

## ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОРНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОСЕТИ

О.М.Дорошина, В.Ф.Ткаченко С.В.Хомич

Национальный университет "Львівська политехніка"

г. Львов, ул. Ст. Бандеры, 12

E-mail: serge@polynet.lviv.ua

*Рассматривается проблема цифровой обработки данных мониторинга сигналов промышленной электросети. Анализируются процедуры вычисления мгновенных и действующих значений напряжений и токов, активной и реактивной мощности, частоты.*

**Введение.** Повышение требований к технико-экономическим характеристикам средств мониторинга энергообъектов, с одной стороны, и успешное развитие микропроцессорной техники, с другой стороны, привели к появлению нового поколения этих средств – в виде информационно-вычислительных систем на основе персональных компьютеров и цифровых сигнальных процессоров [1]. В основе определения электроэнергетических параметров в таких системах лежит аналого-цифровое преобразование выборок мгновенных значений напряжений и токов и цифровая обработка результатов преобразования. Естественно, что достоверность мониторинга при этом зависит как от точности аналого-цифрового преобразования, так и от эффективности алгоритмическо-программного обеспечения процедур цифровой обработки.

При мониторинге производства, распределения и потребления электроэнергии контролю, как правило, подвергаются фазные токи, фазные или линейные напряжения, активная и реактивная мощности и энергии трёхфазной сети, частота. При этом сбор данных ведется как по текущим, так и по интегральным значениям параметров.

**Вычисление значений токов и напряжений.** Контрольными параметрами для синусоидальных напряжений  $u(t)$  и токов  $i(t)$ , за которые с некоторым приближением можно принять сигналы промышленной электросети, являются их действующие значения  $N_G$ , где  $G \equiv U$  для  $u(t)$

та  $G \equiv I$  для  $i(t)$ . Кроме того, для определения формы кривых напряжений и токов контролируются их мгновенные значения  $N_{gi}$ , где  $g \equiv u$  или  $g \equiv i$ , на определённом множестве точек дискретизации за период колебаний.

Процедура вычисления действующих значений  $u(t)$  и  $i(t)$ , согласно их определениям [2], должна была бы состоять из возведения в квадрат кодов  $N_{gi}$  выборок нормированных мгновенных значений этих сигналов в  $n$  точках дискретизации за период, суммировании полученных квадратов, делении полученной суммы на  $n$  и извлечения из результата деления корня квадратного. Однако, из-за неточного выполнения функций преобразования, во-первых, и наличия конечных коэффициентов передачи функциональных преобразователей средств мониторинга, во-вторых, процедура определения  $N_G$  должна дополняться, как показано в [3], операциями коррекции  $N_{gi}$  в каждой точке дискретизации  $g(t)$  на значение систематической аддитивной составляющей погрешности  $\Delta_g$ , введения коэффициента коррекции  $K_{кор}$  мультипликативной систематической составляющей погрешности АЦП и умножения конечного результата преобразований на масштабный коэффициент  $K_G$ .

Выполнение процедур вычисления действующих значений напряжений и токов в системах мониторинга на основе персонального компьютера, с мощным системным программным обеспечением, не составляет сложностей. Что же касается сигнальных процессоров, то тут возникают некоторые проблемы с операцией извлечения корня квадратного из-за сложности и сравнительно большого времени её прямой реализации. Значительно упростить выполнение этой операции позволяет табличный способ [4], по которому массивы кодов ожидаемых результатов извлечения корня заносятся в запоминающее устройство по адресам, соответствующим квадратам этих результатов, и при выполнении операции извлечения корня считываются по этим адресам. Однако, при малом шаге квантования контролируемых параметров в расширенном диапазоне их изменения реализация приведенного способа требует значительного увеличения объёма

запоминающего устройства, что не всегда приемлемо.

Вторым способом упрощения операции извлечения корня квадратного может быть её выполнение на основе стандартной для сигнальных процессоров операции примитива деления DIVQ, совмещающей операции вычитания, генерации бита результата вычитания и смещения кода вычитаемого. При этом первое вычитаемое должно формироваться как  $2^{m-3}$ , где  $m$  – число разрядов  $N_G^{*2}$ , а алгоритм шага извлечения корня должен состоять из:

- выполнения DIVQ и обновления остатка вычитания при нулевом бите результата;

- формирования очередного вычитаемого в виде результата предыдущих шагов выполнения DIVQ, умноженного на  $2^2$ , плюс единица.

