

功率因数的实时精确测量方案探讨

范春菊, 郁惟镛

(上海交通大学电气工程系, 上海 200030)

摘要: 在对传统的功率因数测量方法分析的基础上, 提出了电力系统中的功率因数的基本算法: 即基于工频量的功率因数的求取方法。传统的测量方法, 没有很好地考虑系统的不对称性所造成的谐波以及非周期分量对功率因数测量的准确性的影响, 测量精度不够。本文提出的基于 DSP 技术的功率因数测量方法, 充分利用 DSP 的计算功能, 对电压、电流的采样序列信号, 先进行带通滤波, 再进行傅氏滤波, 基本上消除了非周期分量及各次谐波对功率因数测量的影响, 得到完全的基于工频的功率因数。前置的数字式软件带通滤波能够弥补常用的硬件低通滤波的缺点, 能得到工频附近的频带信息, 该信息再进行傅氏滤波, 能够得到工频分量的电压、电流, 从而可以得到基于工频分量的功率因数。

关键词: 功率因数; 测量; 滤波

中图分类号: TM71 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-4897(2003)07-0047-03

1 引言

在电力系统和工业生产中, 作为三相负载的电气设备比比皆是, 例如三相电动机、三相电力变压器、三相加热炉等。它们的重要电气参数有: 功率(瓦), 容量(伏安), 无功功率(乏), 功率因数等。这些参数, 不但与电气设备本身, 还与电气设备的负载有关, 更因为这些参量影响供电质量和效率, 因而通常要进行监测监控。准确地测量功率因数, 是谐波和无功功率研究的一个重要方面^[1]。在正弦电路中, 可以通过测量电压、电流间的相位差, 计算出功率因数, 并根据电流滞后或是超前电压, 判断出负载是电感性还是电容性的。但在波形严重失真的电力系统或非正弦电路中, 由于电压、电流波形发生畸变, 谐波电压、电流间也产生无功功率, 因此用测量相位差的方法无法准确地测量功率因数^[2]。所以, 功率因数的精确测量在电力系统的运行、调度中是非常重要的。

2 传统的功率因数的测量方法

2.1 利用过零点测量电压、电流之间的相角^[4]

对于某一正弦信号, 周期性地出现过零点, 测出过零点的时间即可以测出该信号的相角。

由 CPU 对过零点打上时间标签, 这个时间标签准确到 2 μs。在 CPU 内由时钟建立标准 50 Hz 的信号, 并求出被测量信号相对标准 50 Hz 信号的角度, 这个角度为绝对角。根据下面的图 1, 第 j 个测量点的过零时刻分别为 t_i, t_{i+1} , 则在 t_i 时刻相对于标准

50 Hz 信号的过零时刻 $i * 20$ ms 的绝对值为:

$$j_i = \frac{360^\circ}{t_{i+1} - t_i} (20000 * i - t_i)$$

相对于参考点的角度为: $j_{i0} = j_i - i_0$

其中, j 表示第 j 个测量点, i_0 表示 t_i 时刻参考点相对于 $i * 20$ ms 的角度, t_i 的单位为 μs。

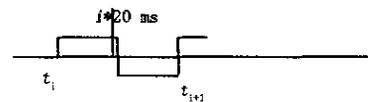


图 1 相角测量原理图

Fig 1 Measurement theory of phase angle

采用上面的方法分别测出电压和电流的相角, 可以求出电压超前于电流的相角。然后, 即可以求出系统的功率因数。

2.2 利用求出电压和电流的相角差来求功率因数

主要原理如下:

设电压信号为: $u = U_m \sin(\omega t + \varphi_u)$

电流信号为: $i = I_m \sin \omega t$

利用傅立叶算法来计算出 50 Hz 的基波分量, 电流、电压的实、虚部分别为:

$$I_R = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=1}^N i_k \cos \frac{2k}{N} \right], I_I = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=1}^N i_k \sin \frac{2k}{N} \right]$$
$$U_R = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=1}^N u_k \cos \frac{2k}{N} \right], U_I = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=1}^N u_k \sin \frac{2k}{N} \right]$$

