

Информационные технологии

УДК 621.317

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ КВАНТОВАНИЯ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ*

Ю.М. Иванов

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Приводятся результаты анализа погрешности реализации метода измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, обусловленной квантованием мгновенных значений сигналов.

Ключевые слова: интегральные характеристики сигналов, гармонические сигналы, мгновенные значения, погрешность квантования

Широко распространенные в настоящее время методы определения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС) по отдельным мгновенным значениям, основанные на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных и определении параметров по мгновенным значениям входных и дополнительных сигналов, обеспечивают значительное сокращение времени измерения [1].

Однако при реализации таких методов возникает существенная погрешность при отличии углов сдвига фазосдвигающих блоков (ФСБ), осуществляющих формирование дополнительных сигналов в каналах тока и напряжения [2].

В [3] предложен новый метод измерения ИХГС, при реализации которого углы сдвига фаз ФСБ.

Метод заключается в том, что в момент перехода входного сигнала напряжения через ноль одновременно измеряют первое мгновенное значение дополнительного напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на угол $\Delta\alpha_1$, и первые мгновенные значения входного сигнала тока и, сдвинутого относительно него по фазе на угол $\Delta\alpha_2$, дополнительного сигнала тока; через произвольный (в общем случае) интервал времени Δt одновременно измеряют вторые мгновенные значения входного и дополнительного сигналов напряжения и второе мгновенное значение дополнительного сигнала тока. ИХГС определяют по измеренным мгновенным значениям сигналов.

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 1.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 13-08-00173-а).

Для гармонических сигналов напряжения и тока входные и дополнительные сигналы напряжения и тока имеют вид:

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t; \quad i_1(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi); \quad u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \Delta\alpha_1);$$

$$i_2(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi + \Delta\alpha_2),$$

где U_m, I_m - амплитудные значения сигналов напряжения и тока;

ω - угловая частота входного сигнала;

φ - угол сдвига фаз между входными сигналами напряжения и тока.

Мгновенные значения сигналов в соответствующие моменты времени имеют вид:

$$U_{21} = U_m \sin \Delta\alpha_1; \quad I_{11} = I_m \sin \varphi; \quad I_{21} = I_m \sin(\varphi + \Delta\alpha_2); \quad U_{12} = U_m \sin \omega\Delta t;$$

$$U_{22} = U_m \sin(\Delta\alpha_1 + \omega\Delta t); \quad I_{22} = I_m \sin(\varphi + \omega\Delta t + \Delta\alpha_2).$$

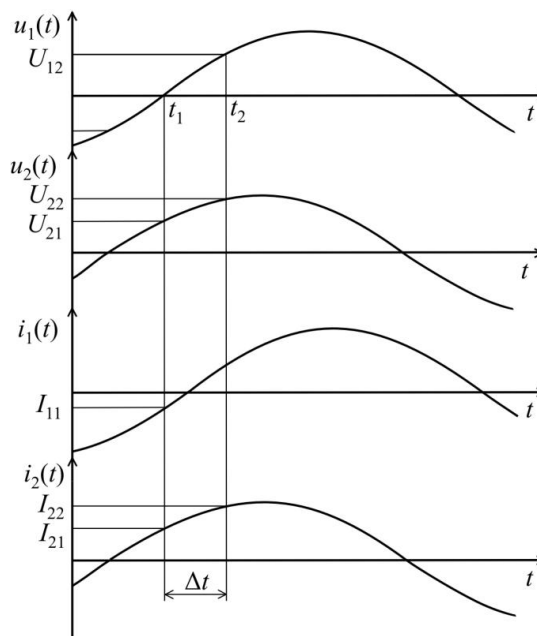


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Используя мгновенные значения сигналов, можно получить выражения для определения основных ИХГС:

- среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока:

$$U_{СКЗ} = \frac{|U_{12}U_{22}U_{21}|}{\sqrt{2 \left[4U_{22}^2U_{21}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2 \right]}}; \quad (1)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{1}{2} \left\{ I_{21}^2 + \frac{[2I_{22}U_{22}U_{21} - I_{21}(U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)]^2}{4U_{22}^2U_{21}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2} \right\}}; \quad (2)$$

- активная (АМ) и реактивная (РМ) мощности:

$$P = \frac{|U_{12}U_{22}U_{21}|}{4U_{22}^2U_{21}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2} \left\{ (I_{21}^2 - I_{11}^2) [4U_{22}^2U_{21}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2] + \right.$$

$$+ \left[2I_{22}U_{22}U_{21} - I_{21}(U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2) \right]^2 \Bigg\}^{\frac{1}{2}}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{I_{11}|U_{12}U_{22}U_{21}|}{2\sqrt{4U_{22}^2U_{21}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2}}. \quad (4)$$

Средство измерения (СИ), реализующее метод, приведено на рис. 2.

