

УДК 621.317

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК, ИНВАРИАНТНЫЕ К ПОГРЕШНОСТЯМ ФОРМИРОВАНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ\*

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

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

E-mail: vs\_mel@mail.ru.

*Проводится анализ методов и средств измерения, основанных на определении интегральных характеристик по мгновенным значениям входных и дополнительных гармонических сигналов. Предлагаются пути исключения погрешностей фазосдвигающих блоков, используемых для формирования дополнительных сигналов, с коррекцией и без последующей коррекции мгновенных значений сигналов. Рассматриваются методы измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, инвариантные к погрешностям формирования дополнительных сигналов. Анализируются методы, в которых в качестве дополнительных сигналов применяются ортогональные составляющие входных сигналов, а также методы, использующие формирование дополнительных сигналов, сдвинутых относительно входных на произвольный угол. Приводятся структурные схемы средств измерений, реализующих методы.*

**Ключевые слова:** интегральные характеристики сигналов, гармонические сигналы, мгновенные значения, дополнительные сигналы, фазосдвигающие блоки, погрешность.

Для измерения параметров сигналов, вид которых априорно известен, может быть использован аппроксимационный подход, заключающийся в определении информативных параметров по отдельным мгновенным значениям сигналов в предположении их соответствия известным моделям с последующей оценкой погрешностей, обусловленных отклонением принятых моделей от реальных сигналов [1].

Привлечение априорной информации о форме сигнала позволяет заменить интегральные преобразования арифметическими операциями с точечными оценками, а также обобщить известные методы, алгоритмы и средства измерения параметров периодических сигналов и разрабатывать новые.

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с разработкой методов и средств измерения интегральных характеристик гармонических

---

\* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания ФГБОУ ВПО «СамГТУ» (код проекта: 1392).

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

Юрий Михайлович Иванов (к.т.н.), с.н.с. кафедры «Информационно-измерительная техника»

Вера Владимировна Муратова, аспирант.

сигналов (ИХГС) по отдельным мгновенным значениям, не связанным с периодом входного сигнала.

Одним из направлений, используемых для реализации методов, является разделение мгновенных значений в пространстве за счет формирования дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых по фазе относительно входных. Это обеспечивает существенное сокращение времени определения ИХГС [2].

Одним из основных факторов, которые ограничивают точность средств измерений (СИ), использующих формирование дополнительных сигналов, является погрешность по напряжению (погрешность по модулю) фазосдвигающих блоков (ФСБ). Наличие данного вида погрешности приводит к различию амплитуд входного и дополнительного сигналов [3].

В статье рассматриваются методы и средства измерения ИХГС, использующие формирование дополнительных сигналов и инвариантные к погрешностям фазосдвигающих блоков.

Все методы, инвариантные к погрешностям формирования дополнительных сигналов, можно условно разделить на методы с коррекцией и без последующей коррекции мгновенных значений сигналов.

Рассмотрим метод и СИ, использующие коррекцию мгновенных значений сигналов для исключения погрешности ФСБ.

Метод заключается в том, что в момент перехода дополнительного сигнала напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на произвольный угол  $\Delta\alpha$ , через ноль измеряют мгновенное значение входного напряжения; в момент перехода входного напряжения через ноль одновременно измеряют мгновенное значение дополнительного напряжения и мгновенное значение тока; через интервал времени  $\Delta t$  одновременно измеряют мгновенные значения входного и дополнительного сигналов напряжения и тока. ИХГС определяют по измеренным значениям [4].

