

# Информационно-измерительная система оперативного определения параметров силового электрооборудования\*

Муратова В.В., Ярославкина Е.Е., Орлов С.П.

Самарский государственный технический университет  
г. Самара, Российская Федерация

[muratova1991@yandex.ru](mailto:muratova1991@yandex.ru), [k0046979@yandex.ru](mailto:k0046979@yandex.ru), [orlovsp1946@gmail.com](mailto:orlovsp1946@gmail.com)

**Аннотация.** Рассматривается задача динамического измерения параметров периодических сигналов при контроле силового электрооборудования. Разработан комплекс из пяти методов оперативного измерения значений тока и напряжения периодических сигналов, активной и реактивной мощности. В основе методов лежит использование дополнительных сигналов, разделенных в пространстве. На основе предложенных методов создана информационно-измерительная система с гибкой структурой, адаптирующаяся к задачам измерений. В докладе рассмотрен пример применения информационно-измерительной системы при приемо-сдаточных испытаниях силового электрооборудования. Выполнена оценка методической погрешности метода определения информативных параметров, которая обусловлена отклонением реального сигнала от гармонического вида. Получены выражения для относительных погрешностей определения среднеквадратического значения сигналов и приведенной погрешности измерения активной и реактивной мощности. Разработанная методология обеспечивает выбор соответствующих измерительных средств в зависимости от требуемой точности измерения параметров.

**Ключевые слова:** силовое электрооборудование, информационно-измерительные системы, интегральные характеристики периодического сигнала, среднеквадратическое значение напряжения и тока

## ВВЕДЕНИЕ

Силовое электрооборудование является сложной составляющей промышленных объектов с большим числом контролируемых параметров. Для обеспечения бесперебойной работы такого оборудования, контроля его аварийных и предаварийных режимов большое значение имеет оперативное измерение информативных параметров сигнала. В связи с этим актуальной является задача разработки информационно-измерительных систем (ИИС) контроля предаварийных режимов работы силового оборудования с высоким быстродействием измерения их параметров. При измерении таких информативных параметров, как среднеквадратическое, средневыпрямленное значение тока и напряжения, активная и реактивная мощность и других, возникает задача обеспечения необходимого быстродействия и точности определения мгновенных значений (МгЗ) параметров сигнала и обеспечения многоканальности измерений.

При реализации процедур измерений, контроля и испытаний энергообъектов целесообразно использовать

аппроксимационные методы. Большинство данных об исследуемом объекте, полученных экспериментально и представленных в виде чисел и графиков, позволяют построить математическую модель объекта с использованием аппроксимирующих зависимостей.

Одним из направлений, используемых для реализации методов измерения параметров гармонических сигналов, является разделение мгновенных значений сигналов в пространстве за счет формирования дополнительных сигналов (ДС) напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно входных. Это обеспечивает существенное сокращение времени определения интегральных характеристик периодического сигнала (ИХПС) [1-10]. В настоящее время разработкам новых методов и средств определения интегральных характеристик, имеющих улучшенные метрологические характеристики, посвящены работы [11-16]. Однако в упомянутых работах отсутствует системный подход для построения быстродействующих средств измерения интегральных характеристик.

Для измерения параметров периодических сигналов эффективно применение аппроксимативного подхода [14,15], обеспечивающего общеметодологическую основу для унификации средств измерений, а также их метрологического анализа [13].

В работах В.С. Мелентьева, В.И. Батищева [13-18] аппроксимационный подход активно использовался для решения оперативного нахождения ИХПС. Этот подход основан на определении интегральных характеристик по функциональной зависимости от параметров модели периодического (в том числе и гармонического) сигнала, а также формировании дополнительного сигнала.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Одним из основных факторов, ограничивающих точность ИИС, использующих формирование дополнительного сигнала является погрешность по напряжению (погрешность по модулю) фазосдвигающего блока (ФБ). Наличие данного вида погрешности приводит к различию амплитуд входного и дополнительного сигналов [19]. Другим фактором, оказывающим существенное влияние на погрешности определения информативных параметров сигналов, является возможность возникновения частотной погрешности фазосдвигающего блока, а также угловой погрешности фазосдвигающих блоков при формировании нескольких дополнительных сигналов.

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 18-08-00253, 16-08-00252). Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-технической конференции "Пром-Инжиниринг" (ICIE-2019), <http://icie->

Для оптимального выбора аппаратных средств при проведении испытаний силового оборудования в зависимости по точности и быстродействию авторами был разработан ряд методов определения ИХПС, разделенных в пространстве. Рассмотренные методы позволяют частично или полностью исключить погрешности, возникающие при формировании дополнительного сигнала.

В табл. 1 представлены разработанные методы, основанные на использовании одного и более дополнительных сигналов.

