

Лычев Александр Олегович

ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет»

Аспирант

Lychev Alexander Olegovich

Postgraduate Student

FGBOU VPO «Samara State Technical University»

E-Mail: alexlychev@ya.ru

05.11.16 «Информационно-измерительные и управляющие системы»

Сокращение времени измерения среднеквадратического значения периодического сигнала

Reduction of time of measurement of mean square value of the periodic signal

Аннотация: Рассматривается новый метод определения среднеквадратического значения периодического сигнала. Приводится анализ погрешностей и структурная схема информационно-измерительной системы, реализующей метод

Abstract: The new method of determination of mean square value of a harmonious signal is considered. The analysis of errors and the scheme of the information and measuring system realizing a method is provided

Ключевые слова: Гармоника; периодический сигнал; квантование; среднеквадратическое значение; погрешность.

Keywords: Harmonica; harmonious signal; quantization; mean square value; error.

Измерение периодических сигналов является одним из наиболее распространенных видов измерений в радиоэлектронике, технике связи, в системах автоматики и устройствах обработки информации.

Среди средств измерения переменных сигналов особое внимание уделяется средствам измерений *среднеквадратического значения (СКЗ)* сигнала.

При определении количества и качества электроэнергии в энергосистемах, измерениях мощности, проверке систем связи, контроле уровня шума в звуковом диапазоне частот и измерениях в цифровых системах полезную информацию о сигнале может дать только его СКЗ [6].

Исследованию аналоговых методов и средств измерения СКЗ сигнала посвящено большое число работ [1 – 2, 3, 6 – 7], принципиальным недостатком которых является низкое быстродействие.

Одни из основных вопросов, которые приходится решать при обосновании быстродействия средств измерений, реализующих цифровые методы, связан с определением оптимальных моментов времени, в которые нужно выполнять измерение мгновенных значений сигналов исходя из требований по точности определения СКЗ сигнала и в зависимости от его спектрального состава [4].

Известен метод определения СКЗ сигнала по мгновенным значениям, равномерно распределенным по периоду [4], принципиальным недостатком которого является довольно длительное время измерения, соизмеримое с периодом сигнала.

Значительно повысить быстродействие позволяет разработанный автором метод.

Рассмотрим реализацию метода на примере сложного сигнала, содержащего 1 и 3

гармоники.

В основу метода заложена математическая модель периодического сигнала $s(t)$, содержащая первую $s_1(t)$ и третью $s_3(t)$ гармоники

$$s(t) = s_1(t) + s_3(t) = S_{m1} \sin(\omega t + \psi_1) + S_{m3} \sin(3\omega t + \psi_3),$$

где S_{m1} , S_{m3} – амплитуды первой и третьей гармоник, ω – угловая частота сигнала, ψ_1 , ψ_3 – начальные фазы первой и третьей гармоник.

Метод основан на том, что, зная период входного сигнала, производят четыре измерения сигнала $s(t)$ в моменты времени $t_i = \frac{T \cdot i}{12}$, $i = \overline{0,3}$, где T – период.

Например, для промышленных сигналов с частотой $f = 50$ Гц, измерения проводят при $t = 0; 1,67; 3,34$ и 5 мс.

Мгновенные значения сигнала в соответствующие моменты времени примут вид

$$\begin{cases} S_0 = S_{m1} \sin(\omega t_0 + \psi_1) + S_{m3} \sin(3\omega t_0 + \psi_3) = S_{m1} \sin(0 + \psi_1) + S_{m3} \sin(3 \cdot 0 + \psi_3); \\ S_1 = S_{m1} \sin(\omega t_1 + \psi_1) + S_{m3} \sin(3\omega t_1 + \psi_3) = S_{m1} \sin\left(\frac{\pi}{6} + \psi_1\right) + S_{m3} \sin\left(3 \frac{\pi}{6} + \psi_3\right); \\ S_2 = S_{m1} \sin(\omega t_2 + \psi_1) + S_{m3} \sin(3\omega t_2 + \psi_3) = S_{m1} \sin\left(\frac{\pi}{3} + \psi_1\right) + S_{m3} \sin\left(3 \frac{\pi}{3} + \psi_3\right); \\ S_3 = S_{m1} \sin(\omega t_3 + \psi_1) + S_{m3} \sin(3\omega t_3 + \psi_3) = S_{m1} \sin\left(\frac{\pi}{2} + \psi_1\right) + S_{m3} \sin\left(3 \frac{\pi}{2} + \psi_3\right). \end{cases}$$