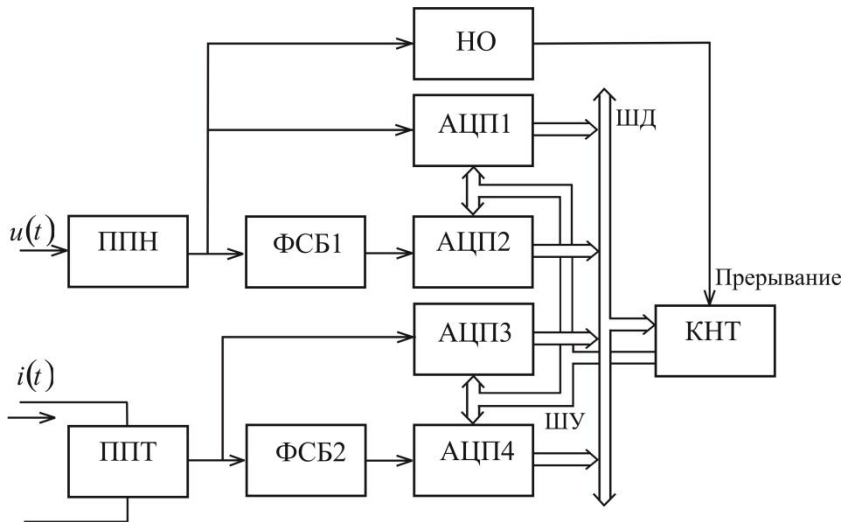


Рис. 2. СИ, реализующее метод

СИ содержит: первичные преобразователи напряжения ППН и тока ППТ; фазосдвигающие блоки ФСБ1 и ФСБ2, осуществляющие сдвиг сигналов на углы $\Delta\alpha_1$ и $\Delta\alpha_2$ соответственно; нуль-орган НО, четыре аналого-цифровых преобразователя АЦП1 – АЦП4, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

При реализации цифровых методов измерения ИХГС, использующих мгновенные значения сигналов, неизбежно возникает погрешность квантования. Для анализа влияния погрешности квантования на погрешность результата определения ИХГС можно использовать известный подход, заключающийся в оценке погрешности вычисления значения функции, аргументы которой заданы приближенно, с помощью дифференциала этой функции, считая, что предельные абсолютные погрешности аргументов соответствуют погрешностям квантования мгновенных значений сигналов [4].

Если считать, что основной погрешностью аналого-цифровых преобразователей являются абсолютные погрешности квантования, то максимальные значения абсолютных погрешностей измерения ИХГС в соответствии с (1) – (4) будут равны:

$$\Delta U_{CK3} = \left[\left| (U_{CK3})'_{U_{21}} \right| + \left| (U_{CK3})'_{U_{12}} \right| + \left| (U_{CK3})'_{U_{22}} \right| \right] \Delta U_{\max}; \quad (5)$$

$$\Delta I_{CK3} = \left[\left| (I_{CK3})'_{I_{21}} \right| + \left| (I_{CK3})'_{I_{22}} \right| \right] \Delta I_{\max} +$$

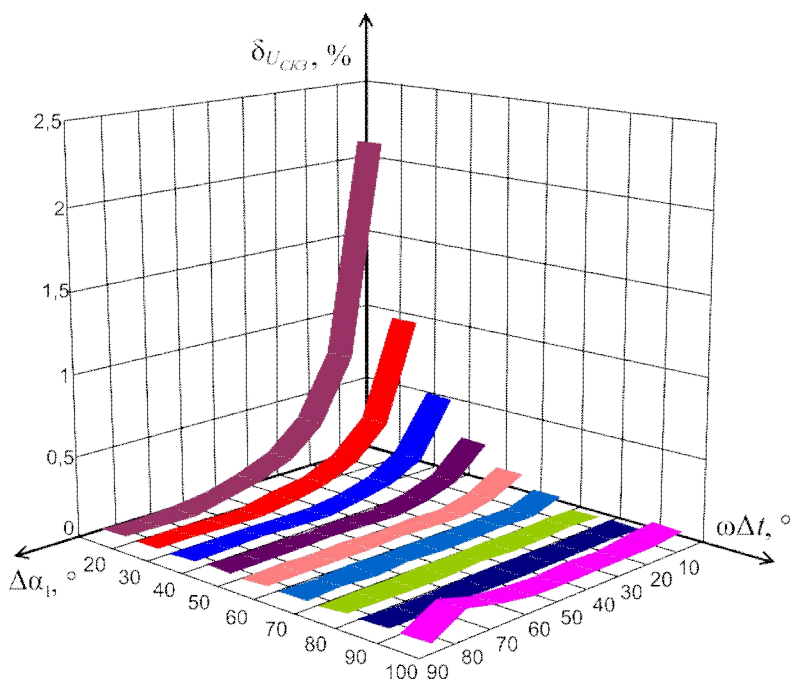
$$+ \left[\left| (I_{СКЗ})'_{U_{21}} \right| + \left| (I_{СКЗ})'_{U_{12}} \right| + \left| (I_{СКЗ})'_{U_{22}} \right| \right] \Delta U_{\max}; \quad (6)$$

