

Способ внутрипериодного измерения комплекса параметров трехфазной сети

БАБАЕВ С.С.

Предлагается способ внутрипериодного измерения комплекса параметров электрических сигналов трехфазной сети, отмечена возможность измерения параметров несинусоидальных электрических сигналов при искажениях напряжения сети, описывается алгоритм измерения и микропроцессорное устройство реализации способа.

Ключевые слова: электрическая сеть, частота, напряжение, ток, мощность, синусоидальный сигнал, цифровое преобразование

Динамичное развитие экономики неразрывно связано с интенсивным развитием инфраструктуры и, как следствие, с возрастанием потребления энергетических ресурсов. При этом задача электроэнергетики как одной из базовых отраслей экономики заключается в обеспечении стабильной работы электроэнергетических объектов (ЭЭО), надежности и эффективности функционирования ЭЭО, определяющих устойчивость и «живучесть» всей электроэнергетической системы в целом.

Успешное решение этих задач на основе АСУ ТП определяется полнотой, достоверностью и оперативностью формирования базы данных о режимных параметрах функционирования ЭЭО, что возможно только на основе быстродействующих методов измерения этих параметров. При низком быстродействии традиционных методов измерения электрических величин (ввиду их интегрирования и усреднения, как правило, за несколько периодов) задача повышения быстродействия измерения на основе методов и средств внутрипериодного измерения (МСВИ) является весьма актуальной [1].

Созданию и перспективам развития МСВИ различного назначения, реализуемым в них алгоритмам измерений и принципам построения, а также исследованиям погрешностей МСВИ посвящены работы [2, 3]. Показано, что МСВИ основаны на косвенных измерениях, например, мгновенных значений напряжения (и тока) с последующим вычислением параметров электрических сигналов путем математической обработки результатов промежуточных измерений. Такая обработка наиболее эффективна на базе микропроцессоров и возможна при априорном знании формы сигнала. Исследования показали, что простота алгоритма вычислений, высокое быстродействие и приемлемая точ-

A method for measuring a set of parameters characterizing the electric signals of a three-phase network inside the period is proposed. The possibility of measuring the parameters of nonsinusoidal electric signals caused by distortions of the network voltage waveform is pointed out. The measurement algorithm and the microprocessor device used for implementing the proposed method are described.

Key words: electric network, frequency, voltage, current, power, sinusoidal signal, digital conversion

ность измерения обеспечиваются при синусоидальных сигналах. Поэтому МСВИ и ориентированы, в основном, на их исследование. Однако нелинейные искажения сигналов ЭЭО приводят к значительным погрешностям МСВИ, что ограничивает область их применения исследованием лишь синусоидальных сигналов.

Для расширения области применения МСВИ в [4] предложены способ и устройство преобразования искаженного сигнала в синусоидальный с сохранением неизменным наиболее информативного – действующего значения сигнала путем выделения основной гармоники и ее адаптивного усиления. Теоретические и экспериментальные исследования показали высокую эффективность подавления гармоник, точность преобразования и стабильность передаточной характеристики устройства для входных сигналов различного вида, состава гармоник и их интенсивности. Предложенный способ позволил применить МСВИ для измерения параметров электрических сигналов при искажениях напряжения сети.

Постановка задачи. Систематизация МСВИ по различным критериям [1–3] позволила в качестве основных классификационных признаков выбрать целевое назначение МСВИ и число измеряемых параметров и разделить их на МСВИ временных параметров, параметров интенсивности и комплексные МСВИ. Последние позволяют проводить комплексную оценку состояния ЭЭО на основе многомерных МСВИ и сократить номенклатуру средств измерения. По указанным группам МСВИ предложен ряд новых решений [5–11]. Разработанные МСВИ временных параметров электрических сигналов ЭЭО рассмотрены в [12], а МСВИ параметров интенсивности – в [13]. В статье рассмотрены вопросы построения много-

мерных МСВИ для комплексного измерения параметров синусоидальных сигналов с возможностью их использования при искаженных сигналах на основе способа [4].

