

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО МГНОВЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

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

В статье рассматривается новый метод измерения интегральных характеристик, основанный на формировании ортогональной составляющей сигнала напряжения и использовании мгновенных значений как входного, так и дополнительного сигналов. Предлагается средство измерения, реализующее метод. Приводятся результаты анализа результирующей погрешности определения характеристик из-за отклонения реального сигнала от гармонической модели.

Ключевые слова: интегральные характеристики, гармонический сигнал, мгновенные значения, ортогональные составляющие, погрешность

Состояние проблемы

Широко распространенные периодические сигналы различной физической природы в большинстве случаев преобразуются в электрические, наиболее удобные для передачи, усиления и сравнения. В свою очередь, среди электрических сигналов одними из наиболее распространенных и удобных для измерения являются электрические напряжения и токи.

Гармонический сигнал широко используется в измерительной технике для анализа и синтеза измерительных сигналов. Это объясняется тем, что гармонические сигналы инвариантны относительно преобразований, осуществляемых стационарными линейными системами. Если на вход такой системы подан гармонический сигнал, то сигнал на выходе системы остается гармоническим с той же частотой, отличаясь от входного лишь амплитудой и начальной фазой.

В настоящее время развивается направление, связанное с определением интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС) по отдельным мгновенным значениям, не связанным с их периодом, что позволяет сократить время измерения [1].

Дальнейшее сокращение времени измерения параметров обеспечивают методы, основанные на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых относительно входных по фазе, и использовании мгновенных значений как основных, так и дополнительных сигналов [2].

В [3] авторами предложен метод, в соответствии с которым формируют дополнительный сигнал напряжения, сдвинутый относительно входного на 90° ; в момент перехода дополнительного сигнала через ноль измеряют мгновенные значения входного напря-

жения и тока; в момент перехода входного сигнала напряжения через ноль измеряют мгновенное значение тока. Информативные параметры определяют по измеренным мгновенным значениям.

Недостатком данного метода является достаточно большое время измерения, обусловленное тем, что момент начала измерения не совпадает с моментами переходов входного или дополнительного сигналов напряжения через ноль. В общем случае время измерения может составлять половину периода сигнала.

Предлагаемое решение

Этот недостаток устраняется в разработанном авторами методе измерения ИХГС, в котором используется также формирование дополнительного сигнала напряжения, сдвинутого относительно входного на угол 90° , однако момент начала измерения может быть выбран произвольным образом.

Метод заключается в том, что в произвольный момент времени производится измерение мгновенных значений входного и дополнительного сигналов напряжения и тока; через произвольный, в общем случае, интервал времени Δt измеряются мгновенные значения входного и дополнительного сигналов напряжения и тока. ИХГС определяют по измеренным значениям.

Временные диаграммы, поясняющие метод, приведены на рисунке 1.

Ортогональные составляющие напряжения и входной ток имеют вид:

$$u_1(t) = U_m \sin \omega t; \quad u_2(t) = U_m \cos \omega t; \\ i(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi),$$

где U_m , I_m - амплитудные значения напряжения и тока; ω - угловая частота входного

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО МГНОВЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ

сигнала; φ - угол сдвига фаз между входными напряжением и током.

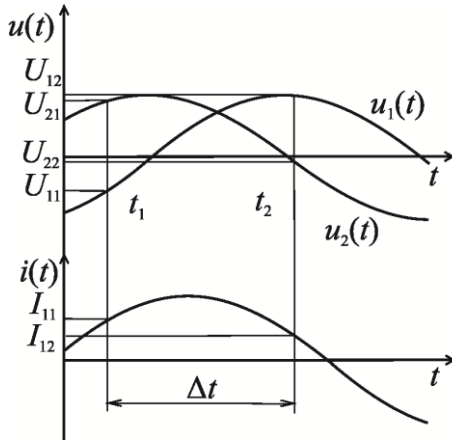


Рисунок 1 – Временные диаграммы, поясняющие метод

В произвольный момент времени t_1 мгновенные значения сигналов будут равны:

$$U_{11} = U_m \sin \alpha_1; U_{21} = U_m \cos \alpha_1;$$

$$I_{11} = I_m \sin(\alpha_1 + \varphi),$$

где α_1 - начальная фаза сигнала $u_1(t)$ в момент времени t_1 .

