

浅谈无功计量方式及平均功率因数计算

吴 桥, 金 萍

(国网江苏省电力公司电力科学研究院, 国家电网公司电能计量重点实验室, 江苏 南京 210019)

摘 要: 简单介绍了用于无功计量的感应式无功电能表及电子式四象限真无功电能表的测量特点, 阐述了只有电子式四象限真无功电能表才能准确测量无功量值, 以及正确表示所有运行工况的电能状态, 并说明了根据四象限真无功计算平均功率因数的重要性。

关键词: 无功; 四象限真无功; 平均功率因数

0 引言

随着计算机及芯片技术的发展, 电子式电能表被广泛应用到电力系统中, 传统的感应式电能表绝大部分已退出运行, 电子式电能表具有可编程性较强以及准确度较高的特点, 从而使无功电能测量更加准确。

在这种背景下, 再谈电子式电能表测量无功电量的原理以及与感应式电能表的对比, 目的是使计量人员了解电子式电能表的测量特点, 厘清平均功率因数的概念, 在与客户的电量纠纷中正确使用平均功率因数, 避免不当取值, 准确计算退补电量。

1 感应式无功电能表的特点

感应式无功电能表就是余弦式电能表, 是在有功电能表的基础上, 改变电压和电流线圈的接线方式, 或者在电压线圈中串接附加电阻, 以达到测量无功电能的目的, 比如内相角 60° 型三相三线无功电能表、跨相 90° 型三相四线无功电能表。这种余弦式电能表的特点是只能在三相电路对称的情况下才能正确测量三相电路无功电量, 如果三相电路不对称, 则会产生线路附加误差。

2 电子式四象限真无功电能表的特点

电子式四象限真无功电能表一般采用交流采样原理, 利用高精度 A/D 转换器, 以相等时间间隔采样电压、电流波形并进行数字化, 再把数字量送入存储器, 通过 DSP 和 CPU 对每个时刻存储的数字量进行积分, 实现对电压、电流、有功功率、无功功率、视在功率等参数的测量, 其原理示意图如

图 1 所示。

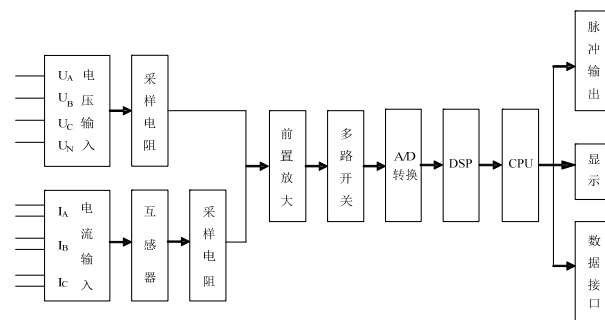


图 1 电子式四象限真无功电能表测量原理示意图

2.1 在交流电路中, 有功功率就相当于平均功率

有功电能 W 是有功功率 P 对时间 t 的积分:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot i(t) dt \quad (1)$$

$$W = \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} u(t) \cdot i(t) dt \quad (2)$$

进行数据处理时, 需要将连续量离散, 用和式代替积分。若以 Δt 的时间间隔对电压和电流进行采样, N 为每个周期的采样次数, 即 $T = N \cdot \Delta t$, 则有功功率和有功电能的公式可以分别表示为:

$$P = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^m u(k) \cdot i(k) \quad (3)$$

$$W = \sum_{k=1}^m u(k) \cdot i(k) \cdot \Delta t \quad (4)$$

式 (3) 及式 (4) 中 $u(k)$ 和 $i(k)$ 分别表示电压和电流的第 k 次采样值, m 为采样点总数, 按照式 (3) 及式 (4) 分别计算出有功功率和有功电量, Δt 越小, 计算结果越准确。

2.2 采用软件 90° 移相法计算真无功

由无功电量公式

$$Q = UI \sin \phi \quad (5)$$

假设一个函数 Q_x 等于电流与移相 90° 后的电压相乘, 即

在 Q_x 的一个周期内积分, 则

$$\begin{aligned} Q_x &= U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) I_m \sin(\omega t - \phi) \\ &= UI \left[\cos(\phi - \frac{\pi}{2}) - \cos(2\omega t - \phi - \frac{\pi}{2}) \right] \quad (6) \\ &= UI \sin \phi - UI \cos(2\omega t - \phi - \frac{\pi}{2}) \end{aligned}$$

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^T Q_x dt = UI \sin \phi \quad (7)$$

