

УДК 621.317

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ НА РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

В.С. Мелентьев, Е.Е. Ярославкина, Е.В. Поздеева

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

E-mail: vs_mel@mail.ru

Исследуется новый метод измерения параметров по мгновенным значениям гармонических сигналов. Метод предусматривает формирование двух дополнительных напряжений и выявление их переходов через ноль. При реализации метода производится измерение только мгновенных значений входных сигналов, что исключает погрешность по модулю блоков формирования сдвига фазы. Приводятся результаты анализа влияния угловой погрешности блоков на результат определения информативных параметров, обусловленного отличием их углов сдвига фазы. Полученные результаты позволяют определять оптимальный угол сдвига фазосдвигающих блоков в зависимости от требований по точности и времени измерения.

Ключевые слова: *параметры периодических сигналов, гармоническая модель, мгновенные значения, блок формирования сдвига фазы, погрешность.*

В настоящее время при измерении интегральных параметров (ИП) по отдельным мгновенным значениям гармонических сигналов широкое распространение получили методы, основанные на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных [1].

Использование пространственного разделения мгновенных значений сигналов вместо их временного разделения в большинстве случаев обеспечивает сокращение времени измерения [2].

Обычно при синтезе методов определения ИП, основанных на формировании дополнительных сигналов, их разделяют на методы, в которых используются либо ортогональные составляющие сигналов, либо сигналы, сдвинутые относительно входных на произвольный угол [3].

Если в качестве дополнительных сигналов применять ортогональные составляющие входных, то это очень часто обеспечивает минимальное время измерения [4]. Однако в этом случае возможно возникновение существенной частотной погрешности блоков формирования сдвига фазы (БФСФ), обеспечивающих создание ортогональных составляющих сигналов [5]. Наличие данной погрешности характеризуется тем, что угол сдвига фазы БФСФ будет отличаться от 90° .

Данную погрешность можно исключить, если применять в качестве дополни-

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

Владимир Сергеевич Мелентьев (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника».

Екатерина Евгеньевна Ярославкина (к.т.н.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».

Елена Владиславовна Поздеева, аспирант.

тельных сигналы, сдвинутые относительно входных на произвольный угол, и определять ИП по мгновенным значениям, соответствующим как входным, так и дополнительным сигналам [6].

Использование такого подхода может привести к возникновению дополнительной погрешности, которая обусловлена несовершенством БФСФ и заключается в том, что амплитудное значение сигнала, действующего на входе блока, будет отличаться от амплитуды сигнала, формируемого на его выходе [7].

Этот недостаток может быть устранен в методах, в которых для определения ИП используются только мгновенные значения входного напряжения и тока.

В статье исследуется погрешность реализации нового метода определения интегральных параметров [8], исключающего погрешность по модулю.

Сущность метода заключается в использовании двух дополнительных напряжений, которые сдвинуты относительно входного по фазе на углы $\Delta\alpha$ и $2\Delta\alpha$ соответственно. В момент, когда второе дополнительное напряжение переходит через ноль, производят измерение первых мгновенных значений входного напряжения и тока. В момент перехода первого дополнительного напряжения через ноль измеряют вторые мгновенные значения входного напряжения и тока. Определение ИП гармонических сигналов производят по измеренным мгновенным значениям.

Сущность метода характеризуется временными диаграммами (рис. 1).

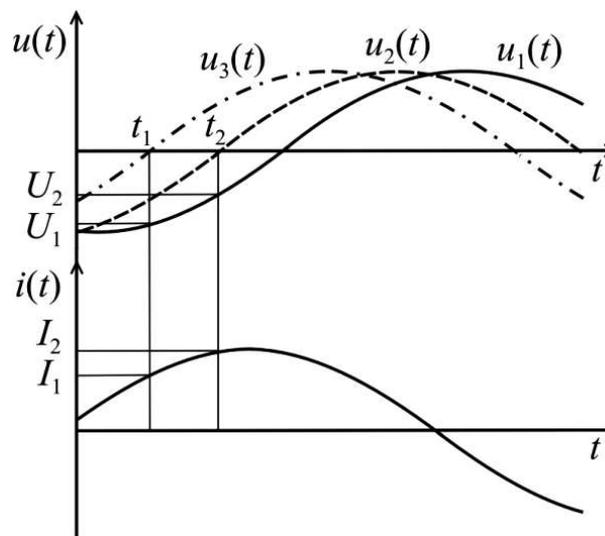


Рис. 1. Временные диаграммы, описывающие метод

Для гармонических моделей входного напряжения $u_1(t) = U_m \sin \omega t$ и тока $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ дополнительные напряжения будут соответствовать следующим выражениям: $u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \Delta\alpha)$ и $u_3(t) = U_m \sin(\omega t + 2\Delta\alpha)$ (где U_m и I_m – амплитудные значения напряжения и тока, ω – угловая частота, φ – угол сдвига фаз между напряжением и током).

