

УДК 621.317

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО МГНОВЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ*

Ю.М. Иванов

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

Рассматривается новый метод измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, основанный на формировании ортогональных составляющих напряжения. За счет использования характерных точек при реализации метода обеспечивается исключение погрешности по напряжению (погрешности по модулю) фазосдвигающих блоков, осуществляющих формирование дополнительных сигналов. Приводится структурная схема средства измерения, реализующего метод. Анализируется погрешность результата измерения параметров из-за отклонения реального сигнала от гармонической модели. Показано существенное влияние гармонического состава сигналов на результирующую погрешность определения интегральных характеристик сигналов. Полученные в работе результаты позволяют выбирать область использования метода в зависимости от предъявляемых требований по точности и времени измерения.

Ключевые слова: интегральные характеристики сигналов, гармонические сигналы, ортогональные составляющие, мгновенные значения, погрешность, модель сигнала.

Измерение параметров процессов, являющихся периодическими, находит чрезвычайно широкое применение при контроле и испытаниях электромеханических систем, электротехнического оборудования, в системах автоматизированного управления технологическими процессами.

В большинстве случаев периодические процессы различной физической природы преобразуются в электрические сигналы, удобные для измерения и обработки.

При этом особую роль играют гармонические сигналы, которые из-за простоты модели находят чрезвычайно широкое распространение в измерительной технике для анализа и синтеза измерительных сигналов.

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с разработкой методов и средств измерения интегральных характеристик (среднеквадратических значений напряжения и тока, активной и реактивной мощности) по отдельным мгновенным значениям гармонических сигналов, не связанным с периодом входного сигнала [1].

Для определения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС) сокращение времени измерения достигается за счет формирования дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных, и определе-

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

Юрий Михайлович Иванов (к.т.н.), ст. научный сотрудник кафедры «Информационно-измерительная техника».

ния ИХГС по мгновенным значениям как входных, так и дополнительных сигналов [2].

Упрощение реализации могут обеспечить методы, в которых в качестве дополнительных сигналов используются ортогональные составляющие.

Однако использование мгновенных значений основных и дополнительных сигналов или сравнение ортогональных составляющих для определения основных ИХГС приводит к дополнительным погрешностям, обусловленным погрешностью по напряжению (погрешностью по модулю) фазосдвигающих блоков (ФСБ), осуществляющих формирование дополнительных сигналов [3].

В статье рассматривается новый метод, основанный на формировании только дополнительного сигнала напряжения, сдвинутого относительно входного на 90° , и измерении мгновенных значений входных сигналов напряжений и тока.

В соответствии с разработанным автором методом формируют дополнительный сигнал напряжения, сдвинутый относительно входного на 90° ; в момент перехода ортогональной составляющей напряжения через ноль измеряют мгновенные значения входного напряжения и тока; через произвольный (в общем случае) интервал времени Δt одновременно измеряют мгновенные значения входного напряжения и тока и определяют ИХГС по измеренным значениям.

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

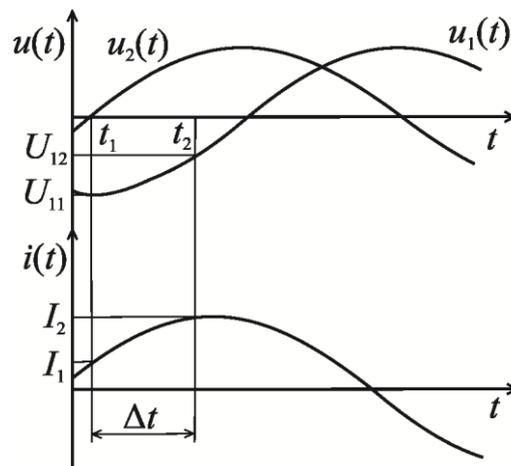


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Ортогональные составляющие напряжения и входной ток имеют вид

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t ; u_2(t) = U_m \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \cos \omega t ; i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi),$$

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

ω – угловая частота входного сигнала;

φ – угол сдвига фаз между входными напряжением и током.