Таблица 1

Методы измерений

Номер метода	Процедура измерения
I	Определение параметров по мгновенным значениям входных сигналов и дополнительного напряжения, измеренным в моменты переходов сигналов напряжения через ноль и через произвольный интервал времени
II	Определение параметров по мгновенным значениям входных сигналов, измеренным в моменты переходов входного и дополнительного напряжений и тока через ноль
III	Определение параметров по мгновенным значениям входных сигналов с использованием переходов ортогональных составляющих напряжения через ноль
IV	Определение параметров по мгновенным значениям входных сигналов на основе формирования дополнительных сигналов напряжения и использования их характерных точек
V	Определение параметров по мгновенным значениям сигналов на основе сравнения мгновенных значений гармонических сигналов, разделенных в пространстве

СТРУКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ

Для реализации комплекса предложенных методов быстрого измерения параметров электросилового оборудования была разработана ИИС, обобщенная структура которой приведена на рис. 1.

ИИС имеет перестраиваемую структуру в зависимости от типа контролируемого оборудования и его режимов эксплуатации. Блок управления формирует измерительные каналы, соответствующие выбранному методу измерений (см. табл 1). Это позволяет оперативно реагировать на изменения параметров измеряемых сигналов электрооборудования, в частности, при появлении предаварийной ситуации.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.

АНАЛИЗ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

Использование разработанных методов и ИИС показано на примере приемо-сдаточных испытаний электродвигателей погружных насосов для нефтяных скважин. Для измерений параметров был применен метод I “Определение параметров по мгновенным значениям входных сигналов и дополнительного напряжения, измеренным в моменты переходов сигналов напряжения через ноль и через произвольный интервал времени”.

Сущность метода основана на том, что в момент времени, когда дополнительный сигнал напряжения, сдвинутый по фазе относительно входного на угол  $\Delta\alpha$ , переходит

через ноль, производят измерение мгновенного значения входного напряжения; в момент времени, когда входной сигнал напряжения переходит через ноль, одновременно измеряют мгновенное значение дополнительного напряжения и тока; через интервал времени  $\Delta t$  осуществляют одновременное измерение мгновенного значения входного и ДС напряжения и тока. Искомые информативные параметры вычисляют по измеренным значениям [20].

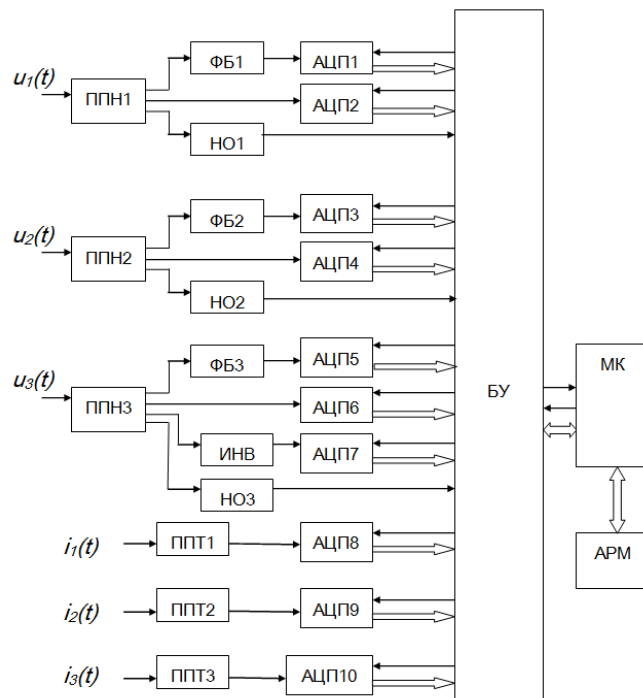


Рис. 1. Структура информационно-измерительной системы: ППН1-ППН3 – первичные преобразователи напряжения; первичные преобразователи тока; НО1-НО3 – нуль-органы; АЦП1-АЦП10 – аналого-цифровые преобразователи; ФБ1-ФБ3 – фазосдвигающие блоки; ИНВ – инвертор; БУ – блок управления; МК – микроконтроллер; АРМ – автоматизированное рабочее место оператора

Временные диаграммы, поясняющие метод, приведены на рис. 2.

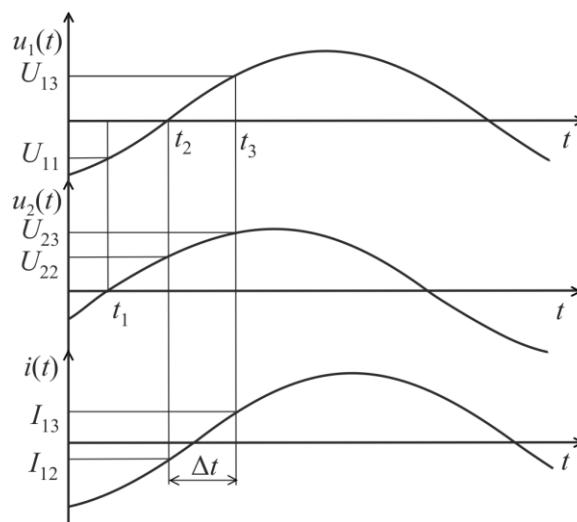


Рис. 2. Графики процессов, поясняющие метод измерения параметров

Для входных гармонических сигналов напряжения  $u_1(t) = U_{m1} \sin \omega t$  и тока  $i(t) = I_m \sin(\omega t + \phi)$  ДС напряжения примет вид:  $u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \Delta\alpha)$ , где  $U_{m1}$ ,  $U_{m2}$  – амплитудные значения входного и дополнительного напряжений.