В момент времени t_1 , когда второе дополнительное напряжение $u_3(t)$ переходит через ноль, мгновенные значения входных сигналов примут вид $U_1 = U_m \sin(-2\Delta\alpha)$ и $I_1 = I_m \sin(\varphi - 2\Delta\alpha)$.

В момент перехода первого дополнительного напряжения $u_2(t)$ через ноль (момент времени t_2) мгновенные значения входных сигналов будут равны $U_2 = U_m \sin(-\Delta\alpha)$ и $I_2 = I_m \sin(\varphi - \Delta\alpha)$.

Для угла сдвига БФСФ $\Delta\alpha \leq \frac{\pi}{2}$, используя мгновенные значения сигналов, после преобразований можно найти выражения для определения основных информативных параметров:

– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2}U_2^2}{\sqrt{4U_2^2 - U_1^2}}; \quad (1)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[I_2^2 + \frac{(2I_1U_2 - I_2U_1)^2}{4U_2^2 - U_1^2} \right]}; \quad (2)$$

– активная (АМ) и реактивная (РМ) мощности

$$P = \frac{U_2 \left[(I_2U_1 - I_1U_2)U_1 - 2U_2^2I_2 \right]}{4U_2^2 - U_1^2}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{(I_2U_1 - I_1U_2)U_2}{\sqrt{4U_2^2 - U_1^2}}. \quad (4)$$

Один из вариантов схемы информационно-измерительной системы (ИИС), с помощью которой можно реализовать рассматриваемый метод, приведен на рис. 2.

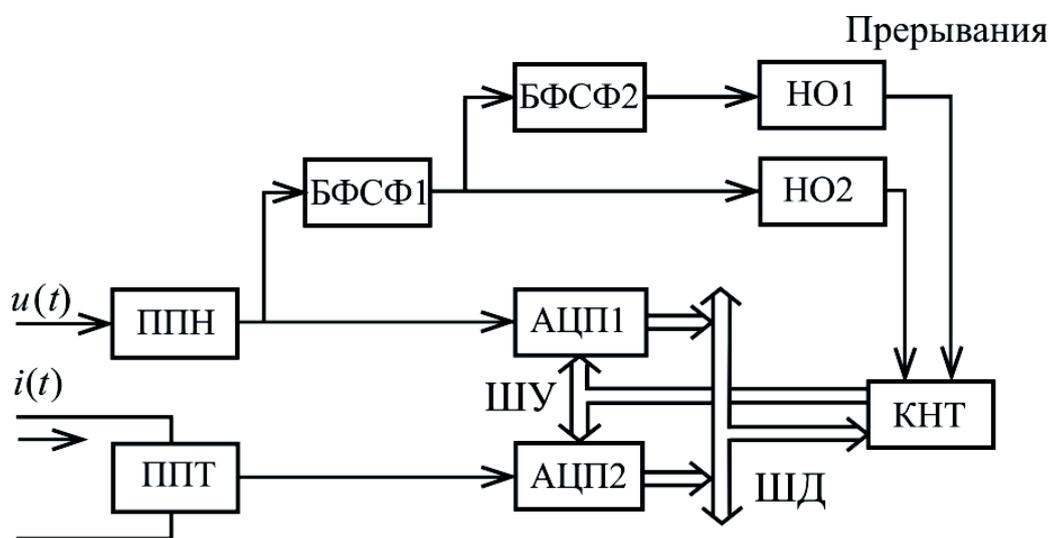


Рис. 2. Вариант ИИС, реализующей метод

В ИИС используются: первичные преобразователи напряжения ППН и тока ППТ; блоки формирования сдвига фазы БФСФ1 и БФСФ2; аналого-цифровые преобразователи в каналах напряжения АЦП1 и тока АЦП2; нуль-органы НО1 и НО2; контроллер КНТ с шинами данных ШД и управления ШУ.

Если углы сдвига фаз первого и второго БФСФ различны, то моменты переходов второго и первого дополнительных напряжений через ноль будут смещены, что приведет к возникновению погрешности измерения ИП сигналов.