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

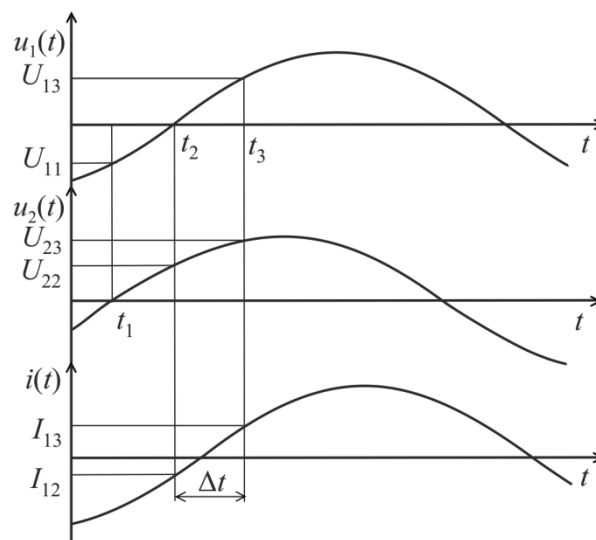


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие первый метод

Если входные напряжение и ток и дополнительный сигнал напряжения имеют гармонические модели  $u_1(t) = U_{m1} \sin \omega t$ ;  $i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$  и  $u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \Delta\alpha)$ , то в момент времени, когда дополнительный сигнал напряжения переходит через ноль, выражение для мгновенного значения напряжения примет вид

$$U_{11} = U_{m1} \sin(-\Delta\alpha),$$

где  $U_{m1}$ ,  $U_{m2}$ ,  $I_m$  – амплитудные значения входного и дополнительного сигналов напряжения и тока;

$\omega$  – угловая частота входного сигнала;

$\varphi$  – угол сдвига фаз между напряжением и током.

В момент времени, когда входное напряжение переходит через ноль, мгновенные значения сигналов будут равны

$$U_{22} = U_{m2} \sin \Delta\alpha; \quad I_{12} = I_m \sin \varphi.$$

Через образцовый интервал времени  $\Delta t$  мгновенные значения сигналов будут определяться выражениями

$$U_{13} = U_{m1} \sin \omega \Delta t; \quad U_{23} = U_{m2} \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t); \quad I_{13} = I_m \sin(\varphi + \omega \Delta t).$$

Погрешность по напряжению ФСБ может быть оценена коэффициентом

$$k_m = \frac{U_{m1}}{U_{m2}} = \left| \frac{U_{11}}{U_{22}} \right|.$$

С помощью данного коэффициента можно скорректировать мгновенные значения дополнительного напряжения:

$$U'_{22} = k_m U_{22} = U_{m1} \sin \Delta\alpha; \quad U'_{23} = k_m U_{23} = U_{m1} \sin(\Delta\alpha + \omega \Delta t).$$

Используя скорректированные мгновенные значения сигналов, после преобразований можно получить выражения для определения основных ИХГС в случае, если  $\Delta\alpha \leq 90^\circ$ :

– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2} |U_{13} U'_{22} U'_{23}|}{\sqrt{4U'_{22}{}^2 U'_{23}{}^2 - (U'_{22}{}^2 - U_{13}^2 + U'_{23}{}^2)^2}};$$

$$I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{U'_{22} U'_{23} [2U'_{22} U'_{23} (I_{12}^2 + I_{13}^2) - I_{12} I_{13} (U'_{22}{}^2 - U_{13}^2 + U'_{23}{}^2)]}{4U'_{22}{}^2 U'_{23}{}^2 - (U'_{22}{}^2 - U_{13}^2 + U'_{23}{}^2)^2}};$$

– активная (АМ) и реактивная (РМ) мощности

$$P = \frac{|U_{13} U'_{22} U'_{23}| [2I_{13} U'_{22} U'_{23} - I_{12} (U'_{22}{}^2 - U_{13}^2 + U'_{23}{}^2)]}{[4U'_{22}{}^2 U'_{23}{}^2 - (U'_{22}{}^2 - U_{13}^2 + U'_{23}{}^2)^2]};$$

$$Q = \frac{I_{12} |U_{13} U'_{22} U'_{23}|}{\sqrt{4U'_{22}{}^2 U'_{23}{}^2 - (U'_{22}{}^2 - U_{13}^2 + U'_{23}{}^2)^2}}.$$

СИ, реализующее метод, представлено на рис. 2.

