Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Ю. М. Иванов, Измерительно-моделирующий подход к определению погрешности метода измерения среднеквадратического значения сигнала, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2005, выпуск 34, 205–207

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu360>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением
<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 54.157.27.8

26 апреля 2023 г., 09:34:35

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-МОДЕЛИРУЮЩИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПОГРЕШНОСТИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКОГО ЗНАЧЕНИЯ СИГНАЛА

Рассматриваются вопросы применения измерительно-моделирующего подхода к определению погрешности метода измерения среднеквадратических значений периодических сигналов при искажении формы сигнала. Предлагаются пути уменьшения погрешности.

В электроэнергетике, технике связи, системах автоматического управления и многих других областях важное значение имеют задачи измерения среднеквадратических значений (СКЗ) сигналов. При разработке средств измерения СКЗ сигнала важнейшей задачей является обеспечение высокого быстродействия и требуемой точности измерения. При выявлении аномальных режимов работы, при автоматическом управлении объектом в реальном времени требуются быстродействующие методы и средства измерения СКЗ сигнала с временем измерения значительно меньше периода.

Методологической основой таких методов является измерительно-моделирующий подход, предполагающий построение измерительной процедуры, направленной на определение значений параметров предварительно принятой аналитической математической модели исследуемого сигнала, и анализ погрешности методов из-за отличия исследуемых сигналов от принятых моделей. Эффективность такого подхода в первую очередь зависит от наличия априорной информации об исследуемом сигнале, позволяющей выбрать соответствующую модель.

Характерные для электроэнергетики сигналы описываются синусоидальной моделью, поэтому наиболее эффективным является метод определения СКЗ сигнала по трем мгновенным значениям сигнала, измеренным в равноотстоящие друг от друга моменты времени, первое из которых взято в произвольный момент времени [1].

Если сигнал, например, напряжения в исследуемой цепи содержит только первую гармонику, то его мгновенные значения соответственно имеют вид

$$U_1 = U_m \sin \alpha_1; U_2 = U_m \sin(\alpha_1 + \omega \Delta t); U_3 = U_m \sin(\alpha_1 + 2\omega \Delta t),$$

где Δt – интервал времени между двумя соседними выборками; α_1 – начальная фаза сигнала.

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

СКЗ напряжения определяется согласно следующему выражению:

$$U_{СКЗ} = \frac{U_1}{\sqrt{2 \left[1 - \left(\frac{2U_2^2 - U_3U_1 - U_1^2}{2U_2 \sqrt{U_2^2 - U_3U_1}} \right)^2 \right]}}.$$

Реализация метода обеспечивает высокое быстродействие, поскольку время измерения не зависит от момента начала измерения и периода сигнала, а определяется в основном длительностью временного интервала Δt .

Данный метод предназначен для измерения СКЗ сигнала в цепях с синусоидальными напряжениями и токами. Исследуем погрешность метода из-за искажения формы сигналов.

Предположим, что сигнал в исследуемой цепи определяется выражением

$$u(t) = \sum_{k=1}^{\infty} U_{mk} \sin(k\omega t + \psi_{uk}),$$

Р и с. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

где U_{mk} – амплитудное значение гармоники сигнала k -того порядка; ψ_{uk} – начальная фаза гармоники сигнала k -того порядка.

В качестве расчетного среднеквадратического значения сигнала принимают величину

$$U_{CK3p} = \left\{ \frac{1}{T} \int_0^T \left[\sum_{k=1}^{\infty} U_{mk}^2 \sin^2(k\omega t + \psi_{uk}) \right] dt \right\}^{1/2}.$$

Используя ортогональность тригонометрических функций, после преобразований получим

$$U_{CK3p} = \frac{U_{m1}}{\sqrt{2}} \sqrt{1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk}^2}.$$

где h_{uk} – коэффициент гармоники сигнала k -того порядка; $h_{uk} = \frac{U_{mk}}{U_{m1}}$.

Относительная погрешность измерения СКЗ сигнала определяется выражением

$$\delta = \frac{U_{CK3} - U_{CK3p}}{U_{CK3p}}.$$

В общем случае при определении СКЗ по данному методу мгновенные значения сигнала можно представить в следующем виде:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_{1m} \left[\sin a_1 + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} \sin(ka_1 + \psi_{1uk}) \right]; \\ U_2 &= U_{1m} \left[\sin(a_1 + \Delta\varphi) + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} \sin(ka_1 + \psi_{1uk} + k\Delta\alpha) \right]; \\ U_3 &= U_{1m} \left[\sin(a_1 + 2\Delta\varphi) + \sum_{k=2}^{\infty} h_{uk} \sin(ka_1 + \psi_{1uk} + 2k\Delta\alpha) \right], \end{aligned}$$

где $\Delta\alpha = \omega\Delta t$ – интервал дискретизации, выраженный в угловой мере.

Так как спектр сигналов в общем случае носит случайный характер, то рассмотрим типовые варианты, когда кроме первой гармоники содержатся вторая, третья и пятая, используя для этого моделирование сигналов.

На рис. 2 – 4 представлены графики зависимости относительной погрешности измерения СКЗ сигнала при наличии в сигналах второй, третьей и пятой гармоник от начальной фазы сигнала (момента начала измерения) в диапазоне изменения α_1 от 0 до 360° при различных интервалах дискретизации $\Delta\alpha$ и коэффициенте соответствующей гармоники 1%.

Анализ графиков (рис. 2 – 4) показывает:

с ростом номера гармоники погрешность возрастает;

с увеличением интервала дискретизации погрешность уменьшается;

имеются диапазоны изменения начальной фазы сигнала, где погрешность минимальна и практически не зависит от интервала дискретизации.

Р и с. 2. Погрешность измерения СКЗ сигнала при наличии 2-й гармоники

Р и с. 3. Погрешность измерения СКЗ сигнала при наличии 3-й гармоники

Р и с. 4. Погрешность измерения СКЗ сигнала при наличии 5-й гармоники

Можно выделить несколько таких диапазонов изменения начальной фазы. Результаты моделирования сигналов и определения погрешности при изменении начальной фазы сигнала в диапазоне $50 - 100^\circ$ приведены на рис. 5 – 7.

Анализ графиков (рис. 5 – 7) доказывает существенное уменьшение погрешности (практически в 5 раз) независимо от номера гармоники и интервала дискретизации.

Р и с. 5. Погрешность измерения СКЗ сигнала при наличии 2-й гармоники

Р и с. 6. Погрешность измерения СКЗ сигнала при наличии 3-й гармоники

Р и с. 7. Погрешность измерения СКЗ сигнала при наличии 5-й гармоники

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Цифровые методы измерения интегральных характеристик периодических сигналов. Самара: СамГТУ, 2002. 96 с.

Поступила 27.10.2004 г.