В момент перехода дополнительного напряжения через ноль (момент времени  $t_1$  на рис. 3) выражение для мгновенного значения напряжения примет вид:  $U_{11} = U_{m1} \sin(-\Delta\alpha)$ .

В момент времени  $t_2$ , когда входной сигнал напряжения переходит через ноль, мгновенные значения сигналов будут равны:  $U_{22} = U_{m2} \sin \Delta\alpha$ ;  $I_{12} = I_m \sin \phi$ .

Через интервал времени  $\Delta t$  (в момент времени  $t_3$ ) мгновенные значения напряжения и тока будут определяться следующими выражениями:  $U_{13} = U_{m1} \sin \omega \Delta t$ ;  $U_{23} = U_{m2} \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t)$ ;  $I_{13} = I_m \sin(\phi + \omega \Delta t)$ .

Погрешность по модулю фазосдвигающего блока ФБ можно оценить следующим коэффициентом [27]:

$$k_m = \frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \left| \frac{U_{11}}{U_{22}} \right|.$$

За счет использования данного коэффициента, можно произвести корректировку МгЗ дополнительного напряжения:

$$U'_{22} = k_m U_{22} = U_{m1} \sin \Delta\alpha;$$

$$U'_{23} = k_m U_{23} = U_{m1} \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t).$$

С учетом скорректированных МгЗ сигналов можно найти выражения для определения информативных параметров для случая, когда  $\Delta\alpha \leq 90^\circ$ :

$$U_{CK3} = \frac{\sqrt{2} |U_{13} U'_{22} U'_{23}|}{\sqrt{4U_{22}^2 U_{23}^2 - (U_{22}^2 - U_{13}^2 + U_{23}^2)^2}} \quad (1)$$

$$I_{CK3} = \sqrt{\frac{U_{22}^2 U'_{23} [2U'_{22} U'_{23} (I_{12}^2 + I_{13}^2) - I_{12} I_{13} (U_{22}^2 - U_{13}^2 + U_{23}^2)]}{4U_{22}^2 U_{23}^2 - (U_{22}^2 - U_{13}^2 + U_{23}^2)^2}} \quad (2)$$

$$P = \frac{|U_{13} U'_{22} U'_{23}| [2I_{13} U'_{22} U'_{23} - I_{12} (U_{22}^2 - U_{13}^2 + U_{23}^2)]}{[4U_{22}^2 U_{23}^2 - (U_{22}^2 - U_{13}^2 + U_{23}^2)^2]} \quad (3)$$

$$Q = \frac{I_{12} |U_{13} U'_{22} U'_{23}|}{\sqrt{4U_{22}^2 U_{23}^2 - (U_{22}^2 - U_{13}^2 + U_{23}^2)^2}} \quad (4)$$

При отклонении реального сигнала от модели гармонического сигнала предельные значения абсолютной погрешности определения параметров сигналов в соответствии с (1)-(4) примут вид:

$$\Delta U_{CK3} = \left( \left| \frac{\partial U_{CK3}}{\partial U'_{22}} \right| + \left| \frac{\partial U_{CK3}}{\partial U_{13}} \right| + \left| \frac{\partial U_{CK3}}{\partial U'_{23}} \right| \right) \Delta U_{\max}; \quad (5)$$

$$\Delta I_{CK3} = \left( \left| \frac{\partial I_{CK3}}{\partial I_{12}} \right| + \left| \frac{\partial I_{CK3}}{\partial I_{13}} \right| \right) \Delta I_{\max} +$$

$$+ \left( \left| \frac{\partial I_{CK3}}{\partial U'_{22}} \right| + \left| \frac{\partial I_{CK3}}{\partial U_{13}} \right| + \left| \frac{\partial I_{CK3}}{\partial U'_{23}} \right| \right) \Delta U_{\max} \quad (6)$$

$$\Delta P = \left( \left| \frac{\partial P}{\partial I_{12}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial I_{13}} \right| \right) \Delta I_{\max} +$$

$$+ \left( \left| \frac{\partial P}{\partial U'_{22}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial U_{13}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial U'_{23}} \right| \right) \Delta U_{\max} \quad (7)$$

$$\Delta Q = \left| \frac{\partial Q}{\partial I_{12}} \right| \Delta I_{\max} + \left( \left| \frac{\partial Q}{\partial U'_{22}} \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial U_{13}} \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial U'_{23}} \right| \right) \Delta U_{\max} \quad (8)$$

