

智能型电网谐波监视分析及保护一体化装置

林 干¹, 何志华¹, 李正国², 罗 安², 邓路明²

(1. 湖南省电力工业局, 长沙 410007; 2. 中南工业大学, 长沙 410083)

摘要:介绍了一种智能型电网谐波监视、分析、保护一体化装置,详细描述了该装置的硬件结构和软件模块,并提出了在硬件设计和软件开发中所运用的关键技术和技巧,如 FFT 计算方法及技巧、专家预测控制方法实现故障录波、三维图投影技术等,最后介绍了综合运用各种技术后系统所实现的主要功能。该装置已在某变电站挂网试运行,运行结果表明其监视、分析、自动记录电网运行谐波参数准确、可靠、精度高,为确保电力系统安全运行起到了重要作用。

关键词:谐波监视;谐波分析;谐波保护;专家预测控制;故障录波;三维投影技术

中图分类号: TM 712

0 引言

从目前国内外生产谐波测量分析装置的厂家提供的产品技术资料来看^[1],大部分产品都是从谐波的测量和分析角度进行设计。有的产品由数据采集装置、可移式存储卡另配 PC 机谐波分析软件构成,这些产品虽然将测量、分析、显示、打印功能集成一体,但数据存储量偏小,显示和打印功能仅能满足一般谐波测量要求。

鉴于存在的这些问题和生产实际的需要,我们研制了这套智能型电网谐波监视、分析、保护一体化装置。它能长期有效地监测电网谐波情况,由高精度工业级计算机对电网各项参数进行自动检测、分析,并能及时、可靠地对谐波超标报警和采取保护措施。该装置具有广泛的通用性,对运行方式复杂、负荷波动较大、谐波含量变化较频繁的场所尤为适用。

1 系统软硬件设计原理

1.1 系统硬件设计

1.1.1 硬件原理图

为保证上述功能的实现,装置的功能部件及组成方式如图 1 所示。

1.1.2 硬件设计及优化

为确保系统测量的高精度以及运行的可靠性,在硬件电路的设计上做了如下工作:

a. 选用带高分辨率彩色显示器和键盘的工业级一体化工作站,选用工业级 586 主板和 CPU。

b. 电流、电压变送器全部采用磁平衡原理设计的高频响应变送器,电流变送器线性度 0.1%,额定

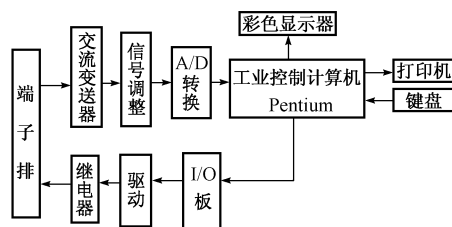


图 1 硬件结构原理图

Fig. 1 Hardware construction

电流 30 A, 频率范围 0~150 kHz。

c. 数据采集卡采用原装台湾威达高速、高精度工业级数据采集卡,数据采集卡参数为:分辨率 12 bit,采样速度 330 kHz,2 kB FIFO。

d. 所有硬件电路的设计及布线均由 Protel 自动完成,结构合理,可扩展性强。

1.2 系统软件

软件系统是用 Borland 公司最新可视化软件 Delphi 作为平台,在 Windows 95 环境下开发完成。图 2 为其软件结构原理图。

2 系统关键技术和技巧

2.1 FFT 计算方法及技巧

谐波分析一般采用快速傅里叶变换(FFT)^[2],其原理如下。

对周期性连续函数 $x(t)$ 进行采样,采样序列记为 $\{x[k]\}$, $k = 0, 1, \dots, N-1$, 则相应的离散傅里叶变换(DFT)为:

$$x[m] = \sum_{k=0}^{N-1} x[k] W_N^{mk}$$

其中 $W = e^{-j\frac{2\pi}{N}}$; $m = 0, 1, \dots, N-1$ 。

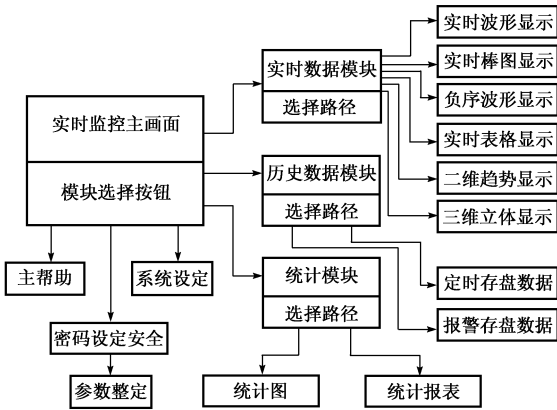


图 2 软件结构原理图
Fig. 2 Software construction

设采样序列的点数为 $N = LM$, 按照 FFT 的基本思想, 为减少复数的乘法运算次数, 可把长度为 N 的序列 $x[k]$ 分成 L 组, 每组长度为 M 的序列:

$$\begin{aligned} x_0[r] &= x[Lr] \\ x_1[r] &= x[Lr + 1] \\ &\vdots \\ x_{L-1}[r] &= x[Lr + (L - 1)] \end{aligned}$$