Упростив предыдущие выражения, получим

$$\begin{cases} S_0 = S_{m1} \sin \psi_1 + S_{m3} \sin \psi_3; \\ S_1 = 0,5 S_{m1} (\cos \psi_1 + \sqrt{3} \sin \psi_1) + S_{m3} \cos \psi_3; \\ S_2 = 0,5 S_{m1} (\sqrt{3} \cos \psi_1 + \sin \psi_1) - S_{m3} \sin \psi_3; \\ S_3 = S_{m1} \cos \psi_1 - S_{m3} \cos \psi_3. \end{cases} \quad (1)$$

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

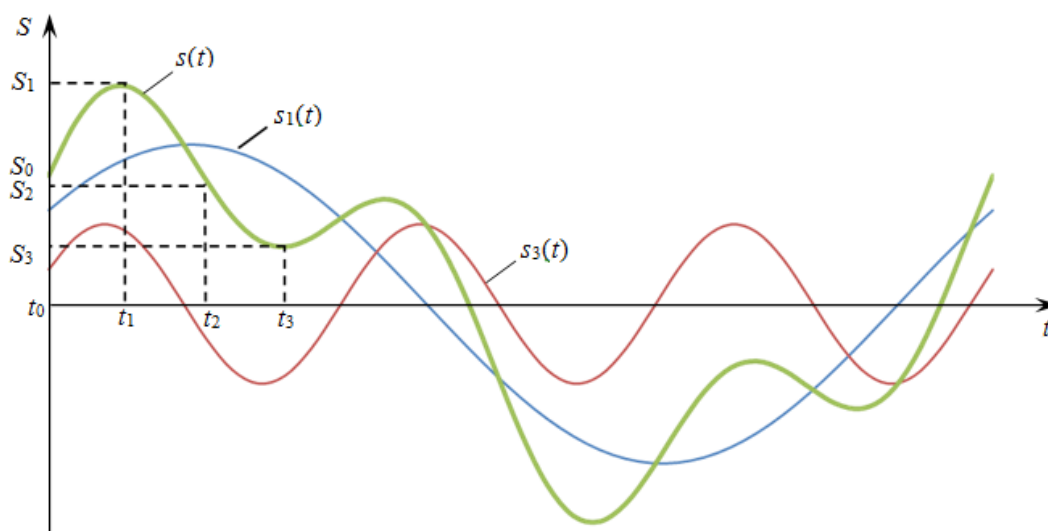


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Выражение для определения СКЗ сложного гармонического сигнала имеет вид

$$S_{СКЗ} = \frac{1}{\sqrt{6}} \times \sqrt{5(S_0^2 + S_3^2) + 8(S_1^2 + S_2^2) + 10(S_0S_2 + S_1S_3) - 2\sqrt{3}[3(S_0S_1 + S_2S_3) + 2(S_0S_3 + S_1S_2)]}. \quad (2)$$

Без учета времени выполнения вычислительных операций время измерения равно четверти периода входного сигнала $\Delta t_{изм} = \frac{T}{4}$.

Вследствие того, что все реальные сигналы содержат высшие гармонические составляющие и имеют форму, отличную от гармонической, возникает методическая погрешность, обусловленная несоответствием предложенной модели виду реального сигнала, что ведет к значительной потере точности измерения.

Оценим данный вид погрешности, используя известный подход [4], заключающийся в оценке погрешности вычисления значения функции, аргументы которой заданы приближенно, с помощью дифференциала этой функции. При этом будем считать, что предельные абсолютные погрешности аргументов соответствуют наибольшему отклонению реального сигнала от гармонической модели.

Предельная абсолютная погрешность вычисления СКЗ сигнала согласно (2) преобразуется к виду

$$\Delta S_{СКЗ} = \sum_{i=0}^3 \left| \frac{\partial S_{СКЗ}}{\partial S_i} \right| \Delta S_i.$$

Абсолютные погрешности аргументов с учетом (1) примут следующий вид

$$\frac{\partial S_{СКЗ}}{\partial S_0} = \frac{3S_{m1} \sin \psi_1 - \sqrt{3}S_{m1} \cos \psi_1 - \sqrt{3}S_{m3} \cos \psi_3}{3\sqrt{2(S_{m1}^2 + S_{m3}^2)}}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial S_{СКЗ}}{\partial S_1} = \frac{3S_{m1} \cos \psi_1 + 3S_{m3} \cos \psi_3 - \sqrt{3}S_{m1} \sin \psi_1 + \sqrt{3}S_{m3} \sin \psi_3}{3\sqrt{2(S_{m1}^2 + S_{m3}^2)}}; \quad (4)$$

$$\frac{\partial S_{СКЗ}}{\partial S_2} = \frac{3S_{m1} \sin \psi_1 - 3S_{m3} \sin \psi_3 - \sqrt{3}S_{m1} \cos \psi_1 - \sqrt{3}S_{m3} \cos \psi_3}{3\sqrt{2(S_{m1}^2 + S_{m3}^2)}}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial S_{СКЗ}}{\partial S_3} = \frac{12S_{m1} \cos \psi_1 + 2\sqrt{3}S_{m1} \sin \psi_1 - 5\sqrt{3}S_{m3} \sin \psi_3}{3\sqrt{2(S_{m1}^2 + S_{m3}^2)}}. \quad (6)$$

