

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ ЗАПОМИНАНИЯ И СРАВНЕНИЯ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ¹

В.С. Мелентьев, Е.Г. Кожевникова

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

Рассматриваются новые методы определения интегральных характеристик, основанные на запоминании и сравнении мгновенных значений гармонических сигналов и обеспечивающие сокращение времени измерения. Приводятся схемы систем, реализующих методы.

Ключевые слова: интегральные характеристики, мгновенные значения сигналов, фазосдвигающий блок, запоминание сигналов, сравнение сигналов.

Методы определения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС), основанные на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных, обеспечивают сокращение времени измерения, поскольку используют пространственное разделение мгновенных значений сигналов.

В [1] предлагается метод определения ИХГС, основанный на том, что в момент перехода входного сигнала напряжения через ноль одновременно измеряют первое мгновенное значение дополнительного напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на угол $\Delta\alpha$, и первое мгновенное значение тока; в момент достижения входным сигналом напряжения запомненного первого мгновенного значения дополнительного напряжения одновременно измеряют вторые мгновенные значения дополнительного напряжения и тока и определяют ИХГС по измеренным значениям.

Реализация данного метода обеспечивает высокую точность измерения ИХГС, так как исключает влияние частотной погрешности фазосдвигающего блока, используемого для формирования дополнительного сигнала напряжения, сдвинутого относительно входного на угол $\Delta\alpha$.

Основным недостатком метода является достаточно большое время измерения, поскольку момент начала измерения является случайным по отношению к периоду сигнала и не совпадает с моментом перехода сигнала через ноль. В общем случае время измерения равно $T_{И} = \Delta t_H + \frac{\Delta\alpha}{\omega}$, где Δt_H – промежуток времени с момента начала измерения до момента перехода сигнала напряжения через ноль; ω – угловая частота входного сигнала.

Данный недостаток устраняется в разработанных авторами методах определения ИХГС, использующих запоминание и сравнение мгновенных значений сигналов.

Первый метод основан на том, что в произвольный момент времени одновременно измеряют первые мгновенные значения входного напряжения и дополнительного сигнала напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на угол 90° , и

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-08-00039-а).

Владимир Сергеевич Мелентьев – д.т.н., профессор.
Елена Георгиевна Кожевникова – аспирант.

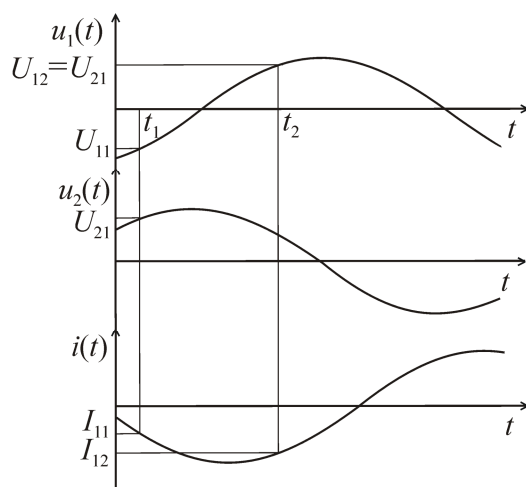
первое мгновенное значение тока; в момент достижения входным сигналом напряжения запомненного первого мгновенного значения дополнительного напряжения одновременно измеряют вторые мгновенные значения дополнительного напряжения и тока и определяют ИХГС по измеренным значениям.

Для входного тока $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ и напряжения $u_1(t) = U_m \sin \omega t$ и дополнительного напряжения $u_2(t) = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \cos \omega t$ выражения для мгновенных значений сигналов:

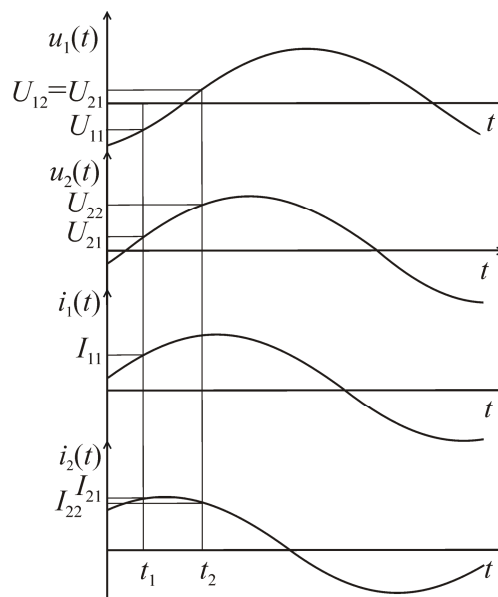
$$\begin{cases} U_{11} = I_m \sin \alpha_1; \\ U_{21} = U_{12} = U_m \cos \alpha_1; \\ I_{11} = I_m \sin \alpha_2; \\ I_{12} = I_m \cos \alpha_2, \end{cases}$$

где I_m, U_m – амплитудные значения напряжения и тока; α_1, α_2 – начальные фазы сигналов напряжения и тока; $\varphi = \alpha_2 - \alpha_1$ – угол сдвига фаз между сигналами напряжения и тока.