В состав СИ входят: первичные преобразователи напряжения ППН и тока ППТ, аналого-цифровые преобразователи АЦП1–АЦП3, нуль-органы НО1 и НО2, фазосдвигающий блок ФСБ, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

При реализации метода время измерения зависит от соотношения между моментом начала измерения и переходом дополнительного сигнала напряжения через ноль, а также от угла сдвига  $\Delta\alpha$  и длительности интервала времени  $\Delta t$ . Длительность интервала времени  $\Delta t$  ограничена снизу в общем случае только временем аналого-цифрового преобразования мгновенных значений сигналов.

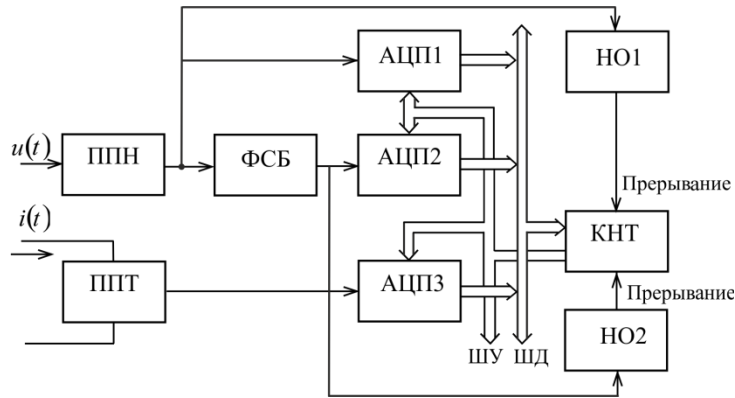


Рис. 2. Схема СИ, реализующего первый метод

Следующие методы не требуют специальной коррекции мгновенных значений сигналов, поскольку для определения ИХГС в них используют только мгновенные значения входных сигналов.

Упрощение реализации могут обеспечить методы измерения ИХГС, в которых в качестве дополнительных сигналов используются ортогональные составляющие сигналов [5].

В соответствии с разработанным авторами методом формируют дополнительный сигнал напряжения, сдвинутый относительно входного на  $90^\circ$ ; в момент перехода дополнительного сигнала через ноль измеряют мгновенные значения входных сигналов напряжения и тока; в момент перехода входного сигнала напряжения через ноль измеряют мгновенное значение тока. Информативные параметры определяют по измеренным мгновенным значениям [6].

Временные диаграммы, поясняющие метод, приведены на рис. 3.

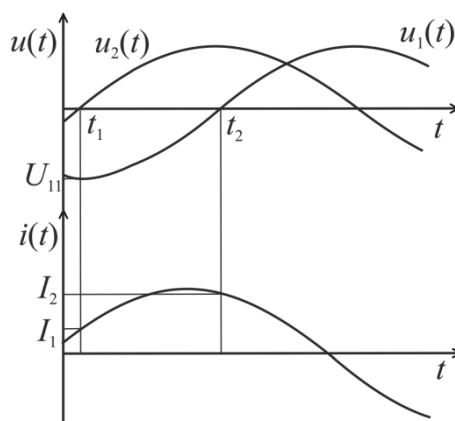


Рис. 3. Временные диаграммы, поясняющие второй метод

При этом дополнительный сигнал напряжения принимает вид

$$u_2(t) = U_{m2} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \cos \omega t.$$

В момент времени  $t_1$ , когда дополнительный сигнал напряжения переходит через ноль, мгновенные значения входного напряжения и тока равны

$$U_{11} = U_m \sin\left(\pi l - \frac{\pi}{2}\right); I_1 = I_m \sin\left(\varphi - \frac{\pi}{2} + \pi l\right),$$

где  $l = 0, 1$ .

Переменная  $l$  принимает соответствующее значение в зависимости от того, каким образом осуществлялся переход через ноль дополнительного сигнала напряжения.

Если происходил переход дополнительного сигнала  $u_2(t)$  из отрицательной полуволны в положительную, то  $l = 0$ ,  $U_{11} = -U_m$  и  $I_1 = -I_m \cos \varphi$ .

