

Краткие сообщения

УДК 621.317

АНАЛИЗ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ПО МГНОВЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ИХ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ

Ю.М. Иванов

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

Исследуется метод измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям с использованием ортогональных составляющих гармонических сигналов. Приводятся результаты анализа погрешности метода, обусловленной отклонением реального сигнала от гармонической модели.

Ключевые слова: *интегральные характеристики, гармонические сигналы, мгновенные значения, ортогональные составляющие сигналов, сравнение сигналов, погрешность.*

В настоящее время широко используются методы измерения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС) по отдельным мгновенным значениям. Значительно сократить время измерения можно за счет формирования дополнительных ортогональных составляющих сигналов и определения ИХГС по мгновенным значениям входного и дополнительных сигналов [1].

В [2] предложен метод измерения ИХГС, основанный на том, что формируют дополнительные сигналы напряжения и тока, сдвинутые относительно основных на 90° ; в момент равенства основного и дополнительного сигналов напряжения одновременно измеряют мгновенные значения основных сигналов напряжения и тока; в момент равенства основного и дополнительного сигналов тока измеряют мгновенные значения основных сигналов тока и напряжения и определяют ИХГС по измеренным значениям.

В случае, когда после начала измерения сначала происходит равенство мгновенных значений основного и дополнительного сигналов напряжения, временные диаграммы будут иметь следующий вид (рис. 1).

Для входного напряжения $u_1(t) = U_m \sin \omega t$ и тока $i_1(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ и дополнительных сигналов напряжения $u_2(t) = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \cos \omega t$ и тока $i_2(t) = I_m \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$ в момент времени t_1 , когда основной и дополнительный сигналы напряжения будут равны, выражения для мгновенных значений сигналов примут вид

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

$$U_{11} = U_m \sin \alpha_1; U_{21} = U_m \cos \alpha_1; I_{11} = I_m \sin \alpha_2,$$

где U_m, I_m – амплитудные значения напряжения и тока;
 α_1, α_2 – фазы сигналов напряжения и тока в момент времени t_1 ;
 $\varphi = \alpha_2 - \alpha_1$ – угол сдвига фаз между сигналами напряжения и тока;
 ω – угловая частота входного сигнала.

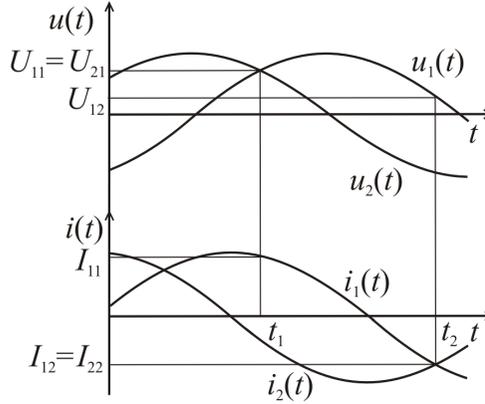


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод в случае первоначального равенства сигналов напряжения

В момент времени t_2 , когда будут равны основной и дополнительный сигналы тока, выражения для мгновенных значений сигналов будут иметь следующий вид:

$$I_{12} = I_m \sin \alpha_3; I_{22} = I_m \cos \alpha_3; U_{12} = U_m \sin(\alpha_3 - \varphi),$$

где α_3 – фаза сигнала тока в момент времени t_2 .

Основные ИХГС можно определить с помощью выражений:

– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

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

$$I_{\text{СКЗ}} = |I_{12}|; \quad (2)$$

– активная (АМ) и реактивная (РМ) мощность

$$P = \frac{U_{11} \left[I_{11} + \text{sign}(U_{11}) \text{sign}(U_{12}) \text{sign}(I_{12}) \sqrt{2I_{12}^2 - I_{11}^2} \right]}{2}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{U_{11} \left[I_{11} - \text{sign}(U_{11}) \text{sign}(U_{12}) \text{sign}(I_{12}) \sqrt{2I_{12}^2 - I_{11}^2} \right]}{2}. \quad (4)$$

В случае, когда после начала измерения сначала происходит равенство мгновенных значений основного и дополнительного сигналов тока, выражения для ИХГС будут иметь следующий вид:

$$U_{CK3} = |U_{12}|; I_{CK3} = |I_{11}|; P = \frac{I_{11} \left[U_{11} + \text{sign}(I_{11}) \text{sign}(U_{12}) \text{sign}(I_{12}) \sqrt{2U_{12}^2 - U_{11}^2} \right]}{2};$$

$$Q = \frac{I_{11} \left[\text{sign}(I_{11}) \text{sign}(U_{12}) \text{sign}(I_{12}) \sqrt{2U_{12}^2 - U_{11}^2} - U_{11} \right]}{2}.$$

Метод предназначен для определения интегральных характеристик сигналов с гармоническими моделями. Проведем оценку предельного значения методической погрешности, обусловленной отклонением реального сигнала от гармонической модели. Для этого используем предложенную в [1] методику оценки погрешности результата измерения интегральной характеристики как функции, аргументы которой заданы приближенно с погрешностью, соответствующей отклонению модели от реального сигнала.

