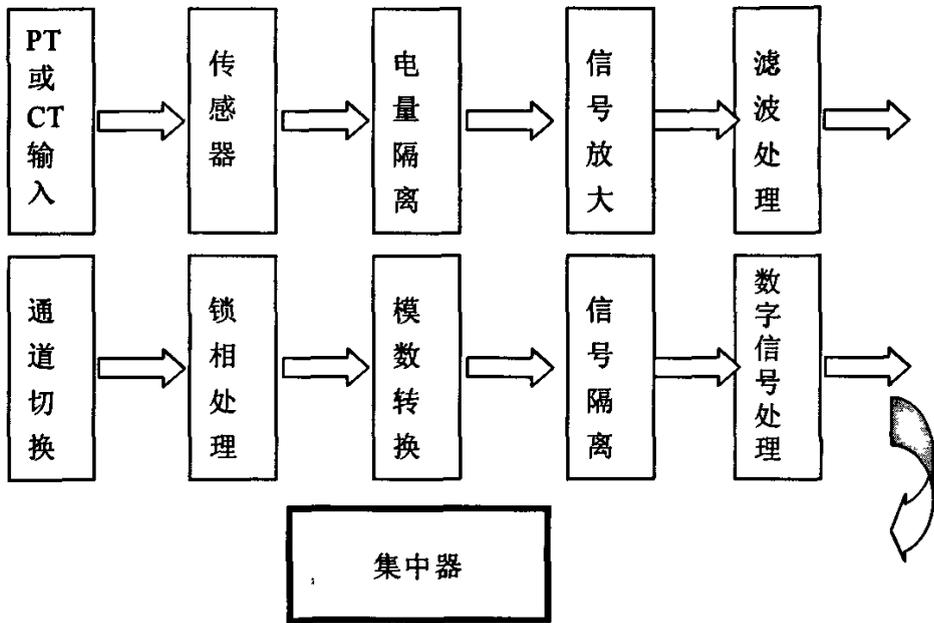


图4-2 电能质量监测终端硬件实现流程图

监测终端需要完成的任务：对外部输入电压电流信号连续采集、计算，数据暂存，测量电压、电流、有功功率、无功功率、视在功率、功率因数、50次谐波（THD、每次谐波含量）、频率、闪变、正序分量、负序分量、三相不平衡度等电能质量参数，然后把数据实时传送至集中器。

(2) 监测终端的测量方法【24】【25】

① 测量频率

频率测量是通过测量电压信号周期的方法实现。通过监测输入信号波形的过零点，采用倍频计数方法计算出信号波形的周期。在此基础上可方便的计算出频率的合格率。由于系统频率经常变化，为保证在被监测信号的一个周期内等间隔采样N点，A/D转换的启动脉冲 f_s 必须能跟系统频率 f_1 的变化，即实现同步采样，保证以下关系的成立： $f_s=Nf_1$

② 测量电压波动与闪变

对电压波动与闪变的计算，根据IEC868提出的原理，将输入信号通过平方解调器、转折频率为0.05HZ和35HZ的带通滤波器、中心频率8.8HZ的加权滤波器，再经过平方器、一阶平滑滤波器后获得输出信号。

③ 测量三相不平衡

三相不平衡测量采用对称分量法。对采样数据进行快速傅立叶分解（FFT），求出其离散的频谱序列，在此基础上，进行相序分解，利用对称分量法，求出各组分量正序、负序和不平衡度。

④ 测量电压偏差

$$U_{rmsk} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (U_k)^2}$$

对采样数据进行方均根运算，计算被测电压信号的有效值，与额定值作比较，求出电压偏差。

⑤ 测量谐波

对采样数据进行快速傅立叶（FFT）变换，求出其离散的频谱序列，根据计算结果，可方便的计算出各通道信号的1-50次谐波。

4.3.2 集中器

在监测系统终端与监测管理中心之间，有一个中间层设备，称为集中器，它安装于每个变电站内，对变电站所属线路安装的监测终端进行实时的数据采集。集中器是采用微处理器技术和RS4585通讯技术开发设计的一种工业测控仪器，它存储量大、集成度高，配合监测终端，能够完成对电能质量相关数据的采集、测量、计算、传输、存储等大量工作。

