

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ В ПРОСТРАНСТВЕ¹

В.С. Мелентьев, А.О. Лычев

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

Рассматривается новый метод измерения интегральных характеристик, основанный на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно основного, и сравнении мгновенных значений основного и дополнительных сигналов. Приводится схема системы, реализующей метод.

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

В настоящее время распространение получили методы измерения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС) по отдельным мгновенным значениям. Существенное сокращение времени измерения обеспечивают методы, основанные на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входного сигнала, и определении ИХГС по мгновенным значениям входного и дополнительных сигналов [1].

Одним из существенных недостатков информационно-измерительных систем (ИИС) [2, 3], реализующих данные методы, является частотная погрешность фазосдвигающих блоков (ФСБ). В результате этого при изменении частоты входного сигнала ФСБ производят сдвиг сигнала на угол, отличный от $\pi/2$.

Данный недостаток устраняется в разработанном авторами методе измерения ИХГС, в котором используется формирование двух дополнительных сигналов, сдвинутых на одинаковый (в общем случае произвольный) угол, и сравнение их мгновенных значений.

Метод заключается в сравнении основного и дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе на углы $\Delta\alpha$ и $2\Delta\alpha$. Причем в момент равенства мгновенных значений основного и сдвинутого относительно него на $2\Delta\alpha$ дополнительного сигнала напряжения измеряют мгновенное значение сигнала напряжения, сдвинутого относительно основного сигнала на угол $\Delta\alpha$. В этот же момент времени измеряется мгновенное значение дополнительного сигнала тока, сдвинутого относительно основного сигнала на $\Delta\alpha$. В момент равенства мгновенных значений основного и сдвинутого относительно него на $2\Delta\alpha$ дополнительного сигнала тока измеряют мгновенное значение сигнала тока, сдвинутого относительно основного сигнала на угол $\Delta\alpha$. ИХГС определяются по измеренным мгновенным значениям сигналов напряжения и тока.

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

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

Владимир Сергеевич Мелентьев (д.т.н., проф.), зав. кафедрой, каф. информационно-измерительной техники.

Александр Олегович Лычев, аспирант, каф. информационно-измерительной техники.

Для входных сигналов напряжения $u_1(t) = U_m \sin \omega t$ и тока $i_1(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ и дополнительных сигналов $u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \Delta\alpha)$, $u_3(t) = U_m \sin(\omega t + 2\Delta\alpha)$ и $i_2(t) = I_m \sin(\omega t + \Delta\alpha + \varphi)$, $i_3(t) = I_m \sin(\omega t + 2\Delta\alpha + \varphi)$ выражения для мгновенных значений сигналов в соответствующие моменты времени имеют вид

$$\begin{cases} U_{11} = U_{31}; \\ U_{21} = \pm U_m; \\ I_{21} = \pm I_m \cos \varphi; \\ I_{12} = I_{32}; \\ I_{22} = \pm I_m, \end{cases}$$

где U_m , I_m – амплитудные значения напряжения и тока; φ – угол сдвига фаз между сигналами напряжения и тока; ω – угловая частота.

В момент времени t_1 , когда $U_{11} = U_{31}$, мгновенное значение основного сигнала напряжения $U_{11} = U_m \sin \omega \Delta t_1$ (где Δt_1 – интервал времени между переходом сигнала $u_1(t)$ через ноль до момента времени t_1), а мгновенные значения первого и второго дополнительных сигналов будут равны $U_{21} = U_m \sin(\omega \Delta t_1 + \Delta\alpha)$ и $U_{31} = U_m \sin(\omega \Delta t_1 + 2\Delta\alpha)$.

Равенство мгновенных значений сигналов $U_{11} = U_{31}$ выполняется в том случае, если $\omega \Delta t_1 + 2\Delta\alpha = \omega \Delta t_1$ ($\Delta\alpha \neq 0$), то есть когда $2\Delta\alpha = \pi + 2\pi k - 2\omega \Delta t_1$ или $\omega \Delta t_1 = \frac{\pi}{2}(2k + 1) - \Delta\alpha$, где $k = 0, 1$. Отсюда $U_{21} = U_m \sin\left[\frac{\pi}{2}(2k + 1)\right] = \pm U_m$.