Процедура формирования кодов мгновенных значений напряжений и токов при контроле за их формой должна включать операции коррекции аддитивной и мультипликативной составляющих погрешностей и масштабирования:

$$N_{gj} = (N_{gj}^* - \Delta_g) \sqrt{nK_{kor}} K_G \quad (1)$$

Вычисление активной и реактивной мощностей. Определение активной и реактивной мощностей трёхфазной электросети может быть сведено к вычислению соответственно активных  $P$  и реактивных  $Q$  мощностей фаз с последующим их сложением, а энергий – к формированию сумм текущих значений мощностей за заданные промежутки времени

Процедура вычисления  $P$ , согласно с её определением [2], должна состоять из вычисления суммы произведений кодов мгновенных значений напряжения  $N_{uj}^*$  и тока  $N_{ij}^*$  в  $n$  точках дискретизации за период с учётом аддитивных и мультипликативных составляющих погрешностей определения этих кодов и умножения конечной суммы на масштабный коэффициент  $K_P$ . Кроме того, возможность неправильной взаимофазировки напряжения и тока из-за нарушения порядка подключения обмоток трансформаторов измерительных каналов приводит к необходимости введения коэффициента фазировки  $K_i$ . При этом процедура формирования показания  $N_P$

активной мощности может быть описана следующим образом:

$$N_P^* = \sum_{j=1}^n (N_{ij}^* - \Delta_i)(N_{uj}^* - \Delta_u) K_i \rightarrow \quad (2)$$

$$N_P^* = N_P^* K_{kor} \rightarrow N_P = N_P^* K_P$$

С учетом того, что  $\text{Cos}(\pi \pm \varphi) = -\text{Cos}(\varphi)$ , а  $\text{Sin}(\pi \pm \varphi) = \pm \text{Sin}(\varphi)$ , коэффициент  $K_i$  может определяться:

- по знаку результата вычисления мощности, полученному при  $K_i = 1$  и синусоидальных контролируемых сигналах с нулевым угловым сдвигом между ними:

$$K_i = +1, \text{ если } \text{sign}[N_P] = 0, \quad (3)$$

$$K_i = -1, \text{ если } \text{sign}[N_P] = 1.$$

- по сравнению знаков сумм мгновенных значений синусоидальных напряжения и тока с нулевым угловым сдвигом за промежуток времени до  $1/2$  периода, например, его четверть;

$$K_i = +1, \text{ если } \text{sign} \left[ \sum_{j=1}^{n/4} N_{uj} \right] = \text{sign} \left[ \sum_{j=1}^{n/4} N_{ij} \right] \quad (4)$$

$$K_i = -1, \text{ если } \text{sign} \left[ \sum_{j=1}^{n/4} N_{uj} \right] \neq \text{sign} \left[ \sum_{j=1}^{n/4} N_{ij} \right]$$

Масштабный коэффициент  $K_P$  может вычисляться по значениям масштабных коэффициентов напряжения  $K_U$  и тока  $K_I$ :

$$K_P = \frac{K_U K_I}{k_p}, \quad (5)$$

где  $k_p$  – коэффициент пропорциональности, определяется из условия, что ожидаемый результат вычисления значения мощности, при отсутствии угловой погрешности  $\Delta_k$  измерительного канала параметра, должен соответствовать заданной точности  $1/\delta_p$  квантования  $N_P$ :

$$N_P^* \frac{K_U K_I}{k_p} = (10^{\epsilon_p} P) \geq \frac{1}{\delta_p}, \quad (6)$$

Тут же следует отметить, что прямое определение  $K_P$  аналогично  $K_G$  [3] может получиться некорректным из-за наличия  $\Delta_k$ .

Вычисление показания  $N_Q$  реактивной мощности может выполняться аналогично вычислению  $N_P$  по процедуре (2) при сдвиге  $N_{ij}$  по отношению к  $N_{uj}$  на  $n/4$  отсчёта. Однако, конечное значение  $n$  в этом случае может привести к достаточно большой дополнительной угловой погрешности.