$$\Delta P = \left[\left| (P)'_{I_{11}} \right| + \left| (P)'_{I_{21}} \right| + \left| (P)'_{I_{22}} \right| \right] \Delta I_{\max} + \left[\left| (P)'_{U_{21}} \right| + \left| (P)'_{U_{12}} \right| + \left| (P)'_{U_{22}} \right| \right] \Delta U_{\max}; \quad (7)$$

$$\Delta Q = \left| (Q)'_{I_{11}} \right| \Delta I_{\max} + \left[\left| (Q)'_{U_{21}} \right| + \left| (Q)'_{U_{12}} \right| + \left| (Q)'_{U_{22}} \right| \right] \Delta U_{\max}, \quad (8)$$

где ΔU_{\max} , ΔI_{\max} - максимальные значения абсолютных погрешностей квантования.

Используя выражения для ИХГС (1) – (4) и предельные значения абсолютных погрешностей (5) – (8), можно определить относительные погрешности измерения СКЗ напряжения и тока и приведенные погрешности измерения АМ и РМ.



Р и с. 3. Графики зависимости погрешности измерения СКЗ напряжения от $\Delta\alpha_1$ и Δt

Например, выражения для определения относительной погрешности измерения СКЗ напряжения и приведенной погрешности измерения РМ принимают вид:

$$\delta_{U_{СКЗ}} = \frac{1}{2^n |\sin \omega \Delta t \sin \Delta \alpha_1 \sin(\Delta \alpha_1 + \omega \Delta t)|} \left[|\sin \Delta \alpha_1 \sin(\Delta \alpha_1 + \omega \Delta t) - \cos \omega \Delta t| + \right. \\ \left. + |\sin \omega \Delta t \sin(\Delta \alpha_1 + \omega \Delta t) - \cos \Delta \alpha_1| + |\cos \omega \Delta t \cos \Delta \alpha_1| \right]; \quad (9)$$

$$\gamma_Q = \frac{1}{2^n} + \frac{1}{2^n |\sin \Delta \alpha_1 \sin \omega \Delta t \sin(\Delta \alpha_1 + \omega \Delta t)|} \left[|\sin(\Delta \alpha_1 + \omega \Delta t) \sin \Delta \alpha_1 - \cos \omega \Delta t| + \right. \\ \left. + |\sin(\Delta \alpha_1 + \omega \Delta t) \sin \omega \Delta t - \cos \Delta \alpha_1| + |\cos \omega \Delta t \cos \Delta \alpha_1| \right], \quad (10)$$

где n – число двоичных разрядов АЦП.

Относительная погрешность измерения СКЗ напряжения, определяемая в соответствии с (9), зависит от угла сдвига фазы ФСБ1 $\Delta\alpha_1$ и интервала времени Δt . Приведенная погрешность измерения РМ, которая определяется согласно выражению (10), зависит от $\Delta\alpha_1$, Δt и угла сдвига фаз между напряжением и током φ . Кроме того, погрешности измерения СКЗ тока и АМ зависят еще и от угла сдвига фазы ФСБ2 $\Delta\alpha_2$.

На рис. 3 приведены графики зависимости относительной погрешности определения СКЗ напряжения от угла сдвига фазы ФСБ1 $\Delta\alpha_1$ и интервала времени Δt .

Анализ показывает, что погрешность определения СКЗ напряжения существенно уменьшается с увеличением угла сдвига фазы $\Delta\alpha_1$. Кроме того, погрешность можно значительно снизить за счет выбора интервала времени $\omega\Delta t$, близким к 90° , однако это приводит к увеличению времени измерения.

Полученные в работе результаты позволяют выбирать соответствующие аппаратные средства и параметры измерительного процесса в зависимости от предъявляемых требований по точности и времени измерения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Сеницын А.Е. Методы измерения интегральных характеристик на основе формирования дополнительных сигналов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - № 2 (38). - 2013. - С. 56-63.
2. Иванов Ю.М., Сеницын А.Е., Симонов А.В. Оценка погрешности средства измерения интегральных характеристик гармонических сигналов с фазосдвигающими блоками // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - № 1 (37). - 2013. - С. 48-52.
3. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Анализ погрешности метода измерения интегральных характеристик, обусловленной отклонением формы сигнала от гармонической модели // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Физико-математ науки. - 2013 - 2 (31). - С. 80-84.
4. Мелентьев В.С., Батищев В.И. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов. М.: Физматлит, 2011. - 240 с.

Статья поступила в редакцию 17 июня 2013 г

THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF THE QUANTIZATION ERROR ON RESULT OF MEASUREMENT OF HARMONIOUS SIGNALS INTEGRATED CHARACTERISTICS

Ju.M. Ivanov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

The results of analyzing the error of realization of a measuring method for harmonious signals integrated characteristics which is caused by the quantization of signals instant values are discussed.

Keywords: *integrated characteristics of signals, harmonious signals, instant values, an error of quantization.*