根据电流的实、虚部的值, 可以求出电流的相对相角 i , 根据电压的实、虚部的值, 可以求出电压的相对相角 u , 再考虑由于顺序采样引起的电压相角

的滞后 $K T_s$, 实际的电压, 电流之间的相位差为:
 $= u - I - K T_s$, 功率因数为 \cos 。

3 传统功率因数测量方法的缺点

由最基本的电路理论知识可以知道, 功率因数是指正弦信号的电压超前于电流的相角的余弦值。方法 1 的测量方法中, 只是考虑到电压、电流的过零点来测量相位差。事实上, 电力系统并不是一个完全的正弦系统, 由于电力系统的各个元件并不是完全对称的, 三相的负荷又不是完全对称的, 所以, 测量到的电压、电流信号中, 会含有一定的非周期分量及各次谐波。这些谐波信号影响电压、电流过零点的测量精度, 直接影响到功率因数的测量精度。

方法 2 采用傅氏滤波的方法求取电压、电流各自的相位角, 理论上完全考虑了系统的不对称性所造成的各次谐波对测量精度的影响。但是, 傅氏滤波能够完全滤除各次谐波的条件却是对于无限长的信号; 而采用的全周傅氏滤波方法, 并不能滤除高次谐波以及非周期分量, 所以, 也无法精确测量系统的功率因数。

4 功率因数的实时精确测量方案

通过上面的分析可以知道, 正确测量系统的功率因数的关键是滤波, 尽量正确地提取工频分量有助于功率因数的精确测量。

4.1 用加窗法设计一个 35 ~ 75 Hz 的 FIR 带通滤波器

假设理想带通滤波器下边带截止频率为 $f_l = 35$ Hz, 上边带截止频率 $f_h = 75$ Hz。选用海明窗作为窗口函数。

设带通时延为 d , 理想带通滤波器频谱特性为

$$H_d(e^{j\omega}) = \begin{cases} e^{-j\omega d} & \omega_l < \omega < \omega_h \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

由式(1)

$$h_d(n) = \frac{1}{2} \int_{\omega_l}^{\omega_h} H_d(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega \quad (1)$$

可求得理想单位脉冲响应为:

$$h_d(n) = \frac{1}{2} \int_{\omega_l}^{\omega_h} e^{j\omega(n-d)} d\omega + \frac{1}{2} \int_{-\omega_h}^{-\omega_l} e^{j\omega(n-d)} d\omega = \frac{2}{(n-d)} \cos[(n-d)(f_h + f_l) T_s] \cdot \sin[(n-d)(f_h - f_l) T_s]$$

这是一个以 $(N-1)/2$ 为中心的偶对称的无限长非因果序列。为满足线性相位特性, 需要满足偶对称性, 即 $h_d(n) = h_d(N-1-n)$, 应取 $d = (N-1)/2$ 。

再取海明窗作为截取窗口, 海明窗函数序列 $w(n)$ 如式(2):

$$w(n) = 0.54 - 0.46 \cos\left(\frac{2n}{N-1}\right), \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (2)$$

所以, 该 FIR 带通滤波器的单位脉冲响应为

$$h(n) = h_d(n) w(n) \quad (3)$$

将给定的 $f_l = 35$ Hz, $f_h = 75$ Hz, $T_s = 1/50$, N 代入式(3)中就可以算出 $h(n)$ 。

由此所导出的差分方程为

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h(i) x(n-i)$$

利用电压互感器、电流互感器的采样序列值, 可以求出电压、电流经过带通滤波器后的序列输出值 u_k, i_k 。

4.2 利用傅氏滤波求取正弦电压、电流的相角

$$I_R = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=1}^N i_k \cos \frac{2k}{N} \right], \quad I_I = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=1}^N i_k \sin \frac{2k}{N} \right]$$

$$U_R = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=1}^N u_k \cos \frac{2k}{N} \right], \quad U_I = \frac{2}{N} \left[\sum_{k=1}^N u_k \sin \frac{2k}{N} \right]$$