В момент времени t_1 , когда напряжение $u_2(t)$ переходит через ноль, мгновенные значения сигналов будут равны

$$U_{11} = U_m \sin \left(\pi t - \frac{\pi}{2} \right); I_1 = I_m \sin \left(\varphi + \pi t - \frac{\pi}{2} \right),$$

где $l = 0, 1$.

Отсюда при $l=0$ $U_{11} = -U_m$, а при $l=1$ $U_{11} = U_m$, то есть $U_{11} = \pm U_m$. Аналогично $I_1 = \pm I_m \sin \varphi$.

Через интервал времени Δt (в момент времени t_2) мгновенные значения сигналов примут вид

$$U_{12} = U_m \sin\left(\pi l + \omega \Delta t - \frac{\pi}{2}\right); I_1 = I_m \sin\left(\varphi + \pi l + \omega \Delta t - \frac{\pi}{2}\right).$$

Отсюда $U_{12} = \pm U_m \cos \omega \Delta t$ и $I_2 = \pm I_m \cos(\varphi + \omega \Delta t)$.

Используя мгновенные значения сигналов и считая, что $\omega \Delta t < \pi/2$, после преобразований получим выражения для определения ИХГС:

– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \frac{|U_{11}|}{\sqrt{2}}; \quad (1)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{(I_1|U_{12}| - I_2|U_{11}|)^2}{2(U_{11}^2 - U_{12}^2)} + I_1^2}; \quad (2)$$

– активная (АМ) и реактивная (РМ) мощности

$$P = \frac{I_1 U_{11}}{2}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{(I_1|U_{12}| - I_2|U_{11}|)^2}{2\sqrt{U_{11}^2 - U_{12}^2}}. \quad (4)$$

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

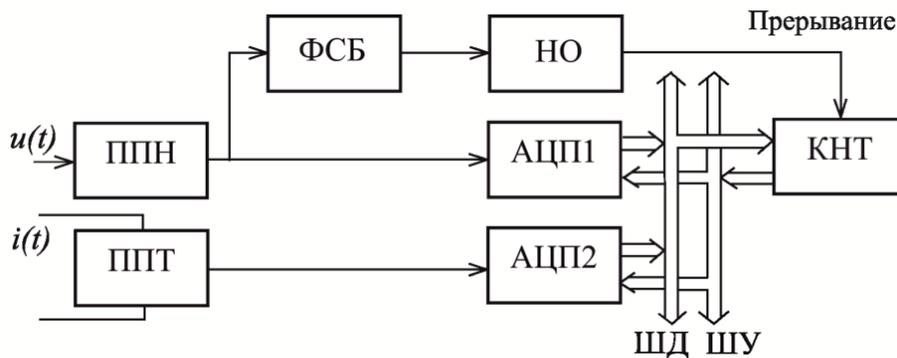


Рис. 2. СИ, реализующее метод

В состав СИ входят: первичные преобразователи напряжения ППН и тока ППТ, аналого-цифровые преобразователи АЦП1 и АЦП2, фазосдвигающий блок ФСБ, осуществляющий сдвиг входного напряжения на угол 90° , нуль-орган НО, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

Рассматриваемый метод предназначен для измерения интегральных характеристик сигналов с гармоническими моделями. При отклонении реальных сигналов от гармонических неизбежно возникнет погрешность.

Проведем анализ данного вида методической погрешности.

Для анализа погрешности используем методику оценки погрешности результата измерения интегральной характеристики как функции, аргументы которой заданы приближенно с погрешностью, соответствующей отклонению модели от реального сигнала. Таким образом, погрешность вычисления значения какой-либо функции, аргументы которой заданы приближенно, можно оценить с помощью дифференциала этой функции [1].

Если абсолютные погрешности аргументов соответствуют наибольшему отклонению моделей от реальных сигналов $\Delta U_{\max} = U_{1m} \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}$ и $\Delta I_{\max} = I_{1m} \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}$, то предельные значения абсолютных погрешностей определения характеристик сигналов согласно (1) – (4) примут вид:

$$\Delta U_{CK3} = \left| (U_{CK3})'_{U_{11}} \right| \Delta U_{\max}; \quad (5)$$