Если в момент времени  $t_1$  сигнал  $u_2(t)$  переходил через ноль из положительной полуволны в отрицательную, то  $l = 1$ ,  $U_{11} = U_m$  и  $I_1 = I_m \cos \varphi$ .

В момент времени  $t_2$ , когда входной сигнал напряжения переходит через ноль, мгновенное значение тока будет равно  $I_2 = I_m \sin(\varphi + \pi l)$ .

При  $l = 0$   $I_2 = I_m \sin \varphi$ , а при  $l = 1$   $I_2 = -I_m \sin \varphi$ .

С учетом мгновенных значений сигналов ИХГС будут равны:

– СКЗ напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \frac{|U_{11}|}{\sqrt{2}}; I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{I_1^2 + I_2^2}{2}};$$

– АМ и РМ

$$P = \frac{U_{11}I_1}{2}; Q = -\frac{U_{11}I_2}{2}.$$

Данные выражения показывают, что для определения ИХГС используются простые арифметические операции.

СИ, реализующее метод, представлено на рис. 4.

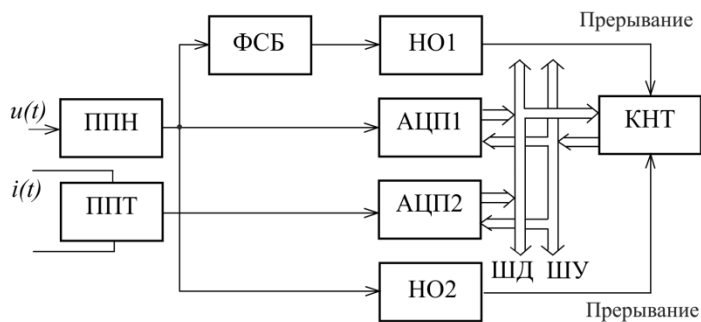


Рис. 4. Схема СИ, реализующего второй метод

При реализации метода время измерения также зависит от соотношения между моментом начала измерения и переходом дополнительного сигнала напряжения через ноль и может достигать  $3/4$  периода входного сигнала.

В отличие от СИ, реализующего первый метод, ФСБ осуществляет сдвиг дополнительного сигнала на  $90^\circ$ .

Однако использование ортогональных составляющих входных сигналов может привести к частотной погрешности фазосдвигающих блоков, осуществляющих формирование дополнительных сигналов. В результате этого при изменении частоты входного сигнала ФСБ производят сдвиг сигнала на угол, отличный от  $\pi/2$  [7].

Исключение влияния частотной погрешности ФСБ обеспечивает метод, который основан на формировании дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых относительно входных на произвольный в общем случае угол [8].

Метод заключается в том, что в момент перехода входного сигнала тока через ноль измеряют первое мгновенное значение входного напряжения; в момент перехода дополнительного сигнала напряжения, сдвинутого по фазе относительно входного на произвольный (в общем случае) угол  $\Delta\alpha$ , через ноль одновременно измеряют второе мгновенное значение входного напряжения и первое мгновенное значение тока; в момент перехода входного сигнала напряжения через ноль измеряют второе мгновенное значение тока. ИХГС определяют по измеренным мгновенным значениям сигналов [9].