При использовании (1)-(4) с учетом (5)-(8) можно найти относительные погрешности определения среднеквадратического значения (СКЗ) сигналов и приведенной погрешности измерения активной и реактивной мощности:

$$\delta_{U_{CK3}} = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}}{\sqrt{2 \left( 1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2 \right) |\sin \Delta\alpha \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t)|}} \times$$

$$\times \left\{ |\sin \Delta\alpha [\sin \Delta\alpha - \sin(\Delta\alpha + 2\omega \Delta t)]| + \right.$$

$$\left. + 2|\sin \omega \Delta t \cos \Delta\alpha \sin(\omega \Delta t + \Delta\alpha)| + |\cos(\omega \Delta t + 2\Delta\alpha)| \right\}; \quad (9)$$

$$\delta_{I_{CK3}} = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{ik} [|\cos \phi| + |\cos(\phi - \omega \Delta t)|]}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2} |\sin \omega \Delta t|} +$$

$$+ \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}}{2 \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2} \sin^2 \omega \Delta t |\sin \Delta\alpha \sin(\omega \Delta t + \Delta\alpha)|} \times$$

$$\times \left[ |\sin \omega \Delta t \cos \Delta\alpha| |\cos \omega \Delta t + \cos(2\omega \Delta t + \phi)| + \right.$$

$$\left. + |\sin \Delta\alpha + \sin(2\omega \Delta t + \Delta\alpha)| + \right.$$

$$\left. + |\sin \omega \Delta t| |2 \sin \phi \sin(\omega \Delta t + \phi) - 1| \right]; \quad (10)$$

$$\gamma_P = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2} |\sin \omega \Delta t|} \left( \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik} (|\cos \omega \Delta t| + 1) + \right.$$

$$+ \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}}{|\sin \omega \Delta t \sin \Delta\alpha \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t)|} \times$$

$$\times \left\{ |\sin \omega \Delta t| |\cos \phi \cos \Delta\alpha \cos(\omega \Delta t + \Delta\alpha) + \cos(\omega \Delta t + \phi)| + \right.$$

$$\left. + |\cos(\omega \Delta t + \phi) + \cos \omega \Delta t \cos \phi| \times \right.$$

$$\left. \times [|\sin \Delta\alpha - \sin(2\omega \Delta t + \Delta\alpha)| + |\sin \omega \Delta t \cos \Delta\alpha|] \right\}; \quad (11)$$

$$\gamma_Q = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2}} \times$$

$$\times \left\{ \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik} + \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} |\sin \phi|}{2 |\sin \Delta\alpha \sin \omega \Delta t \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t)|} \right\} \times$$

$$\times \left[ 2 \sin^2 \omega \Delta t |\cos \Delta \alpha \cos \omega \Delta t| + |\cos \omega \Delta t + \cos (\omega \Delta t + 2 \Delta \alpha)| + |\cos \omega \Delta t \sin \omega \Delta t| |\sin \Delta \alpha - \sin (2 \omega \Delta t + \Delta \alpha)| \right] \quad (12)$$

Из анализа (9)-(12) следует, что погрешности измерения информативных параметров зависят от спектра сигналов, угла сдвига фазы ФБ и интервала  $\omega \Delta t$ .

Кроме этого, погрешности измерения СКЗ тока, активной и реактивной мощности определяются также и углом сдвига фаз между первыми гармониками напряжения и тока  $\varphi$ .

Анализ выражения (12) показывает, что при  $\varphi=0^\circ$  приведенная погрешность измерения реактивной мощности не зависит от  $\Delta \alpha$  и  $\omega \Delta t$  и является постоянной величиной.

Графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ напряжения от  $\Delta \alpha$  и  $\omega \Delta t$  при наличии в сигналах 1-ой и 3-й гармоник с  $h_{u3}=0,1\%$ , построенные согласно (9), показаны на рис. 3.

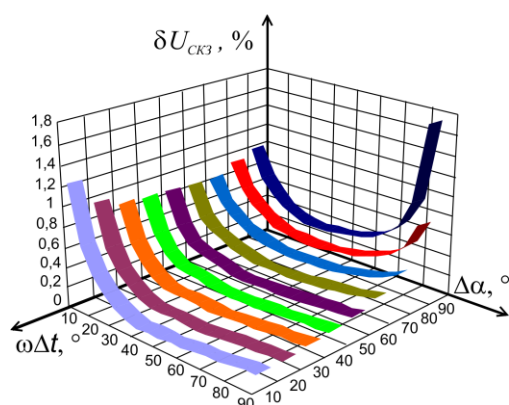


Рис. 3. Графики зависимости  $\delta U_{СКЗ}$  от  $\Delta \alpha$  и  $\omega \Delta t$

В соответствии с (10) и (11) были построены графики зависимости относительной погрешности от измерения СКЗ тока и приведенной погрешности определения активной мощности от  $\Delta \alpha$  и  $\omega \Delta t$  при наличии в сигналах 1-ой и 3-й гармоники  $h_{u3}=h_{i3}=0,1\%$  для  $\varphi=0^\circ$ , которые показаны на рис. 4 и рис. 5.

