

УДК 621.317

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ СРАВНЕНИЯ МГНОВЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВХОДНОГО И ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ*

А.Е. Синицын¹, А.О. Лычев², Е.Е. Ярославкина²

¹ ООО «Метрология и Автоматизация»
Россия, 443013, г. Самара, ул. Киевская, 5А

² Самарский государственный технический университет
Россия, 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

E-mails: antonsinitsyn@yandex.ru, alexlychev@yandex.ru, makarovak@inbox.ru

Проводится краткий анализ методов измерения частоты по мгновенным значениям гармонических сигналов, обеспечивающих сокращение времени измерения. Рассматривается новый метод измерения частоты гармонических сигналов, основанный на формировании дополнительных сигналов напряжения и сравнении мгновенных значений входного и одного из дополнительных сигналов. При этом для определения частоты используется временное разделение мгновенных значений дополнительного сигнала на образцовый интервал времени. Предлагается структурная схема средства измерения, реализующего метод. Приводятся результаты анализа погрешности метода, обусловленной отклонением реального сигнала от гармонической модели. Полученные результаты позволяют выявить образцовые интервалы времени, которые обеспечат снижение погрешности.

Ключевые слова: частота сигнала, гармонические сигналы, мгновенные значения, дополнительные сигналы, фазосдвигающие блоки, погрешность.

Измерение и контроль электрических параметров гидро- и турбогенераторов, силовых подстанций, высоковольтных линий электропередачи общего назначения, определение параметров ряда электромеханических систем предусматривают измерение частоты сигналов. Особенностью перечисленных выше объектов является то, что сигналы в их измерительных цепях имеют форму, близкую к гармонической модели.

Кроме того, частота является одним из основных видов носителей измерительной информации датчиков различного назначения. Проблема сокращения времени измерения частоты сигнала стоит особенно остро при контроле параметров датчиков положения и перемещения.

В настоящее время успешно развивается направление, связанное с определением параметров гармонических сигналов (ГС), включая и частоту, по отдель-

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

Антон Евгеньевич Синицын, руководитель проектов ООО «Метрология и Автоматизация».

Александр Олегович Лычев, аспирант.

Екатерина Евгеньевна Ярославкина (к.т.н.), доцент кафедры «Информационно-измерительная техника».

ным мгновенным значениям сигналов, не связанным с их периодом, что позволяет значительно 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] предложены методы измерения частоты ГС, использующие в качестве дополнительного сигнала ортогональную составляющую входного сигнала и сравнение основного и дополнительного сигналов.

Однако при реализации данных методов возникает частотная погрешность фазосдвигающего блока (ФСБ), производящего сдвиг входного сигнала на угол 90° . При изменении частоты угол сдвига фазы ФСБ может отличаться от 90° .

Исключение частотной погрешности обеспечивает метод [4], согласно которому в произвольный момент времени одновременно измеряют три мгновенных значения напряжения, причем вторые мгновенные значения напряжения сдвинуты относительно первых на произвольный угол $\Delta\alpha$, а третьи мгновенные значения сдвинуты относительно вторых на угол $\Delta\alpha$; через образцовый интервал времени Δt одновременно измеряют три мгновенных значения напряжения, также сдвинутые друг относительно друга на угол $\Delta\alpha$, и определяют частоту сигнала.

Недостатком данного алгоритма частоты является сложность вычисления частоты и то, что знаменатель выражения для определения частоты при определенных мгновенных значениях может принимать нулевое значение. Это предполагает контроль мгновенных значений на ноль и измерение при необходимости дополнительных мгновенных значений сигналов через интервал времени Δt , что увеличивает время измерения. Кроме того, реализация метода требует достаточно больших аппаратных затрат.

Данные недостатки устраняются в разработанном авторами новом методе измерения частоты ГС.

Метод заключается в формировании двух дополнительных сигналов напряжения, сдвинутых по фазе на углы $\Delta\alpha$ и $2\Delta\alpha$ относительно входного, и сравнении входного и второго дополнительного сигналов. Причем в момент их равенства измеряют мгновенное значение первого дополнительного напряжения, сдвинутого относительно входного сигнала на угол $\Delta\alpha$. Через образцовый интервал времени Δt снова измеряют мгновенное значение первого дополнительного напряжения. Частоту определяют по измеренным мгновенным значениям сигналов.