В этом случае предельные значения абсолютных погрешностей определения интегральных характеристик сигналов будут равны:

$$\Delta U_{CK3} = \left| (U_{CK3})'_{U_{11}} \right| \Delta U_{\max}; \Delta I_{CK3} = \left| (I_{CK3})'_{I_{12}} \right| \Delta I_{\max};$$

$$\Delta P = \left| (P)'_{U_{11}} \right| \Delta U_{\max} + \left| (P)'_{I_{11}} \right| \Delta I_1 + \left| (P)'_{I_{12}} \right| \Delta I_{\max};$$

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

где $\Delta U_{\max} = U_{1m} \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}$ и $\Delta I_{\max} = I_{1m} \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}$ – предельные абсолютные погрешности аргументов, соответствующие наибольшим отклонениям моделей от реальных сигналов;

h_{uk} и h_{ik} – коэффициенты k -тых гармоник напряжения и тока;

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

Используя предельные значения абсолютных погрешностей и выражения (1) – (4), можно определить относительные погрешности определения СКЗ напряжения и тока и приведенные погрешности определения АМ и РМ:

$$\delta_{U_{CK3}} = \frac{\sqrt{2} \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2}}; \delta_{I_{CK3}} = \frac{\sqrt{2} \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2}}; \quad (5)$$

$$\gamma_P = \gamma_Q = \frac{\sqrt{2} \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} |\sin \alpha_2 \pm \cos \alpha_2| |\cos \alpha_2| + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik} \left(|\sin \alpha_2 \pm \cos \alpha_2| + \sqrt{2} \right)}{\sqrt{2} |\cos \alpha_2| \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2}}. \quad (6)$$

Из выражений (5) следует, что относительные погрешности определения СКЗ напряжения и тока зависят только от гармонического состава сигналов.

На рис. 2 приведен график зависимости приведенной погрешности определения АМ (РМ) от φ , полученный в соответствии с (6), при наличии в сигналах первой и третьей гармоник с коэффициентами $h_{u3} = h_{i3} = h_3 = 1\%$.

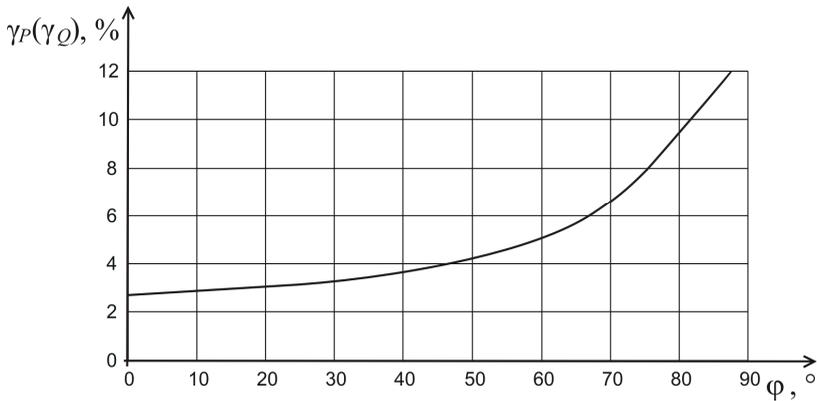


Рис. 2. Графики зависимости $\gamma_P(\gamma_Q)$ от φ при оценке погрешности по наибольшему отклонению значений реального сигнала и модели

Проведем оценку значения методической погрешности в случае, когда предельные абсолютные погрешности аргументов соответствуют отклонению модели от реального сигнала, определяемому через среднеквадратическую погрешность [1].

Если параметры первой гармоники реального сигнала совпадают с параметрами сигнала, соответствующего гармонической модели, то среднеквадратические погрешности для сигналов напряжения и тока примут вид

$$\sigma_u = \frac{U_{1m}}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2}; \quad \sigma_i = \frac{I_{1m}}{\sqrt{2}} \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2}.$$

В этом случае предельные значения абсолютной погрешности определения интегральных характеристик сигналов будут равны:

$$\Delta U_{CK3} = \left| (U_{CK3})'_{U_{11}} \right| \sigma_u; \quad \Delta I_{CK3} = \left[(I_{CK3})'_{I_{12}} \right] \sigma_i;$$

$$\Delta P = \left| (P)'_{U_{11}} \right| \sigma_u + \left[(P)'_{I_{11}} \Delta I_1 + (P)'_{I_{12}} \right] \sigma_i; \quad \Delta Q = \left| (Q)'_{U_{11}} \right| \sigma_u + \left[(Q)'_{I_{11}} + (Q)'_{I_{12}} \right] \sigma_i.$$

Сравнивая выражения для абсолютных погрешностей, можно сделать вывод, что при наличии в сигналах первой и третьей гармоник с коэффициентами $h_{u3} = h_{i3} = h_3 = 1\%$ относительные погрешности определения СКЗ напряжения и тока и приведенные погрешности определения АМ и РМ в $\sqrt{2}$ раз меньше аналогичных погрешностей, вычисленных согласно выражениям (4) и (5).

Результаты анализа показывают, что наличие в сигналах высших гармоник приводит к существенному увеличению погрешности измерения интегральных характеристик. Поэтому рассматриваемый метод следует использовать в цепях, в которых сигналы напряжения и тока близки к гармоническим.

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., Рудаков Д.В. Методы измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, основанные на сравнении ортогональных составляющих сигналов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: Межвуз. сборник. – Вып. 1. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2011. – С. 129-131.

Статья поступила в редакцию 20 августа 2012 г.

THE ANALYSIS OF THE METHOD OF MEASUREMENT OF PARAMETERS OF HARMONIOUS SIGNALS ON INSTANT VALUES OF THEIR ORTHOGONAL COMPONENTS

Ju. M. Ivanov

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

The method of measurement of integrated characteristics on instant values with use of orthogonal making harmonious signals is investigated. Results of the analysis of an error of the method caused by a deviation of a real signal from harmonious model are resulted.

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