Предположим, что угол сдвига фазы БФСФ1 соответствует $\Delta\alpha$, а БФСФ2 – $\Delta\alpha + \Delta\beta$. В этом случае первые мгновенные значения напряжения и тока примут следующий вид:

$$U'_1 = U_m \sin(-2\Delta\alpha - \Delta\beta); \quad I'_1 = I_m \sin(\varphi - 2\Delta\alpha - \Delta\beta).$$

Вторые мгновенные значения входного напряжения и тока останутся без изменения.

Используя полученные мгновенные значения сигналов и выражения (1)–(4), можно найти погрешности определения информативных параметров:

– относительные погрешности измерения СКЗ сигналов

$$\delta_{U\beta} = \frac{2 \sin^2 \Delta\alpha}{\sqrt{4 \sin^2 \Delta\alpha - \sin^2(2\Delta\alpha + \Delta\beta)}} - 1; \quad (5)$$

$$\delta_{I\beta} = \left\{ \sin^2(\varphi - \Delta\alpha) + \frac{[\cos(\Delta\alpha + \Delta\beta - \varphi) - \cos(\varphi - \Delta\alpha)\cos(2\Delta\alpha + \Delta\beta)]^2}{4 \sin^2 \Delta\alpha - \sin^2(2\Delta\alpha + \Delta\beta)} \right\}^{\frac{1}{2}} - 1; \quad (6)$$

– приведенные погрешности измерения АМ и РМ

$$\gamma_{P\beta} = \frac{2 \sin \Delta\alpha [2 \sin^2 \Delta\alpha \sin(\varphi - \Delta\alpha) - \sin \varphi \sin(\Delta\alpha + \Delta\beta) \sin(2\Delta\alpha + \Delta\beta)]}{4 \sin^2 \Delta\alpha - \sin^2(2\Delta\alpha + \Delta\beta)} - \cos \varphi; \quad (7)$$

$$\gamma_{Q\beta} = \frac{2 \sin \Delta\alpha \sin \varphi \sin(\Delta\alpha + \Delta\beta)}{\sqrt{4 \sin^2 \Delta\alpha - \sin^2(2\Delta\alpha + \Delta\beta)}} - \sin \varphi. \quad (8)$$

Из анализа выражений (5)–(8) следует, что погрешности определения ИП гармонических сигналов зависят от угла сдвига фазы БФСФ $\Delta\alpha$ и отклонения углов блоков $\Delta\beta$. Кроме того, относительная погрешность определения СКЗ тока и приведенные погрешности измерения АМ и РМ находятся в зависимости еще и от угла сдвига фаз φ .

Построенный в соответствии с (5) график зависимости относительной погрешности определения СКЗ напряжения от $\Delta\alpha$ при $\Delta\beta = 0,1^\circ$ приведен на рис. 3.

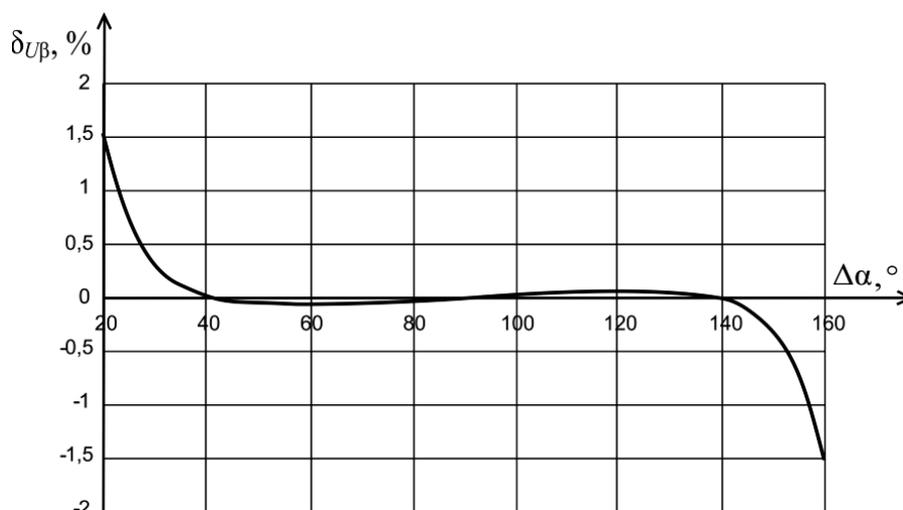


Рис. 3. График зависимости $\delta_{U\beta}$ от $\Delta\alpha$

Графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ тока и приведенных погрешностей определения АМ и РМ от φ и $\Delta\alpha$ при $\Delta\beta = 0,1^\circ$, полученные согласно (6)–(8), показаны на рис. 4–6.