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

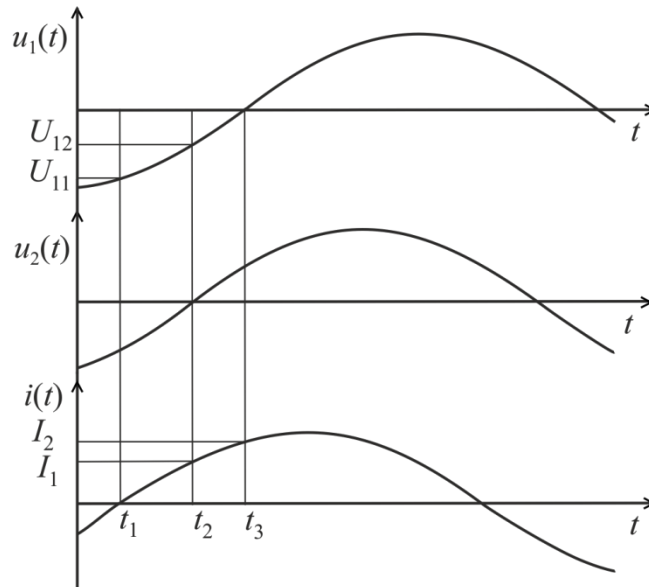


Рис. 5. Временные диаграммы, поясняющие третий метод

В момент времени  $t_1$  перехода сигнала тока через ноль мгновенное значение входного напряжения  $U_{11} = U_{m1} \sin(-\varphi)$ .

В момент времени  $t_2$  перехода дополнительного сигнала напряжения через ноль мгновенные значения входного напряжения и тока соответственно равны

$$U_{12} = U_{m1} \sin(-\Delta\alpha); I_2 = I_m \sin(\varphi - \Delta\alpha).$$

В момент времени  $t_3$  перехода входного сигнала напряжения через ноль мгновенное значение тока  $I_3 = I_m \sin \varphi$ .

Определим следующий коэффициент  $p = \left| \frac{U_{11}}{I_3} \right| = \frac{U_{m1}}{I_m}$ , отражающий соотношение между амплитудными значениями напряжения и тока.

С помощью данного коэффициента можно вычислить значение напряжения

$$U'_{14} = p|I_2| = U_{m1}|\sin(\varphi - \Delta\alpha)|.$$

Используя мгновенные значения сигналов и выбирая угол сдвига фаз дополнительного сигнала  $\Delta\alpha < 90^\circ$ , можно получить выражения для определения основных ИХГС:

– среднеквадратические значения напряжения и тока:

$$U_{CK3} = \frac{\sqrt{2}|U_{11}U_{12}U'_{14}|}{\sqrt{4U'_{14}{}^2U_{11}{}^2 - (U'_{14}{}^2 + U_{11}{}^2 - U_{12}{}^2)^2}}; \quad (1)$$

$$I_{CK3} = \frac{\sqrt{2}|I_3U_{12}U'_{14}|}{\sqrt{4U'_{14}{}^2U_{12}{}^2 - (U'_{14}{}^2 + U_{12}{}^2 - U_{11}{}^2)^2}}; \quad (2)$$

– активная и реактивная мощности:

$$P = \frac{|U_{11}U_{12}U'_{14}| \left[ I_3(U'_{14}{}^2 + U_{11}{}^2 - U_{12}{}^2) - 2I_2U'_{14}|U_{11}| \right]}{\sqrt{4U'_{14}{}^2U_{11}{}^2 - (U'_{14}{}^2 + U_{11}{}^2 - U_{12}{}^2)^2}}; \quad (3)$$

$$Q = \frac{I_3|U_{11}U_{12}U'_{14}|}{\sqrt{4U'_{14}{}^2U_{11}{}^2 - (U'_{14}{}^2 + U_{11}{}^2 - U_{12}{}^2)^2}}. \quad (4)$$

Определение ИХГС в соответствии с (1) – (4) справедливо только в том случае, если  $\varphi \neq \pi q$ , где  $q = 0; 1$ .

В случае, если  $\varphi = \pi q$ , измерение параметров производится следующим образом.

Временные диаграммы для угла сдвига фаз между напряжением и током  $\varphi = 0$  приведены на рис. 6.

Если в момент времени  $t_1$  входные сигналы напряжения и тока одновременно переходят через ноль, то производится измерение мгновенных значений сигналов через произвольный (в общем случае) интервал времени  $\Delta t$ .

