

УДК 621.317

**ВЛИЯНИЕ КВАНТОВАНИЯ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ СИГНАЛОВ НА ПОГРЕШНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК*****В.В. Муратова***Самарский государственный технический университет  
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mail: muratova1991@yandex.ru

*Исследуется метод измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям входных и дополнительных гармонических сигналов. Метод обеспечивает определение характеристик по мгновенным значениям сигналов, измеренным одновременно один раз за период в момент перехода одного из дополнительных напряжений через ноль. Приводятся результаты анализа влияния квантования мгновенных значений сигналов на погрешность результата определения информативных параметров. Установлено, что данный вид погрешности зависит не только от разрядности аналого-цифровых преобразователей, но и от угла сдвига фазы дополнительных сигналов. Полученные результаты позволяют определять оптимальный угол сдвига фазы в зависимости от требований по точности измерения.*

**Ключевые слова:** *характеристики периодических сигналов, дополнительный сигнал, мгновенные значения, блок сдвига фазы, аналого-цифровой преобразователь, погрешность.*

Определение интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХС) находит очень широкое применение в информационно-измерительной технике. Среди большого количества методов измерения ИХС можно выделить методы, представляющие достаточно новое направление, связанное с использованием отдельных мгновенных значений сигналов, которые не имеют непосредственной связи с периодом входного сигнала. При этом можно обеспечить время измерения характеристик менее длительности периода сигнала [1].

Обычно методы, представляющее данное направление, принято разделять на методы, использующие и не использующие формирование дополнительных сигналов, параметры которых связаны с информативными параметрами входных сигналов [2–4].

Методы, реализация которых предусматривает формирование дополнительных сигналов напряжения и тока, обеспечивают в ряде случаев сокращение времени измерения ИХС за счет пространственного разделения мгновенных значений сигналов [5].

В статье исследуется новый метод измерения ИХС, который заключается в том, что формируют два дополнительных напряжения, сдвинутые относительно входного сигнала на углы  $\Delta\alpha$  и  $2\Delta\alpha$ , а также дополнительный ток, сдвинутый относительно входного на угол  $\Delta\alpha$ . В момент перехода через ноль второго дополнительного напряжения, которое сдвинуто относительно входного на угол  $2\Delta\alpha$ , производят од-

---

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16-08-00252 А).*

*Вера Владимировна Муратова, аспирант.*

новременное измерение мгновенных значений входных и дополнительных сигналов напряжения и тока. Для определения ИХС используют измеренные мгновенные значения сигналов [6].

Для пояснения метода могут быть использованы временные диаграммы (рис. 1).

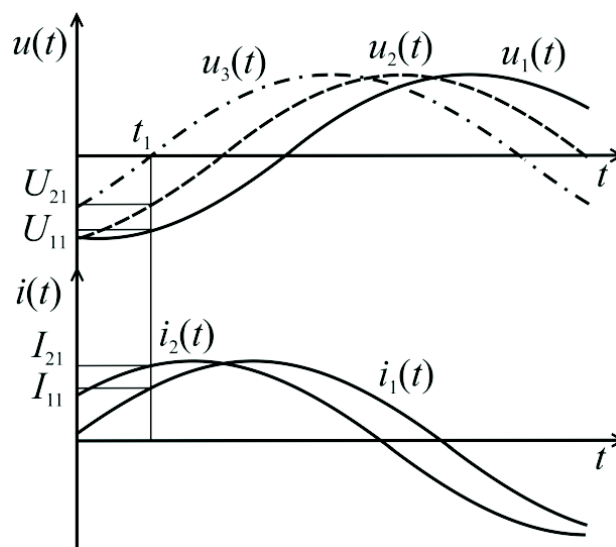


Рис. 1. Временные диаграммы для метода измерения ИХС

Из рис. 1 следует, что определение ИХС производится одновременно и один раз за период.

Если входные напряжение и ток имеют вид  $u_1(t) = U_m \sin \omega t$  и  $i_2(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ , то дополнительные сигналы будут равны  $u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \Delta\alpha)$ ,  $u_3(t) = U_m \sin(\omega t + 2\Delta\alpha)$ ;  $i_2(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi + \Delta\alpha)$ .