Методы решения. Базирование МСВИ на косвенных методах измерения мгновенных значений сигнала позволяет использовать их для вычисления и анализа комплекса параметров режимов функционирования ЭЭО, распределительных электрических сетей, показателей качества электроэнергии [14, 15]. При этом цифровая обработка по «выборочным» мгновенным значениям [16] связана с формированием моментов дискретизации и требует предварительного определения частоты в сети, а необходимость проведения последовательных измерений по трем фазам снижает быстродействие. Кроме того, не представляется возможным измерение активной (реактивной) мощности из-за отсутствия фиксации временного положения сигналов относительно друг друга и фазового сдвига между напряжениями и токами фаз.

Указанные недостатки исключены в способе измерения комплекса параметров синусоидальных сигналов трехфазной сети [11]. На рис. 1 представлена временная диаграмма, поясняющая суть способа.

Пусть в моменты перехода через нуль одного из напряжений $U_A(t)$, $U_B(t)$ и $U_C(t)$ фаз A , B и C измеряются мгновенные значения двух других, не равных нулю фазных напряжений, и пусть измерения последовательно проводятся в моменты t_0 , t_1 и t_2 (см. рис. 1), причем в момент t_0 напряжение $u_A(t)$ переходит через «0» (от «минуса» к «плюсу»). Тогда справедлива система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} u_0 &= U_{mC} \sin(\pi - \omega t_1) = U_{mC} \sin \omega t_1; \\ u'_0 &= U_{mB} \sin(2\pi - \omega t_2) = -U_{mB} \sin \omega t_2; \\ u_1 &= U_{mA} \sin \omega t_1; \\ u'_1 &= U_{mB} \sin[2\pi - \omega(t_2 - t_1)] = -U_{mB} \sin \omega(t_2 - t_1); \\ u_2 &= U_{mA} \sin \omega t_2; \\ u'_2 &= U_{mC} \sin[\pi + \omega(t_2 - t_1)] = -U_{mC} \sin \omega(t_2 - t_1), \end{aligned} \right\} (1)$$

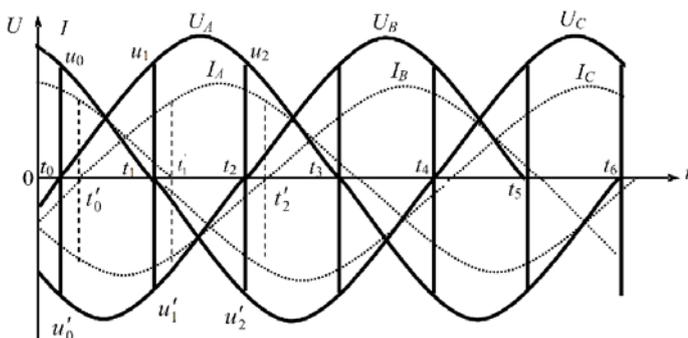


Рис. 1. Временная диаграмма, поясняющая суть способа

где $u_0, u'_0, u_1, u'_1, u_2, u'_2$ – мгновенные значения соответствующих напряжений фаз, определяемых в последовательные моменты t_0, t_1, t_2 их перехода через нуль; U_{mA}, U_{mB}, U_{mC} – амплитудные значения напряжений фаз $u_A(t), u_B(t), u_C(t)$; ω – угловая частота.

Разделив первое уравнение на третье, второе на пятое и четвертое на шестое, получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{u_0}{u_1} &= \frac{U_{mC}}{U_{mA}}; \\ \frac{u'_0}{u_2} &= -\frac{U_{mB}}{U_{mA}}; \\ \frac{u'_1}{u'_2} &= \frac{U_{mB}}{U_{mC}} \end{aligned} \right\} (2)$$

и представим эту систему в виде:

$$\left. \begin{aligned} u_0 U_{mA} - u_1 U_{mC} &= 0; \\ u'_0 U_{mA} + u_2 U_{mB} &= 0; \\ u'_2 U_{mB} - u'_1 U_{mC} &= 0. \end{aligned} \right\} (3)$$