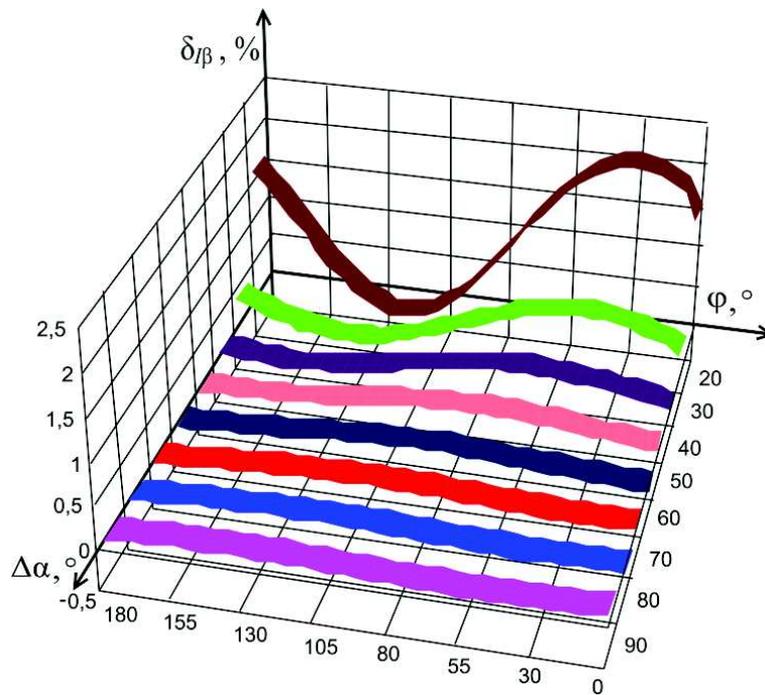


Рис. 4. Графики зависимости $\delta_{I\beta}$ от $\Delta\alpha$ и φ

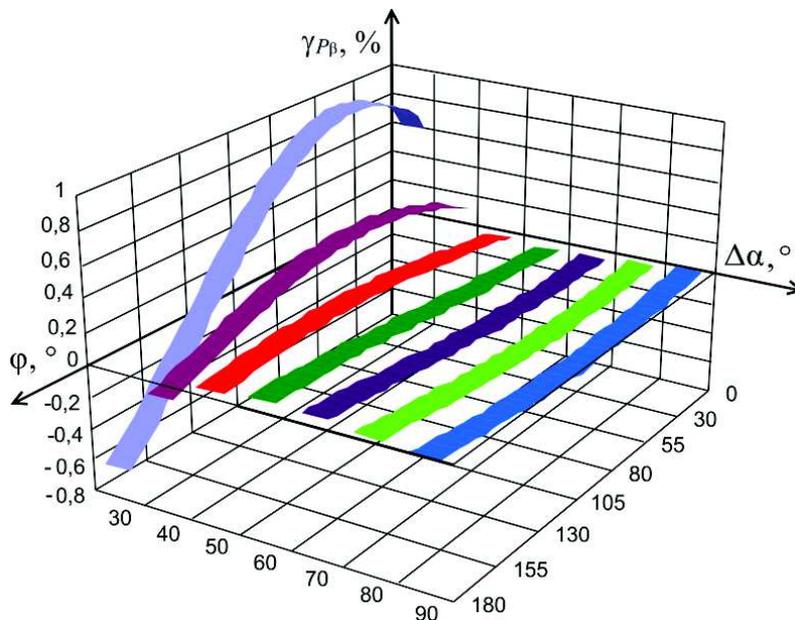


Рис. 5. Графики зависимости $\gamma_{P\beta}$ от $\Delta\alpha$ и φ

Из анализа рис. 3–6 следует, что за счет выбора угла сдвига фазы БФСФ можно значительно сократить погрешности. Меньшие значения погрешностей будут иметь место, если угол сдвига $\Delta\alpha = 40 \div 90^\circ$. Однако дальнейшее увеличение угла сдвига фазы БФСФ приводит к возрастанию общего времени измерения.