Когда второе дополнительное напряжение  $u_3(t)$  переходит через ноль (момент времени  $t_1$ ), мгновенные значения входных и дополнительных сигналов напряжения и тока примут вид

$$U_{11} = U_m \sin(-2\Delta\alpha); U_{21} = U_m \sin(-\Delta\alpha); I_{11} = I_m \sin(\varphi - 2\Delta\alpha); \\ I_{21} = I_m \sin(\varphi - \Delta\alpha).$$

При использовании мгновенных значений сигналов можно найти выражения для определения основных ИХС:

– при измерении среднеквадратических значений (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2}U_{11}^2}{\sqrt{4U_{21}^2 - U_{11}^2}}; \quad (1)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{I_{21}^2(4U_{21}^2 - U_{11}^2) + (I_{21}U_{11} - 2I_{11}U_{21})^2}{2(4U_{21}^2 - U_{11}^2)}}; \quad (2)$$

– при измерении активной (АМС) и реактивной (РМС) мощности сигналов

$$P = \frac{|U_{21}| \left| (U_{11}^2 - 2U_{21}^2)I_{21} + I_{11}U_{11}U_{21} \right|}{4U_{21}^2 - U_{11}^2}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{U_{21}(I_{21}U_{11} - I_{11}U_{21})}{\sqrt{4U_{21}^2 - U_{11}^2}}. \quad (4)$$

Метод можно реализовать, используя следующую информационно-измерительную систему (ИИС) (рис. 2).

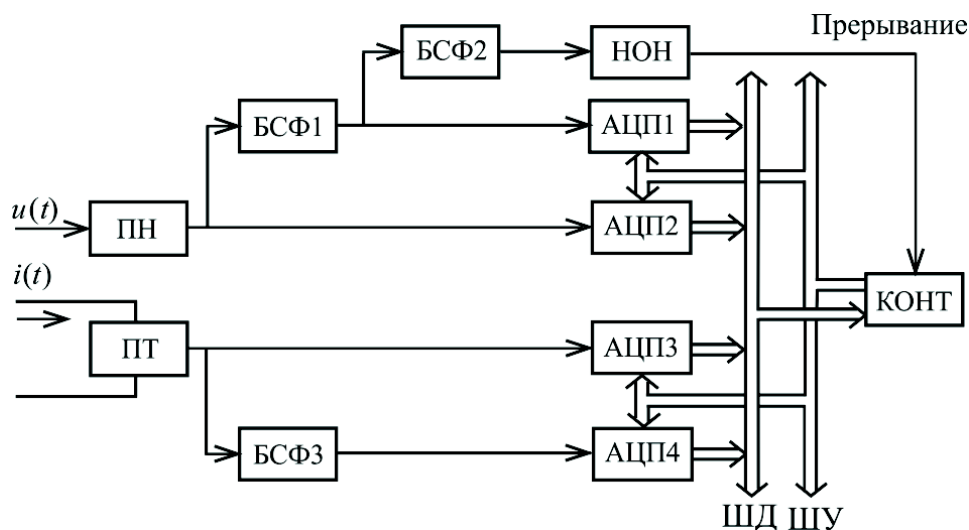


Рис. 2. Функциональная схема ИИС, реализующей метод

Основными блоками ИИС являются: первичные преобразователи напряжения ПН и тока ПТ, блоки сдвига фазы БСФ1–БСФ3, осуществляющие сдвиги дополнительных сигналов на угол  $\Delta\alpha$ , аналого-цифровые преобразователи АЦП1–АЦП3, нуль-орган НОН, контроллер КОНТ с шинами управления ШУ и данных ШД.

Реализация цифровых методов измерений предусматривает возникновение погрешности квантования мгновенных значений сигналов. Для анализа влияния квантования на результирующую погрешность определения ИХС используем методику оценки погрешности вычисления значения функции, аргументы которой заданы приближенно, с помощью дифференцирования этой функции [7]. При этом будем считать, что максимальные абсолютные погрешности аргументов равны погрешностям квантования мгновенных значений.

Выражения для определения предельных значений абсолютных погрешностей определения ИХС согласно (1)–(4) имеют вид

$$\Delta U_{СКЗ} = \left( \left| \frac{\partial U_{СКЗ}}{\partial U_{11}} \right| + \left| \frac{\partial U_{СКЗ}}{\partial U_{21}} \right| \right) \Delta U_m; \quad (5)$$

$$\Delta I_{СКЗ} = \left( \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial I_{21}} \right| + \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial I_{11}} \right| \right) \Delta I_m + \left( \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial U_{11}} \right| + \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial U_{21}} \right| \right) \Delta U_m; \quad (6)$$

$$\Delta P = \left( \left| \frac{\partial P}{\partial U_{11}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial U_{21}} \right| \right) \Delta U_m + \left( \left| \frac{\partial P}{\partial I_{21}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial I_{11}} \right| \right) \Delta I_m; \quad (7)$$

$$\Delta Q = \left( \left| \frac{\partial Q}{\partial U_{11}} \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial U_{21}} \right| \right) \Delta U_m + \left( \left| \frac{\partial Q}{\partial I_{21}} \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial I_{11}} \right| \right) \Delta I_m, \quad (8)$$

где  $\Delta U_m = U_{пр}/2^n$ ;  $\Delta I_m = I_{пр}/2^n$ ;  $U_{пр}$ ,  $I_{пр}$  – максимально допустимые напряжение и ток;  $n$  – число двоичных разрядов АЦП.