Перепишем (3) с учетом последовательности напряжений фаз A, B и C в виде:

$$\left. \begin{aligned} u_0 U_{mA} - 0 \cdot U_{mB} - u_1 U_{mC} &= 0; \\ u'_0 U_{mA} + u_2 U_{mB} + 0 \cdot U_{mC} &= 0; \\ 0 \cdot U_{mA} + u'_2 U_{mB} - u'_1 U_{mC} &= 0. \end{aligned} \right\} (4)$$

Получим систему трех линейных однородных уравнений (равны нулю и все частные определители) с тремя неизвестными. Поскольку определитель системы (4) $\Delta \neq 0$, что следует из

$$\Delta = \begin{vmatrix} u_0 & 0 & -u_1 \\ u'_0 & u_2 & 0 \\ 0 & u'_2 & -u'_1 \end{vmatrix} = -u_0 u'_1 u_2 - u'_0 u_1 u'_2, \quad (5)$$

то для нетривиального решения системы (4) необходимо, чтобы $\Delta = 0$, т.е.

$$u_0 u'_1 u_2 = -u'_0 u_1 u'_2. \quad (6)$$

Ранг матрицы (5) равен 2, так как угловой верхний левый минор – определитель 2-го порядка:

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} u_0 & 0 \\ u'_0 & u_2 \end{vmatrix} \neq 0,$$

и переставлять уравнения и неизвестные в них не требуется.

Решаем систему (4), полагая один из членов уравнения равным 1, например третий член первого уравнения $u_1 U_{mC} = 1$, т.е.

$$U_{mC} = 1/u_1, \quad (7)$$

тогда из первого уравнения получим

$$U_{mA} = 1/u_0. \tag{8}$$

Подставляя (8) во второе уравнение системы (4), имеем

$$U_{mB} = -\frac{u'_0}{u_0 u_2}. \tag{9}$$

Таким образом, при выполнении условия (6) и с учетом (7)–(9) можно утверждать, что любой вектор (U_{mA}, U_{mB}, U_{mC}) вида

$$\lambda \left(\frac{1}{u_0}; -\frac{u'_0}{u_0 u_2}; \frac{1}{u_1} \right) \forall \lambda \tag{10}$$

является линейно независимым фундаментальным решением (3).

Если существуют λ и ω такие, при которых первое, второе и четвертое уравнения системы (1) превратятся в тождество, то полностью удовлетворены уравнения системы (1). Подставляя найденные значения (10) в первое, второе и четвертое уравнения системы (1), получим:

$$\left. \begin{aligned} \lambda \sin \omega t_1 &= u_0 u_1; \\ \lambda \sin \omega t_2 &= u_0 u_2; \\ \lambda \sin \omega(t_2 - t_1) &= \frac{u_0 u'_1 u_2}{u'_0}. \end{aligned} \right\} \tag{11}$$

Исходя из предположения, что система (11) совместна, т.е. имеет решение, преобразуем ее и решим. Разделив первое уравнение на второе и третье на первое, запишем систему (11) в виде:

$$\left. \begin{aligned} u_1 \sin \omega t_2 &= u_2 \sin \omega t_1; \\ u_1 \sin \omega(t_2 - t_1) &= \frac{u'_1 u_2}{u'_0} \sin \omega t_1. \end{aligned} \right\} \tag{12}$$

Обозначив

$$y = \omega t_1; \quad z = \omega(t_2 - t_1), \tag{13}$$

перепишем (12) в виде:

$$\begin{aligned} u_1 \sin(y + z) &= u_2 \sin y; \\ u_1 \sin z &= \frac{u'_1 u_2}{u'_0} \sin y. \end{aligned}$$