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



Р и с . 1. Временные диаграммы, поясняющие первый метод



Р и с . 2. Временные диаграммы, поясняющие второй метод

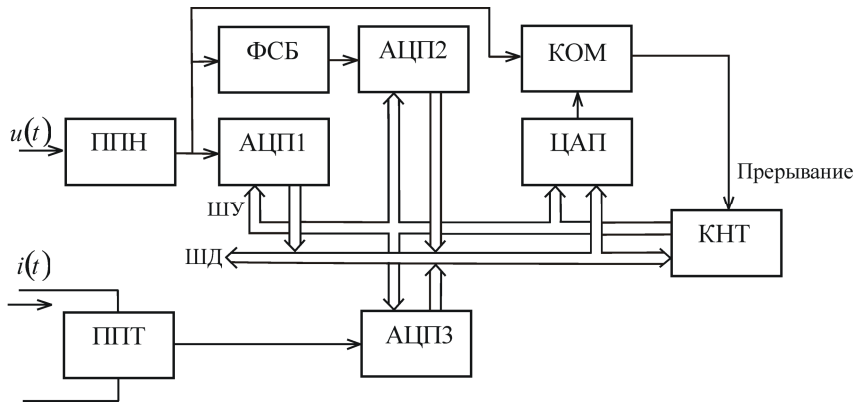
Для гармонических моделей напряжения и тока выражения для определения интегральных характеристик имеют следующий вид:

– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \sqrt{\frac{U_{11}^2 + U_{21}^2}{2}}; \quad I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{I_{11}^2 + I_{12}^2}{2}};$$

– активная и реактивная мощности

$$P = \frac{U_{11}I_{11} + U_{21}I_{12}}{2}; \quad Q = \frac{U_{11}I_{12} - U_{21}I_{11}}{2}.$$



Р и с . 3. Функциональная схема ИИС, реализующей первый метод

На рис. 3 представлена функциональная схема информационно-измерительной системы (ИИС), реализующей первый метод.

В состав ИИС входят: первичные преобразователи напряжения ППН и тока ПТТ, аналого-цифровые преобразователи АЦП1, АЦП2 и АЦП3, цифро-аналоговый преобразователь ЦАП, компаратор КОМ, фазосдвигающий блок ФСБ, осуществляющий сдвиг входного сигнала напряжения на 90° , контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

При реализации данного метода время измерения равно $T_{И} = T/4$, где T – период входного сигнала.

Одним из существенных недостатков ИИС, реализующих данный метод, является частотная погрешность фазосдвигающих блоков. В результате этого при изменении частоты входного сигнала ФСБ производят сдвиг сигнала на угол, отличный от $\pi/2$.

Данный недостаток устраняется в следующем методе определения ИХГС.

Второй метод определения ИХГС заключается в том, что в произвольный момент времени одновременно измеряют первые мгновенные значения входного напряжения и тока и дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно входных на угол $\Delta\alpha$; в момент достижения входным сигналом напряжения запомненного первого мгновенного значения дополнительного напряжения одновременно измеряют вторые мгновенные значения дополнительного напряжения и тока и определяют ИХГС по измеренным значениям.

Мгновенные значения напряжения и тока равны:

$$\begin{cases} U_{11} = U_m \sin \alpha_1; \\ U_{21} = U_{12} = U_m \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha); \\ U_{22} = U_m \sin(\alpha_1 + 2\Delta\alpha); \\ I_{11} = I_m \sin \alpha_2; \\ I_{21} = I_m \sin(\alpha_2 + \Delta\alpha); \\ I_{22} = I_m \sin(\alpha_2 + 2\Delta\alpha). \end{cases}$$

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 2.

