

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ФАЗОСДВИГАЮЩИМИ БЛОКАМИ

Ю.М. Иванов, А.Е. Сеницын, А.В. Симонов

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

Приводятся результаты анализа погрешности средства измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, использующего формирование дополнительных сигналов с помощью фазосдвигающего блока. Полученные аналитические выражения и графики погрешности позволяют выбирать оптимальные параметры измерительного процесса и угла сдвига фазы фазосдвигающего блока, обеспечивающие уменьшение данного вида погрешности.

Ключевые слова: интегральные характеристики, гармонические сигналы, мгновенные значения, фазосдвигающий блок, погрешности, угол сдвига фазы.

В настоящее время получили распространение методы измерения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС) по их отдельным мгновенным значениям, не связанным с периодом входного сигнала [1].

Одним из подходов, используемых для реализации методов, является разделение мгновенных значений в пространстве за счет формирования дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно входных [2]. Это обеспечивает существенное сокращение времени определения ИХГС.

В [3] авторами предложен метод измерения ИХГС, который заключается в том, что в момент перехода входного сигнала напряжения через ноль одновременно измеряют мгновенное значение дополнительного напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на угол $\Delta\alpha$, и мгновенное значение тока; через интервал времени Δt одновременно измеряют мгновенные значения входного и дополнительного сигналов напряжения и тока. ИХГС определяют по измеренным значениям. К несомненным достоинствам метода следует отнести тот факт, что угол сдвига фаз между входным и дополнительным сигналами напряжения $\Delta\alpha$ и интервал времени Δt могут принимать (в общем случае) произвольные значения.

Если входные напряжение и ток и дополнительный сигнал напряжения соответственно равны: $u_1(t) = U_m \sin \omega t$; $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ и $u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \Delta\alpha)$, то в момент времени, когда сигнал напряжения переходит через ноль, выражения для мгновенных значений примут вид

$$U_{21} = U_m \sin \Delta\alpha ; I_{11} = I_m \sin \varphi ,$$

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

ω – угловая частота входного сигнала;

φ – угол сдвига фаз между напряжением и током.

Через образцовый интервал времени Δt мгновенные значения сигналов будут

Юрий Михайлович Иванов (к.т.н.), старший научный сотрудник.

Антон Евгеньевич Сеницын, аспирант.

Андрей Валерьевич Симонов, аспирант.

равны $U_{12} = U_m \sin \omega \Delta t$; $U_{22} = U_m \sin(\Delta \alpha + \omega \Delta t)$; $I_{12} = I_m \sin(\varphi + \omega \Delta t)$.

Используя мгновенные значения сигналов, после преобразований можно получить выражения для определения основных ИХГС в случае, если $\Delta \alpha \leq 90^\circ$:

– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

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

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{U_{21}U_{22}[2U_{21}U_{22}(I_{11}^2 + I_{12}^2) - I_{11}I_{12}(U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)]}{4U_{21}^2U_{22}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2}}; \quad (2)$$

– активная (АМ) и реактивная (РМ) мощности

$$P = \frac{|U_{12}U_{21}U_{22}|[2I_{12}U_{21}U_{22} - I_{11}(U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)]}{[4U_{21}^2U_{22}^2 - (U_{21}^2 - U_{12}^2 + U_{22}^2)^2]}; \quad (3)$$

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

При реализации метода для формирования дополнительного сигнала напряжения используется фазосдвигающий блок (ФСБ). При этом величина угловой погрешности ФСБ не имеет значения, поскольку угол $\Delta \alpha$ может быть произвольным. Однако погрешность по напряжению (погрешность по модулю) ФСБ может привести к значительной потере точности измерения ИХГС.

Если амплитудное значение сигнала на выходе ФСБ отличается от входного сигнала на величину ΔU_m , то мгновенные значения дополнительного напряжения примут вид $U'_{21} = (U_m + \Delta U_m) \sin \Delta \alpha$ и $U'_{22} = (U_m + \Delta U_m) \sin(\Delta \alpha + \omega \Delta t)$.

Оценим влияние погрешности ФСБ на погрешность результата измерения ИХГС.

Для этого воспользуемся методикой оценки погрешности результата измерения интегральной характеристики как функции, аргументы которой заданы приближенно с погрешностью, соответствующей отклонению модели от реального сигнала. Погрешности функции соответствует возможное ее приращение, которое она получит, если аргументам дать приращения, равные их погрешностям [4].

Если абсолютные погрешности аргументов соответствуют отклонению мгновенных значений дополнительного напряжения на величину ΔU_m , то, считая, что мгновенные значения входных сигналов напряжения и тока измерены без погрешности, можно определить предельное значение абсолютной погрешности измерения СКЗ напряжения

$$\Delta U_{СКЗ} = \left[|(U_{СКЗ})'_{U_{21}}| + |(U_{СКЗ})'_{U_{22}}| \right] \Delta U_m.$$

Выражения для абсолютных погрешностей определения СКЗ тока, АМ и РМ соответствуют аналогичным выражениям.