Применяя формулу синуса суммы, получим при $u'_1 = u'_0$:

$$\left. \begin{aligned} u_1 (\sin y \cos z + \sin z \cos y) &= \frac{u'_1 u_2}{u'_0} \sin y; \\ \sin z &= \frac{u'_1 u_2}{u'_0 u_1} \sin y. \end{aligned} \right\} \tag{14}$$

Возведя в квадрат обе части второго уравнения системы (14) и заменив $(\sin z)^2$ на $1 - (\cos z)^2$, получим

$$\cos z = \sqrt{1 - \left(\frac{u'_1 u_2}{u'_0 u_1} \sin y \right)^2},$$

так как $\cos z > 0$ (на практике меньше 90°). Обозначим

$$D = \frac{u'_1 u_2}{u'_0 u_1} \tag{15}$$

и подставим выражение для $\cos z$ и $\sin z$ второго уравнения в первое системы (14), тогда

$$\sin y \sqrt{1 - (D \sin y)^2} + D \sin y \cos y = D \sin y$$

или, так как $\sin y \neq 0$, то

$$\sqrt{1 - (D \sin y)^2} + D \cos y = D. \tag{16}$$

Перенесем $D \cos y$ в правую часть и возведем обе части уравнения (16) в квадрат:

$$1 - (D \cos y)^2 = D^2 - 2D^2 \cos y + D^2 \cos^2 y$$

или

$$1 = D^2 (\sin^2 y + \cos^2 y) - 2D^2 \cos y + D^2,$$

откуда

$$\cos y = (2D^2 - 1) / 2D^2. \tag{17}$$

Проверим, действительно ли решение (17) удовлетворяет (16). Заменим в (16) $\sin^2 y = 1 - \cos^2 y$ и подставим $\cos y$ из (17):

$$\begin{aligned} \sqrt{1 - D^2 \left[1 - \left(\frac{2D^2 - 1}{2D^2} \right)^2 \right]} &= D - D \frac{2D^2 - 1}{2D^2}; \\ \sqrt{1 - D^2 \frac{(2D^2)^2 - (2D^2 - 1)^2}{(2D^2)^2}} &= D \left(1 - \frac{2D^2 - 1}{2D^2} \right); \end{aligned}$$

$$\sqrt{1 - \frac{4D^2 - 1}{4D^2}} = D \frac{1}{2D^2}; \quad \sqrt{\frac{1}{4D^2}} = \frac{1}{2D},$$

откуда следует, что при $D \geq 0$ найденное решение действительно удовлетворяет (16).

Подставляя (13) и (15) в (17), получим

$$\cos \omega t = \frac{2(u'_1 u_2)^2 - (u'_0 u_1)^2}{2(u'_1 u_2)^2},$$

откуда

$$\omega = \frac{1}{t_1} \arccos \frac{2(u'_1 u_2)^2 - (u'_0 u_1)^2}{2(u'_1 u_2)^2}. \quad (18)$$

Подставляя в первое уравнение системы (11) найденное значение ω , находим λ :

$$\lambda = \frac{u_0 u_1}{\sin \left[\arccos \frac{2(u'_1 u_2)^2 - (u'_0 u_1)^2}{2(u'_1 u_2)^2} \right]}.$$

Так как круговая функция $\arccos x = \left| \arcsin \sqrt{1-x^2} \right|$, то в рассматриваемом случае $\sin(\arccos x) = \sin(\arcsin \sqrt{1-x^2}) = \sqrt{1-x^2}$ и выражение для λ можно представить как

$$\lambda = \frac{u_0 u_1}{\sqrt{1 - \left(\frac{2(u'_1 u_2)^2 - (u'_0 u_1)^2}{2(u'_1 u_2)^2} \right)^2}} \quad (19)$$

или после преобразования

$$\lambda = \frac{2u_0 u_1 (u'_1 u_2)^2}{(u'_0 u_1)^2 \sqrt{4 \left(\frac{u'_1 u_2}{u'_0 u_1} \right)^2 - 1}}. \quad (20)$$