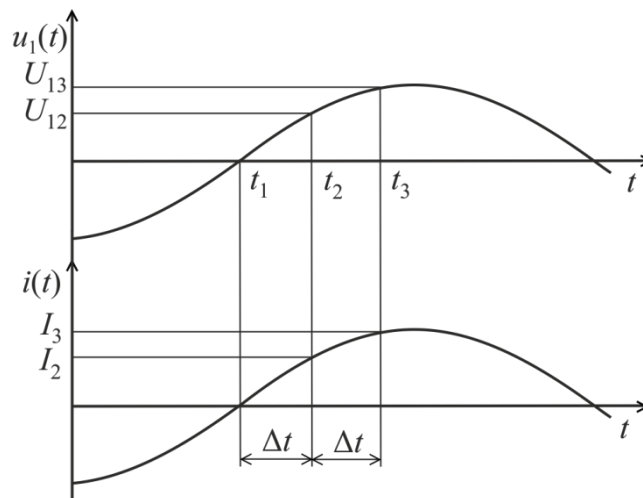


Рис. 6. Временные диаграммы, поясняющие третий метод, при  $\varphi = 0$

Через интервал времени  $\Delta t$  (в момент времени  $t_2$ ) мгновенные значения входного напряжения и тока будут равны

$$U'_{12} = U_{m1} \sin \omega t ; I'_2 = I_m \sin \omega t .$$

Через интервал времени  $2\Delta t$  (в момент времени  $t_3$ ) мгновенные значения сигналов примут вид

$$U'_{13} = U_{m1} \sin 2\omega t ; I'_3 = I_m \sin 2\omega t .$$

Используя мгновенные значения сигналов, можно определить СКЗ напряжения и тока:

$$U_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2}U'_{12}}{\sqrt{4U'_{12}{}^2 - U'_{13}{}^2}} ; I_{СКЗ} = \frac{\sqrt{2}|I'_2 U'_{12}|}{\sqrt{4U'_{12}{}^2 - U'_{13}{}^2}} .$$

Если знаки вторых мгновенных значений входных сигналов напряжения и тока совпадают ( $sign U_{12} = sign I_2$ ), то  $\varphi = 0$ . При этом активная мощность  $P = U_{СКЗ} I_{СКЗ}$ , а реактивная мощность  $Q = 0$ .

Если вторые мгновенные значения входных сигналов напряжения и тока имеют противоположные знаки ( $sign U_{12} \neq sign I_2$ ), то  $\varphi = \pi$ . При этом АМ  $P = -U_{СКЗ} I_{СКЗ}$ , а РМ  $Q = 0$ .

Схема СИ, реализующего метод, приведена на рис. 7.

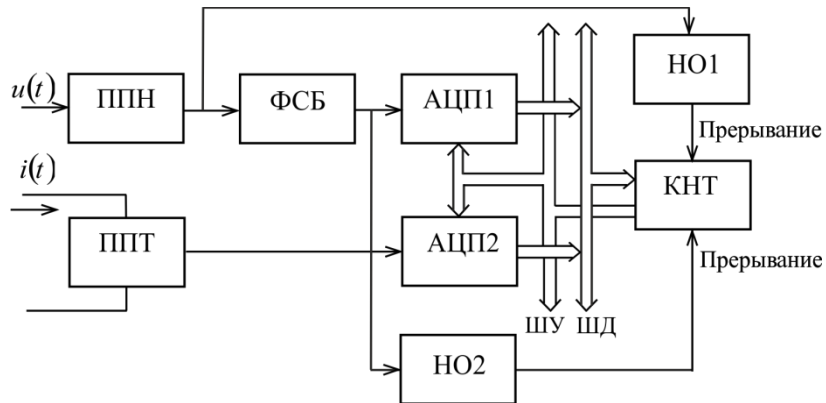


Рис. 7. СИ, реализующее третий метод

При реализации метода в случае, когда  $\varphi \neq \pi q$ , время измерения также зависит от соотношения между моментом начала измерения и переходом тока или дополнительного сигнала напряжения через ноль и угла сдвига фазы ФСБ, а также от угла сдвига фаз между напряжением и током  $\varphi$ .

Кроме того, к недостаткам метода можно отнести невозможность определе-



ния ИХГС в случае, если значение тока равно нулю.