За счет использования выражений для абсолютных погрешностей (5)–(8) можно найти относительные погрешности измерения СКЗ сигналов и приведенные погрешности определения АМС и РМС:

$$\delta_{U_{СКЗ}} = \frac{|\cos 2\Delta\alpha| + |\sin 2\Delta\alpha|}{2^n \sin^2 \Delta\alpha}; \quad (9)$$

$$\delta_{I_{СКЗ}} = \frac{1}{2^{n+1} |\sin^3 \Delta\alpha|} \left\{ 2 \sin^2 \Delta\alpha [|\cos(\varphi - \Delta\alpha)| + |\cos(\varphi - 2\Delta\alpha)|] + \right. \\ \left. + (1 + 2|\cos \Delta\alpha|) \cos(\varphi - \Delta\alpha) \cos(\varphi - 2\Delta\alpha) \right\}; \quad (10)$$

$$\gamma_P = \frac{1}{2^n |\sin^3 \Delta\alpha|} \left[ \sin^2 \Delta\alpha (|\cos(\Delta\alpha)| + |\sin^3 \Delta\alpha|) + |\cos^2 \Delta\alpha \cos(\varphi - \Delta\alpha)| + \right. \\ \left. + 0,5 \sin \varphi \sin \Delta\alpha + |\sin \Delta\alpha \sin(\Delta\alpha - \varphi) - 2 \cos^3 \Delta\alpha \cos(\Delta\alpha - \varphi)| \right]; \quad (11)$$

$$\gamma_Q = \frac{1}{2^n |\sin^3 \Delta\alpha|} \left[ |\sin^3 \Delta\alpha| (1 + 2|\cos \Delta\alpha|) + \right. \\ \left. + |\sin \varphi \cos^3 \Delta\alpha + \cos \varphi \sin^3 \Delta\alpha| + 2|2 \sin^3 \Delta\alpha \cos(\varphi - \Delta\alpha) - \sin \varphi| \right]. \quad (12)$$

Анализ выражения (9) указывает на то, что погрешность измерения СКЗ напряжения зависит только от разрядности АЦП и угла сдвига БСФ  $\Delta\alpha$ .

График зависимости погрешности  $\delta_{U_{СКЗ}}$  от  $\Delta\alpha$  для 12-разрядного АЦП, построенный в соответствии с выражением (9), приведен на рис. 3.

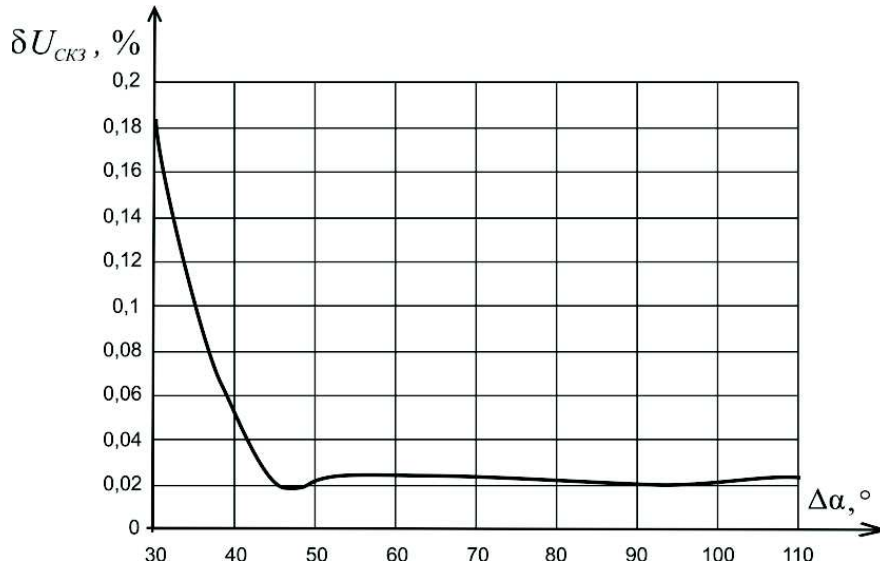


Рис. 3. График зависимости  $\delta_{U_{СКЗ}}$  от  $\Delta\alpha$

Погрешности измерения остальных ИХС зависят еще и от угла сдвига фаз между напряжением и током  $\varphi$ .