Для гармонических моделей напряжения и тока выражения для определения интегральных характеристик сигналов имеют следующий вид:

– СКЗ напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \frac{|U_{11}|}{\sqrt{2 \left[1 - \left(\frac{2U_{21}^2 - U_{22}U_{11} - U_{11}^2}{2U_{21}\sqrt{U_{21}^2 - U_{22}U_{11}}} \right)^2 \right]}};$$

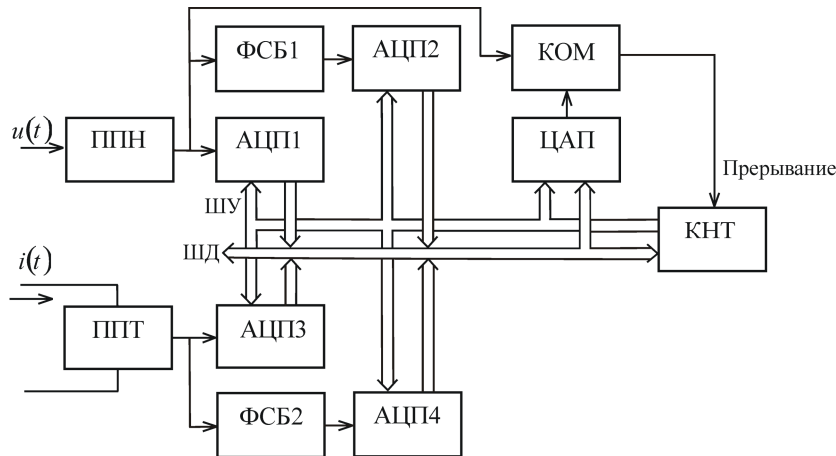
$$I_{СКЗ} = \frac{|I_{11}|}{\sqrt{2 \left[1 - \left(\frac{2I_{21}^2 - I_{22}I_{11} - I_{11}^2}{2I_{21}\sqrt{I_{21}^2 - I_{22}I_{11}}} \right)^2 \right]}}; \quad (1)$$

– активная и реактивная мощности

$$P = \frac{\text{sign}(U_{21})(2U_{21}^2 - U_{22}U_{11} - U_{11}^2)}{2\sqrt{4U_{21}^2 - (U_{22} + U_{11})^2}} \times \frac{\text{sign}(I_{21})(2I_{21}^2 - I_{22}I_{11} - I_{11}^2)}{\sqrt{4I_{21}^2 - (I_{22} + I_{11})^2}} + \frac{U_{11}I_{11}}{2};$$

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

На рис. 4 представлена функциональная схема ИИС, реализующей второй метод.



Р и с . 4. Функциональная схема ИИС, реализующей второй метод

В состав ИИС дополнительно входят второй фазосдвигающий блок ФСБ2 и четвертый аналого-цифровой преобразователь АЦП4.

Реализация данного метода обеспечивает достаточно высокое быстродействие при малых углах сдвига ФСБ $\Delta\alpha$, поскольку время измерения пропорционально $\Delta\alpha$.

Метод обеспечивает исключение влияния частотной погрешности фазосдвигающих блоков при отклонении фазовых сдвигов ФСБ1 и ФСБ2 на одинаковую величину.

Если фазовые сдвиги ФСБ отличаются друг от друга, то это неизбежно приводит к погрешности определения ИХГС.

Следующий предлагаемый метод позволяет устранить данный недостаток.

Метод заключается в том, что в произвольный момент времени одновременно измеряют первые мгновенные значения входного напряжения и тока и дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно входных на углы $\Delta\alpha_1$ и $\Delta\alpha_2$ соответственно; в момент достижения входным сигналом напряжения запомненного первого мгновенного значения дополнительного напряжения измеряют второе мгновенное значение дополнительного напряжения; в момент достижения входным сигналом тока запомненного первого мгновенного значения дополнительного тока измеряют второе мгновенное значение дополнительного тока и определяют ИХГС по измеренным значениям.

Мгновенные значения напряжения и тока равны:

$$\begin{cases} U_{11} = U_m \sin \alpha_1; \\ U_{21} = U_{12} = U_m \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha_1); \\ U_{23} = U_m \sin(\alpha_1 + 2\Delta\alpha_1); \\ I_{11} = I_m \sin \alpha_2; \\ I_{21} = I_m \sin(\alpha_2 + \Delta\alpha_2); \\ I_{22} = I_m \sin(\alpha_2 + 2\Delta\alpha_2). \end{cases}$$

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 5.

Для гармонических моделей напряжения и тока выражения для определения интегральных характеристик сигналов имеют следующий вид:

– СКЗ напряжения

$$U_{СКЗ} = \frac{|U_{11}|}{\sqrt{2 \left[1 - \left(\frac{2U_{21}^2 - U_{23}U_{11} - U_{11}^2}{2U_{21}\sqrt{U_{21}^2 - U_{23}U_{11}}} \right)^2 \right]}};$$

– активная и реактивная мощности

$$P = \frac{\text{sign}(U_{21})(2U_{21}^2 - U_{23}U_{11} - U_{11}^2)}{2\sqrt{4U_{21}^2 - (U_{23} + U_{11})^2}} \times \frac{\text{sign}(I_{21})(2I_{21}^2 - I_{22}I_{11} - I_{11}^2)}{\sqrt{4I_{21}^2 - (I_{22} + I_{11})^2}} + \frac{U_{11}I_{11}}{2};$$

$$Q = \frac{\text{sign}(I_{21})U_{11}(2I_{21}^2 - I_{22}I_{11} - I_{11}^2)}{2\sqrt{4I_{21}^2 - (I_{22} + I_{11})^2}} - \frac{\text{sign}(U_{21})I_{11}(2U_{21}^2 - U_{23}U_{11} - U_{11}^2)}{2\sqrt{4U_{21}^2 - (U_{23} + U_{11})^2}}.$$

Выражение для определения СКЗ тока соответствует (1).