Проведенный дополнительный анализ показал, что с увеличением угла сдвига фаз между входным сигналом напряжения и тока погрешности измерения СКЗ тока и активной мощности снижаются. Графики приведенной погрешности измерения реактивной мощности от  $\Delta \alpha$  и  $\omega \Delta t$  при наличии в сигналах 1-ой и 3-й гармоник с  $h_{u3}=h_{i3}=0,1\%$  для  $\varphi=90^\circ$ , построенные согласно (12), показаны на рис. 6.

В докладе также проведен анализ погрешности квантования при использовании в ИИС аналого-цифрового преобразования мгновенных значений сигналов.

В предположении равенства погрешностей всех АЦП определены относительные погрешности измерения СКЗ напряжения и тока и приведенные погрешности измерения активной и реактивной мощностей.

Погрешности измерения информативных параметров зависят от числа разрядов аналого-цифрового преобразователя  $n$ , угла сдвига фазы ФБ  $\Delta \alpha$  и интервала  $\omega \Delta t$ . Кроме этого, погрешности определения СКЗ тока, активной и реактивной также характеризуются углом сдвига фаз  $\varphi$  между входным сигналом напряжения и тока.

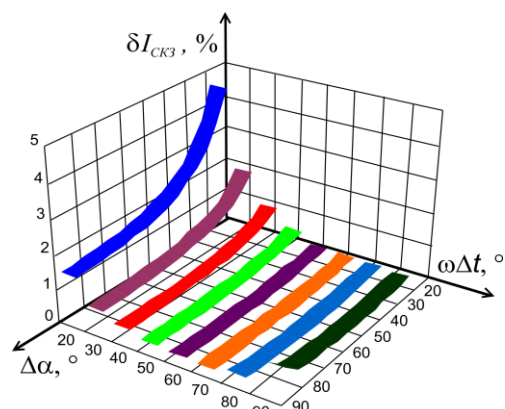


Рис. 4. Графики зависимости погрешности  $\delta I_{СКЗ}$  от  $\Delta \alpha$  и  $\omega \Delta t$  при  $\varphi=0^\circ$

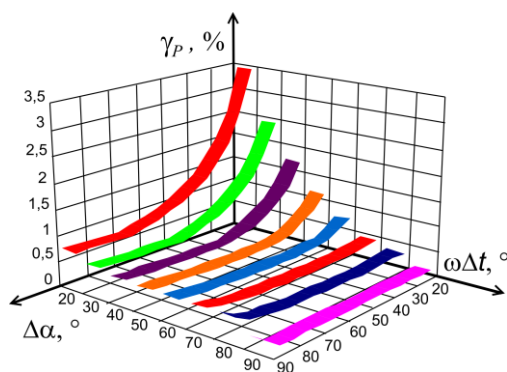


Рис. 5. Графики зависимости погрешности  $\gamma_P$  от  $\Delta \alpha$  и  $\omega \Delta t$  при  $\varphi=0^\circ$

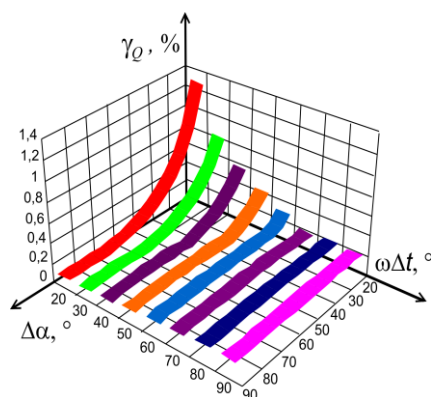


Рис. 6. Графики зависимости погрешности  $\gamma_Q$  от  $\Delta \alpha$  и  $\omega \Delta t$  при  $\varphi=90^\circ$

Анализ показал, что погрешности измерения ИХПС могут быть значительно снижены за счет соответствующего выбора угла сдвига ФБ  $\Delta \alpha$  и интервала  $\omega \Delta t$ .

#### ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ

Экспериментальные исследования проводились для электрооборудования для нефтяных скважин. Они показали, что разработанная ИИС обеспечивает измерение среднеквадратического значения напряжения и тока с основной относительной погрешностью не больше 0,1%, а активной и реактивной мощности – с основной приведенной погрешностью не больше 0,1%.



В табл. 2 приведены сведения о применимости разработанных методов измерений для контроля электродвигателей и электронасосов ( $\delta$  – максимальная относительная погрешность,  $T_{изм}$  – время измерения).

