

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ МЕТРОЛОГИИ И ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

УДК 621.317

В. С. Мелентьев, Ю. М. Иванов, В. В. Муратова

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

V. S. Melent'ev, Yu. M. Ivanov, V. V. Muratova

THE ANALYSIS OF THE ERROR OF MEASUREMENT OF INTEGRATED CHARACTERISTICS ON THE BASIS OF COMPARISON OF INSTANT VALUES OF HARMONIOUS SIGNALS

А н н о т а ц и я. Исследован метод измерения интегральных характеристик, основанный на сравнении мгновенных значений гармонических сигналов. Приведены результаты анализа влияния погрешности фазосдвигающих блоков на погрешность результата измерения интегральных характеристик.

A b s t r a c t. The method of measurement of the integrated characteristics, based on comparison of instant values of harmonious signals is investigated. Results of the analysis of influence of an error of phase-shifting blocks on an error of result of measurement of integrated characteristics are resulted.

К л ю ч е в ы е с л о в а: интегральные характеристики, гармонический сигнал, мгновенные значения, фазосдвигающий блок, погрешность.

К e y w o r d s: integrated characteristics, a harmonious signal, the instant values, the phase-shifting block, an error.

Введение

Для определения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС) широко используются методы, основанные на измерении и обработке отдельных мгновенных значений. Значительное сокращение времени измерения достигается за счет формирования дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных, и определения ИХГС по мгновенным значениям как входных, так и дополнительных сигналов. Таким образом, осуществляется пространственное разделение мгновенных значений сигналов [1].

Реализация таких методов обычно предусматривает формирование дополнительных сигналов как напряжения, так и тока, сдвинутых относительно входных на одинаковый, в общем случае произвольный, угол $\Delta\alpha$. Однако если фазовые сдвиги дополнительных сигналов в

каналах напряжения и тока отличаются друг от друга, то это неизбежно приводит к существенной погрешности определения ИХГС.

Этот недостаток устраняется в разработанном авторами методе, основанном на формировании только дополнительного сигнала напряжения и сравнении мгновенных значений входного и дополнительного напряжений [2].

При реализации метода для формирования дополнительного сигнала напряжения используется фазосдвигающий блок (ФСБ). При этом погрешность по напряжению (погрешность по модулю) ФСБ может привести к значительной потере точности измерения ИХГС.

В статье проводится анализ влияния погрешности ФСБ на результирующую погрешность определения ИХГС.

**Метод измерения интегральных характеристик,
основанный на сравнении мгновенных значений сигналов**

В соответствии с методом [2] в момент перехода входного сигнала напряжения через нуль одновременно измеряют первое мгновенное значение дополнительного напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на угол $\Delta\alpha$, и первое мгновенное значение тока; в момент равенства входного и дополнительного напряжений одновременно измеряют вторые мгновенные значения дополнительного напряжения и тока и определяют ИХГС по измеренным значениям.

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

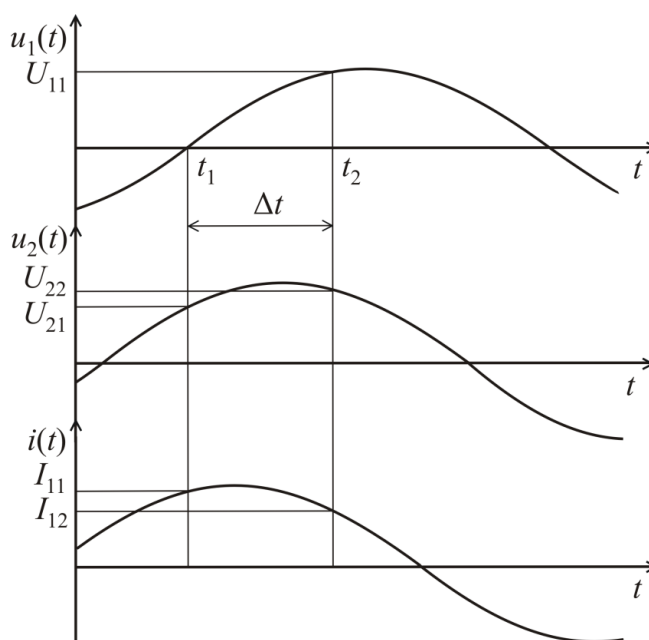


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Входные сигналы напряжения и тока и дополнительный сигнал напряжения имеют вид

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t ; i(t) = I_m \sin (\omega t + \phi) ; u_2(t) = U_m \sin (\omega t + \Delta \alpha) ,$$

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 дополнительного сигнала напряжения и тока в момент времени t_1 перехода входного сигнала напряжения через нуль равны

$$U_{21} = U_m \sin \Delta \alpha \text{ и } I_{11} = I_m \sin \phi .$$

В момент времени t_2 , когда мгновенные значения входного $U_{12} = U_m \sin \omega \Delta t$ и дополнительного $U_{22} = \sin(\Delta \alpha + \omega \Delta t)$ напряжений будут равны, мгновенное значение тока принимает вид

$$I_{12} = I_m \sin(\phi + \omega \Delta t),$$

где Δt – интервал времени между моментом перехода входного сигнала напряжения через нуль и моментом равенства входного и дополнительного напряжений.