对比式 (5) 及式 (7) 式, 说明 Q_x 也表示 t 时刻的瞬时无功功率。

从式 (6) 及式 (7) 式可知,

式 (8) 说明, 无功功率是将电流第 k 次的采样值与滞后 90° 的电压采样值的乘积, N 的取值应为 4 的整数倍。

$$\begin{aligned} Q &= \frac{1}{T} \int_0^T Q_x dt \\ &= \frac{1}{T} \int_0^T U_m \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) I_m \sin(\omega t - \phi) dt \quad (8) \\ &= \frac{1}{N} \sum_{k=1}^m U(k + \frac{N}{4}) \cdot i(k) \end{aligned}$$

同样, 无功电量

$$W_Q = \sum_{k=1}^m U(k + \frac{N}{4}) \cdot i(k) \cdot \Delta t \quad (9)$$

所以, 电子式四象限真无功电能表是在电子式有功电能表的基础上通过调用不同测量模块, 实现无功的测量功能。

3 四象限无功测量

电子式四象限真无功电能表可以将无功电量按四个象限分别测量, 克服了感应式无功电能表的不足。使用感应式无功电能表测量无功电量的方法是在计量点处安装两只带止逆器的感应式无功电能表, 实现测量正反向无功电量。这种无功测量方式

其实不能反映无功电量的真实状况, 四象限无功测量确定了电量潮流的真实状态, 即不同象限的无功对应四种运行工况 (如图 2)。

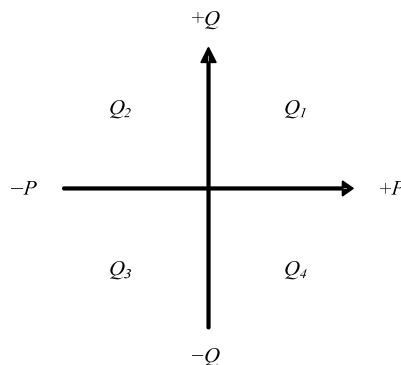


图 2 四象限无功对应四种电能运行工况

其含义是:

Q_1 区——在送出有功的同时送出无功;

Q_2 区——在送入有功的同时送出无功;

Q_3 区——在送入有功的同时送入无功;

Q_4 区——在送出有功的同时送入无功。

四个象限的无功意味着四种不同性质的运行工况, 只用两只感应式无功电能表无法进行区分, 感应式无功电能表只是将输出无功计在正 (或反) 向无功电能表中, 送入无功计在反 (或正) 向无功电能表中。

另外, 在与客户的电量补偿及纠纷中, 有时要测算一段时间内的电量损失, 由于线路功率因数一般不是恒定值, 在电量细节数据缺失的情况下, 只能用平均功率因数取代瞬时功率因数进行计算。

线路平均功率因数的计算公式为:

$$\cos \phi = \frac{P}{\sqrt{(|Q_L| + |Q_C|)^2 + P^2}} \quad (10)$$

其中感性无功 Q_L 和容性无功 Q_C 的方向相反, 公式中采用绝对值相加, 即计算平均功率因数时, 无功是按照有功的送入和送出方向确定的, 对有送、受 (正、反向) 电量的计量点, 送出无功应按有功输出方向设置成计量 I、IV 象限无功之和 ($Q_1 + Q_4$), 送入无功应按送入有功方向设置成计量 II、III 象限无功之和 ($Q_2 + Q_3$)。

则式 (10) 也可以用式 (11) 表示:

而感应式无功电能表, 正向无功测量的是 I、II 象限的无功 ($Q_1 + Q_2$), 反向无功测量的是 III、IV

象限的无功 (Q_3+Q_4), 平均功率因数的计算方式为

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{(|Q_1+Q_4|+|Q_2+Q_3|)^2+P^2}} \quad (11)$$

式(12):

$$\cos\phi = \frac{P}{\sqrt{(|Q_1+Q_2|+|Q_3+Q_4|)^2+P^2}} \quad (12)$$

因此感应式无功电能表不能正确计算平均功率因数。

4 结论

采用交流采样原理的电子式四象限真无功电能表使用多个存贮器分别测量四个象限的无功电量, 并可以对不同象限的无功电量进行任意组合, 反映了真实的运行工况。计量人员必须了解电子式

电能表的无功测量方式, 从而保证无功测量的真实和平均功率因数计算的正确。

参考文献:

- [1] 苏志杨. 四象限无功电能测量[J]. 电测与仪表, 1999, 36(11): 11-13.
- [2] 程瑛颖. 电子式电能表四象限无功的定义及应用[N]. 重庆电力技术监督, 2002.
- [3] 陶军, 吕新伟. 一种基于 SoC 的三相智能电表设计[J]. 江苏电机工程, 2013, 32(4): 38-40.

作者简介:

吴 桥 (1967—), 男, 高工, 主要从事电能计量试验研究工作;

金 萍 (1969—), 女, 高工, 主要从事电能计量试验研究工作。