

用顺序采样值精确测量电量

许珉

(郑州大学(北校区)电气工程学院, 河南 郑州 450002)

摘要: 利用顺序采样值, 采用软件方法得到同一时刻各电量, 实现了畸变电量的精确测量, 具有实用价值。

关键词: 顺序采样; FFT; 测量

中图分类号: TM93

文献标识码: B

文章编号: 1003-4897(2002)01-0034-02

1 引言

随着计算机和数字信号处理技术的发展与推广, 基于交流采样的电力系统测量与保护技术得到了十分广泛的应用。常用的电量测量交流采样算法有: 均方根值算法、全波傅氏算法和 FFT 法。均方根值算法的优点是它不仅对正弦波有效, 也可较准确地测量波形畸变的电量。全波傅氏算法一般计算电量的基波分量电压、电流有效值及有功和无功功率, 对测量波形畸变的电量误差较大。快速傅立叶变换 FFT 也是测量波形畸变的电量的有效方法。在各种算法中, 计算 P 时要求电压和电流为同一时刻的采样值。采用同时采样的硬件可满足这一要求, 现在一些微机测量保护装置为了降低测量保护装置硬件成本, 提高测量保护装置的可靠性, 采用顺序采样硬件, 这样前后两路之间有时间差 t (模入通道选择、采样保持、A/D 转换以及程序执行时间), 相应角度为 $\theta = 2\pi f t$, 此时间差对 P 的计算会产生较大误差。用顺序采样值, 实现畸变电量的精确测量, 有重要意义。

2 计算方法

在文献[3]中采用对基波向量移相的方法, 对于波形畸变的电量, 电压、电流和有功功率测量都有较大误差, 如对高次谐波也进行移相, 就能得到同一时刻各电压和电流的各高次谐波向量, 用 FFT 或傅立叶算法和非正弦周期信号的理论进行计算, 可以得到精确结果。

以电流为例, 设顺序采样值间隔时间为 t , 对应的角度为 θ , k 为 k 次谐波, 基波角频率为 ω , 则第 n 路电流延时后的值为

$$i(t) = \sum_{k=1} I_{kr} \cos(k\omega t + kn\theta) + \sum_{k=1} I_{ki} \sin(k\omega t + kn\theta)$$

移相到第 1 路采样时刻的各次谐波电流向量的实部和虚部按下式计算

$$i_{kr} = I_{kr} \cos(kn\theta) - I_{ki} \sin(kn\theta)$$

$$i_{ki} = I_{ki} \cos(kn\theta) + I_{kr} \sin(kn\theta)$$

其中 $\cos(kn\theta)$ 和 $\sin(kn\theta)$ 为已知, 可以离线计算出。

用离散傅立叶变换 DFT(FFT) 计算电量时, 利用 DFT 的共轭对称性, 通过计算一个 N 点的 DFT, 一次可以完成两个实序列的 N 点 DFT 变换

$$x(n) = u(n) + jv(n)$$

$$\text{DFT}[x(n)] = X_{\text{ep}}(k) + X_{\text{op}}(k)$$

$$X_{\text{ep}}(k) = \text{DFT}[u(n)] = \frac{1}{2} [X(k) + X^*(N-k)]$$

$$X_{\text{op}}(k) = \text{DFT}[jv(n)] = \frac{1}{2} [X(k) - X^*(N-k)]$$

经过幅度修正后, 各次谐波的电压和电流向量为

$$U_m(k) = \frac{2}{N} X_{\text{ep}}(k)$$

$$I_m(k) = \frac{2}{jN} X_{\text{op}}(k)$$

如果电压先采样, 电流后采样, 两路采样时刻相差 t , 对应的角度为 θ , 则对基波及各谐波电流进行移相

$$i_{im}(k) = I_m(k) \cos(k\theta) - I_{im}(k) \sin(k\theta)$$

$$i_{im}(k) = I_{im}(k) \cos(k\theta) + I_m(k) \sin(k\theta)$$

基波及各谐波电压、电流和有功功率为

$$U(k) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{U_m^2(k) + U_{im}^2(k)}$$

$$I(k) = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{I_m^2(k) + I_{im}^2(k)}$$

$$P(k) = \frac{1}{2} [U_m(k) I_m(k) + U_{im}(k) I_{im}(k)]$$

根据非正弦周期信号的理论及以上计算结果可得

$$U = \sqrt{\sum_{k=1}^n U^2(k)} \quad I = \sqrt{\sum_{k=1}^n I^2(k)}$$

$$P = \sum_{k=1}^n P(k)$$

非正弦周期电量无功功率的计算情况比较复杂^[5],近似用

$$Q = \sqrt{(UI)^2 - P^2}$$

$$\text{从而功率因数为 } \cos \phi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

3 仿真计算及分析

仿真计算的电压、电流为含有谐波分量的函数:

$$u(t) = 2\sin(\omega t) + 0.3\sin(3\omega t) + 0.2\sin(5\omega t)$$

$$i(t) = 3\sin(\omega t - 30^\circ) + 0.2\sin(3\omega t - 30^\circ) + 0.2\sin(5\omega t - 30^\circ)$$

对电压、电流进行顺序采样,每个工频周期采样32点,前后两路相差62μs,采用32点FFT计算,本方法与16点均方根法计算结果相同, $U = 1.437$, $I = 2.1307$, $P = 2.6414$,有相同的精度。不校正时的 $P = 2.6718$,相对误差达1.151%,误差较大。

由数字信号处理的理论知道,用DFT进行频谱分析时会产生混叠现象、栅栏效应和截断效应,因此,会产生误差。混叠现象可以通过在采样前进行模拟滤波消除,因消除的谐波次数较高,对测量的影响很小。由于电量中只含有有限次的谐波分量,其频谱可以从 N 个缝隙中看到,栅栏效应的影响基本

没有。另外,电量中各次谐波的谱线是离散的,采样截断后频谱中的谱线向附近展宽影响较小,谱间干扰也较小,因此,截断效应的影响很小。DFT隐含周期性,当频率变化时会产生误差,这可以通过自适应调整采样时间间隔来消除。综上所述,由于电力系统正常运行时,畸变电量中一般只含有基波和其整数次高次谐波,因此,采用软件的方法,用顺序采样值,可以实现畸变电量的精确测量。

4 结论

利用顺序采样值,用软件的方法得到同一时刻各电压、电流的基波和各高次谐波向量,可以实现畸变电量的精确测量,对降低测量保护装置硬件成本,提高测量保护装置的可靠性和测量精度有重要意义,具有实用价值。

参考文献:

- [1] 孙淑信. 变电站微机检测与控制[M]. 水利电力出版社,1995.5.
- [2] 黄益庄. 变电站综合自动化技术[M]. 中国电力出版社,2000.3.
- [3] 毕胜春. 电力系统运动及调度自动化[M]. 中国电力出版社,2000.4.
- [4] 于海生,等. 基于复序列FFT和锁相原理的电参数测量[J]. 电网技术,2000.24(3).
- [5] 邱关源. 电路(第三版)[M]. 高等教育出版社,1989.

收稿日期: 2001-07-11

作者简介: 许珉(1956-),男,副教授,从事电力系统监视与控制的教學与研究。

Accurate measurement of electrical quantities based on sequence sampling value

XU Min

(College of Electrical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: The application software method gets the electrical quantities at same moment to the sequence sampling value of utilization, and has realized the accurate measurement of electrical quantities of distortion and possesses practical value.

Keywords: sequence sampling; FFT; measurement

许继集团祝全国用户节日快乐! 心想事成!