

Совершенствование методов измерений параметров гармонических сигналов по разделённым в пространстве мгновенным значениям

В. С. МЕЛЕНТЬЕВ

Самарский государственный технический университет,
Самара, Россия, e-mail: vs_mel@mail.ru

Рассмотрены методы измерений параметров гармонических сигналов по отдельным мгновенным значениям, разделённым в пространстве. Предложенные методы обеспечивают существенное сокращение времени измерения, длительность которого не зависит от момента начала измерения, длительности периода входного сигнала и угла сдвига фаз между напряжением и током.

Ключевые слова: гармонические и дополнительные сигналы, мгновенные значения, фазосдвигающие блоки, время измерения.

The methods of determining the parameters of harmonic signals on individual instantaneous values, which provide a significant abbreviation of measurement time, are considered. When implementing methods the time of determining the parameters does not depend on the beginning of the measurement, the duration of the input signal period and the phase angle between voltage and current.

Key words: harmonic signals, auxiliary signals, instantaneous values, phase shifting units, time of measure.

Существуют задачи измерения, контроля и испытаний, в которых вид сигнала строго обусловлен физическими законами исследуемых явлений, а погрешности измерений пренебрежимо малы. Такими, например, очень часто являются периодические сигналы. На основе измерения их характеристик осуществляют контроль разного рода электрических и электронных генераторов, оценивают качество электрической энергии, проводят испытания колебательных механических систем. При этом особую роль играют гармонические сигналы, применение которых из-за простоты модели широко распространено в измерительной технике для анализа и синтеза измерительных сигналов.

Основная проблема задач этого класса состоит в обеспечении необходимого быстродействия измерительных про-

цедур, обусловленного требованиями к оперативности контроля и испытания. Повышение быстродействия вследствие роста производительности вычислительной техники не всегда осуществимо, ведёт к прогрессирующему удорожанию средств измерений (СИ) и обработки и имеет определённый предел. Один из путей решения данной проблемы — априорное знание модели измерительного сигнала для определения его информативных параметров. Это позволяет обобщать известные и разрабатывать новые методы и алгоритмы измерений, создавать СИ параметров периодических сигналов, оптимальные с точки зрения точности и времени проведения измерений по отношению к временному параметру модели. Достоинство такого подхода заключается, прежде всего, в том, что в основе синтеза методов и систем могут лежать модели, по которым осуществляется интерпретация результатов измерений и обработки, и критерий, определяющий характеристики качества конечного результата всей измерительной процедуры, соотносимого с временем измерения [1].

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с разработкой методов измерений и СИ параметров гармонических сигналов (ПГС) среднеквадратических значений (СКЗ) напряжения и силы тока, активной и реактивной мощности по отдельным мгновенным значениям, не связанным с периодом входного сигнала. При этом можно существенно сократить время измерения, если заменить интегральные преобразования арифметическими операциями с точечными оценками [2]. Реализация такого подхода предполагает два основных способа разделения мгновенных значений сигналов: во времени и пространстве. Возможна также их комбинация [3]. Способ разделения в пространстве требует формирования дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно входных, что в общем случае приводит к уменьшению времени изме-

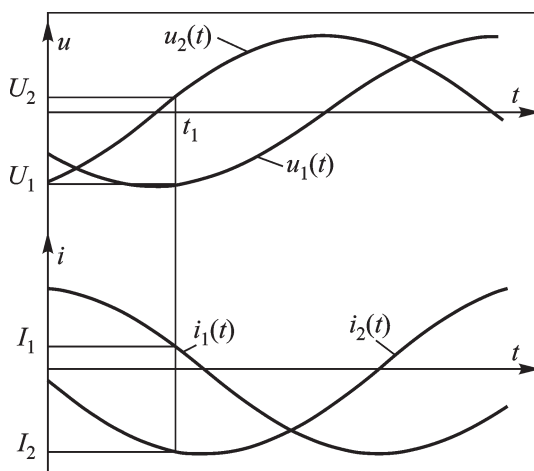


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод определения ПГС по мгновенным значениям

рения [4]. В настоящей статье рассмотрены разработанные автором методы, обеспечивающие дальнейшее сокращение времени и позволяющие определять ПГС по отдельным мгновенным значениям, одновременно измеренным в произвольный момент времени.

Метод определения ПГС по мгновенным значениям. Упрощение алгоритма измерения и аппаратной реализации методов измерений ПГС возможно при использовании методов, в которых в качестве дополнительных служат ортогональные составляющие входных сигналов. В [5] предложен метод, основанный на определении ПГС по двум мгновенным значениям напряжения и силы тока, одновременно измеренным в произвольный момент времени, причём вторые мгновенные значения сдвинуты относительно первых на угол 90° в сторону опережения. Временные диаграммы, поясняющие метод, приведены на рис. 1.