其中 $r = 0, 1, \dots, M - 1$ 。

于是可写出 $x[k]$ 的 DFT 为:

$$X[m] = \sum_{l=0}^{L-1} W_N^{mL} \left\{ \sum_{r=0}^{M-1} x[Lr + l] W_M^{mr} \right\} = \sum_{l=0}^{L-1} x_l[m] W_N^{mi} \quad (1)$$

$$x_l[m] = \sum_{r=0}^{M-1} x[Lr + l] W_M^{mr} \quad (2)$$

式中 $l = 0, 1, \dots, L - 1$; $m = 0, 1, \dots, M - 1$ 。

因为 $X[m]$ 都是以 M 为周期的, 所以总的 $X[m]$ 可以表示为:

$$\begin{cases} X[m] = X_0[m] + W_N^m X_1[m] + \dots + W_N^{(L-1)m} X_{L-1}[m] \\ X[M + m] = X_0[m] + W_N^{M+m} X_1[m] + \dots + W_N^{(L-1)(M+m)} X_{L-1}[m] \\ X[(L-1)M + m] = X_0[m] + W_N^{(L-1)M+m} X_1[m] + \dots + W_N^{(L-1)M+m} X_{L-1}[m] \end{cases} \quad (3)$$

在上述分析中, 式(2)是求 L 个 M 点 DFT, 而式(1)形式上类似求 L 点的 DFT, 并且由式(3)可知这种变换共有 M 个, 由此可知 $N = LM$ 时, 可以分解成基 L 和基 M 的混合基 FFT 算法。综合考虑其他因素, 例如逻辑关系的复杂程度、与现有存储器的配合、编程的简易程度, 本装置研究采用基 2 和基 4

混合基 FFT 算法, 与基 2 算法相比, 复数乘法运算次数减少了 $1/3$, 而复数加法次数相同, 从而使得装置计算速度得到提高, 分析数据能力增强。

2.2 故障录波技术

当电网中的谐波严重超标时, 系统应记录当时电网的运行参数及其前后一段时间内的情况。但由于谐波测量数据非常大, 况且谐波超标的情况无法预料, 所以我们采用了一种专家预测控制方法实现故障录波的功能, 专家式预测故障模型可用如下形式表示:

$$U = f(E, K, I, G) \quad (4)$$

式中 f 为智能算子, 其基本形式为 IF E AND K THEN (IF I THEN U); $E = \{e_1, e_2, \dots, e_m\}$ 为控制器输入集; $K = \{k_1, k_2, \dots, k_n\}$ 为知识库中经验数据与事实集; $I = \{i_1, i_2, \dots, i_p\}$ 为推理机构的输出集; $U = \{u_1, u_2, \dots, u_q\}$ 为控制器输出集。

智能算子 f 的基本含义是: 根据输入的在线电网运行数据 E 和专家知识库中的经验数据与规则 K 进行预测推理, 然后根据预测推理的结果 I 决定是否进行数据记录和存储, 最后输出相应的控制行为 U (即发出声光报警信号等)。

假设当前时间为 k , 系统也记录了 $\{x_i\}$ (其中 $i = k - t, k - t + 1, \dots, k - 1, k$) 个电网运行谐波参数。如果专家控制器预测到当前电网谐波超标时, 系统将自动把前几分钟 (记为 t) 的数据存入数据库, 并且此后也将自动记录、存储后几分钟 (记为 h) 的数据。所以, 当电网中谐波超标时, 系统记录了当前时刻 k 以前 t 、以后 h 的电网运行数据 $\{x_i\}$ (其中 $i = k - t, k - t + 1, \dots, k - 1, k, k + 1, \dots, k + h - 1, k + h$)。

2.3 三维图形投影技术

三维图形可以用直线来构成, 但是与二维图形不同的是, 三维图形在视觉上必须有三维的效果。而屏幕坐标系是二维的, 显示器只能用二维空间来表示图形。要显示三维图形, 必须要用投影的方法来降低维数。将三维图形进行降维处理以后, 再按照二维图形的处理方法即可获得三维的效果。