Так как удовлетворяются (2) и 1, 2 и 4-е уравнения системы (1), то удовлетворяются уравнения (3), (5) и (6), т.е. уравнения всей системы (1). Подставим значение (20) в (10):

$$U_{mA} = \frac{1}{u_0} \lambda = \frac{2u_1 (u'_1 u_2)^2}{(u'_0 u_1)^2 \sqrt{4 \left(\frac{u'_1 u_2}{u'_0 u_1} \right)^2 - 1}}; \quad (21)$$

$$U_{mB} = \frac{u'_0}{u_0 u_2} \lambda = - \frac{2u_1 (u'_1)^2 u_2}{u'_0 (u_1)^2 \sqrt{4 \left(\frac{u'_1 u_2}{u'_0 u_1} \right)^2 - 1}}; \quad (22)$$

$$U_{mC} = \frac{1}{u_1} \lambda = \frac{2u_0 (u'_1 u_2)^2}{(u'_0 u_1)^2 \sqrt{4 \left(\frac{u'_1 u_2}{u'_0 u_1} \right)^2 - 1}}. \quad (23)$$

В общем случае выражения (20)–(23) для амплитудных (и действующих) значений одноименных сигналов напряжения (и тока) и выражения (18) для частоты сети могут быть представлены в виде:

$$\left. \begin{aligned} A_{mA} &= \frac{1}{a_0} \lambda; \quad A_{mB} = - \frac{a'_0}{a_0 a_2} \lambda; \quad A_{mC} = \frac{1}{a_1} \lambda; \\ \lambda &= \frac{2a_0 a_1 (a'_1 a_2)^2}{(a'_0 a_1)^2 \sqrt{4 \left(\frac{a'_1 a_2}{a'_0 a_1} \right)^2 - 1}}; \\ f &= \frac{1}{2\pi t_1} \arccos \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{a'_0 a_1}{a'_1 a_2} \right)^2 \right]. \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

Здесь $a_0, a'_0, a_1, a'_1, a_2, a'_2$ – мгновенные значения соответствующих сигналов напряжения (тока), определяемые в последовательные моменты времени t_0, t_1, t_2 (t'_0, t'_1, t'_2) перехода через нуль сигнала соответствующей фазы (см. рис. 1).

Сигналы фаз A, B, C в устройстве измерения (см. рис. 2) поступают на входы преобразователей напряжения и тока $ПрН$ и $ПрТ$, имеющих идентичные структуры (рис. 3) и алгоритмы работы. В $ПрН$ фазные напряжения $U_A(t), U_B(t), U_C(t)$ поступают через входные устройства $Bx_1 - Bx_2$ на входы коммутатора K и усилителей-формирователей $УФ_1 - УФ_3$. (см. рис. 3). Последние формируют высокий потенциал в положительный и низкий – в отрицательный полупериоды фазного напряжения, поступающего на схему управления $СУ$.

Измерение начинается в момент перехода любого из фазных напряжений через нуль, т.е. по переднему или заднему фронту любого из сигналов $УФ_1 - УФ_3$. Анализируя эти сигналы, $СУ$ подключает к $АЦП$ (+) и $АЦП$ (–) через коммутатор K два фазных напряжения соответственно положительной или отрицательной полярностей, т.е. в момент $t_0 - u_C(t)$ и $u_B(t)$; $t_1 - u_A(t)$ и $u_B(t)$; $t_2 - u_A(t)$ и $u_C(t)$ соответственно (рис. 1).

Пусть измерение начинается в момент t_0 по переднему фронту сигнала $УФ_1$ фазы A (см. рис. 3). По нему $СУ$ посылает на $АЦП$ (+) и $АЦП$ (–) строб-сигналы, по которым значения $u_C(t)$ и $u_B(t)$ преобразуются $АЦП$ (+) и $АЦП$ (–) в цифровой код