Таблица 2

Области применения

Номер метода	Характеристики	Область применения метода
I	$\delta=5\%$ $T_{изм} \leq 7$ мс	Контроль высоковольтного оборудования, обнаружение аварийных и предаварийных состояний. Отсутствует погрешность фазосдвигающего блока.
II	$\delta=18\%$ $T_{изм} \leq 5$ мс	Приемо-сдаточные испытания силовых трансформаторов
III	$\delta=0,35\%$ $T_{изм} \leq 10$ мс	Оперативное управление средствами защиты мощного электрооборудования. Простота реализации метода.
IV	$\delta=1,4\%$ $T_{изм} \leq 12$ мс	Автоматические системы контроля электроэнергии
V	$\delta=0,28\%$ $T_{изм} \leq 4$ мс	Системы защиты силового электрооборудования. Высокое быстродействие, малые значения угловой погрешности и погрешности по модулю ФБ.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная ИИС контроля электрических параметров силового электрооборудования характеризуется высоким быстродействием и точностью. Используется новый метод определения всего комплекса информационных интегральных характеристик. Особенностью методов измерения является коррекция погрешностей фазосдвигающих блоков ИИС. Это позволяет проводить измерения за время не более четверти периода, с минимальными аппаратными затратами. Проведенные экспериментальные исследования показали, что разработанная система позволяет оперативно определять информативные параметры силового электрооборудования для предотвращения аварийных режимов

Как отмечено выше, информационно-измерительная система имеет перестраиваемую структуру. Перспективным является выполнение ИИС в виде программируемой аналого-цифровой системы на кристалле [21]. Микроминиатюрная система на основе процессора MIPS “Baikal” будет обладать высокой функциональной гибкостью, возможностью встраивания в конструктив контролируемого сложного электрооборудования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Automated Power Quality Monitoring System for On-line Detection and Classifications of Disturbances / V. Matz, T. Radil, P. Ramos, A.C. Serra // Proceedings of the IEEE IMTC. – 2007. – P. 7083.1-7083.6.
2. Agrež D. Estimation and Tracking of the Power Quality Disturbances in the Frequency Domain / Measurement science review. – 2010. – vol. 10, no. 6. – P. 189-194.
3. Marzetta L.A. An evaluation of three-voltmeter method for AC power measurement // IEEE Trans. on Instrum. and Measur. – 1972. – vol. 21(4). – P. 353-357.
4. Smith Y.R. Rapid detection and measurement of 3-phase reactive power, power and power-factor // Electron. Lett. – 1972. – vol. 8 (23). – P. 574-575.

5. Clarke F.J.J. Principles and theory of wattmeter’s operating on the base of regularly spaced sample pairs / F.J.J. Clarke, J.R. Stockton // Journ. Phys. Ser. E. Sci. Instr. – 1982. – vol. 15 (6). – P. 645-652.

6. Yang A.H. Digitale Drehstrom – Meßeinheit Regelstechn / A.H. Yang, M. Steidentop // Prax. – 1982. – vol. 24 (6). – P. 197-203.

7. Petrovic P.B. A method of measuring the integral characteristics of a signal // Measurement Techniques. – 2013 – vol. 56 (2). – P. 185-194.

8. Wand M. A practical, precise method for frequency tracking and phasor estimation / M. Wand, Y. Sun // IEEE Trans. Power Delivery. – 2004. – vol. 19 (4). – P. 1547-1552.

9. Terzija V.V. Improved recursive Newton-type algorithms for frequency and spectra estimation in power systems // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 2003 – vol. 52 (5). – P. 1654-1659.

10. Sidhu T.T. Accurate measurement of power system frequency using a digital signal processing technique // IEEE Trans. Instrum. Meas. – 1999. – vol. 48 (1). – P. 75-81.

11. Jiekang W. High-accuracy, wide-range frequency estimation methods for power system signals under nonsinusoidal conditions / W. Jiekang, L. Jun, W. Jixiang // IEEE Transactions. Power Delivery. – 2005. – vol. 20(1). – P. 366-374.

12. Petrovic P.B. A new method of determining the amplitude and phase of an alternating signal / P.B. Petrovic, M.P. Stevanovic // Measurement Techniques. – 2010. – vol. 53 (8). – P. 903-910.

13. Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов / В.С. Мелентьев, В.И. Батищев. – М.: Физматлит, 2011. – 240 p.

14. Melentev V.S. Study of the method of measurement of parameters of periodic signals by their instantaneous values using feature points / V.S. Melentev, Yu.M. Ivanov // Proc. XI International research and practice conference. – Munich, Germany. – 2016. – P. 99-106.

15. Lange P.K. Approximation methods and tools for measuring data acquisition / P.K. Lange, E.E. Yaroslavkina. – Düsseldorf: Lambert Academic Publishing, 2017. – 236 p.

16. Мелентьев В.С. Синтез и анализ методов оперативного измерения параметров периодических процессов на основе формирования дополнительных сигналов / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Тр. XVI Междунар. конф. – Самара: Самарский науч. центр РАН. – 2014. – С. 717-722.