На рис. 4–6 показаны графики зависимости  $\delta I_{СКЗ}$ ,  $\gamma_P$  и  $\gamma_Q$  от  $\Delta\alpha$  и  $\varphi$ , которые построены соответствии с (10)–(12) для  $n = 12$ .

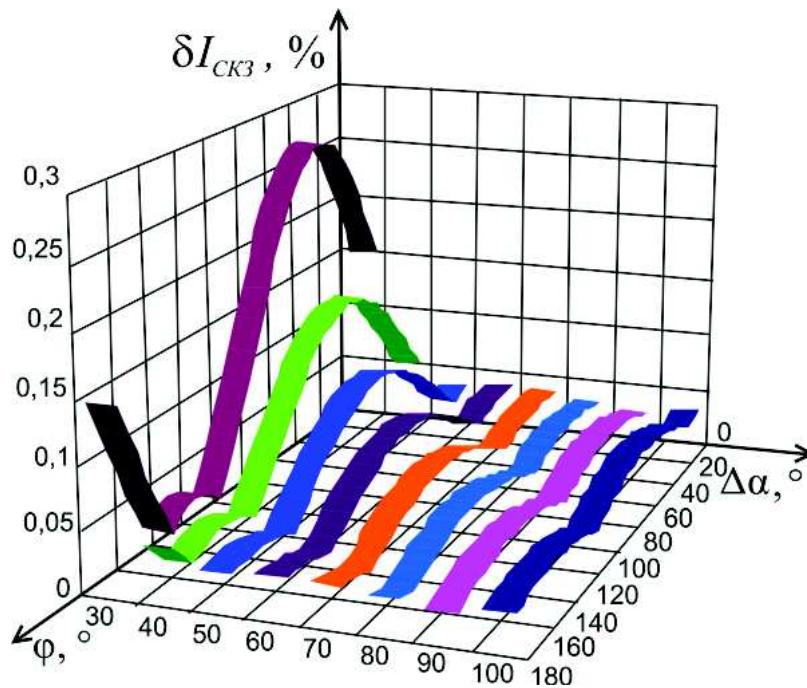


Рис. 4. Графики зависимости  $\delta I_{СКЗ}$  от  $\Delta\alpha$  и  $\varphi$

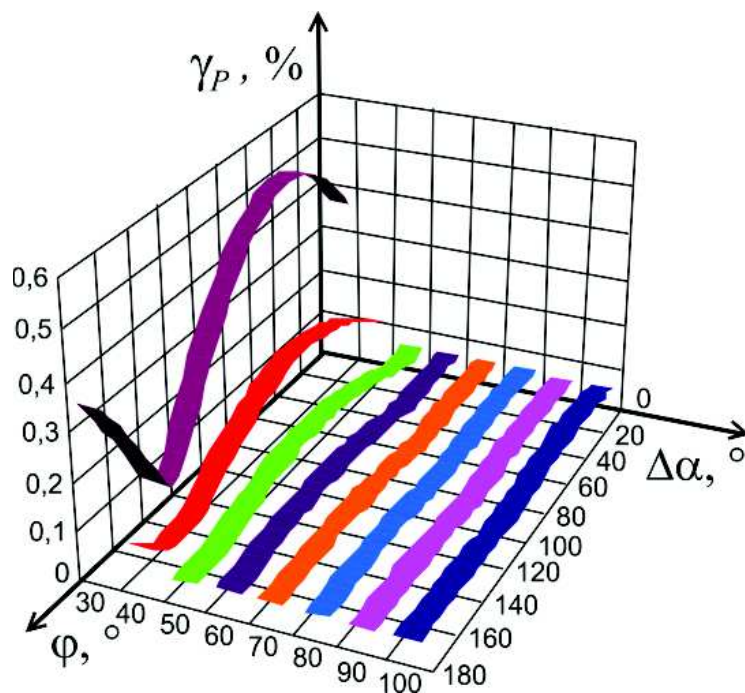


Рис. 5. Графики зависимости  $\gamma_P$  от  $\Delta\alpha$  и  $\varphi$

Анализ графиков, которые приведены на рис. 3–6, показывает, что погрешности можно значительно уменьшить, выбирая соответствующие углы сдвига фазы БСФ.