Входные и дополнительные сигналы напряжения и тока имеют вид

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t; u_2(t) = U_m \cos \omega t;$$

$$i_1(t) = I_m \sin (\omega t + \varphi); i_2(t) = I_m \cos (\omega t + \varphi),$$

где U_m, I_m — амплитудные значения напряжения и силы тока; ω — угловая частота входного сигнала; φ — угол сдвига фаз между входными напряжением и током.

В произвольный момент времени t_1 мгновенные значения сигналов будут

$$U_1 = U_m \sin \alpha_1; U_2 = U_m \cos \alpha_1;$$

$$I_1 = I_m \sin \alpha_2; I_2 = I_m \cos \alpha_2,$$

где α_1, α_2 — начальные фазы сигналов $u_1(t), i_1(t)$ в момент времени t_1 .

По мгновенным значениям сигналов можно определить ПГС — СКЗ напряжения и тока, активной и реактивной мощностей, соответственно:

$$U_{СКЗ} = \sqrt{(U_1^2 + U_2^2)/2}; I_{СКЗ} = \sqrt{(I_1^2 + I_2^2)/2};$$

$$P = (U_1 I_1 + U_2 I_2)/2; Q = (U_1 I_2 - U_2 I_1)/2.$$

Схема СИ, реализующего метод, представлена на рис. 2. В состав СИ входят первичные преобразователи напряжения ППН и тока ППТ, два фазосдвигающих блока ФБ1, ФБ2, четыре аналого-цифровых преобразователя АЦП1—АЦП4, контроллер Кнт с шинами управления ШУ и данных ШД.

В данном методе время определения ПГС не зависит от момента начала измерения, длительности периода входного сигнала и угла сдвига фаз между напряжением и током, а обусловлено только временем аналого-цифрового преобразования мгновенных значений сигналов и длительностью вычислительных процедур. Однако применение в качестве дополнительных сигналов ортогональных составляющих входных сигналов может привести к существенной частотной погрешности фазосдвигающего блока, выполняющего сдвиг входного сигнала на 90° . При изменении частоты угол сдвига фазы может отличаться от 90° [6]. Указанный недостаток

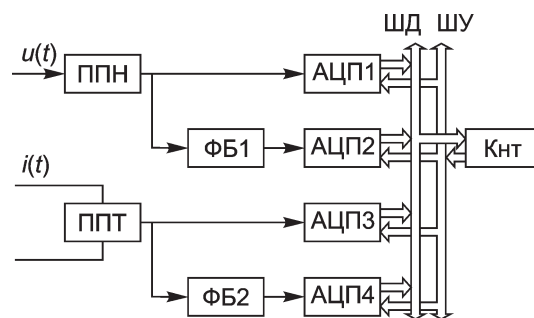


Рис. 2. Схема СИ, реализующего метод определения ПГС по мгновенным значениям

устраняется в методах, использующих мгновенные значения основных и дополнительных сигналов, сдвинутых относительно входных на произвольный угол $\Delta\alpha$ [7].

Метод определения ПГС по трём мгновенным значениям напряжения и двум мгновенным значениям силы тока, сдвинутым в пространстве. Измерения осуществляют в произвольный момент времени одновременно всех мгновенных значений — трёх напряжения и двух силы тока, причем вторые мгновенные значения обеих величин сдвинуты относительно первых на угол $\Delta\alpha$ в сторону опережения, а третье мгновенное значение напряжения сдвинуто относительно второго на угол $\Delta\alpha$ в сторону запаздывания. По результатам измерений определяют ПГС. Временные диаграммы, поясняющие метод, приведены на рис. 3.

Входные и дополнительные сигналы напряжения и тока имеют вид

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t; u_2(t) = U_m \sin (\omega t + \Delta\alpha); u_3(t) = U_m \sin (\omega t - \Delta\alpha);$$

$$i_1(t) = I_m \sin (\omega t + \varphi); i_2(t) = I_m \sin (\omega t + \varphi + \Delta\alpha).$$

В момент времени t_1 мгновенные значения сигналов выражаются как

$$U_1 = U_m \sin \alpha_1; U_2 = U_m \sin (\alpha_1 + \Delta\alpha);$$

$$U_3 = U_m \sin (\alpha_1 - \Delta\alpha); I_1 = I_m \sin \alpha_2; I_2 = I_m \sin (\alpha_2 + \Delta\alpha).$$