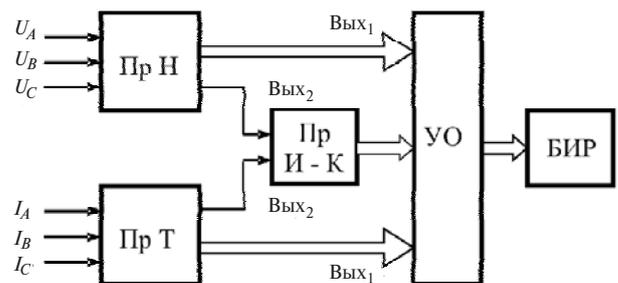


Рис. 2. Структурная схема устройства измерения и контроля комплекса параметров синусоидальных сигналов

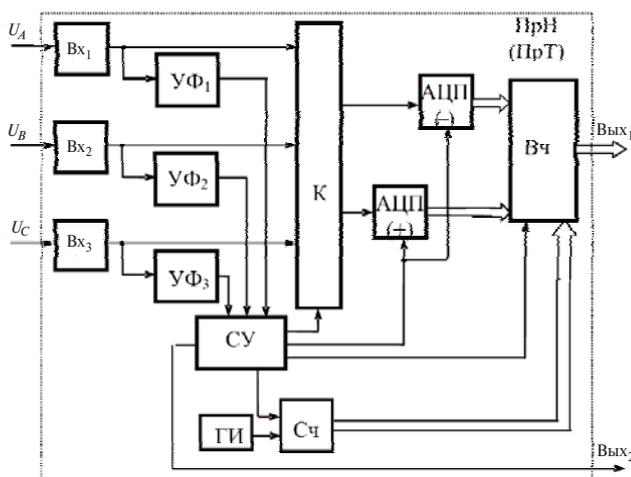


Рис. 3. Структурная схема преобразователя напряжения (тока) *PrH* (*PrT*)

u_0 и u'_0 соответственно. Далее *СУ* подает на управляющий вход вычислителя *Вч* сигнал о преобразовании фаз *C* и *B*, по которому *Вч* считывает информацию с обоих *АЦП* и заносит ее в память. Одновременно *СУ* сбрасывает счетчик *Сч* и формирует на его входе «временные ворота» для подсчета импульсов с генератора *ГИ*. В момент t_1 алгоритм измерения по заднему фронту сигнала с *УФ3* фазы *C* идентичен описанному.

В момент t_2 по переднему фронту сигнала с *УФ2* фазы *B* происходит преобразование $u_A(t)$ и $u_C(t)$ (см. рис. 1) посредством *АЦП(+)* и *АЦП(-)* в цифровые коды u_2 и u'_2 . Считывание *Вч* информации с обоих *АЦП* и со *Сч* означает окончание измерения. В момент t_2 в *Вч* каждого из преобразователей *PrH* и *PrT* будут накоплены коды, соответствующие шести мгновенным значениям ($a_0, a'_0, a_1, a'_1, a_2, a'_2$) синусоидальных сигналов фаз (*A*, *B*, *C*), а также двум интервалам времени $[t_0, t_1]$ и $[t_1, t_2]$ между переходами через «0» этих сигналов. По этим кодам в соответствии с формулами (24) определяются амплитудные (действующие) значения фазных напряжений (токов) и частота сети.

В устройстве измерения (рис. 2) в момент t_0 *СУ* формирует на *Вых2* преобразователя *PrH* (см. рис. 3) сигнал (пусть в сети напряжение опережает ток), по которому в преобразователе интервала в код (*PrI-K*) начинается преобразование интервала запаздывания между напряжением U_A и током I_A фазы *A*. В момент t'_0 перехода через нуль I_A на *Вых2* преобразователя *PrT* появится сигнал, по которому *PrI-K* прекращает оцифровку интервала $[t_0, t'_0]$ и выдает на устройство обработки *УО* информацию о запаздывании I_A относительно U_A .