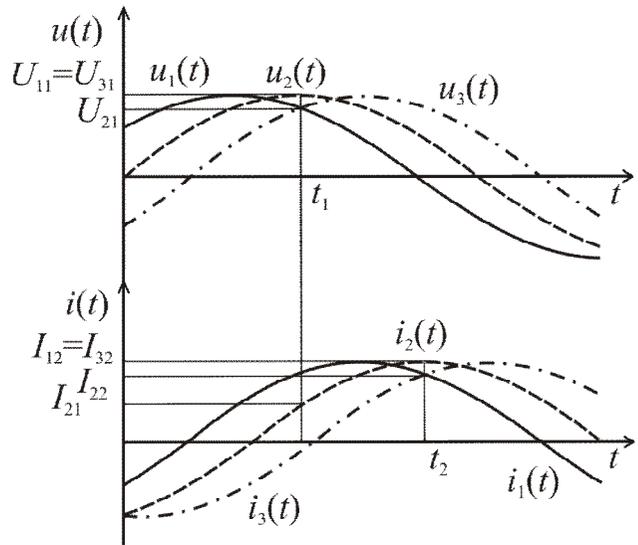
Среднеквадратическое значение (СКЗ) напряжения равно

$$U_{СКЗ} = \frac{|U_{21}|}{\sqrt{2}}. \quad (1)$$

В момент времени t_1 мгновенное значение дополнительного сигнала тока $i_2(t)$ будет равно $I_{21} = I_m \sin(\omega \Delta t_1 + \Delta\alpha + \varphi) = I_m \sin\left[\frac{\pi}{2}(2k + 1) + \varphi\right] = \pm I_m \cos \varphi$.

В момент времени t_2 , когда $I_{12} = I_{32}$, по аналогии с сигналом напряжения мгновенные значения основного и дополнительного сигналов будут равны $I_{12} = I_m \sin(\omega \Delta t_2 + \varphi)$; $I_{22} = I_m \sin(\omega \Delta t_2 + \Delta\alpha + \varphi)$ и $I_{32} = I_m \sin(\omega \Delta t_2 + 2\Delta\alpha + \varphi)$ (где Δt_2 – интервал времени между переходом сигнала $i_1(t)$ через ноль до момента времени t_2).

Равенство мгновенных значений сигналов $I_{12} = I_{32}$ выполняется в том случае, если $\omega \Delta t_2 + 2\Delta\alpha + \varphi = \omega \Delta t_2 + \varphi$, то есть когда $2\Delta\alpha = \pi + 2\pi k - 2\omega \Delta t_2 - 2\varphi$ или



Р и с. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

$$\omega\Delta t_2 = \frac{\pi}{2}(2k+1) - \Delta\alpha - \varphi. \text{ Отсюда } I_{22} = I_m \sin\left[\frac{\pi}{2}(2k+1)\right] = \pm I_m.$$

$$\text{СКЗ тока равно } I_{\text{СКЗ}} = \frac{|I_{22}|}{\sqrt{2}}. \quad (2)$$

Активная и реактивная мощности определяются следующими выражениями:

$$P = \frac{U_{21}I_{21}}{2}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{U_{21}|I_{22}|\text{sign}(I_{21})}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{I_{21}}{I_{22}}\right)^2}. \quad (4)$$

Если в момент времени t_1 мгновенное значение тока $I_{21} = 0$, то это означает, что $\varphi = \pm\pi/2$.

В этом случае определение угла сдвига фаз производится следующим образом.

Если измерение мгновенного значения напряжения U_{21} произошло раньше, чем мгновенного значения тока I_{22} , и знаки одинаковые, т. е. $\text{sign}(U_{21}) = \text{sign}(I_{22})$, то $\varphi = -\pi/2$. Если измерение U_{21} произошло раньше, чем I_{22} , и знаки разные, то $\varphi = \pi/2$, т. е. $\varphi = \text{sign}(U_{21})\text{sign}(I_{22})(-\pi/2)$. Если измерение мгновенного значения тока I_{22} произошло раньше, чем мгновенного значения напряжения U_{21} , и знаки одинаковые, то $\varphi = \pi/2$. Если измерение I_{22} произошло раньше, чем U_{21} , и знаки разные, то $\varphi = -\pi/2$, т. е. $\varphi = \text{sign}(U_{21})\text{sign}(I_{22})\pi/2$.

При углах сдвига фаз между сигналами напряжения и тока $\varphi > \alpha$ рассматриваемый метод обеспечивает время измерения $\Delta t_H = \Delta t_H + \Delta t_\varphi$, где $\Delta t_\varphi = \varphi/\omega$; Δt_H – промежуток времени с момента начала измерения до момента равенства основного и сдвинутого относительно него на $2\Delta\alpha$ дополнительного сигнала напряжения.