По мгновенным значениям находят ПГС — СКЗ напряжения и тока, активной P и реактивной Q мощностей, соответственно:

$$U_{СКЗ} = |U_1| \sqrt{2 \left[(U_1^2 - U_2 U_3) / (4 U_1^2 - (U_2 + U_3)^2) \right]}; \quad (1)$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{2 \left\{ U_1 [U_1 (I_2^2 + I_1^2) - I_2 I_1 (U_2 + U_3)] / (4 U_1^2 - (U_2 + U_3)^2) \right\}}; \quad (2)$$

$$P = U_1 [U_1 I_2 (U_2 - U_3) - I_1 (U_2^2 - 2 U_1^2 + U_2 U_3)] / (4 U_1^2 - (U_2 + U_3)^2); \quad (3)$$

$$Q = U_1 (U_2 I_1 - U_1 I_2) / \sqrt{4 U_1^2 - (U_2 + U_3)^2}. \quad (4)$$

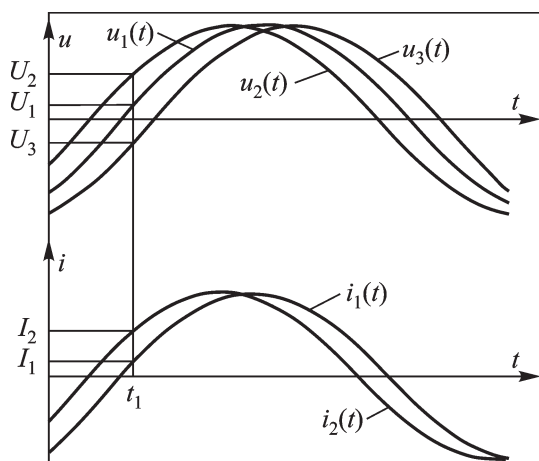


Рис. 3. Временные диаграммы, поясняющие метод определения ПГС по трём мгновенным значениям напряжения и двум мгновенным значениям силы тока, сдвинутым в пространстве

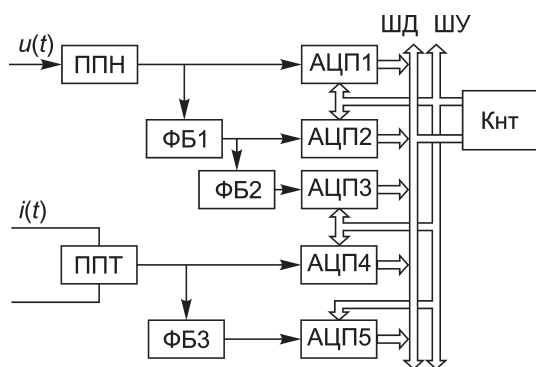


Рис. 4. Схема СИ, реализующего метод определения ПГС по трём мгновенным значениям напряжения и двум мгновенным значениям силы тока, сдвинутым в пространстве

Анализ показывает, что значения выражений (1)–(4) будут некорректными, если $U_1 = 0$. В этом случае проводят повторное измерение мгновенных значений напряжения и тока в другой момент времени $t_2 < t_1 + T/2$. Схема СИ, реализующего метод, представлена на рис. 4. В состав СИ дополнительно введены фазосдвигающий блок ФБ3 и аналого-цифровой преобразователь АЦП5.

Заключение. Разработанные методы определения параметров гармонических сигналов обеспечивают минимальное время измерения. При этом оно не зависит от момента начала измерения, длительности периода входного сигнала и угла сдвига фаз между напряжением и током, а обус-

ловлено только временем аналого-цифрового преобразования мгновенных значений сигналов в код и выполнением вычислительных процедур в соответствии с алгоритмом измерения.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 16-08-00252 А).

Литература

1. Мелентьев В. С., Батищев В. И. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011.
2. Мелентьев В. С., Батищев В. И., Камышникова А. Н., Рудаков Д. П. Совершенствование методов измерения интегральных характеристик гармонических сигналов // Измерительная техника. 2011. № 4. С. 32–34.
3. Мелентьев В. С., Иванов Ю. М., Лычев А. О. Метод измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям сигналов, разделенным во времени и пространстве // Метрология. 2014. № 8. С. 18–24.
4. 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.
5. 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.
6. Мелентьев В. С., Ярославкина Е. Е., Павленко Е. В. Исследование влияния погрешности формирования ортогональных составляющих на результат измерения параметров гармонических сигналов // Теоретические и прикладные аспекты современной науки: Труды VII Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: АПНИ, 2015. Ч. 3. С. 80–82.
7. Мелентьев В. С., Иванов Ю. М., Муратова В. В. Синтез и анализ методов оперативного измерения параметров периодических процессов на основе формирования дополнительных сигналов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XVI междунар. конф. Самара: Самарский научный центр РАН, 2014. С. 717–722.

Дата принятия: 09.02.2016.