

电力电量参数测量系统的设计

张金波, 陆 昊, 梁瑞宇, 宋培卿

(河海大学 计算机及信息工程学院, 江苏 常州 213022)

摘要: 采用倍频锁相技术和递推傅立叶级数算法, 开发了基于 DSP 芯片为核心的电力电量参数测量装置, 可以对电力电量参数进行实时、准确、快速的测量。

关键词: 电力电量; 倍频; 锁相; 傅立叶级数

Design of Measurement System of Electric Parameters

Zhang Jinbo, Lu Hao, Liang Ruiyu, Song Peiqing

(College of Computer&Information Engineering, Hohai Univ., Changzhou 213022, China)

Abstract: Through the technique of frequency multiplication phase- locked and recursion algorithm of Fourier series, the measuring instrument based on the DSP chips as main frame is developed, and real- time, accurate and quick measurement are realized.

Key words: electric parameter; frequency multiplication; phase- locked; Fourier series

0 引言

随着我国电力工业的迅猛发展, 电网上非线性负载的日益增多, 导致线路电压、电流经常出现非正弦状态, 从而造成电网谐波“污染”, 其主要危害有: 谐波会造成输电线路故障, 使变电设备损坏, 例如使线路和配电变压器过热、过载等; 谐波影响用电设备, 例如谐波对电机除增加附加损耗外, 还会产生附加谐波转矩、机械振动等; 谐波会使测量仪表附加谐波误差; 谐波会对通信线路造成干扰。在这种形势下, 各种标准和规范对于谐波的有关规定也越来越多, 各种各样的具有谐波功能的测量仪表也应运而生。交流采样技术是通过微计算机对输入电压、电流信号的离散采样, 在通过特定的计算方法算出电流和电压有效值, 有功、无功、视在功率、功率因数、频率、谐波分量等各种所需要的量值。由于传统的直流采样存在测量精度低、实时性差、高次谐波参数无法测量等缺点, 交流采样技术具有节省变送器、计算灵活、精度高、响应速度快等优点, 因而得到普遍的应用。本文介绍了一种快速准确的电力电量参数的计算方法, 并开发了基于 DSP 芯片为核心电力电量的测量装置, 为电能质量的分析提供了一种有效工具。

1 电力电量参数的计算

1.1 利用递推傅立叶级数计算电流和电压的有效值

利用傅立叶变换, 每周周期采样点为 N 时的离散采

样系统, 在第一个采样周期内的 n 次谐波的实部和虚部为^[1]:

$$D_{Rn} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=1}^N d_i \cos n i \frac{2\pi}{N}$$
$$D_{In} = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=1}^N d_i \sin n i \frac{2\pi}{N}$$

电流或电压的有效值为:

$$D_n = \sqrt{D_{Rn}^2 + D_{In}^2}$$

式中, N 为每个周期采样点个数; d_i 为第 i 个离散采样点; n 为欲分析的谐波次数。

将采样窗口移动 $m-1$ 个采样点, 第 m 个周期的各次谐波虚部与实部的计算公式为:

$$D_{Rn}(m) = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=m}^{m+N-1} d_i \cos n i \frac{2\pi}{N}$$
$$D_{In}(m) = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=m}^{m+N-1} d_i \sin n i \frac{2\pi}{N}$$

第 $m+1$ 个周期的各次谐波虚部与实部的计算公式经整理得:

$$D_{Rn}(m+1) = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=m}^{m+N-1} d_i \cos n i \frac{2\pi}{N} =$$
$$D_{Rn}(m) - \frac{\sqrt{2}}{N} [d_m \cos n m \frac{2\pi}{N} - d_{m+N} \cos (m+N) \frac{2\pi}{N}]$$
$$D_{In}(m+1) = \frac{\sqrt{2}}{N} \sum_{i=m}^{m+N-1} d_i \sin n i \frac{2\pi}{N} =$$
$$D_{In}(m) - \frac{\sqrt{2}}{N} [d_m \sin n m \frac{2\pi}{N} - d_{m+N} \sin (m+N) \frac{2\pi}{N}]$$

由上面的推导可以看出, 在对第一个采样周期的 N 个点进行傅立叶变换求得电流或电压的基波与各次谐波

收稿日期: 2003- 04- 13

基金项目: 河海大学常州校区科技创新基金资助项目

作者简介: 张金波(1967-), 男, 黑龙江省双城市人, 副教授, 硕士, 主要从事电力电子及微机控制方向的教学和科研工作。

的幅值后, 后面的采样点由上次的值经过简单的运算即可得出, 这样大大地减少了运算量, 同时也保证了计算的连续性。

1.2 谐波及总谐波畸变 (THD)

电力系统中, 通常用某次谐波幅值相对基波幅值的百分数来反映该谐波的含量:

$$\{D_n\}\% = \frac{D_n}{D_1} \times 100\%$$

式中, D_1 、 D_n 分别为基波和 n 次谐波幅值。

总谐波畸变 (THD) 反映总的谐波含量:

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^N D_n^2}}{D_1} = \sqrt{\sum_{n=2}^N \{D_n\}^2\%}$$

1.3 功率及谐波功率的计算

电压 $U(n)$ 和电流 $I(n)$ n 次谐波分量的有效值为:

$$U_n = \sqrt{U_{Rn}^2 + U_{In}^2}, \quad I_n = \sqrt{I_{Rn}^2 + I_{In}^2}$$

n 次谐波的有功功率和无功功率为:

$$P_n = U_{Rn}I_{Rn} + U_{In}I_{In}, \quad Q_n = U_{Rn}I_{In} - U_{In}I_{Rn}$$

n 次谐波的视在功率为:

$$S_n = \sqrt{P_n^2 + Q_n^2}$$

式中, U_{Rn} 、 I_{Rn} 分别为电压、电流第 n 谐波分量的实部; U_{In} 、 I_{In} 分别为电压、电流第 n 谐波分量的虚部。

1.4 功率因数 PF 的计算

在电工原理中, 线性电路的功率因数 PF 习惯定义为 $\cos\varphi$, φ 是正弦电压和正弦电流的相角差。但是实际的电力线路由于负载的多样性, 尤其是非线性负载的存在, 导致线路电压、电流经常出现非正弦状态, 在这种情况下, 线性电路中的 PF 定义不能精确计算功率因数 PF 值, 而应采用如下定义计算^[2]:

$$PF = \text{有功功率} / \text{视在功率}$$

1.5 相位角的计算

电压和电流各自各次谐波的初始相位角为:

$$\varphi_U = \arccos \frac{U_{In}}{U_{Rn}}, \quad \varphi_I = \arccos \frac{I_{In}}{I_{Rn}}$$

根据电压和电流各自各次谐波的初始相位角, 同时也可以计算电压和电流之间的相位角。对于计算电力系统中的三相电压之间和三相电流之间的相位差时, 通常选某一相作为基准 (例如三相四线制选 A 相作基准, 三相三线制选 B 相作基准), 其余两相过零点通过与基准相过零点时间差比较, 计算出相应的相位差, 为了提高测量精度同时采用倍频锁相技术。

1.6 频率的计算

通过计算两个过零点的时间来计算电力电量频率:

$$f = \frac{1}{2t}$$

2 测量系统硬件结构

电力电量参数测量系统的硬件原理如图 1 所示。系

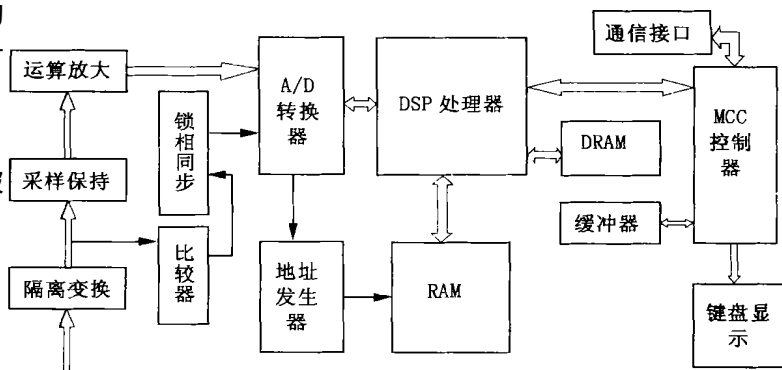


图 1 测量系统的硬件的原理图

统由隔离变换单元、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。

三相电路的交流电压信号经过电流互感器 CT 及电压互感器 PT 变成 0 ~ 500 mV 交流信号, 经放大变成 -10 V ~ +10 V 交流信号, 在模拟多路开关 (AD7506) 的控制下, 送往高速 A/D 转换器 (AD9432), 然后在工频跟踪锁相及程序的控制下, 在一个工频内, 同时对交流电压进行瞬时采样, 保证每一个周期采一路三相电流和三相电压的瞬时值。为了实现高次 (21 次) 谐波进行测量, 每个周期内对电流电压信号共分别采 30 个点, 同时存入 RAM 内, 以便进行电量的计算。在交流采样设计中, 最重要的是保证采样周期是一个工频周期。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 DSP 处理的触发信号; 模拟信号经运算放大单元后, 接入数据处理芯片的 A/D 转换脚, 进行 A/D 转换和数据处理。

DSP 芯片选用 TI 公司 C2XX 系列产品 TMS320F206, 特别适合 FFT 的运算, 它含有丰富的片内外设和片内存储器, 尤其是片内含有可作为程序存储器的 32K 闪存存储器^[3-5]。