17. Батищев В.И. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики / В.И. Батищев, В.С. Мелентьев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

18. Батищев В.И. Аппроксимационный подход к построению промышленных систем измерений, контроля и испытаний / В.И. Батищев, В.С. Мелентьев // Татищевские чтения: Актуальные проблемы науки и практики. Информационные технологии в организации производства: Материалы V юбилейной междунар. науч.-практ. конф. – Тольятти: Волжский ун-т им. В.Н. Татищева, 2008. – С. 3-16.

19. Муратова В.В. Использование моделирования для определения методической погрешности измерения параметров периодических сигналов / В.С. Мелентьев, Ю.М.

Иванов, В.В. Муратова // Математическое моделирование и краевые задачи: Труды Всеросс. научной конф. с междунар. участием. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т., 2016. – Ч.2. – С. 143-146.

20. Муратова В.В. Метод повышения точности измерения характеристик периодических процессов/ В.С. Мелентьев, В.В. Муратова, Ю.М. Иванов // Известия Самар. науч. центра РАН. – 2013. – Том 15, №4(2). – С. 376-380.

21. Krylov S.M. Multifunctional programmable system-on-chip for heterogeneous signals processing / Krylov S.M., Orlov S.P. Saraev M.V. // International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM). – Saint-Petersburg, 2017. – P. 1-5.

DOI: 10.24892/RIJEE/20190107

# Information-Measuring System for Rapid Determination of the Power Electrical Equipment Parameters

Muratova V.V., Yaroslavkina E.E., Orlov S.P.

Samara State Technical University

Samara, Russian Federation

[muratova1991@yandex.ru](mailto:muratova1991@yandex.ru), [k0046979@yandex.ru](mailto:k0046979@yandex.ru), [orlovsp1946@gmail.com](mailto:orlovsp1946@gmail.com)

**Abstract.** The problem of dynamic measurement of periodic signal parameters in the control of power electrical equipment is considered. A complex of five methods for rapid measurement the current and voltage values of the periodic signals, active and reactive power has been developed. The method is based on the use of additional signals, separated in space. Based on the proposed methods, an information-measuring system with a flexible structure has been created, adapting to the measurement tasks. The report considers an example of the use the information-measuring system for the routine tests of power electrical equipment. The methodical error estimation of the informative parameters determining method was performed, which is caused by the deviation of the real signal from the harmonic form. The expressions for the relative errors in determining the root-mean square value of the signals and the reduced measurement error of the active and reactive power are obtained. The developed methodology provides for the selection of appropriate measurement tools depending on the required accuracy of measurement parameters.

**Keywords:** power electrical equipment, information-measuring systems, the integral characteristics of the periodic signal, root-mean square value of voltage and current

## REFERENCES

1. Matz V., Radil T., Ramos P., Serra A.C. Automated Power Quality Monitoring System for On-line Detection and Classifications of Disturbances, *Proceedings of the IEEE IMTC*, 2007, pp. 7083.1-7083.6. DOI: 10.1109/imtc.2007.379104
2. Agrež D. Estimation and Tracking of the Power Quality Disturbances in the Frequency Domain, *Measurement science review*, 2010, vol. 10, no. 6, pp. 189-194. DOI: 10.2478/v10048-010-0032-4
3. Marzetta L.A. An evaluation of three-voltmeter method for AC power measurement, *IEEE Trans. on Instrum. and Measur.*, 1972, vol. 21(4), pp. 353-357. DOI: 10.1109/tim.1972.4314042
4. Smith Y.R. Rapid detection and measurement of 3-phase reactive power, power and power-factor, *Electron. Lett.*, 1972, vol. 8 (23), pp. 574-575. DOI: 10.1049/el:19720417

5. Clarke F.J.J., Stockton J.R. Principles and theory of wattmeter's operating on the base of regularly spaced sample pairs, *Journ. Phys. Ser. E. Sci. Instr.*, 1982, vol. 15 (6), pp. 645-652. DOI: 10.1088/0022-3735/15/6/011

6. Yang A.H., Steidentop M. Digitale Drehstorn – Meßeinheit Regelugstechn, *Prax*, 1982, vol. 24 (6), pp. 197-203.

7. Petrovic P.B. A method of measuring the integral characteristics of a signal, *Measurement Techniques*, 2013, vol. 56 (2), pp. 185-194.