Таким образом, преобразователи *PrH* и *PrT* передают посредством шин *Вых1* и *Вых2* от *Вч* на *УО* информацию об амплитудных (действующих) зна-

чениях фазных напряжений и токов, частоте сети и углах сдвига фаз между напряжениями (токами). Например, из рис. 1 видно, что угол сдвига фаз *B* и *C* относительно фазы *A* будет: $\psi_B = 2\pi f(\Delta t_1 + \Delta t_2)$, $\psi_C = \pi(1 - 2f\Delta t_1)$, где $\Delta t_1 = [t_0, t_1]$, $\Delta t_2 = [t_1, t_2]$. По этим данным и по информации с преобразователя *PrI-K* о времени запаздывания между U и I устройство *УО* определяет сдвиг ϕ между u и i соответствующих фаз, а следовательно, $\cos\phi$ для каждой фазы, активные и реактивные мощности, полную мощность, а также преобразует информацию для блока индикации и регистрации *БИР* (см. рис. 2). Предложенный способ [11] обеспечивает измерение комплекса параметров синусоидальных сигналов трехфазной сети за время не более трети их периода.

Выводы. 1. Разработанные многомерные МСВИ, включая усовершенствованные варианты МСВИ временных параметров [5, 8], параметров интенсивности [6, 7] и комплекса режимных параметров сигнала [11], имеют ограниченный диапазон измерений (по интенсивности или частоте), а МСВИ [5, 6, 8, 11] могут использоваться только для измерения номинальных величин с допустимыми отклонениями. Кроме того, исследуемые сигналы не должны иметь в своем составе гармонической или постоянной составляющих, кроме устройства [7].

2. Разработанные МСВИ имеют более высокое быстродействие измерения по сравнению с МСВИ временных параметров и параметров интенсивности (время измерения $t_{изм} \leq T/2$ [7], $t_{изм} \leq T/3$ [11], $t_{изм} \leq T/4$ [5, 6, 8]).

3. По технической реализации многомерные МСВИ являются цифровыми, имеют вычислители на микропроцессорах (кроме усовершенствованного варианта), что расширяет их функциональные возможности за счет совмещения функций измерения и первичной обработки информации. При этом децентрализация обработки информации в условиях АСУ ТП позволяет разгрузить дорогое звено ИИС – каналы связи.

4. По совокупности характеристик наиболее перспективно микропроцессорное устройство измерения, в котором широкие функциональные возможности (измерение амплитудного (и действующего) значения напряжения (и тока) трех фаз, частоты сети, суммарной и фазной активной и реактивной мощностей, полной мощности) сочетаются с относительно несложным алгоритмом обработки и высоким быстродействием измерения $t_{изм} \leq T/3$. К тому же, в нем не проводится характерное для других МСВИ кондиционирование сигнала (операции сдвига, усиления, нормирования и др.) и тем самым исключаются погрешности от указанных функциональных преобразований.