Через интервал времени Δt (в момент времени t_2) мгновенные значения сигналов примут следующий вид:

$$U_{12} = U_m \sin(\alpha_1 + \omega \Delta t);$$

$$U_{22} = U_m \cos(\alpha_1 + \omega \Delta t);$$

$$I_{12} = I_m \sin(\alpha_1 + \varphi + \omega \Delta t).$$

Используя мгновенные значения сигналов, после преобразований получим выражения для определения основных ИХГС:

- среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{СКЗ} = \sqrt{\frac{U_{11}^2 + U_{21}^2}{2}}; \quad (1)$$

$$I_{СКЗ} = \frac{(U_{11}^2 + U_{21}^2)^{1/2}}{\sqrt{2}(U_{12}U_{21} - U_{11}U_{22})} \times$$

$$\times [(I_{12}U_{21} - I_{11}U_{22})^2 + (I_{11}U_{12} - I_{12}U_{11})^2]^{1/2}; \quad (2)$$

- активная (АМ) и реактивная (РМ) мощности

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

$$Q = \frac{(U_{11}^2 + U_{21}^2)(I_{11}U_{12} - I_{12}U_{11})}{2(U_{12}U_{21} - U_{11}U_{22})}. \quad (4)$$

Схема средства измерения (СИ), реализующего метод, приведена на рисунке 2.

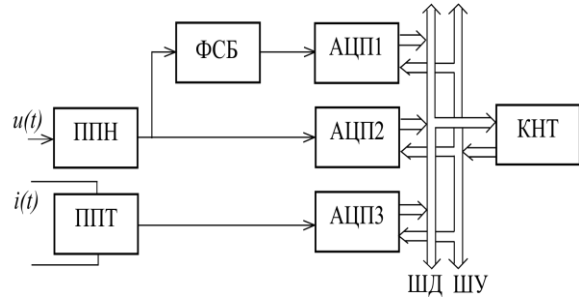


Рисунок 2 – Средство измерения, реализующее метод

В состав СИ входят: первичные преобразователи напряжения ППН и тока ППТ, аналого-цифровые преобразователи АЦП1 – АЦП3, фазосдвигающий блок ФСБ, осуществляющий сдвиг входного сигнала напряжения на угол 90° , контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

Анализ погрешности метода из-за отклонения реального сигнала от гармонической модели

Проведем оценку методической погрешности, обусловленной отклонением реального сигнала от гармонической модели. Для этого воспользуемся методикой оценки погрешности результата измерения интегральной характеристики как функции, аргументы которой заданы приближенно с погрешностью, соответствующей отклонению модели от реального сигнала. Известно, что погрешность вычисления значения какой-либо функции, аргументы которой заданы приближенно, может быть оценена с помощью дифференциала этой функции. Погрешности функции соответствует возможное ее приращение, которое она получит, если аргументам дать приращения, равные их погрешностям [4].

Если абсолютные погрешности аргументов соответствуют наибольшему отклонению моделей от реальных сигналов, то предельные значения абсолютных погрешностей определения характеристик сигналов в соответствии с (1) – (4) примут вид:

$$\Delta U_{СКЗ} = \left[\left| \frac{\partial U_{СКЗ}}{\partial U_{11}} \right| + \left| \frac{\partial U_{СКЗ}}{\partial U_{21}} \right| \right] \Delta U_{\max}; \quad (5)$$

$$\Delta I_{СКЗ} = \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial I_{11}} \right| + \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial I_{12}} \right| \Delta I_{\max} +$$

$$+ \left[\left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial U_{11}} \right| + \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial U_{21}} \right| + \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial U_{12}} \right| + \left| \frac{\partial I_{СКЗ}}{\partial U_{22}} \right| \right] \Delta U_{\max};$$