为了对三维图形做投影, 先要在三维空间给定一个投影平面和视点。取 xoy 面为投影面, 点 $C(x_c, y_c, z_c)$ 为视点。设空间中任一点 $Q(x, y, z)$ 在面 xoy 上的投影为 $P(x_p, y_p, z_p)$, Q, P, C 在面 xoz 上的投影为 Q', P', C' , 如图 3 所示。

从图 3 可以很容易得出下列公式:

$$x_p = x_c + (x - x_c) \cdot \frac{z_c}{z_c - z}$$

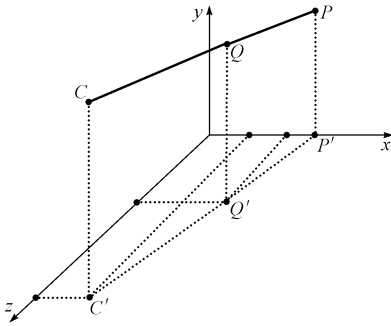


图3 三维图形投影

Fig. 3 Projection of three-dimensional space

同理可得:

$$y_p = y_c + (y - y_c) \cdot \frac{z_c}{z_c - z}$$

3 装置实现的主要功能

根据国家标准对谐波监视、分析、保护的要求,装置实现了如下功能:

- 按国标谐波监测的要求,对6个通道(3个电压、3个电流)信号同时进行监测;
- 计算和记录1次~21次各次谐波电压、电流含有值,电压、电流总畸变率,95%概率值,谐波功率,电网频率,时间等参数,并可以图形、表格数据等多种方式直观显示监测分析结果;
- 谐波越限报警功能:各次谐波电压、电流分别设置报警定值和时限定值,当谐波值越限时,计算机报警并记录当时的时间及报警前后一段时间内的波形和参数以便查询;
- 保护功能:电压电流分谐波设定保护动作定值和时限定值,当谐波越限时,自动产生控制信号驱动保护跳闸继电器输出;
- 参数修改功能:报警和保护定值、TV和TA

AN INTELLIGENT INSTRUMENT FOR INTEGRATED HARMONIC DETECTION, ANALYSIS AND PROTECTION

Lin Gan¹, He Zhihua¹, Li Zhengguo², Luo An², Deng Luming²

(1. Hu'nan Electric Power Bureau, Changsha 410007, China)

(2. College of Information Engineering of CSUT, Changsha 410083, China)

Abstract: This paper introduces an intelligent instrument for integrated harmonic detection, analysis and protection. The hardware structure and software modules are described in detail. Some key techniques and skills used in the development of hardware and software are put forward, for example, FFT calculation method and skill, expert prediction control in fault wave recording and three-dimensional projection technique etc. In the end, the main functions of the instrument are introduced. The instrument has been put into trial operation in some substations. The results show that it can detect, analyze and automatically record the harmonic parameters accurately and reliably.

Keywords: harmonic detection; harmonic analysis; harmonic protection; expert prediction control; fault wave recording; three-dimensional projection technique

变比均可由用户整定;

f. 历史数据追忆功能:历史参数及故障录波存贮在大容量硬盘中,可通过不同的检索策略调出查询和显示;

g. 统计报表功能:可按日、月统计各次谐波电压、电流、谐波功率的最大值、95%概率值及最大畸变率等参数。

4 结语

智能型电网谐波监视、分析、保护一体化装置研制成功后,于1998年9月在湖南省娄底电业局豹南山变电站挂网试运行,经过半年多的试运行,其监视、分析、自动记录电网运行谐波参数准确、可靠、精度高,为分析谐波对电力系统的影响,确保电力系统的安全运行起到了十分重要的作用,带来了良好的社会效益和经济效益。

参考文献

- 曹孝宁,吴华仁,李晓惠,等(Cao Xiaoning, Wu Huaren, Li Xiaohui, et al). 高性能电网谐波分析仪(High Performance Power Line Harmonic Analyzer). 电力系统自动化(Automation of Electric Power Systems), 1996, 20(12): 46~49
- 阿基里斯 D(Achilles D). 信号处理中的傅立叶变换(Fourier Transformation in Signal Processing). 史习智, 黄潮译(Shi Xizhi, Huang Chao, trans). 北京:科学出版社(Beijing: Science Press), 1991

林干,现任湖南省电力工业局总工程师,教授级高级工程师,多年从事电力系统研究工作。

何志华,教授级高级工程师,多年从事电力系统谐波方面的研究工作。

李正国,硕士研究生,研究方向为电力系统自动化。