Используя (1) – (4) с учетом предельных значений абсолютных погрешностей, можно определить относительные погрешности определения СКЗ напряжения и тока

и приведенные погрешности определения АМ и РМ:

$$\delta_U = \frac{h_m \left\{ \sin \Delta\alpha [\sin \Delta\alpha - \sin(\Delta\alpha + 2\omega\Delta t)] + |\cos(\omega\Delta t + 2\Delta\alpha)| \right\}}{\sqrt{2} |\sin \Delta\alpha \sin(\Delta\alpha + \omega\Delta t)|}; \quad (5)$$

$$\delta_I = \frac{h_m \left\{ \sin \omega\Delta t \cos \Delta\alpha [\cos \omega\Delta t + \cos(2\omega\Delta t + \varphi)] + |\sin \Delta\alpha + \sin(2\omega\Delta t + \Delta\alpha)| \right\}}{2 \sin^2 \omega\Delta t |\sin \Delta\alpha \sin(\omega\Delta t + \Delta\alpha)|}; \quad (6)$$

$$\gamma_P = \frac{h_m \left\{ \cos(\omega\Delta t + \varphi) + \cos \omega\Delta t \cos \varphi \left[|\sin \Delta\alpha - \cos \omega\Delta t \sin(\omega\Delta t + \Delta\alpha)| + |\sin \omega\Delta t \cos \Delta\alpha| \right] \right\}}{\sin^2 \omega\Delta t |\sin \Delta\alpha \sin(\Delta\alpha + \omega\Delta t)|}; \quad (7)$$

$$\gamma_Q = \frac{h_m |\sin \varphi \cos \omega\Delta t| \left[|\sin \Delta\alpha - \sin(2\omega\Delta t + \Delta\alpha)| + |\sin \omega\Delta t \cos \Delta\alpha| \right]}{2 |\sin \Delta\alpha \sin(\Delta\alpha + \omega\Delta t)|}, \quad (8)$$

где $h_m = \frac{\Delta U_m}{U_m}$.

Анализ выражений (5) – (8) показывает, что погрешности измерения ИХГС пропорциональны h_m .

Однако погрешности измерения ИХГС зависят не только от погрешности фазосдвигающего блока, но и от угла сдвига фазы ФСБ и интервала времени Δt . Кроме того, погрешности определения СКЗ тока, АМ и РМ зависят также и от угла сдвига фаз между напряжением и током.

На рис. 1 представлены графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ напряжения от $\Delta\alpha$, изменяющегося в диапазоне от 20 до 80°, и $\omega\Delta t$, изменяющегося в диапазоне от 10 до 90°, в соответствии с (5) для $h_m=0,1\%$.

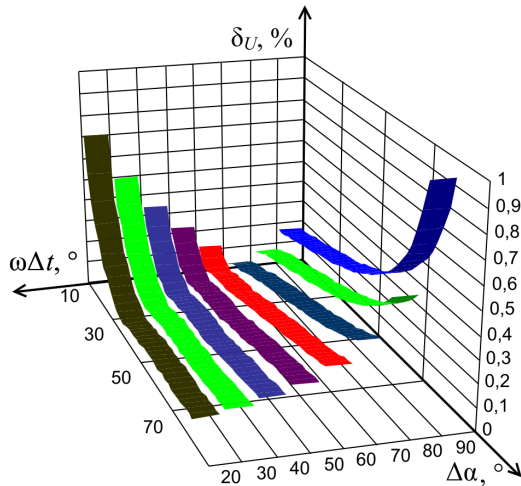


Рис. 1. Графики зависимости δ_U от $\Delta\alpha$ и $\omega\Delta t$

На рис. 2 и 3 представлены графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ тока и приведенной погрешности измерения АМ от $\Delta\alpha$, изменяющегося в диапазоне 20÷80°, и $\omega\Delta t$, изменяющегося в диапазоне 10÷80°, в соответствии с (6) и (7) при $\varphi=0^\circ$ для $h_m=0,1\%$. На рис. 4 представлены графики зависимости приведенной погрешности измерения РМ от $\Delta\alpha$, изменяющегося в диапазоне 20÷80°, и $\omega\Delta t$, изменяющегося в диапазоне 10÷90°, в соответствии с (8) при $\varphi=90^\circ$ для $h_m=0,1\%$.

‰.