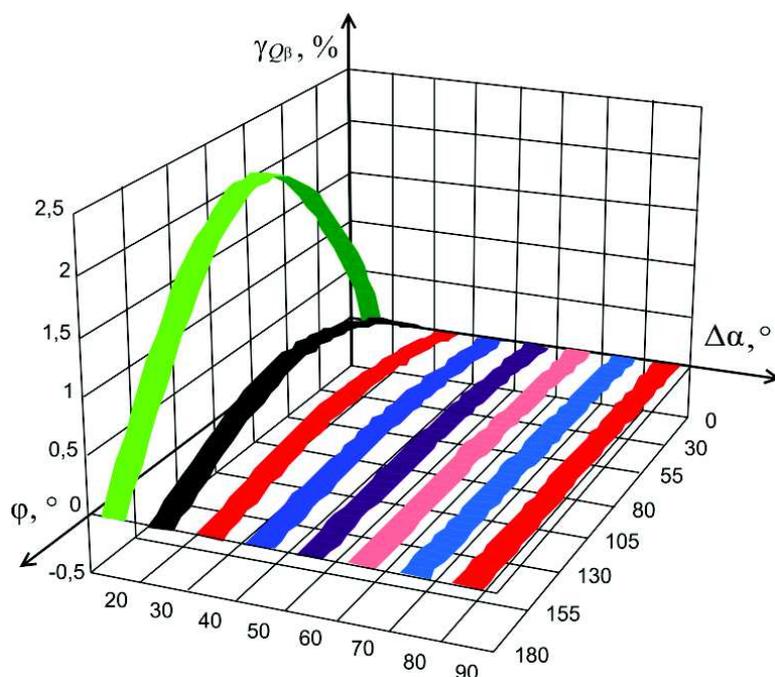


Рис. 6. Графики зависимости $\gamma_{Q\beta}$ от $\Delta\alpha$ и φ

Если значения $\Delta\beta$ достаточно малы, то при соответствующем выборе угла сдвига фазы $\Delta\alpha$ данной погрешностью можно пренебречь.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Melent'ev V.S., Ivanov Yu.M. Study of the method of measurement of parameters of periodic signals by their instantaneous values using feature points / Science and Education: Materials of the XI International research and practice conference. – Munich, Germany, 2016. – Vol. 1. – P. 99–106.
2. 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.
3. Melent'ev V.S., Ivanov Yu.M., Lychev A.O. A method of measuring integral characteristics from the instantaneous values of signals separated in time and space // Measurement Techniques: Volume 57, No. 9, October, 2014. P. 979–984.
4. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Исследование метода измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям ортогональных составляющих сигналов // Ползуновский вестник. – 2014. – № 2(4). – С. 24–26.
5. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Павленко Е.В. Анализ погрешности реализации метода измерения параметров сигналов на основе формирования ортогональных составляющих напряжений // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2015. – № 1. – С. 23–30.
6. Мелентьев В.С., Ярославкина Е.Е., Поздеева Е.В., Нефедьев Д.И. Сокращение времени измерения параметров за счет использования мгновенных значений входных и дополнительных гармонических сигналов // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2016. – № 1 (15). – С. 48–55.
7. Мелентьев В.С., Павленко Е.В., Пескова А.С. Исследование погрешности формирования дополнительных сигналов при измерении параметров гармонических сигналов / Современные тенденции развития науки и технологий: Сборник науч. трудов по матер. V Междунар. науч.-практ. конф. – Белгород: АПНИ, 2015. – Ч. 2. – С. 49–51.
8. 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.

Статья поступила в редакцию 4 июня 2016 г.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF THE ERROR OF FORMING ADDITIONAL SIGNALS ON THE MEASUREMENT RESULT OF THE INTEGRAL PARAMETERS OF HARMONIC SIGNALS

V.S. Melent'ev, E.E. Jaroslavkina, E.V. Pozdeeva

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

Investigated a new method of measuring the parameters on the instantaneous values of harmonic signals. The method involves the formation of two additional voltages and identifying their transitions through zero. When implementing the method only the instantaneous values of the input signals should measure, that eliminates the module error of the blocks of the formation of the phase shift. The results of the analysis of the influence of the angular error of the blocks on the result of the determination of informative parameters, due to the difference of their angles of phase shift, are shown. The obtained results allow to determine the optimal shift angle of the phase-shifting blocks depending on requirements for accuracy and measurement time.

Keywords: *the parameters of periodic signals, harmonic model, the instantaneous values, the block of formation of the phase shift, the error.*

*Vladimir S. Melent'ev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Ekaterina E. Jaroslavkina (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.
Elena V. Pozdeeva, Postgraduate Student.*