$$\Delta I_{CK3} = \left[\left| (I_{CK3})'_{I_1} \right| + \left| (I_{CK3})'_{I_2} \right| \right] \Delta I_{\max} + \left[\left| (I_{CK3})'_{U_{11}} \right| + \left| (I_{CK3})'_{U_{12}} \right| \right] \Delta U_{\max}; \quad (6)$$

$$\Delta P = \left| (P)'_{I_1} \right| \Delta I_{\max} + \left| (P)'_{U_{11}} \right| \Delta U_{\max}; \quad (7)$$

$$\Delta Q = \left[\left| (Q)'_{I_1} \right| + \left| (Q)'_{I_2} \right| \right] \Delta I_{\max} + \left[\left| (Q)'_{U_{11}} \right| + \left| (Q)'_{U_{12}} \right| \right] \Delta U_{\max}, \quad (8)$$

где $h_{uk} = \frac{U_{km}}{U_{1m}}$ и $h_{ik} = \frac{I_{km}}{I_{1m}}$ – коэффициенты k -тых гармоник напряжения и тока;

U_{1m} и I_{1m} – амплитуды первых гармоник сигналов;

U_{km} и I_{km} – амплитуды k -тых гармоник напряжения и тока.

Используя выражения (1) – (8), можно определить относительные погрешности измерения СКЗ напряжения и тока и приведенные погрешности измерения АМ и РМ:

$$\delta_{U_{CK3}} = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2}}; \quad (9)$$

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

$$+ \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} |\sin \varphi| \left[|\sin \omega \Delta t \cos(\varphi + \omega \Delta t) + \sin \varphi| + |\cos \varphi| |\sin \omega \Delta t - \sin \varphi| \right]}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2 \sin^2 \omega \Delta t}}; \quad (10)$$

$$\gamma_P = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik} |\cos \varphi|}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2}}; \quad (11)$$

$$\gamma_Q = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{ik} (|\cos \omega \Delta t| + 1)}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2 |\sin \omega \Delta t|}} + \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} \left[|\sin \omega \Delta t \sin \varphi - \cos(\varphi + \omega \Delta t)| |\sin \omega \Delta t - \sin \varphi| \right]}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2 \sin^2 \omega \Delta t}}. \quad (12)$$

Погрешность измерения СКЗ напряжения, определяемая в соответствии с (9), зависит только от гармонического состава напряжения. Погрешности измерения СКЗ тока и РМ, которые определяются согласно выражениям (10) и (12) соответственно, кроме как от гармонического состава сигналов, зависят также и от угла сдвига фаз между напряжением и током φ и интервала времени Δt .

Значение приведенной погрешности измерения АМ, вычисляемое с помощью выражения (11), определяется гармоническим составом сигналов напряжения и тока и угла сдвига фаз φ .

Полученные в работе результаты позволяют выбирать область использования метода в зависимости от предъявляемых требований по точности и времени измерения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелентьев В.С., Батищев В.И. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 240 с.
2. Мелентьев В.С., Иванов, Ю.М., Сеницын А.Е. Методы измерения интегральных характеристик на основе формирования дополнительных сигналов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2013. – № 2 (38). – С. 56-63.
3. Мелентьев В.С., Иванов, Ю.М., Сеницын А.Е. Синтез методов измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям ортогональных составляющих гармонических сигналов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2012. – № 3 (35). – С. 84-89.

Статья поступила в редакцию 22 января 2014 г.

THE IMPROVEMENT OF THE METHODS OF MEASURING THE INTEGRATED CHARACTERISTICS ON INSTANT VALUES OF ORTHOGONAL COMPONENTS OF SIGNALS

Ju.M. Ivanov

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

A new method of measuring the integrated characteristics of harmonic signals, based on the formation of orthogonal voltage components is considered. Through the use of characteristic points in the implementation of the method provided an exception of voltage error (error modulo) of phase-shifting blocks, carrying the formation of additional signals. The block diagram of measurement tool that implements the method is provided. Results of the analysis of an error of measuring parameters because of a deviation of real signal from harmonious model are examined. A significant effect of the harmonic content of the signal on extending the resultant error in determining the integral characteristics of the signals is shown. The results obtained allow to select an area of the method, depending on the requirements of accuracy and measurement time.

Keywords: *integrated characteristics of signals, harmonious signals, orthogonal components, instant values, an error, signal model.*