Следующий метод основан на том, что формируют первый и второй дополнительные сигналы напряжения, сдвинутые относительно входного по фазе на углы  $\Delta\alpha$  и  $2\Delta\alpha$  соответственно в сторону опережения. В момент перехода второго дополнительного сигнала напряжения через ноль измеряют первые мгновенные значения входного напряжения и тока. В момент перехода первого дополнительного сигнала напряжения через ноль измеряют вторые мгновенные значения входного напряжения и тока. ИХГС определяют по измеренным мгновенным значениям сигналов напряжения и тока [10].

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 8.

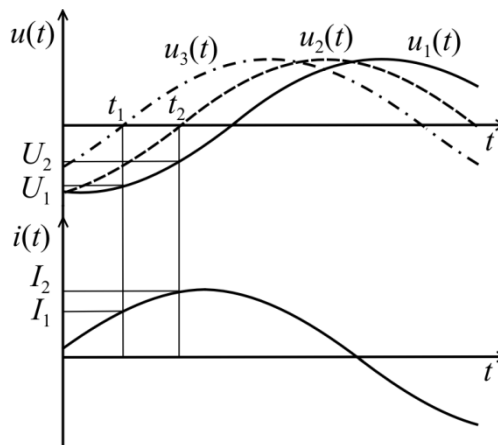


Рис. 8. Временные диаграммы, поясняющие четвертый метод

При этом дополнительные сигналы напряжения примут вид:  $u_2(t) = U_{m2} \sin(\omega t + \Delta\alpha)$ ,  $u_3(t) = U_{m3} \sin(\omega t + 2\Delta\alpha)$ , где  $U_{m2}$ ,  $U_{m3}$  – амплитудные значения дополнительных сигналов напряжения.

В момент времени  $t_1$ , когда второй дополнительный сигнал напряжения переходит через ноль из отрицательной полуволны в положительную, мгновенные значения напряжения и тока будут равны  $U_1 = U_{m1} \sin(-2\Delta\alpha)$  и  $I_1 = I_m \sin(\varphi - 2\Delta\alpha)$ .

В момент времени  $t_2$ , когда первый дополнительный сигнал напряжения переходит через ноль из отрицательной полуволны в положительную, мгновенные значения напряжения и тока принимают следующий вид:  $U_2 = U_{m1} \sin(-\Delta\alpha)$  и  $I_2 = I_m \sin(\varphi - \Delta\alpha)$ .

Используя мгновенные значения сигналов при угле сдвига ФСБ  $\Delta\alpha \leq \frac{\pi}{2}$ , получим выражения для определения основных ИХГС:

– СКЗ напряжения и тока

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

– АМ и РМ

$$P = \frac{U_2 \left[ (I_2 U_1 - I_1 U_2) U_1 - 2 U_2^2 I_2 \right]}{4 U_2^2 - U_1^2}, \quad Q = \frac{(I_2 U_1 - I_1 U_2) U_2}{\sqrt{4 U_2^2 - U_1^2}}.$$

В данном методе время измерения также зависит от соотношения между моментом начала измерения и переходом второго дополнительного сигнала напряжения через ноль и угла сдвига  $\Delta\alpha$ .

СИ, реализующее метод, представлено на рис. 9.

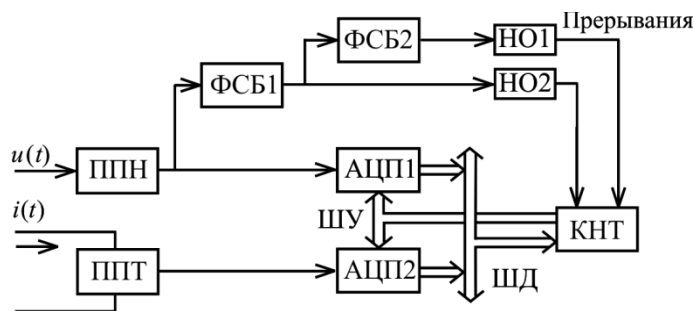


Рис. 9. Схема СИ, реализующего четвертый метод

При реализации метода может возникнуть дополнительная погрешность в случае, если углы сдвига фазы ФСБ1 и ФСБ2 будут отличаться друг от друга.