С учетом (2) и (3) – (6), относительная погрешность определения СКЗ сигнала из-за несоответствия модели реальному гармоническому сигналу равна

$$\delta_{SM} = \frac{h_2 + \sum_{k=4}^{\infty} h_k}{3 \cdot \sqrt{h_3^2 + 1} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_k^2}} \left[\left| 3 \sin \psi_1 - \sqrt{3} \cos \psi_1 - \sqrt{3} h_3 \cos \psi_3 \right| + \right. \\ \left. + \left| 3 \cos \psi_1 - \sqrt{3} \sin \psi_1 + h_3 (3 \cos \psi_3 + \sqrt{3} \sin \psi_3) \right| + \right. \\ \left. + \left| 12 \cos \psi_1 + 2\sqrt{3} \sin \psi_1 - 5\sqrt{3} h_3 \sin \psi_3 \right| \right] \quad (7)$$

h_2, h_3, h_k – коэффициенты второй, третьей и k -той гармоник соответственно.

Графики зависимости погрешности от начальных фаз гармоник при наличии в сигналах 1, 2 и 3-ей и 1, 2, 3 и 5-ой гармоник представлены на рис. 2 а) и б) соответственно.

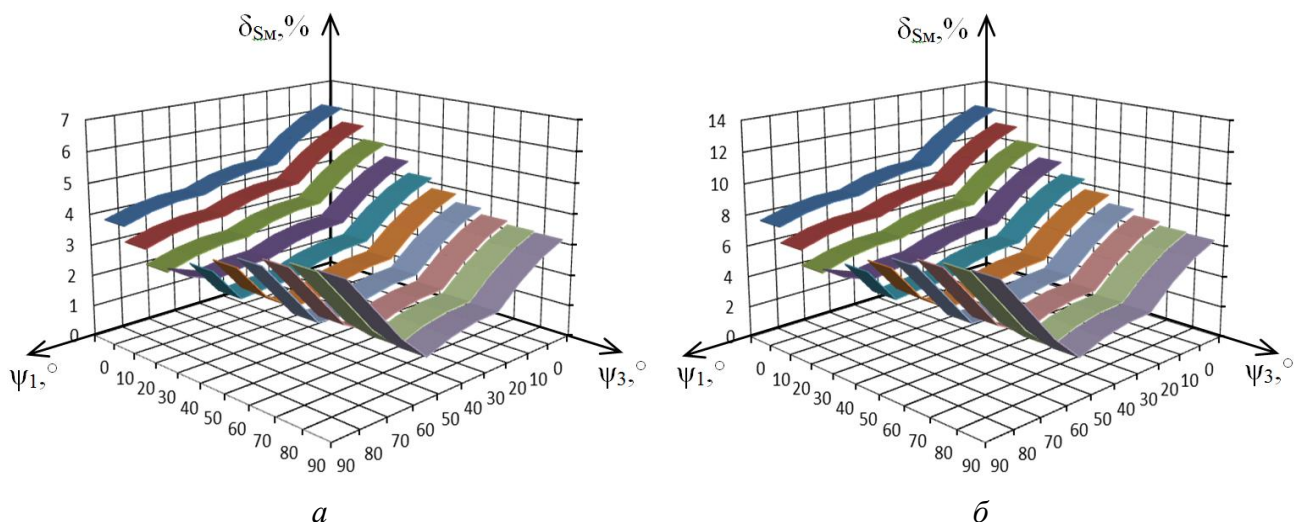


Рис. 2. Графики зависимостей методической погрешности δ_{SM} от начальных фаз первой ψ_1 и третьей ψ_3 гармоник: а – $h_2=1\%$; б – $h_2=h_5=1\%$

Схема информационно-измерительной системы (ИИС), реализующей метод, представлена на рис. 3.

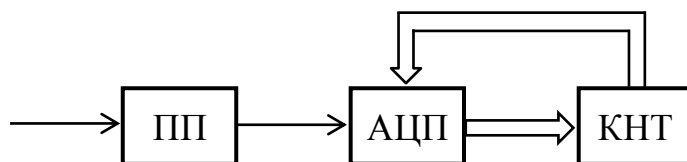


Рис. 3. Структурная схема ИИС

В состав ИИС входят: первичный преобразователь ПП, аналого-цифровой преобразователь АЦП, контроллер КНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

Вследствие использования в составе ИИС АЦП, неизбежно возникает погрешность квантования, обусловленная округлением непрерывно изменяющегося сигнала $s(t)$ до известного значения дискретной величины. Для анализа влияния погрешности квантования мгновенных значений сигналов на результирующую погрешность определения СКЗ сигнала используем ранее предложенный подход. При этом будем считать, что предельные абсолютные погрешности аргументов соответствуют погрешностям квантования максимальных значений сигналов.