Так как $U_{12} = U_{22}$, то $\sin \omega \Delta t = \sin(\Delta \alpha + \omega \Delta t)$. Это равенство выполняется, если $\Delta \alpha = \pi - 2\omega \Delta t$. Отсюда $\omega \Delta t = \frac{\pi}{2} - \frac{\Delta \alpha}{2} + \pi l$, где $l = 0; 1$.

$$\text{Тогда } U_{22} = U_m \cos \frac{\Delta \alpha}{2}, \text{ а } I_{12} = I_m \cos \left(\phi - \frac{\Delta \alpha}{2} \right).$$

Выражения для определения основных ИХГС имеют вид:
– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока:

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

$$I_{\text{СКЗ}} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[I_{11}^2 + \frac{(2U_{22}I_{12} - I_{11}U_{21})^2}{4U_{22}^2 - U_{21}^2} \right]}; \quad (2)$$

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

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

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

Оценка влияния погрешности фазосдвигающего блока на погрешность результата измерения интегральных характеристик гармонических сигналов

В случае, если амплитудное значение сигнала на выходе ФСБ отличается от амплитуды входного сигнала на величину ΔU_m , мгновенные значения дополнительного напряжения примут вид

$$U'_{21} = (U_m + \Delta U_m) \sin \Delta \alpha \text{ и } U'_{22} = (U_m + \Delta U_m) \cos \frac{\Delta \alpha}{2}.$$

Произведем оценку влияния погрешности ФСБ на погрешность результата измерения ИХГС, используя методику, предложенную в [3], рассматривая интегральную характеристику как функцию, аргументы которой заданы приближенно с погрешностью, соответствующей отклонению модели от реального сигнала.

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 предельные значения абсолютных погрешностей измерения ИХГС:

$$\Delta U_{\text{СКЗ}} = \left[\left| (U_{\text{СКЗ}})'_{U_{21}} \right| + \left| (U_{\text{СКЗ}})'_{U_{22}} \right| \right] \Delta U_m; \quad (5)$$

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

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

$$\Delta Q = \left[\left| (Q)'_{U_{21}} \right| + \left| (Q)'_{U_{22}} \right| \right] \Delta U_m . \quad (8)$$

Используя выражения (1)–(4) с учетом предельных значений абсолютных погрешностей (5)–(8), можно определить относительные погрешности определения СКЗ напряжения и тока и приведенные погрешности определения АМ и РМ:

$$\delta_U = \frac{h_m \left[\left| \sin \frac{\Delta\alpha}{2} \right| + 4 \left| \cos(\Delta\alpha) \right| \right]}{2 \left| \cos^3 \left(\frac{\Delta\alpha}{2} \right) \right|} ; \quad (9)$$

$$\delta_I = \frac{h_m \left\{ \left| \cos \phi \sin \left(\phi + \frac{\Delta\alpha}{2} \right) \right| + \left| \cos \phi \left[\cos \frac{\Delta\alpha}{2} \cos \left(\phi - \frac{\Delta\alpha}{2} \right) - \cos \phi \right] \right\}}{2 \left| \cos^3 \left(\frac{\Delta\alpha}{2} \right) \right|} ; \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \gamma_P = & \frac{h_m}{2 \left| \cos^3 \left(\frac{\Delta\alpha}{2} \right) \right|} \left[\left| \cos \phi \sin \frac{\Delta\alpha}{2} - \sin \left(\phi + \frac{\Delta\alpha}{2} \right) \right| + \right. \\ & \left. + 2 \left| \cos \frac{\Delta\alpha}{2} \cos \left(\phi - \frac{\Delta\alpha}{2} \right) - 2 \cos \phi \sin^2 \frac{\Delta\alpha}{2} \right| \right] ; \quad (11) \end{aligned}$$

$$\gamma_Q = \frac{h_m \left| \sin \phi \right| \left[\left| \sin \frac{\Delta\alpha}{2} \right| + 2 \left| \cos \Delta\alpha \right| \right]}{2 \left| \cos^3 \left(\frac{\Delta\alpha}{2} \right) \right|} , \quad (12)$$

где $h_m = \frac{\Delta U_m}{U_m}$.

Анализ выражений (9)–(12) показывает, что погрешности измерения ИХГС пропорциональны h_m . Кроме того, δ_U , δ_I , γ_P и γ_Q зависят не только от погрешности фазосдвигающего блока, но и от угла сдвига фазы ФСБ $\Delta\alpha$, а погрешности определения СКЗ тока, АМ и РМ зависят и от угла сдвига фаз между напряжением и током ϕ .