8. Wand M., Sun Y. A practical, precise method for frequency tracking and phasor estimation, *IEEE Trans. Power Delivery*, 2004, vol. 19 (4), pp. 1547-1552. DOI: 10.1109/tpwrd.2003.822544

9. Terzija V.V. Improved recursive Newton-type algorithms for frequency and spectra estimation in power systems, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 2003, vol. 52 (5), pp. 1654-1659. DOI: 10.1109/tim.2003.817152

10. Sidhu T.T. Accurate measurement of power system frequency using a digital signal processing technique, *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, 1999, vol. 48 (1), pp. 75-81. DOI: 10.1109/19.755064

11. Jiekang W., Jun L., Jixiang W. High-accuracy, wide-range frequency estimation methods for power system signals under nonsinusoidal conditions, *IEEE Transactions. Power Delivery*, 2005, vol. 20(1), pp. 366-374. DOI: 10.1109/tpwrd.2004.837826

12. Petrovic P.B., Stevanovic M.P. A new method of determining the amplitude and phase of an alternating signal, *Measurement Techniques*, 2010, vol. 53 (8), pp. 903-910. DOI: 10.1007/s11018-010-9596-5

13. Melentiev V.S., Batishchev V.I. *Approksimatsionnye metody i sistemy izmereniya i kontrolya parametrov periodicheskikh signalov* [Approximation methods and systems for measuring and monitoring parameters of periodic signals], Moscow, Fizmatlit, 2011, 240 p.(in Russ.)

14. Melentev V.S., Ivanov Yu.M. Study of the method of measurement of parameters of periodic signals by their instan-

taneous values using feature points, *Proc. XI International research and practice conference*, Munich, Germany, 2016, pp. 99-106. (in Russ.)

15. Lange P.K., Yaroslavkina E.E. Approximation methods and tools for measuring data acquisition, Düsseldorf, Lambert Academic Publishing, 2017, 236 p.

16. Melentiev V.S., Ivanov Yu.M., Muratova V.V. Synthesis and analysis of methods for on-line measurement of parameters of periodic processes based on the formation of additional signals [Sintez i analiz metodov operativnogo izmereniya parametrov periodicheskikh protsessov na osnove formirovaniya dopolnitel'nykh signalov], *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh: Tr. XVI Mezhdunar. konf. [Problems of control and modeling in complex systems: Tr. XVI Intern. conf.]*, Samara, Samara Scientific. center of RAS, 2014, pp. 717-722. (in Russ.)

17. Batishchev V.I., Melentiev V.S. *Approksimatsionnye metody i sistemy promyshlennykh izmereniy, kontrolya, ispytaniy, diagnostiki* [Approximation methods and systems for industrial measurement, control, testing, diagnostics], Moscow, Mashinostroenie-1, 2007, 393 p. (in Russ.)

18. Batishchev V.I., Melentiev V.S. Approximation approach to the construction of industrial systems for measurement, control and testing [Approksimatsionnyy podkhod k postroeniyu promyshlennykh sistem izmereniy, kontrolya i ispytaniy], *Tatishchevskie chteniya: Aktual'nye problemy nauki i praktiki. Informatsionnye tekhnologii v organizatsii proizvodstva: Materialy V yubileynoy mezhdunar. nauch.-*

*prakt. konf. [Tatischev readings: Actual problems of science and practice. Information technology in the organization of production: Materials of the V anniversary International. scientific-practical conf.]*, Tolyatti, Volzhsky University. V.N. Tatishcheva, 2008, pp. 3-16. (in Russ.)

19. Muratova V.V., Ivanov Yu.M., Muratova V.V. Using modeling to determine the methodological error of measuring the parameters of periodic signals [Ispol'zovanie modelirovaniya dlya opredeleniya metodicheskoy pogreshnosti izmereniya parametrov periodicheskikh signalov], *Matematicheskoe modelirovanie i kraevye zadachi: Trudy Vseross. nauchnoy konf. s mezhdunar. uchastiem [Mathematical modeling and boundary value problems: Proceedings of All-Russia. scientific conference from Intern. participation]*, Samara, Samar. state tech. Univ., 2016, Part 2, pp. 143-146. (in Russ.)

20. Muratova V.V., Muratova V.V., Ivanov Yu.M. The method of improving the accuracy of measuring the characteristics of periodic processes [Metod povysheniya tochnosti izmereniya kharakteristik periodicheskikh protsessov], *Izvestiya Samar. nauch. tsen-tra RAN [News Samar. scientific Center RAS]*, 2013, Volume 15, no. 4 (2), p. 376-380. (in Russ.)

21. Krylov S.M., Orlov S.P., Saraev M.V., Multifunctional programmable system-on-chip for heterogeneous signals processing, *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*, Saint-Petersburg, 2017, pp. 1-5. DOI: 10.1109/icieam.2017.8076361

#### Библиографическое описание статьи

Муратова В.В. Информационно-измерительная система оперативного определения параметров силового электрооборудования / В.В. Муратова, Е.Е. Ярославкина, С.П. Орлов // *Электротехника: сетевой электронный научный журнал*. – 2019. – Т.6, №1. – С. 47-53. DOI: 10.24892/RIJEE/20190107

#### Reference to article

Muratova V.V., Yaroslavkina E.E., Orlov S.P. Information-measuring system for rapid determination of the power electrical equipment parameters, *Russian Internet Journal of Electrical Engineering*, 2019, vol.6, no.1, pp. 47-53. DOI: 10.24892/RIJEE/20190107