5. В целом, перенесение «центра тяжести» на алгоритмические методы измерения с микропроцессорной обработкой данных позволяет расширить функциональные возможности реализации способа без значительных аппаратных затрат, получить экономический эффект за счет сокращения номенклатуры средств измерений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бабаев С.С.** Вопросы повышения быстродействия измерения электрических величин. — Приборы, 2002, № 4.
2. **Babayev S., Mirsalimov R.** Inperiod measurement of electrical values (condition and prospects of development). — Proc. of the Third World Conf. on Intelligent Systems for Industrial Automation (WCIS-2004), Tashkent (Uzbekistan), October 2004.
3. **Бабаев С.С., Болдырев Г.И., Касимзаде М.С., Хайкин Е.И.** Методы и средства внутрипериодного измерения параметров электрических сигналов энергообъектов. Обзорная информация. Серия: Средства и системы управления в энергетике. — М.: Информэнерго, 1988, вып. 6.
4. **Бабаев С.С.** Способ коррекции электрических сигналов при искажениях напряжения сети. — Электричество, 2009, №3.
5. **А.с. № 1190286 (СССР).** Низкочастотный частотомер/С.С. Бабаев, М.С. Касимзаде, Г.И. Болдырев, Е.И. Хайкин. — БИ, 1985, № 41.
6. **А.с. № 1269041 (СССР).** Способ измерения амплитудного значения переменного напряжения/С.С. Бабаев, М.С. Касимзаде, Г.И. Болдырев, Е.И. Хайкин.—БИ, 1986, № 41.
7. **А.с. № 1272270 (СССР).** Устройство измерения параметров электрического сигнала/С.С. Бабаев, Г.И. Болдырев, М.С. Касимзаде и др. — БИ, 1986, № 43.
8. **А.с. № 1287030 (СССР).** Устройство для измерения частоты синусоидальных сигналов/ М.С. Касимзаде, С.С. Бабаев, Г.И. Болдырев и др. — БИ, 1987, № 4.
9. **А.с. № 1485137 (СССР).** Способ измерения действующего значения переменного напряжения/С.С. Бабаев, Г.И. Болдырев, Е.И. Хайкин — БИ, 1989, № 21.
10. **А.с. № 1677649 (СССР).** Устройство для измерения синусоидального напряжения/ С.С. Бабаев, Г.И. Болдырев, М.С. Касимзаде, Е.И. Хайкин. — БИ, 1991, № 34.
11. **А.с. № 1679398 (СССР).** Способ измерения комплекса параметров синусоидальных сигналов трехфазной сети / С.С. Бабаев, Л.Р. Мишне, Е.И. Хайкин. — БИ, 1991, № 35.
12. **Бабаев С.С.** Методы и средства внутрипериодного измерения временных параметров электрических сигналов. — Изв. НАН Азербайджана (серия физ.-тех. и мат. наук). Т. XXX (информатика и проблемы управления), 2010, №3.
13. **Бабаев С.С.** Быстродействующие способы и средства измерения параметров интенсивности электрических сигналов энергообъектов. — Проблемы энергетики, 2010, №1.
14. **Карташев И.И., Пономаренко И.С., Ярославский В.Н.** Требования к средствам измерения показателей качества электроэнергетики. — Электричество, 2000, № 4.
15. **Пономаренко И.С.** Функциональные требования к приборам для комплексного анализа параметров режимов распределительных электрических сетей. — Электрические станции, 2003, № 8.
16. **Горлач А.А., Минц М.Я., Чинков В.Н.** Цифровая обработка сигналов в измерительной технике. — Киев: Техника, 1985.

[07.09.10]

А в т о р: Бабаев Сабухи Салех оглы окончил факультет автоматики и вычислительной техники Московского энергетического института в 1966 г. В 2009 г. защитил докторскую диссертацию «Основы построения ИИС контроля, учета и анализа параметров функционирования электроэнергетических объектов (методы, средства, алгоритмы)» в Институте кибернетики НАН Азербайджана. Начальник отдела информационных технологий и инноваций Азербайджанского научно-исследовательского и проектно-изыскательского института энергетики.

* * *

ЧИТАТЕЛЯМ, ПОДПИСЧИКАМ, РЕКЛАМОДАТЕЛЯМ ЖУРНАЛА «ЭЛЕКТРИЧЕСТВО»

Подписка в России и странах СНГ принимается в отделениях связи.

Зарубежные читатели могут подписаться на «Электричество»
во всех крупных международных подписных агентствах.

Для желающих представить в журнал статью сообщаем, что правила подготовки рукописей публикуются в №№ 6 и 12 каждого года.

Реклама в черно-белом изображении может быть размещена на страницах журнала и на его обложке, а также в виде вкладки.

Возможно размещение рекламы в цветном изображении (стоимость по договоренности).

При повторении той же рекламы в следующем номере — скидка 10%. При публикации той же рекламы в третьем и последующих номерах — скидка 20%. Стоимость оплаты рекламных статей — по договоренности. Последний срок представления рекламного материала — за 1,5 месяца до выхода номера из печати (обычно номер выходит в середине каждого месяца).

Адрес для переписки: 101000 Москва, Главпочтамт, а/я 648

тел./факс: (7-495)362-7485

E-mail: l.s.kudinova@rambler.ru