На рис. 6 представлена функциональная схема ИИС, реализующей третий метод.

В состав ИИС дополнительно входят второй цифро-аналоговый преобразователь ЦАП2 и второй компаратор КОМ2.

Реализация данного метода обеспечивает достаточно высокое быстродействие при малых углах сдвига ФСБ, поскольку время измерения пропорционально наи-

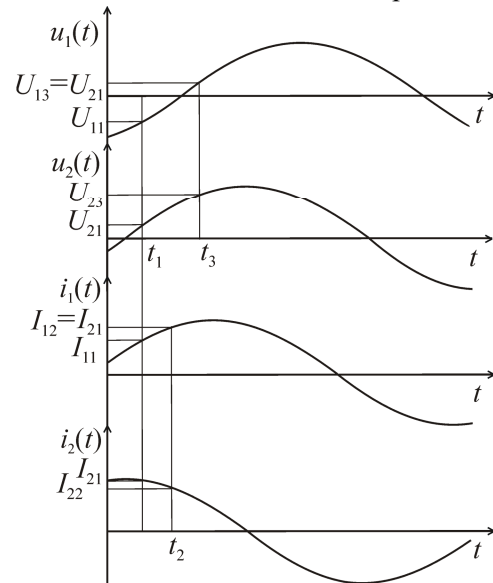
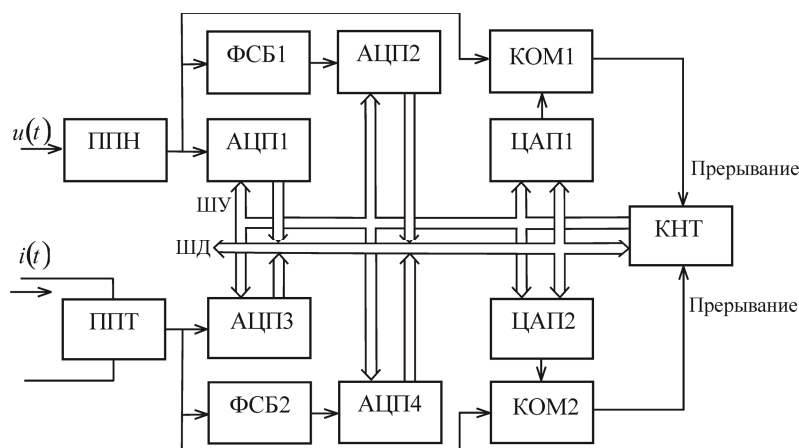


Рис. 5. Временные диаграммы, поясняющие третий метод

большему из углов сдвига фаз ФСБ1 или ФСБ2. При этом различие углов сдвига фаз ФСБ1 и ФСБ2 не приводит к погрешности определения ИХГС.

В предлагаемых методах определения ИХГС время измерения не зависит от момента начала измерения и угла сдвига фаз между напряжением и током. При этом при реализации второго и третьего методов угол сдвига фаз фазосдвигающих блоков может быть выбран произвольным.



Р и с . 6. Функциональная схема ИИС, реализующей третий метод

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мелентьев В.С., Кожевникова Е.Г. Использование компарирования мгновенных значений периодических сигналов для определения их интегральных характеристик // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – №7(28). – 2010. – С. 225-228.

Статья поступила в редакцию 31 марта 2011 г.

UDC 621.317

METHODS OF MEASUREMENT OF INTEGRATED CHARACTERISTICS ON THE BASIS OF STORING AND COMPARISON OF THE INSTANT VALUES OF PERIODIC SIGNALS

V.S. Melentyev, E.G. Kozhevnikova

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

New methods of definition of the integrated characteristics, based on storing and comparison of instant values of harmonious signals and providing reduction of time of measurement are considered. Schemes of methodimplementing systems are given.

Keywords: *integrated characteristics, instant values of signals, the block of shift of a phase, storing of signals, comparison of signals.*

*V.S. Melentyev – Doctor of Technical Sciences, Professor.
E.G. Kozhevnikova – Postgraduate student.*