同时，集中器还能够接收监测中心的命令，依次将各监测终端的数据

山东大学硕士学位论文

存储后通过公用电话线或专线或其他通讯手段将数据实时传送至检测管理中心，以便管理中心进行数据处理和控制。

4.3.3 监测管理中心

在本方案中提到了监测管理中心，为了能更清楚的说明这套方案的实用性、可靠性，在这里有必要将监测管理中心所应具备的功能列举出来。

- 1) 监测仪管理功能：对所辖变电站电能质量集中器中的数据进行监控和管理。
- 2) 监视和测量功能：对上传的数据进行分析处理，可监测任一终端和重要用户的各项电能质量信息，并存储、显示这些信息。
- 3) 统计、分析、和处理功能：对所辖电网各监测点的电能质量信息进行记录和统计，并作进一步的分析、处理，为电网运行建设和事故分析提供正确的历史数据，可自动生成监测报告，包括各种测量结果、相应时间、超标时段等必要信息，并以波形、频谱、趋势图及报表的形式输出。

4.3.4 软件体系

要真正实现系统的设计目标，必须根据系统本身的物理特点，合理的规划和设计软件体系的体系结构。本系统的主要特点表现在以下几个方面：

- 终端装置为单元化结构，并具有多样性；
- 通信方式具有多样性；
- 系统本身具有物理层次结构特点；
- 本系统可以作为整个 PQM 系统的一个子系统，将与其它应用系统共享数据资源。

鉴于上述特点，软件系统设计采用了横向分布、纵向分层的体系结构。所谓横向分布，是指面向对象的组件化的软件构造，构成整个软件系统的对象组件分布在网络内部的不同计算机平台之上，如此可以很好地保证系统的可扩充性和可维护性，具体讲，就是系统可以方便地支持多样化的终端装置的接入，支持各种各样的通信方式；所谓纵向分层，是指层次化的软件构筑体系，上层构筑在低层之上，底层为高层提供服务，如此，可以充分保证系统的可维护性【26】【27】。

4.3.5 通讯连接方式

通信联接方式是指监测终端、集中器和监测管理中心之间的物理通信连接媒介的选择。

对于各部分之间通信方式的选择,应根据本系统的物理结构特点及现场的实际情况进行科学的技术经济分析,在保证满足系统对通信性能要求的前提下,选择技术经济指标的最优的方案。

(1) 变电站内集中器与管理中心之间的通信方式:变电站与主站之间均已建立自动化通信信道,可以采用现有的通信信道(如微波、光纤等)。

(2) 监测终端的上行数据通信方式。可以采用如下两种方式:

a) 监测终端 \longleftrightarrow 集中器 \longleftrightarrow 主站系统

这种方式主要特点是监测数据先到监测点所属变电站集中器,再到主站系统,这样将数据通信的负担按物理层结构次分配到各站内计算机,可以减轻主站通信处理的负担。同时可以以变电站为单位,在配电变电站内子系统的计算机上执行各种业务应用分析功能,比如,该变电站所属线路的有关数据分析、统计等功能。这种方式主要适用于那些已经在变电站与配变台架、大用户之间建立了光纤通道的情况。因为光纤的通信容量、通信可靠性、传输性能等比其他通信方式,均具有明显的优越性,所以,在此情况下,直接利用现有的光纤实现通信,在技术经济各方面考虑,都将是最佳的选择。

b) 监测终端 \longleftarrow ————— \longrightarrow 主站系统。

这种方式是将具有明显地理分布特征的监测终端通过租用无线移动通信网的通信信道资源实现监测终端与主站之间的直接通信。事实上,通过无线移动通信网(GSM或GPRS),把众多沿配电线路分布的监测终端和主站系统中负责通信处理的通信网关计算机联接成广域网,而主站的通信网关则起到将该广域网与主站局域网络隔离开的作用。GPRS是一种通用分组无线业务,它是一种基于GSM系统的无线分组交换技术,提供端到端的、广域的无线IP连接。相对原来的GSM的拨号方式的电路交换数据传送方式,GPRS的分组交换技术,具有“实时在线”、“快捷登录”、“高速传输”、“自如切换”的优点。

以上给出的两种方式,是本系统适用两种方式,根据现场的具体情况,

可以采用两种方式的任一种，或混合采用两种方式。

通信方式的选择，是物理连接方式的选择，软件系统的设计，应可以支持任一种物理通信方式，或者说，软件系统应具有与通信媒介的无关性特点，应可以透明地支持任一种物理通信方式，这是靠软件系统的层次结构设计来实现的。

4.4 硬件构成的设计与实现

由于本文的研究方向是对农村低压电网的电能质量监测做一种规划方案，因此，硬件的具体设计不属于研究的主要内容，但为了完善起见，以下简要介绍一种监测终端的硬件构成。

基于DSP的电能质量监测仪简介【28】

基于T1公司TMS320F240 DSP芯片的电能质量监测仪它能实时提供电压、电流、有功功率、无功功率、频率等电能质量的基本参数，而且能对电力系统的谐波、三相电压不平衡度、电压闪变等电能质量指标进行分析，为电力部门对电能质量的监测提供了强有力的支持。

整个电能质量检测仪的硬件原理如图4-3所示。

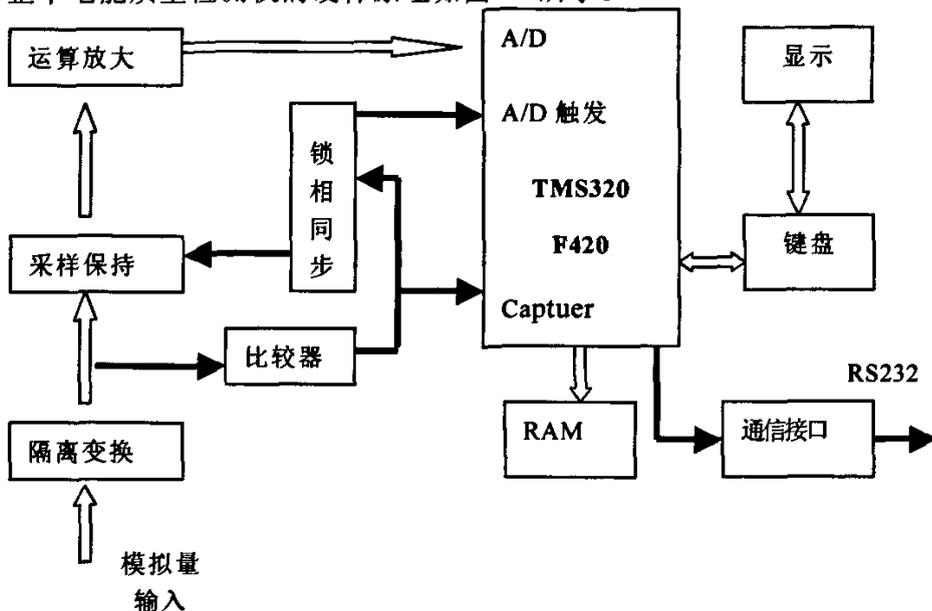


图 4-3 基于 DSP 芯片的硬件原理图

该硬件由隔离变换单元、采样保持单元、运算放大单元、比较单元、锁相同步单元、数据处理单元(DSP)、数据存储单元、键盘显示单元、通信

单元等几部分组成。模拟信号经传感器隔离变换后进入采样保持单元。为了保证采样的同步性,采用了倍频锁相技术,取一相电压信号经比较器(LM311)输出跟踪电网的频率的方波信号作为锁相环(CD4046)的输入信号,同时也是频率监测的信号源。方波信号经锁相环倍频后,作为采样保持器(LF398)采样保持和A/D转换的触发信号;模拟信号经运算放大单元后,接入数据处理芯片的A/D转换引脚,进行A/D转换和数据处理。采用的DSP芯片是TI(德州仪器)公司的TMS320F240,它高性能的DSP内核和丰富的外设为仪器功能的实现提供了极大的方便它内含两组S路10位A/D转换器,转换速度达100kHz,而且有多种采样启动方式:(1)程序启动方式,(2)事件管理器启动方式,(3)外部引脚触发启动方式。这里采用第三种方式,每次触发后依次对模拟量进行采样,并将采样结果存入数据存储器RAM。因F240内含16K FlashROM,已满足仪器对程序存储器的要求,所以无需外加EPROM,简化了DSP的外围电路,而它内含544x16位片内数据/程序双口RAM,极大地提高了数据处理的速度。通信端口RS232是用来传输仪器与PC机之间的数据和命令,便于将经DSP处理后的数据传输给PC机作进一步的分析处理,或用PC机对仪器实现远程操作控制。

5. 监测系统应用前景展望

虽然，本文只是对农村电网的电能质量监测进行了规划，但目前由于农电企业越来越重视电能质量问题，过去单一安装在变电站的简单的电能质量监测仪已经不能适应时代的发展，电能质量实时监测分析系统的应用势在必行。同时随着农村电网远程集中抄表系统的普及以及负控系统的安装，相信在不久以后，借助已有的抄表及负控系统通讯方式，电能质量监测系统会很快被采用。

既然是规划，当然也需要采用一些实际用户或台变进行论证，以证明这套系统的可实施性和实用性。为此，本文拿出本人所在单位的两处地方作为模拟的设计方案。

5.1 南部山区电能质量监测

济南市历城区南部山区目前已成为济南市民的后花园，很多人周末的休闲娱乐场所就是南部山区的旅游风景地。另外，四季村、七星台宾馆也是市委、市府以及很多单位召开会议的场所，因此，该地区的供电可靠性问题不容忽视。

基于这一点，在监测方案中，首先选取四季村、七星台所属配电变压器作为监测点，其次选取几个重要游乐场（譬如滑雪场）作为监测点，监测的重点就是供电可靠性的一系列指标。目的是通过对这些监测点的实时监测，再结合变电站设备的实际运行状况、检修情况，以及这些用户的实际用电规律，制定完善的运行制度和检修停电计划以及电网改造计划，从而确保供电可靠性。

另外，在该方案中，可以因地制宜把监测终端的硬件系统设计的简单一些，只需要完成电压合格率、谐波等基本数据监测，从而降低监测终端的成本。

这个方案的通讯方式是采用的本文中介绍的第一种通讯方式，利用变电站已有的光纤通讯通道：监测终端——→仲宫变电站集中器——→主站

5.2 110KV 郭店变电站所属线路的电能质量监测

本人所在单位的郭店变电站供电量最大，大用户最多的一个变电站，

山东大学硕士学位论文

因此本文将以郭店变电为例，进行电能质量监测的规划。

首先把由郭店变电站供电的重要用户列举出来。

序号	用户名	线路名	用户容量 (KVA)	电能质量对用户造成的影响
1	齐鲁药厂	郭齐线	5000	会出现低劣药品
2	济南通讯电缆厂	郭郑线	3200	出现废品
3	鲍德钢结构有限公司	鲍钢线	2000	出现不合格产品
4	济南鲍德炉料厂	郭矿I线 郭矿II线	4000	出现废品
5	郭店镇	新风线	1000	由于是针政府所在地，有学校、商店、小型加工厂等，对电能质量有要求

通过这个表格，我们就可以首先确定安装监测终端的地点，另外，还有一些供电量大的台变本文未列举，需要根据实际情况决定是否安装。由于目前，郭店供电所正在对所辖线路开展 GPRS 远程抄表工作，因此，在这一方案中可以选用第二种通讯手段，借助已有的 GPRS 进行数据传输。

为了能更好的说明 GPRS 通讯技术在电能质量监测中的应用，本文把 GPRS 的应用典型附在论文中最后的附图 1 中。

6. 结论

电能是现代社会的广泛使用的能源，随着农村经济的飞速发展，在农村低压网络开展电能质量监测工作已经是势在必行。

本文通过对济南市历程供电公司农村电网的具体分析，结合一些实用的电能质量监测系统，设计出一套适合于农村低压电网的电能质量监测管理系统。

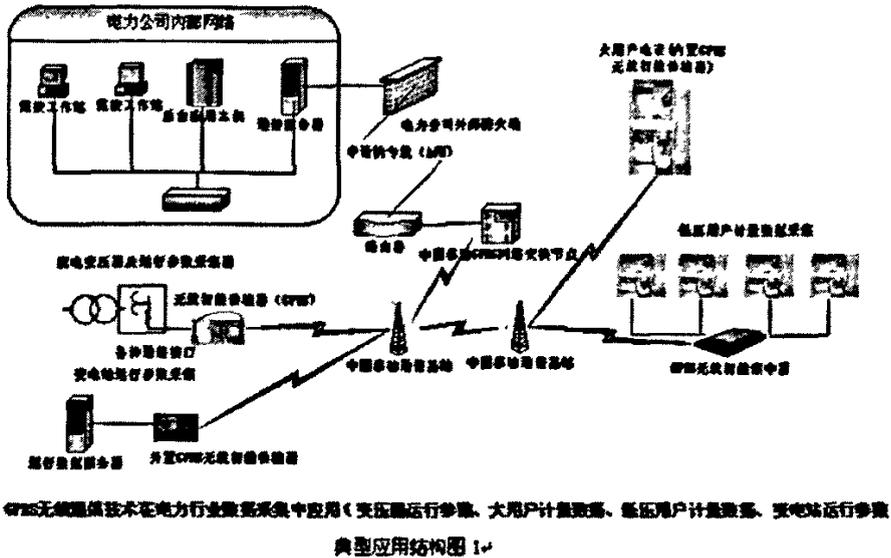
通过对该系统的规划设计，我们得出以下结论：

1. 系统的开发要综合考虑实用性与先进性，在充分考虑农村低压电网实际的前提下，实用性是第一位的，要促进管理水平上等级、出效率。既反对盲目追求超前技术的所谓“一步到位”，从而增加系统投资和延长系统开发时间，同时也要考虑所开发的系统在一定周期内保持系统的相对先进性，使系统的投资得以充分利用。

2. 要充分利用目前计算机技术的飞速发展以及现有的各种通讯手段，综合分析，严格论证，选择最优的网络结构和软件平台，同时要尽可能利用现有资源，在节约投资的基础上，保证系统的快速开发和稳定运行。

3. 在系统投入正式运行的过程中，一定要加强使用人员的培训工作，只有他们真正掌握，系统才能在实践中不断完善。

附录



附图一：GPRS 技术在电力行业中的典型应用

山东大学硕士学位论文

参考文献

- 【1】 Glossary of terms and definitions concerning electric power transmission system access and wheeling (R) [s.1]:IEEE Power Engineering Society,96 TP110-0
- 【2】 DUGAN R C,MCGRANAGHAN M F,WAYNE BEATY H, Electrical power systems quality [M]. New York, USA:Me-GmwHill,1996.
- 【3】 DEGENEF R C,BARSSR,RAEDY S. Reducing the effect of sage and momentary interruptions:a total owning cost prospective[A];. IEEE ICHQP IX[C]. Orlando,USA:IEEE/PES.2000. 397-403.
- 【4】 IEC 61000-3-7,Electromagnetic compatibility(EMC) —Part
- 【5】 MEDEIROS C A G, OLIVEIRA J C. Effects of voltage fluctuation associated to flicker limits on equipments per-formance[A]. IEEE ICHQP X[C]. Rio de Janneiro,Brazil: IEEE /PES, 2002. 213-218.
- 【6】 C14EN Ming-tang,MEUOPOULOS A P S. Wavelet-based algorithm for voltage flicker analysis[A]. IEEE ICHQP IX[C]. Orlando, USA: IEEE/PES,2000.732-737.
- 【7】 ROBERT A. Supply quality issues at the interface between power system and industrial consumers[A].IEEE ICHQP VIH. [C]. Athens: IEEE/ PES,1998:182-189
- 【8】 Daponte P., Di Penta M., Mercurio G. TRANSIENTMETER: a distributed measurement system for power quality monitoring[A].Harmonics and Quality of Power, 2000. Proceedings. Ninth International Conference on[C]. Orlando, FL, USA: 2000, vol.3:1017-1022
- 【9】 Ananth I., Morcos M. M. A power quality monitoring system: a case study in DSP-based solutions for electric power industry[J]. IEEE Power Engineering Review, 1999, 19(7):47-50
- 【10】 Maries H., Fagarasan T. Power quality monitoring concepts and projects in Romania: a national approach[A]. Power Quality' 98[C]
-

山东大学硕士学位论文

【11】 Hyderabad, India: 1998, 283-284 McGranaghan M. Trends in power quality monitoring[J]. IEEE Power Engineering Review, 2001, 21(10):3-9, 21

【12】 McEachern A. Roles of intelligent systems in power quality monitoring: past, present, and future[A]. Power Engineering Society Summer Meeting, 2001 [C]. Vancouver, BC, Canada: 2001, vol. 2:1103-1105

【13】 MIELCZARSKI W, WASILUK-HASSA M, SAMOTYJ M J. Power quality in electrical market[A]. Proceedings of The 6th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization[C]. Cracow, Poland: [s. n.], 2001. 363-368.

【14】 Rush. Robert. J. Customer oriented reliability indices and data collection. Proceedings of the 1999 43rd IEEE Rural Power Conference. PP. A1-1—A1-8.

【15】 吴竞昌. 供电系统谐波[M]. 北京:中国电力出版社, 1998. WU Jing-chang. Harmonics in supply system [M]. Beijing:China Electric Power Press, 1998.

【16】 张晶. 多谐波源系统谐波迭加方法的研究[1]. 电网技术, 1995, 19(3):22-27

ZHANG Jing. Studies of harmonics superposition method in multi-harmonic sources system [1]. Power System Technology, 1995, 19(3):22-27.

【17】 孙树勤. 电压波动与闪变[M]. 北京:中国电力出版社, SUN Shu-qin. Voltage fluctuation and flicker[M]. Beijing: China Electric Power Press, 1999

【18】 《电力系统稳态分析》陈珩. 水利电力出版社 1985

【19】 宋俊寿, 颜凤琴新型多功能三相电能质量监测管理系统[J]. 电力系统自动化. 1996, 20(4): 12-15

【20】 董昕, 王林, 杨继勋. 电能量采集及计费自动化系统设计. 《电力

山东大学硕士学位论文

系统自动化》 Vol. 24, NO. 7, 2000 PP. 7-10, 18

【21】王立。农村电网谐波问题分析及对策。《华北电力技术》NO. 7, 2000 pp. 33-34

【22】刘俊勇, 杨洪耕, 肖先勇。电能质量监测与数据管理。《电力自动化设备》Vol. 24, NO. 2, 2004 PP. 1-4

【23】马文营, 张巍, 杨洪耕。电能质量监测系统统计报表的设计与实现 [J]. 继电器, 2002, 30(12); 48-50. MA Wen-ying, ZHANG WEI, YANG Hong-geng. Design and implementation of statistical report processing system of power quality monitoring system[J]. Relay, 2002, 30(12) 48-50.

【24】林海雪主编。电压电流频率和电能质量国家标准应用手册[M]. 北京. 中国电力出版社, 2001

【25】林海雪。现代电能质量的基本问题[J]. 电网技术, 200125(10): 5-10

【26】陈佳 编著 信息系统开发方法教程 清华大学出版社

【27】张海藩 编著 软件工程导论 清华大学出版社

【28】施奕平、吴国安。基于 DSP 的电能质量监测仪. 电测与仪表. Vol. 39 No. 433. Jan. 2002

山东大学硕士学位论文

致谢

本文从选题、现场调研、系统分析、方案设计到最终完成全文都是在导师孙莹教授的严格要求和悉心指导下完成的。导师既严格要求、精益求精，又理解支持、关爱有加，具有无穷的人格魅力。其严谨的作风和求实的态度都深深影响了我，感动了我。值此机会，向导师致以深深的谢意！