Рассмотренные в статье методы инвариантны к погрешности формирования дополнительного напряжения, и реализация каждого из них имеет свои достоинства и недостатки. Общим недостатком методов является достаточно большое время измерения, обусловленное необходимостью использования характерных точек сигналов (перехода сигнала через ноль).

Анализ показывает, что предпочтение следует отдать первому методу с коррекцией мгновенных значений сигналов, поскольку его реализация исключает как частотную погрешность, так и погрешность по модулю ФСБ.

#### 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., 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.
3. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Сеницын А.Е. Анализ влияния погрешностей формирования дополнительных сигналов на погрешность измерения интегральных характеристик гармонических сигналов // Информационные технологии в науке и производстве: Матер. Всерос. науч.-техн. конф. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – С. 86-90.
4. Мелентьев В.С., Муратова В.В., Иванов Ю.М. Метод повышения точности измерения характеристик периодических процессов // Известия Самар. науч. центра РАН. – 2013. – Т. 15. – № 4(2): Темат. выпуск. – С. 376-380.
5. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Сеницын А.Е. Синтез методов измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям ортогональных составляющих гармонических сигналов // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. – 2012. – № 3 (35). – С. 84-89.
6. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В. Использование характерных точек для повышения точности измерения параметров гармонических сигналов // Перспективное развитие науки, техники и технологий: Матер. III Междунар. науч.-практ. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – Т. 2. – С. 331-334.
7. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Сеницын А.Е. Анализ погрешности измерения интегральных характеристик гармонических сигналов из-за отклонения углов сдвига фаз в каналах напряжения и тока // Современные информационные технологии: Сб. статей междунар. науч.-техн.

- конф. – Пенза: ПГТА, 2013. – Вып. 17. – С. 79-82.
8. *Melentiev V.S., Batishchev V.I., Kamyshnikova A.N., Rudakov D.V.* An improvement in the methods used for the measurement of the integrated characteristics of harmonic signals // *Measurement Techniques*. – 2011. – V. 54, No. 4. – pp. 407-411.
  9. *Мелентьев В.С., Муратова В.В.* Повышение точности измерения параметров гармонических сигналов на основе формирования дополнительного напряжения // *Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки*. – 2013. – № 3(39). – С. 79-85.
  10. *Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Муратова В.В.* Метод измерения параметров гармонических сигналов на основе использования характерных точек дополнительных сигналов напряжения // *Измерения. Мониторинг. Управление. Контроль*. – 2013. – 4(6). – С. 16-22.

*Статья поступила в редакцию 5 марта 2014 г.*

## **THE METHODS AND TOOLS FOR MEASURING THE INTEGRAL CHARACTERISTICS THAT ARE INVARIANT TO ERRORS IN THE FORMATION OF ADDITIONAL HARMONIC SIGNALS**

***V.S. Melent'ev, JU.M. Ivanov, V.V. Muratova***

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

*The analysis of methods and means of measurement, based on the definition of the integral characteristics of instant values of input and additional harmonic signals is considered. The ways of exclusion errors of phase-shifting blocks used to generate additional signals with correction and without subsequent correction of the instant values of signals are provided. Discusses methods for measuring the integral characteristics of harmonic signals that are invariant to errors in the formation of additional signals. Analyzes methods in which additional signals are applied as orthogonal components of the input signal, as well as methods using the generation of additional signals which are shifted relative to the input at an arbitrary angle. The block diagrams of measurement tools that implement the methods are provided.*

***Keywords:*** *integral characteristics of signals, harmonic signals, instant values, additional signals, phase-shifting units, an error.*

---

*Vladimir S. Melent'ev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.  
Yurie M. Ivanov (Ph. D. (Techn.)), Senior Researcher.  
Vera V. Muratova, Postgraduate Student.*