3 结论

为了实现较高的测量精度和测量系统的稳定性, 在电路板设计上, 必须严格按照工艺要求设计和制做线路板, 务必将模拟电路和数字电路独立布线, 保证模拟地和数字地严格一点共地, 对所有输入信号必须有明确的处理, 不能悬浮或置之不理。测量时通过电流互感器及电压互感器把二次回路强电隔离变成的弱电交流信号直接送入微处理器控制的采样电路, 省去了模拟直流化工程, 减少了中间环节带来的误差及不稳定因素, 特别是采用倍频锁相技术和

这些要求, 采用直接数字频率合成技术设计本系统中的信号发生器。直接数字频率合成方法可以对一个高精度、高稳定度的标准频率信号, 通过数字处理方法产生频率和相位可调的有基本相同的精度和稳定度的输出频率信号^[4]。用这种方法设计的信号发生器不但满足了上述要求, 而且它的输出频率完全由计算机控制, 不需要频率计进行频率测量, 因而简化了设计, 提高了测试速度。

电压检测单元用于检测 π 网络两端的电压值, 要求电压测试的分辨率高, 响应速度高, 输入阻抗高。根据本测量系统的待测信号的特点, 电压检测单元采用检波放大式, 利用交流/直流 (AC/DC) 变换器将交流电压转换成直流电压, 然后再测量直流电压, 根据被测交流电压的大小与直流电压的关系, 就可以得到交流电压的值。其系统框图如图 3 所示。

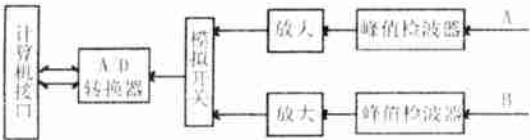


图 3 电压测量系统框图

图 3 中, A、B 分别表示 π 网络输入端和输出端的被测信号, 经峰值检波及放大后, 通过模拟开关选择测量哪一路信号, 经 A/D 转换器变成数字量, 通过计算机接口电路送入计算机。本系统中, 并不需要确切知道被测信号的电压幅值的精确值, 在 π 网络两端的电压检测电路的放大倍数可以不同。

3 实验结果及精度分析

用本测试系统分别对不同频段的 12 只石英晶体进行重复性测试实验, 结果表明系统的重复精度可以达到 ± 0.5 ppm。

本测试系统与美国 S&A 公司的 250B 和 250A 测试

仪、香港科仪公司的 KH1200 测试仪 (均为 π 网络型) 以及 CIMD 测试仪 (阻抗计型) 进行串联谐振频率测试精度的比对实验 (上述仪器的串联谐振频率的测试精度指标均为 ± 2 ppm)。表 1 为比对实验的结果。以 250B 的测试结果为标准, 其他测试系统的测试值用与 250B 测试值的相对偏差表示。

本系统的测试结果与 250B 的测试结果的标准差为 1.6 ppm。从上面的实验数据及分析结果看, 系统的串联谐振频率的测试精度可以达到 ± 2 ppm。

4 结论

本文介绍了应用 π 网络最大传输法测试石英晶体参数的技术研究成果以及基于该方法的测试实验系统的设计。所设计的实验系统在 1~120 MHz 的测试范围内可以测试石英晶体的串联谐振频率和串联谐振电阻, 实验结果表明串联谐振频率的测试精度可以达到 ± 2 ppm。测试系统在国内采用了新的符合国际标准的测试方法和新的设计, 其性能指标优于目前国内使用的阻抗计型石英晶体测试仪器。进一步需要做的工作是增加石英晶体的负载谐振参数和其他电参数的测试功能。

参考文献:

[1] 薛国富 任丽华, 石英晶体元件参数的测试方法 [J]. 压电晶体技术, 1987, (4): 43- 51.

[2] IEC444 - 1973, Basic method for the measurement of resonance frequency and equivalent series resistance of quartz crystal units by zero phase technique in a π - network [S].

[3] 李东, 刘桂礼, 赵双琦. 石英晶体谐振器电参数模型及其对测试精度的影响 [J]. 天津大学学报, 1999, 11(6): 781- 784.

[4] 段传华, 王建和, 杜晋军. 直接数字式频率合成器的原理及应用 [J]. 电子技术应用, 1995, 10(5): 1- 4.

(上接第 224 页)

采用递推傅立叶级数算法, 实现了高测量精度和基本实时的反应速度, 大大提高了测量精度。

参考文献:

[1] 袁辉. 谐波电功率测量的 DSP 算法 [J]. 电子工程师, 1997, (7): 15- 17.

[2] 张卫平. 绿色电源——现代电能变换技术及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2001.

[3] DSP TMS320C2XX 用户手册 [Z]. TI 公司, 1997.

[4] 彭启宗, 李玉柏. DSP 技术 [M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1997.

[5] 张金波, 李致金. 数字式绝缘电阻测试仪高压发生器电路的设计 [J]. 工矿自动化, 2002, (5): 27- 28.