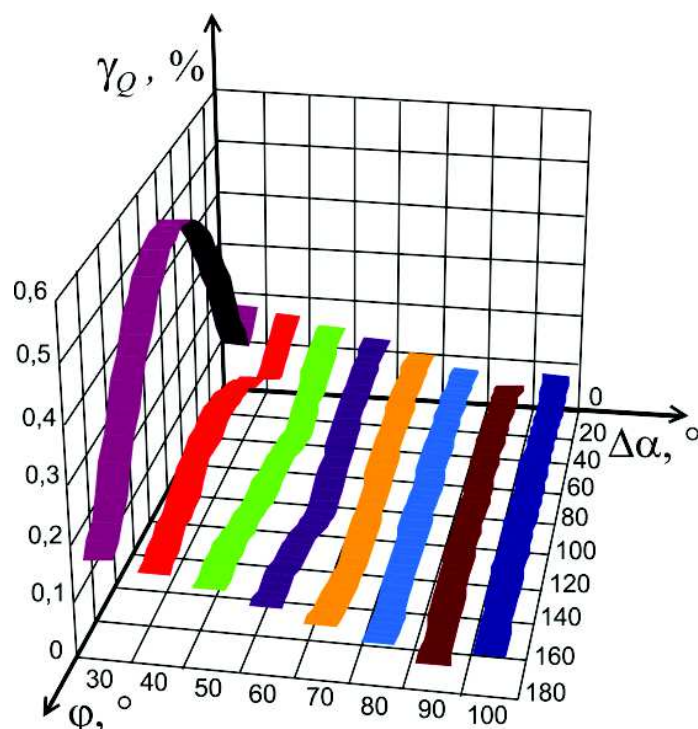


Рис. 6. Графики зависимости  $\gamma_Q$  от  $\Delta\alpha$  и  $\varphi$

Если принять  $\Delta\alpha = 90^\circ$ , то погрешности определения ИХС будут меньше 0,05 % и при соответствующей разрядности АЦП ими можно пренебречь.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Синтез и анализ методов оперативного измерения параметров периодических процессов на основе формирования дополнительных сигналов / Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI междунар. конф. – Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. – С. 717–722.
2. Мелентьев В.С., Муратова В.В., Таштабанов Б.Н. Новый подход к повышению точности измерения параметров периодических сигналов / Теория и практика современной науки: Матер. XVII науч.-практ. конф. – М.: Институт стратегических исследований, 2015. – С. 127–134.
3. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Исследование метода измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям сигналов, разделенным в пространстве // Известия Волгоградского государственного технического университета. Сер. Электроника, измерительная техника, радиотехника и связь. – 2014. – Т. 9, № 10 (137). – С. 52–55.
4. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Метод измерения параметров гармонических сигналов на основе использования характерных точек дополнительных сигналов напряжения // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 4(6). – С. 16–22.
5. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Сеницын А.Е., Пескова А.С. Использование пространственно-временного разделения мгновенных значений для определения параметров гармонических сигналов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2016. – № 1.
6. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Сокращение времени определения параметров за счет пространственного разделения мгновенных значений гармонических сигналов / Измерения, контроль, информатизация: матер. XVI междунар. науч.-техн. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2015. – С. 61–63.
7. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В., Павленко Е.В. Оценка влияния квантования



- мгновенных значений сигналов на погрешность измерения параметров гармонических сигналов // Южно-Сибирский научный вестник. – 2014. – № 3(7). – С. 34–36.
8. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Анализ влияния квантования мгновенных значений сигналов на погрешность измерения параметров гармонических сигналов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2014. – № 2(8). – С. 3–9.

Статья поступила в редакцию 5 июня 2016 г.

## THE EFFECT OF QUANTIZATION OF INSTANT VALUES OF SIGNALS AT THE ERROR OF DETERMINATION OF THEIR INTEGRAL CHARACTERISTICS

*V.V. Muratova*

Samara State Technical University  
244, Molodogvardeyskaya str., Samara, 443100, Russian Federation

*Investigated a method of measuring the integral characteristics on the instantaneous values of the input and additional harmonic signals. A method provides defining characteristics on instantaneous values of signals, measured simultaneously once per period at the moment of transition of one of the additional voltage through zero. The results of the analysis of influence of quantization of instant values of signals at the error of the result of the determination of informative parameters are shown. It is established that this type of error depends not only on the width of analog-to-digital converters but also the phase angle of the additional signals. The obtained results allow to determine the optimum angle of phase shift depending on the requirements of measurement accuracy.*

**Keywords:** *characteristics of periodic signals, an additional signal, instantaneous value, phase shift, analog-to-digital converter, the error*