Если пренебречь погрешностью от нелинейности, то можно считать, что основной погрешностью АЦП является абсолютная погрешность $\Delta S = S_{np} / 2^n$, где $S_{np} = S_{m1} + S_{m3}$ – максимально допустимое напряжение на входе АЦП; n – число двоичных разрядов.

С учетом (2) и (3) – (6), относительная погрешность определения СКЗ сигнала равна

$$\begin{aligned} \delta_{СК} = & \frac{h_3 + 1}{3 \cdot 2^n (h_3^2 + 1)} \left[\left| 3 \sin \psi_1 - \sqrt{3} \cos \psi_1 - \sqrt{3} h_3 \cos \psi_3 \right| + \right. \\ & + \left| 3 \cos \psi_1 - \sqrt{3} \sin \psi_1 + h_3 (3 \cos \psi_3 + \sqrt{3} \sin \psi_3) \right| + \\ & + \left| 3 \sin \psi_1 - \sqrt{3} \cos \psi_1 - h_3 (3 \sin \psi_3 + \sqrt{3} \cos \psi_3) \right| + \\ & \left. + \left| 12 \cos \psi_1 + 2\sqrt{3} \sin \psi_1 - 5\sqrt{3} h_3 \sin \psi_3 \right| \right]. \end{aligned} \quad (8)$$

График зависимости погрешности квантования от начальных фаз гармоник представлен на рис. 4.

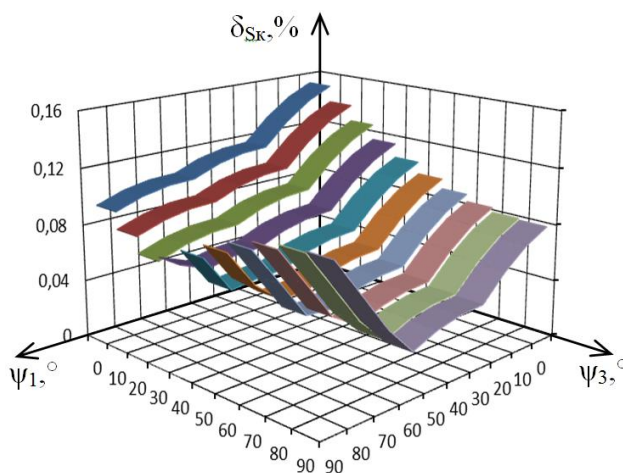


Рис. 4. График зависимости погрешности квантования $\delta_{СК}$ от начальных фаз первой ψ_1 и третьей ψ_3 гармоник для $h_3=1\%$ и $n=12$

Анализ рис. 2 и 4 показывает значительное уменьшение погрешностей с ростом угла сдвига третьей гармоники относительно первой.

Зная спектр реального сигнала, с помощью выражений (7) и (8) можно оценить предельные значения относительных погрешностей измерения СКЗ.

Полученные результаты позволяют принимать решение о возможности использования разработанного метода для определения СКЗ искаженных сигналов в зависимости от их спектров и предъявляемых требований по точности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Волгин Л.И. Аналоговые измерительные преобразователи для измерительных приборов и систем – Л.: Сов. радио, 1983. – 208 с.
2. Живилов Г.Г., Прянишников В.А., Сметанин Н.Н. Принципы построения аппаратуры для измерения параметров сигналов в инфранизком диапазоне частот // Вопросы проектирования средств электроизмерительной техники: Тр. ВНИИЭП. Л., 1980. С. 5 – 9.
3. Лаппе Р., Фишер Ф. Измерения в энергетической электронике – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 232 с.
4. Мелентьев В.С., Батищев В.И. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний и диагностики – М.: Машиностроение, 2007. – 393 с.
5. Мелентьев В.С., Батищев В.И. Аппроксимационные методы и системы измерения и контроля параметров периодических сигналов – М.: Физматлит, 2011. – 240 с.
6. Попов В.С., Желбаков И.Н. Измерение среднеквадратического значения напряжения – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 120 с.
7. Цивинский В.Г., Быков В.Е. Измерения напряжений инфразвуковых частот – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 192 с.

Рецензент: Ланге Петр Константинович, доктор технических наук, профессор кафедры «Информационно-измерительная техника» ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет».