

电能质量监测系统的设计

缪顺兵 熊光明 李永萍

(厦门大学机电系, 福建 厦门 361005)

[摘 要] 随着社会的进步, 工业农业的快速发展, 电力发展是必不可少的。随着非线性负荷及冲击性负荷的增加, 电能质量严重超标, 正在大范围地污染供电环境, 危及电网及其供电设备的安全稳定运行, 降低电力企业的经济效益, 因此有必要对电能质量进行实时在线监测, 及时了解电网电能质量水平, 以便采取措施改善、提高供电质量。作者针对目前存在的高次谐波问题, 对电能质量参数进行长期监测和分析, 文章着重介绍了该系统的硬件工作原理、结构、功能、部分硬件设计及部分软件的设计。

[关键词] 电能质量; 监测装置; 滤波器; 快速傅立叶变换法

监测仪器是用户提取现场信息、了解现场运行状况的主要工具。电能质量监测仪对电网信息进行实时监测, 为用户提供电能质量和基波电量等信息, 方便用户了解电网运行情况。随着电力的发展和人们对电能需求及供电质量要求的不断提高, 电能质量监测仪必将得到越来越广泛的应用(如各级变电所、电厂, 以及各大中型工厂、用电大户, 或对用电质量要求很高的各种科研院所。目前世界上最先进的基于 IGBT/IGCT 的高压变频设备, 各机组的整流负荷 IGBT、IGCT、可控硅等) 产生的高次谐波含量大, 这些高次谐波电流将导致母线处电能质量超过规定值。高次谐波问题和无功冲击问题对安全稳定生产影响很大, 因此配电系统配置了谐波滤波与无功补偿装置。并且实时监测配电系统状况, 笔者设计了一套电能质量实时监测系统, 能精确测量现场的电能质量, 使用户可以很容易分析出发生电能质量异常情况的原因, 从而进行有效的监督和治理。

一、研究目的和意义

(一) 电力是现代社会使用范围最广, 使用价值最高和用量最大的产品之一

随着现代科学技术的发展, 电力系统中各种非线性、冲击性和不对称性负荷的不断增加, 使得电网中的谐波污染、三相不平衡度、电压波动和闪变等情况日益严重。电能质量差一方面不利于电力系统安全运行, 会加速系统的绝缘老化、缩短电气寿命、增加电网损耗、降低电气设备的效率和利用率、影响继电保护和自动装置以及通信系统的正常运行, 并给电能质量要求较高的行业, 如高性能家用电器、办公设备、精密实验仪器、精密生产过程的自动控制设备等, 会产生严重的影响造成巨大的经济损失等。

(二) 随着电力市场化和电能质量的法规化

电能质量的好坏将直接影响到供电公司的市场占有率, 例如: 有许多带新型微处理器和电力电子器件的负荷设备对电能质量要求较高, 有些企业在签定用电协议时要求供电公司提供优质高价的电能。因此, 建立一个电能质量在线监测网络, 及一套统一开放的监控和管理平台, 能够及时分析和反映电网的电能质量水平, 以便找出电网中影响电网质量的原因, 并采取相应的整改措施, 改善现有供电系统的供电质量、降低电能损耗、保证电网的安全可靠、经济运行是很有意义的。

二、系统设计与实现

(一) 系统功能

系统采用具有高频响应、高精度和隔离性能良好的传感器, 采用多线程方式同步进行数据采集、分析和处理, 监测结果可通过本地机器与远程数据库进行存储, 监测结果和统计报表可通过屏幕和打印机与网络等多种方式进行输出。该系统是基于工控机采样、计算和分析的软、硬件相结合的监测系统, 可在线实时监测电网的负序和谐波、谐波总畸变率、电压电流不平衡度、闪变、电压偏差、电压波动、频率偏差、频率变化频度、有功功率、无功功率等电能质量指标。

(二) 硬件结构的设计

电能质量监测装置的硬件结构框图如图 1 所示。硬件在这里主要应用电流电压输入模块设计、低通滤波器设计以及通讯接口显示部分等。采集卡是通过设计技术后, 采用先进的 DAQ-2205 型号的数据采集卡。

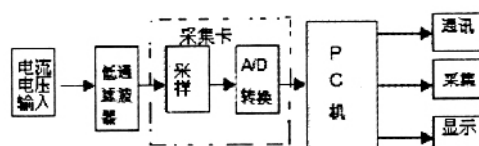


图 1 硬件结构框图

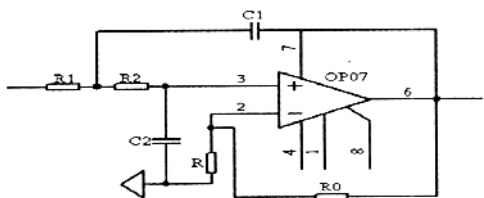
(三) 数据采集与处理

对于数据采集卡, 为了做到多个通道的同步采集, 在采集卡上都设有若干个字节的先进先出 (FIFO) 缓存器 (buffer)。选择较大容量的 FIFO, 对 Windows 下的多任务线程是有益的, 可节省大量的内存空间并大大加快程序的处理速度。在数据采样频率要求较高的情况下, 如果 FIFO 容量较小, 则数据采集的个数将受到限制。为不造成数据丢失, 就要求处理器频繁地访问缓存器。

(四) 抗混叠滤波器

低通滤波环节用于滤除信号中的高频分量。信号采集过程中不可避免地会有高频干扰信号混杂在有用信号当中。为了使这些信号的频率满足奈奎斯特采样定理所规定的范围, 除去采集的一些不确定信号对有用信号造成的干扰, 并最大程度地抑制或消除混叠现象对数据采集的影响, 就需要先利用这个低通滤波器对无用信号进行衰减和滤除。抗混叠滤波

器除了对无用信号的衰减和滤除，还可以为 ADC 转换产生的瞬态能量提供缓冲



抗混叠滤波器可以采用无源的低通滤波器，最简单的是一阶 RC 低通滤波器，或者采用运算放大器加 RC 网络组成有源滤波器。如果选用二阶低通滤波器，可以使用运算放大器加 RC 网络组成有源滤波器。如果选用高阶低通滤波器，可以选用低通滤波器集成电路。无源滤波器设计简单，易于掌握，但这种滤波器的实测滤波特性与理论上的预定特性差别较大，在通带内又不能取得良好的阻抗匹配，很难满足对滤波特性精度高的要求。有源滤波器是以网络综合理论为基础的分析方法，它先找出与理想滤波特性相近似的网络函数，然后根据综合方法实现该网络函数，由这种方法设计出来的滤波器实测的滤波特性与理论预定特性十分接近，适合高精度滤波器的设计要求。但是若选用有源滤波器，需要考虑很多问题。比如设计滤波器时要考虑元件参数是否会对前后电路造成影响。本文选用的是简单的三阶低通滤波器。设计低通环节要注意滤波器的主要特性指标，如特性频率、带宽、增益与衰减、阻尼系数与品质因数等。抗混叠数字滤波器的作用是滤除高频信号成分，使输入到 A/D 转换器的信号为有限带宽信号，并且以很小的衰减让有效的频率信号通过，而抑制这个频带以外的频率信号，从而防止信号的频谱发生混叠及高频干扰。系统采用了两阶低通抗混叠滤波器。

$$\text{电路的截止频率 } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}$$

本系统设计可测 50 次谐波，所以截止频率应为 4000Hz，为此，最终取值为： $R_1=470$ 、 $R_2=510$ 、 $C_1=C_2=0.1\mu\text{F}$ 。多路信号通道均采用了相同的滤波电路，因此模拟低通滤波器所引起的电压电流通道间的相对相移可以忽略不计，不会影响功率因数及有功功率的精确性。

三、软件

(一) 软件设计

控制软件选择 VC++6.0 语言进行编程，以动态连接库的形式为数据采集提供了强大的驱动程序，采集程序采用函数库中的接口函数来实现。数据采集的软件流程如图 2。

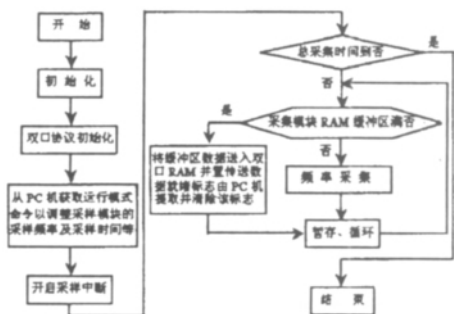


图 2 数据采集的软件流程

根据系统具体要求和硬件构成，结合其他一些技术指标，总结出如下 6 大功能：采样功能。进行实时采样，将得到的数据处理成系统可分析的类型后，放入本系统缓存。分析功能。每分钟取出缓存中的数据，对各线路进行一次分析计算。录波功能。对暂态事件，各项参数的超标事件，开关变动，有自动录波功能。保存功能。将分析结果和波形数据进行磁盘保存。通信功能。可选择局域网通信模式。显示功能。当前分析结果的展示和实时波形数据的显示。

根据功能要求得到的软件系统数据流程如图 4 所示，系统软件设计采用模块化编程方法，用 VC++6.0 语言编程，按系统主要功能进行设计，主要包括 3 大模块：各项电能质量指标分析计算存储模块、远程通信模块、显示模块。

(二) 基本算法

数据采集及处理模块封装了所有对输入信号进行处理所需的算法。频谱分析是信号处理的核心，电力系统的谐波分析是频谱分析的一种。分析信号频谱时，采用快速傅里叶变换，这种算法的原理如下：满足 Dirichlet 条件的函数 $x(t)$ 在 $[0, T]$ 区间上可展开为傅里叶级数，即

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} X(k\omega) e^{jk\omega t} \quad (1)$$

因为 $X(k\omega)$ 仅在 ω 的整数倍上取值，所以它在频率轴上取离散值。 $X(k\omega)$ 可由下式求出：

$$X(k\omega) = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) e^{-jk\omega t} dt \quad (2)$$

由于实际信号是经过等间隔采样的离散信号，设 Δt 为采样的时间间隔， $T=N\Delta t$ ， $x(t)$ 在 $t_n=n\Delta t$ 时的采样值为 x_n ，用各个 x_n 代替式(2)中的 $x(t)$ ，即用求和代替积分，就得到了离散傅里叶变换 DFT 的公式：

$$X(k\omega) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-jk\omega n\Delta t} \quad (3)$$

若要完成整组的 DFT 运算，即计算出 $n=0, \dots,$

$N-1$ 对应的所有频段的傅里叶变换结果，需要进行 N^2 次复数加法，计算量太大，为此后来发展了利用基 8FFT (与蝶形算法并行的一种算法)，大大减小了计算量。另外该模块还包括各种电力参数：电压和电流的基波有效值、有效值 (包含谐波)、电压偏差、电压总谐波畸变率、2~50 次谐波电压含有率、2~50 次谐波电流、视在功率、有功功率、无功功率、功率因素、三相电压不平衡度、电压闪变、系统频率等。

四、结论

本文针对电力系统设计了一种网络型电能质量监测系统，系统具有精度高、实时性好、可扩充性强、界面友好、维护方便、可在线测量并具有网络远传通信功能的优点。在完成系统的设计过程中，考虑到目前电力系统的现状，借鉴了大量国内外的软件设计思想和方法，以及一些先进的数据分析算法，结合当今电能质量领域的最新发展成果，设计了性能比较稳定、功能比较全面的系统，该系统与国内已经出现的一些电能质量的监测装置相比，价格合理，监测的数据精度高，能满足大多数用户的要求。当多台仪表同时监测时，还可以组成一套监测系统网，进行集中的分析比较，相对

[下转第 23 页]



(1) 从清表开始,把杂草、烂泥、腐植土等清理干净,填前碾压密实。干爽地段直接填方。潮湿地段用好土垫底 0.5 米厚,起到隔绝或减少地下水往上反渗。

(2) 90 区“包心法”填筑施工(本工程土方施工时间是 2002 和 2003 年),包皮土和包心土同层填铺同时碾压。利用开挖路基的膨胀土作包心土,在自然含水量状态下填铺;包皮土按最佳含水量控制碾压,层厚控制在 25 厘米为宜,并严格检查包皮土的密实度,密实度达到要求时才能加填;膨胀土按轻型法密实度 90%控制。

(3) 如果遇雨天,必须清理膨胀土表层烂泥并凉干后才能加填。

(4) 93 区以上及 90 区薄层(少于 0.5 米)不宜采用“包心法”施工,直接用好土填筑。

(5) 填至距路槽 1.5 米高度时,要及时用好土填盖,连续填筑度厚不少于 0.8 米,以防好土填盖层过薄容易受雨水渗透引起包心土膨胀。最好连续填好填盖层 1.5 米。

(6) 施工过程中要设置不少于 0.5%横坡临时排水,不能让路基内有积水而增加膨胀土的含水量。

四、挖方路段换填土施工控制

(1) 开挖至路槽标高时暂停,不要往下挖。

(2) 要选择晴天天气时才换填土施工,不要在雨天时作换填土施工。如施工中遇到下雨,应立即停止。雨后施工时,把积水排干并凉晒,或者铲除烂泥后凉晒至干爽才能加填土。

(3) 遇到挖方土质较松软时,要增加超挖深度,一般情况换填深度 0.5 米就可以,个别也不超过 1 米。特殊的视具体情况而定,可不受此限制。

(4) 换填土填筑层厚以每层 20 厘米为宜,密实度要达到 95 区要求。

(5) 超挖好后,必须填前碾压,如有软弹的必须处理好,才能回填砾石粘土。

(6) 路堑边坡按自然坡比控制施工,采用 1:2。

(7) 边沟采用三面光浆砌片石,三面密封,防止雨水从边沟渗透到土基内引起膨胀而破坏路基。

(8) 所有换填土超挖工作面,应设置临时排水沟,排除施工过程中雨水。比较潮湿地段应设置地下盲沟排除地下水至路基以外,否则地下水排不出去会引起路基软弹。

五、效果

路基工程从施工至交工验收,已经过 4 个雨季和 3 个旱季的循环考验,填方和挖方路基均没有发现拉裂或坍塌现象,认为“包心的”膨胀土膨胀和收缩固结过程变化不大或几乎没有变化。包皮土和挖方地段换填土密封层都达到隔绝水和空气的保护作用,使包心的膨胀土保持含水量不变,不再产生膨胀和收缩,达到施工方案的预期目的,效果良好。

六、结束语

膨胀土土质十分复杂,其胀缩性、超固结性及裂隙性随着分布位置而有所不同。但是,平洪至百银一级公路路基施工的实践中可得出一条经验:只要设法使膨胀土与水与空气隔绝,并在施工中采用恰当的控制方法,就能更多利用挖方膨胀土,减少借方,使利用方和借方达到最佳搭配,对加快施工进度、节约工程成本及搞好环境保护都具有重大意义。

[参考文献]

[1] JTJ033-95,公路路基施工技术规范[M].人民交通出版社,1996.
[2] 交通部第二公路勘察设计院主编.公路设计手册(路基)[M].人民交通出版社出版,1997.
[3] 李生林等著.中国膨胀土工程地质研究[M].南京:江苏科学技术出版社,1992.

[作者简介]莫文礼,男,百色公路管理局,从事公路工程施工工作;谢宏斌,男,百色公路管理局工程师,从事公路工程施工工作。

[上接第 20 页]

那些无法现场显示和无法进行远程操作控制的监测装置有了很大提高。

[参考文献]

[1] 徐翠薇.计算方法引论[M].北京高等教育出版社,1985.
[2] 胡铭.电能质量及其分析方法综述[J].电网技术,2002,24(2):36-37.
[3] GB 12326-2000,电能质量 电压波动和闪变[S].北京:中国标准出版社,2000.
[4] GB/T 15543-1995,电能质量 三相电压允许不平衡度[S].北京:中国标准出版社,1996.
[5] GB/T 15945-1995,电能质量 电力系统频率允许偏差[S].北京:中国标准出版社,1996.
[6] GB/T 18481-2001,电能质量 暂时过电压和瞬态过电压[S].北京:中国标准出版社,2002.

[7] GB 12325-2003,电能质量 供电电压允许偏差[S].北京:中国标准出版社,2004.
[8] 徐翠薇.计算方法引论[M].北京高等教育出版社,1985
[9] 陈建春.Visual C++ 高级编程技术——开发实例剖析[M].北京:中国标准出版社,1999.
[10] 陈建春.Visual C++ 图形系统开发技术基础[M].北京:中国标准出版社,1998.
[11] Poisson O, Rioud P, Meunier M. New signal processing tools applied to power quality analysis [J].IEEE Trans on Power Delivery, 1994, 9(2): 561-566.
[12] Lewis H. Strategies for improving power quality and reducing harmonic distortion[J].Energy Engineering, 1997, 4(5): 44-61.

[作者简介]缪顺兵,厦门大学机电系 2005 级硕士研究生,研究方向:测试计量技术与仪器;熊光明,厦门大学机电系,副教授;李永萍,厦门大学自动化系,硕士研究生。