РАЗДЕЛ 1. МОДЕЛИРОВАНИЕ, РАСЧЕТ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ

$$\Delta P = \left[\left| \frac{\partial P}{\partial I_{11}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial I_{12}} \right| \right] \Delta I_{\max} + \left[\left| \frac{\partial P}{\partial U_{11}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial U_{21}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial U_{12}} \right| + \left| \frac{\partial P}{\partial U_{22}} \right| \right] \Delta U_{\max}; \quad (6)$$

$$\Delta Q = \left[\left| \frac{\partial Q}{\partial I_{11}} \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial I_{12}} \right| \right] \Delta I_{\max} + \left[\left| \frac{\partial Q}{\partial U_{11}} \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial U_{21}} \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial U_{12}} \right| + \left| \frac{\partial Q}{\partial U_{22}} \right| \right] \Delta U_{\max},$$

где $\Delta U_{\max}$, $\Delta I_{\max}$ - предельные абсолютные погрешности аргументов, соответствующие наибольшим отклонениям моделей от реальных сигналов.

В общем случае для сложных периодических сигналов $\Delta U_{\max} = U_{1m} \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}$ и

$$\Delta I_{\max} = I_{1m} \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}, \text{ где } h_{uk} = \frac{U_{km}}{U_{1m}} \text{ и } h_{ik} = \frac{I_{km}}{I_{1m}} -$$

коэффициенты k -тых гармоник напряжения и тока; U_{1m} и I_{1m} - амплитуды первых гармоник сигналов; U_{km} и I_{km} - амплитуды k -тых гармоник напряжения и тока.

Используя (1) и (3) с учетом предельных значений абсолютных погрешностей (5) и (6), можно определить относительную погрешность определения СКЗ напряжения и приведенную погрешность определения АМ:

$$\delta_{U_{СКЗ}} = \frac{\sqrt{2} \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} (|\cos \alpha_1| + |\sin \alpha_1|)}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2}};$$

$$\gamma_p = \frac{1}{\sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik}^2} |\sin \omega \Delta t|} \left\{ \sum_{k=2}^{\infty} h_{ik} \times \right.$$

$$\times [|\cos \alpha_1| + |\cos(\alpha_1 + \omega \Delta t)|] + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} [|\cos \alpha_1| \times$$

$$\times (|\cos \varphi| + |\sin \varphi|) + |\cos \varphi \cos(\alpha_1 - \omega \Delta t)| +$$

$$\left. + |\sin \omega \Delta t \cos(\alpha_1 + \varphi) + \cos \alpha_1 \sin(\varphi + \omega \Delta t)| \right\}.$$

Анализ полученных выражений показывает, что погрешности измерения зависят от гармонического состава сигналов.

Относительная погрешность измерения СКЗ напряжения зависит от начальной фазы сигнала α_1 (момента начала измерения).

Приведенная погрешность измерения АМ зависят не только от α_1 , но и от угла сдвига фаз между напряжением и током φ и интервала времени Δt .

Выводы

В разработанном методе время измерения не зависит от момента начала измерения, а определяется, в основном, длительностью интервала времени Δt .

Результаты анализа погрешности, обусловленной отклонением реального сигнала от гармонической модели, показывают зависимость погрешностей измерения СКЗ тока, АМ и РМ от длительности интервала времени Δt , что позволяет оптимально выбирать параметры измерительного процесса в зависимости от требований по точности и быстродействию.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 13-08-00173).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мелентьев, В.С. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов [Текст] / В.С. Мелентьев, В.И. Батищев. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 240с.
2. Мелентьев, В.С. Методы измерения интегральных характеристик на основе формирования дополнительных сигналов [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, А.Е. Синицын // Вестник Самар. гос. техн. ун-та. Сер. Технические науки. - 2013. - № 2 (38). - С. 56-63.
3. Мелентьев, В.С. Использование характерных точек для повышения точности измерения параметров гармонических сигналов [Текст] / В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, В.В. Муратова // Перспективное развитие науки, техники и технологий: Матер. III-ей Междунар. науч.-практ. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – Т. 2. - С. 331-334.
4. Батищев, В.И. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики [Текст] / В.И. Батищев, В.С. Мелентьев. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.

Зав. кафедрой, д.т.н., профессор **Мелентьев В.С.** – vs_mel@mail.ru; с.н.с., к.т.н. **Иванов Ю.М.** – fuego27@rambler.ru; аспирант **Муратова В.В.** – muratova1991@yandex.ru - Самарский государственный технический университет, кафедра информационно-измерительной техники, ims@samgtu.ru, (486)337-05-45.