На рис. 2 представлен график зависимости относительной погрешности измерения СКЗ напряжения от $\Delta\alpha$, изменяющегося в диапазоне от 10 до 90°, в соответствии с (9) для $h_m = 1\%$.

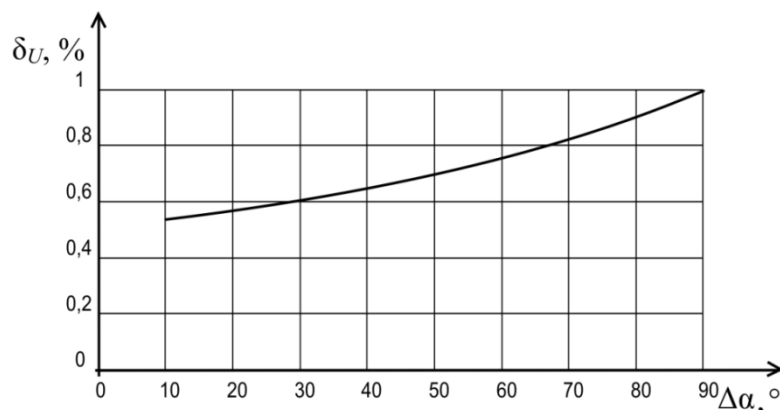


Рис. 2. График зависимости δ_U от $\Delta\alpha$

На рис. 3 представлены графики зависимости приведенной погрешности измерения АМ от $\Delta\alpha$, изменяющихся в диапазоне от 10 до 90°, и ϕ , изменяющихся в диапазоне от 0 до 90°, в соответствии с (11) для $h_m = 1\%$.

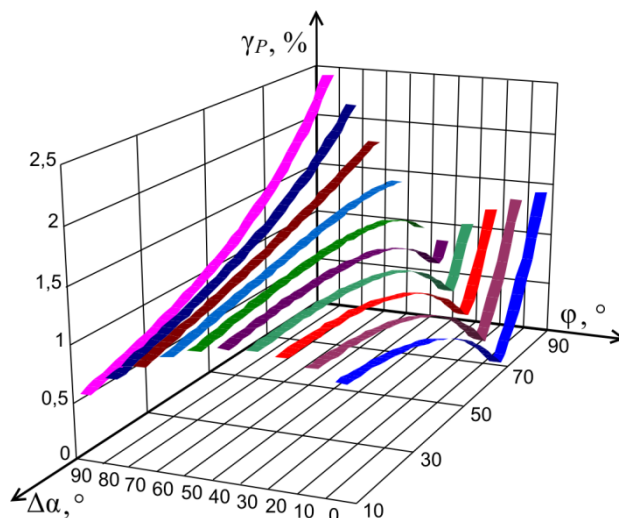


Рис. 3. Графики зависимости γ_P от $\Delta\alpha$ и ϕ

Заключение

Проведенный анализ влияния погрешности фазосдвигающего блока показывает, что погрешности измерения СКЗ напряжения и АМ, а также СКЗ тока и РМ можно существенно снизить за счет соответствующего выбора угла сдвига фазы ФСБ.

Полученные в работе результаты позволяют выбирать оптимальные параметры измерительного процесса с целью уменьшения погрешности измерения ИХГС.

Список литературы

1. Мелентьев, В. С. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов / В. С. Мелентьев, В. И. Батищев. – М. : Физматлит, 2011. – 240 с.
2. Мелентьев, В. С. Новый подход к измерению интегральных характеристик гармонических сигналов по мгновенным значениям, распределенным в пространстве / В. С. Мелентьев, А. Н. Камышикова, Г. И. Леонович // Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2010) : материалы междунар. науч.-техн. конф. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 186–191.
3. Батищев, В. И. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики / В. И. Батищев, В. С. Мелентьев. – М. : Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

Мелентьев Владимир Сергеевич

доктор технических наук, доцент,
заведующий кафедрой
информационно-измерительной техники,
Самарский государственный
технический университет
E-mail: vs_mel@mail.ru

Melent'ev Vladimir Sergeevich

doctor of technical sciences, associate professor,
head of sub-department
of information
and measuring technique,
Samara State Technical University

Иванов Юрий Михайлович

кандидат технических наук,
младший научный сотрудник,
кафедра информационно-измерительной техники,
Самарский государственный
технический университет
E-mail: ims@samgtu.ru

Ivanov Yuriy Mikhaylovich

candidate of technical sciences,
junior researcher,
sub-department of information
and measuring technique,
Samara State Technical University

Муратова Вера Владимировна

студентка,

Самарский государственный

технический университет

E-mail: muratova1991@yandex.ru

Muratova Vera Vladimirovna

student,

Samara State Technical University

УДК 621.317

Мелентьев, В. С.

Анализ погрешности измерения интегральных характеристик на основе сравнения мгновенных значений гармонических сигналов / В. С. Мелентьев, Ю. М. Иванов, В. В. Муратова // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2013. – № 1(3). – С. 3–8.