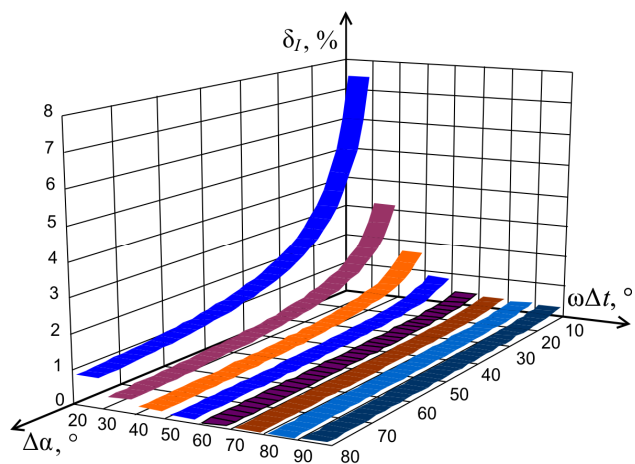


Рис. 2. Графики зависимости δ_I от $\Delta\alpha$ и $\omega\Delta t$ при $\varphi=0^\circ$

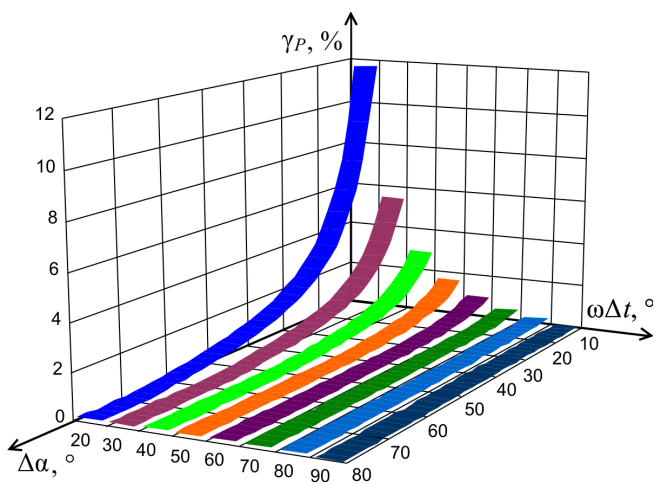


Рис. 3. Графики зависимости γ_P от $\Delta\alpha$ и $\omega\Delta t$ при $\varphi=0^\circ$

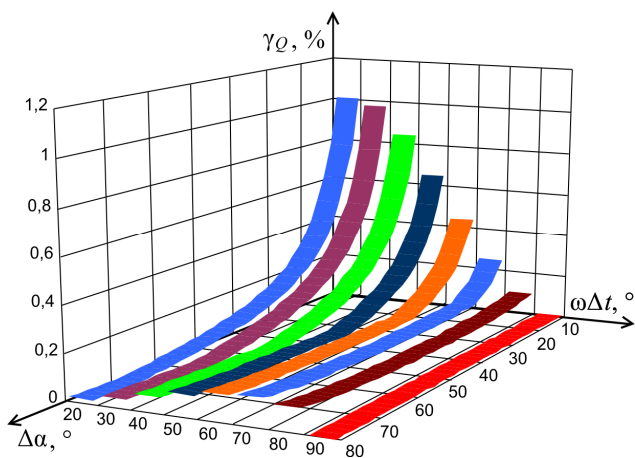


Рис. 4. Графики зависимости γ_Q от $\Delta\alpha$ и $\omega\Delta t$ при $\varphi=90^\circ$

Полученные результаты показывают, что погрешность измерения ИХГС, обусловленную неидеальностью фазосдвигающего блока, можно существенно снизить за счет соответствующего выбора угла сдвига фазы ФСБ и интервала времени Δt .

В частности, при измерении СКЗ тока, АМ и РМ оптимальными являются углы сдвига фазы ФСБ, близкие к 80° , и интервалы времени (в угловой мере), близкие к 90° .

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., Синицын А.Е. Синтез методов измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям ортогональных составляющих гармонических сигналов // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки, 2012. – № 3 (35). – С. 84-89.
3. Мелентьев В.С., Батищев В.И., Иванов Ю.М. Исследование метода измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям сигналов // Датчики и системы: методы, средства и технологии получения и обработки измерительной информации (Датчики и системы – 2012): Тр. Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза: Изд-во ПГУ, 2012. – С. 11-16.
4. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2012 г.

THE ESTIMATION OF THE MEASURING DEVICE ERROR OF INTEGRATED CHARACTERISTICS OF HARMONIOUS SIGNALS WITH PHASE-SHIFTING BLOCKS

J.M. Ivanov, A.E. Sinitsyn, A.V. Simonov

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

Results of the analysis of the measuring device error of integrated characteristics of the harmonious signals, using formation of additional signals with the help of the phase-shifting block are given. The received analytical expressions and diagrams of the error allow to choose optimum parameters of measuring process and a phase corner shift of the phase-shifting block providing reduction of the given error kind.

Keywords: *integrated characteristics, harmonious signals, instant values, the phase-shifting block, errors, a corner of shift of a phase.*

*Jury M. Ivanov (Ph.D. (Techn.)), Senior Research.
Anton E. Sinitsyn, Postgraduate Student.
Andrey V. Simonov, Postgraduate Student.*