Поэтому наиболее целесообразным для определения  $Q$  является использования алгоритма со сдвигом выборок напряжения и тока для мгновенных мощностей на  $\pm$  шаг дискретизации [5]. При этом за период колебаний контролируемых сигналов вычисляются две суммы произведений выборок мгновенных значений напряжения на  $j$ -ых шагах дискретизации с выборками тока соответственно на  $(j-1)$ -ых и  $(j+1)$ -ых шагах дискретизации и, с учётом инструментальных погрешностей преобразований, находится разница этих сумм, которая умножается на число отсчётов за период и масштабный коэффициент  $K_Q$ :

$$N_{q1}^* = \sum_{j=1}^n (N_{i(j-1)}^* - \Delta_i)(N_{uj}^* - \Delta_u)K_i$$

$$N_{q2}^* = \sum_{j=1}^n (N_{i(j+1)}^* - \Delta_i)(N_{uj}^* - \Delta_u)K_i \rightarrow (7)$$

$$N_Q^* = (N_{q1}^* - N_{q2}^*)nK_{kor} \rightarrow N_Q = N_Q^*K_Q.$$

Масштабный коэффициент  $K_Q$  вычисляется по значениям  $K_U$  и  $K_I$  аналогично  $K_P$  согласно (6).

Следует отметить, что процедура (7) может использоваться и для вычисления активной мощности при трансформации  $N_Q^*$  та  $N_Q$  соответственно в:

$$N_P^* = (N_{q1}^* + N_{q2}^*)K_{kor}; \quad (8)$$

$$N_P = N_P^*K_{P-}. \quad (9)$$

**Вычисление частоты.** В многоканальных системах мониторинга энергообъектов частота  $f_g$ , как правило, определяется по обращению периода [2], значение которого оценивается числом выборок мгновенных значений одного из контролируемых сигналов  $g(t)$  за  $S$  последовательных периодов его колебания:

$$N_P = \sum_{s=1}^S n_s \geq \frac{1}{\delta_T} \geq \frac{1}{\delta_F}, \quad (10)$$

где:  $\delta_T$  и  $\delta_F$  – предельные допустимые значения погрешностей представления соответственно  $T_g$  и  $F_g$ .

При этом процедура вычисления  $F_g$  состоит из операций определения постоян-

ного числа пропорциональности  $N_{TF}$  между показаниями периода  $N_T/S$  и частоты  $N_F$  и деления  $N_{TF}$  на  $N_T$ :

$$N_{TF} = \frac{10^{\varepsilon_{TF}} S}{\tau} \rightarrow$$

$$N_F = \frac{N_{TF}}{N_T} = 10^{\varepsilon_F} F \geq \frac{1}{\delta_F}, \quad (11)$$

где  $\tau$  – шаг дискретизации  $g(t)$ .

**Выводы.** В статье рассмотрены процедуры цифровой обработки кодов выборок мгновенных значений напряжений и токов для определения формы кривых сигналов, параметров электроэнергии и частоты. Предложены пути упрощения операции извлечения корня квадратного. Рассмотрены операции по компенсации инструментальных погрешностей измерительных каналов контролируемых величин.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дороніна О.М., Лавров Г.М., Хомич С.В. Сучасна концепція побудови інформаційно-вимірювальної системи АСУ енергетичних об'єктів// Вісник НУ "Львівська політехніка" №546. Комп'ютерні системи та мережі. – Львів: НУ "ЛП", 2005. – С.50-53.
2. Дороніна О.М., Лавров Г.М., Хомич С.В. Підвищення точності вимірювальних каналів комп'ютеризованої системи контролю та діагностики енергооб'єктів// Вісник НУ "Львівська політехніка" №492. Комп'ютерні системи та мережі. – Львів: НУ "ЛП", 2003. - С.54-58.
3. Дороніна О.М., Хомич С.В. Особенности автоматического выбора диапазонов измерения системы мониторинга энергетических параметров электросети// Системы контроля окружающей среды. Средства и информационные технологии. Сборник научных трудов НАНУ. – Севастополь: МГИ, 2006. - С.78-80.
4. Пат.6353 Україна, МПК H03M 1/06. Пристрій для контролю середньоквадратичного значення змінної напруги/ О.М.Дороніна, В.М.Ванько, Г.М.Лавров. – 1994; Бюл. № 8-1.
5. Дороніна О.М., Лавров Г.М., Хомич С.В. Визначення активної та реактивної потужностей у системних мультиметрах електричних величин промислової електромережі// Вісник НУ "Львівська політехніка" №437. Комп'ютерні системи та мережі. – Львів: НУ "ЛП", 2001. - С.59-61.