Схема ИИС, реализующей метод, представлена на рис. 2.

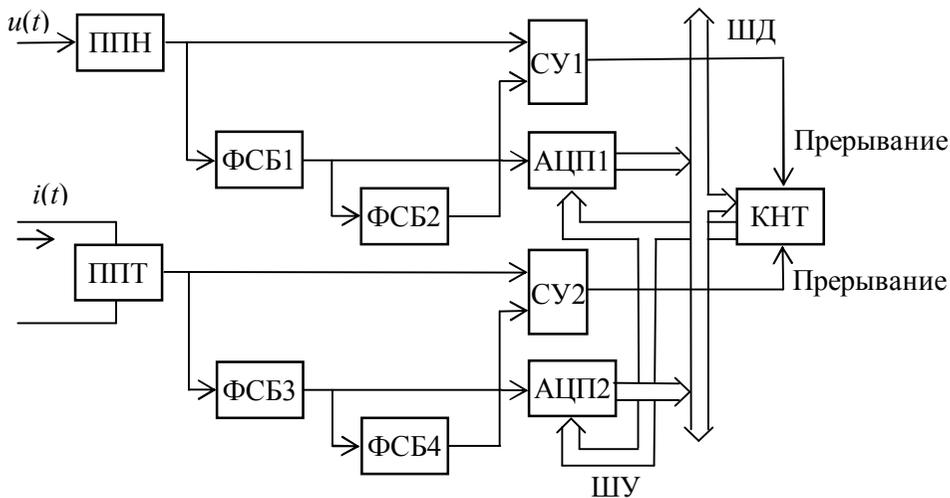
ИИС содержит: первичные преобразователи напряжения ППН и тока ППТ, четыре фазосдвигающих блока ФСБ1 – ФСБ4, осуществляющие сдвиг сигналов на угол $\Delta\alpha$, два сравнивающих устройства СУ1 и СУ2, два аналого-цифровых преобразователя АЦП1 и АЦП2, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

В момент времени t_1 (рис. 1), когда сигналы напряжения $u_1(t)$ и $u_3(t)$ будут равны, срабатывает сравнивающее устройство СУ1, на выходе которого формируется импульс, поступающий на вход прерывания КНТ. Контроллер запускает АЦП1, на входе которого в это время действует сигнал напряжения U_{21} , равный амплитудному значению входного напряжения. Аналого-цифровой преобразователь преобразует этот сигнал в код, который записывается в оперативную память КНТ. Одновременно с помощью АЦП2 производится преобразование в код мгновенного значения сигнала, пропорционального мгновенному значению тока I_{21} .

В момент времени t_2 (рис. 1), когда сигналы напряжения, пропорциональные сигналам тока $i_1(t)$ и $i_3(t)$, будут равны, срабатывает сравнивающее устройство СУ2, на выходе которого формируется импульс, поступающий на вход прерывания КНТ. Контроллер запускает АЦП2, на входе которого в это время действует сигнал напряжения, пропорциональный мгновенному значению I_{22} и амплитудному значению входного сигнала тока. Аналого-цифровой преобразователь преобразует этот

сигнал в код, который записывается в оперативную память КНТ.

В КНТ производятся вычисления в соответствии с выражениями (1)-(4).



Р и с. 2. ИИС интегральных характеристик гармонических сигналов

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., Рудаков Д.В. Методы измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, основанные на сравнении ортогональных составляющих сигналов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: межвуз. сборник. – Вып. 1. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2011. – С. 129-131.
3. Мелентьев В.С., Кожевникова Е.Г. Методы измерения интегральных характеристик на основе запоминания и сравнения мгновенных значений периодических сигналов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – Самара: СамГТУ. – № 2(30). – 2011. – С. 65-70.

Статья поступила в редакцию 12 сентября 2011 г.

THE MEASURING METHOD OF INTEGRAL CHARACTERISTICS ON THE BASIS OF INSTANT VALUES COMPARE OF HARMONIOUS SIGNALS DISTRIBUTED IN THE SPACE

V.S. Melentiev, A.O. Lychev

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

The new measuring method of the integral characteristics, based on formation of the additional phase difference signals and comparison of instant values of the basic and additional signals is considered. The circuit of the system realizing a method is resulted.

Keywords: *integral characteristics, instant values of the signals, the phase-shifting block, additional signals, comparison of signals.*

*Vladimir S. Melentiev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Alexander O. Lychev, Postgraduate student.*