根据电流的实、虚部的值, 可以求出电流的相对相角 θ_i , 根据电压的实、虚部的值, 可以求出电压的相对相角 θ_u , 再考虑由于顺序采样引起的电压相角的滞后 $K T_s$, 实际的电压, 电流之间的相位差为:

$$= \theta_u - \theta_i - K T_s, \text{功率因数为 } \cos \theta。$$

5 结论

传统的功率因数的测量方法, 由于没有很好地考虑系统的不对称性所造成的谐波以及非周期分量, 无论是采用求取电压、电流各自的相位角, 还是采用电压、电流的过零点的时间差求取功率因数, 都会不正确的, 因为谐波及非周期分量直接影响到功率因数测量的准确性。本文提出的基于 DSP 技术的功率因数测量方法, 充分利用 DSP 的计算功能, 对电压、电流的采样序列信号, 先进行带通滤波, 带通滤波的截止频率为 35 ~ 60 Hz, 由此而得到电压、电流的滤波序列数据, 基本上消除了非周期分量及高次谐波对功率因数测量的影响, 然后再进行傅氏滤波, 得到完全的基于工频的功率因数。

参考文献:

[1] 王兆安. 谐波抑制和无功率补偿 [M]. 北京: 机械工

业出版社,1998.

- [2] 范蟠果,孙卓.基于瞬时无功功率理论的单相电路功率因数测量方法[J].测控技术,2000,(7):63-64.
- [3] 陈德树.计算机继电保护原理与技术[M].北京:水利电力出版社,1991.
- [4] 喻伟军.微机保护中的相角差计算[J].华东电力,1995,(2):37-38.

收稿日期:2002-09-25

作者简介:

范春菊(1967-),女,副教授,在职博士生,长期从事人工智能在继电保护及综合自动化的研究及教学工作;

郁惟镛(1940-),男,教授,博士生导师,长期从事人工智能在继电保护及综合自动化的研究及教学工作。

Discussion of accurate measurement scheme of power factor

FAN Chun-ju, YU Wei-yong

(Dep. of Electrical Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

Abstract: This paper proposed the accurate measurement scheme of power factor. On the basis of the conventional scheme: Measurement scheme of power factor based on power frequency. The conventional measurement is not very accurate because they did not consider the effect of the harmonic wave and nonperiodic component on accurate measurement of factor. The proposed power factor measuring scheme based on DSP technology can make full use of the calculation function. We can use bandpass filter to process the sampling series signal of voltage and current, and then we can use Fourier Filter to get the phase of the voltage and the current to get the power factor. This method can remove the influence of the non-periodic component and harmonic wave on the measuring accuracy of power factor and get the power factor fully based on the power frequency. Prefix digital band filter can overcome the drawback of the hardware low band filter to get the frequency band information near power frequency. We can use Fourier filter to get voltage and current of power frequency to get power factor based on power frequency.

Key words: power factor; measurement; filter

(上接第40页)

参考文献:

- [1] 石树平,马运荣.论变电站综合自动化技术发展现状及要求[J].继电器,2000,28(10):6-11.
- [2] 沈国荣,黄健.2000年国际大电网会议系列报道[J].电力系统自动化,2001,25(5):1-5.
- [3] 曾庆禹.变电站自动化技术的未来发展(一)[J].电力系统自动化,2000,25(9):1-6.
- [4] 谭文恕.对变电站自动化系统通信网络的要求及通信

未来标准化的动态[J].电网技术,1999,22(12):1-6.

[5] 任雁铭,秦立军,杨奇逊.变电站自动化系统中内部通信网络的研究[J].电网技术,2000,24(5).

[6] 丁书文,赵勇.设计新型变电站综合自动化系统应重视的一些问题[J].电工技术,2000,(1).

收稿日期:2002-11-13

作者简介:

丁书文(1967-),男,硕士,副教授,主要从事电力系统继电保护,变电站自动化的教学与研究。

Choosing internal communication network of digital substation integrated automation system

DING Shurwen

(Zhengzhou Electric Power College, Zhengzhou 450004, China)

Abstract: Along with the appearance and application of new equipment of intelligentize switch and photoelectric transducer, the integrated automation technology of substation is promoted into a digital stage. This paper discusses the characteristics and structure of digital substation integrated automation system. The communication network architecture based on the embedded Ethernet technique for EHV substation automation system is proposed. The application mode and transport mode of Ethernet used in digital substation integrated automation system are researched.

Key words: communication network; digital substation; integrated automation system