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

Для входного гармонического напряжения $u_1(t) = U_m \sin \omega t$ дополнительные сигналы имеют вид: $u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \Delta\alpha)$, $u_3(t) = U_m \sin(\omega t + 2\Delta\alpha)$, где U_m – амплитудное значение напряжения; ω – угловая частота.

В момент времени t_1 , когда $U_{11} = U_{31}$, мгновенное значение входного напряжения равно $U_{11} = U_m \sin \alpha_1$ (где α_1 – начальная фаза сигнала $u_1(t)$ в момент времени t_1), а мгновенные значения первого и второго дополнительных сигналов соответственно примут вид: $U_{21} = U_m \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha)$ и $U_{31} = U_m \sin(\alpha_1 + 2\Delta\alpha)$.

Равенство мгновенных значений сигналов $U_{11} = U_{31}$ выполняется в том случае, если $\alpha_1 + 2\Delta\alpha = \alpha_1$ ($\Delta\alpha \neq 0$), то есть когда $2\Delta\alpha = \pi + 2\pi l - 2\alpha_1$ или

$\alpha_1 = \frac{\pi}{2}(2l+1) - \Delta\alpha$, где $l=0, 1$. Отсюда

$$U_{21} = U_m \sin\left[\frac{\pi}{2}(2l+1)\right] = \pm U_m. \quad (1)$$

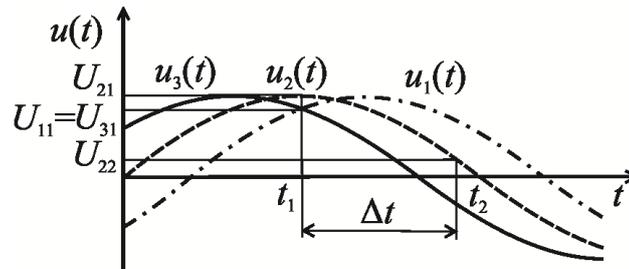


Рис. 1. Временные диаграммы, поясняющие метод

Через образцовый интервал времени Δt (момент времени t_2) мгновенное значение первого дополнительного сигнала будет равно

$$U_{22} = U_m \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha + \omega\Delta t) = U_m \sin\left[\frac{\pi}{2}(2l+1) + \omega\Delta t\right] = \pm U_m \cos\omega\Delta t. \quad (2)$$

Используя (1) и (2), можно определить частоту ГС:

$$f = \frac{1}{2\pi\Delta t} \arccos\left|\frac{U_{22}}{U_{21}}\right|. \quad (3)$$

Анализ (1) – (3) показывает, что частота сигнала не зависит от величины угла сдвига фазы $\Delta\alpha$.

Выражение (3) справедливо только для гармонических сигналов напряжения.

Для оценки погрешности метода из-за отклонения реального сигнала от гармонической модели используем методику, предложенную в [5].

В соответствии с выражением (3) предельная абсолютная погрешность определения частоты сигнала примет вид

$$\Delta f = \left[\left| \frac{\partial f}{\partial U_{21}} \right| + \left| \frac{\partial f}{\partial U_{22}} \right| \right] \Delta U_{\max}, \quad (4)$$

где $\Delta U_{\max} = U_{m1} \sum_{k=2}^{\infty} h_k$ – максимальное отклонение сигнала от гармонической модели;

U_{m1} – амплитудное значение первой гармоники напряжения;

U_{mk} – амплитудное значение k -ой гармоники напряжения;

$h_k = \frac{U_{mk}}{U_{m1}}$ – коэффициент k -ой гармоники напряжения.

В соответствии с (3) и (4) относительная погрешность определения частоты сигнала будет равна

$$\delta_f = \frac{\sum_{k=2}^{\infty} h_k (1 + |\cos \omega \Delta t|)}{\omega \Delta t |\sin \omega \Delta t|}. \quad (5)$$

Анализ выражения (5) показывает, что погрешность определения частоты зависит только от гармонического состава сигнала и величины образцового интервала времени Δt .

На рис. 2 приведен график зависимости погрешности определения частоты от $\omega \Delta t$ при наличии в сигнале первой и пятой гармоники с коэффициентом $h_5 = 0,2 \%$.

Анализ рис. 2 показывает, что погрешность определения частоты существенно зависит от длительности образцового интервала времени Δt по отношению к периоду входного сигнала. При этом минимальное значение погрешности имеет место при $\omega \Delta t = 90^\circ$, однако это приводит к увеличению времени измерения.

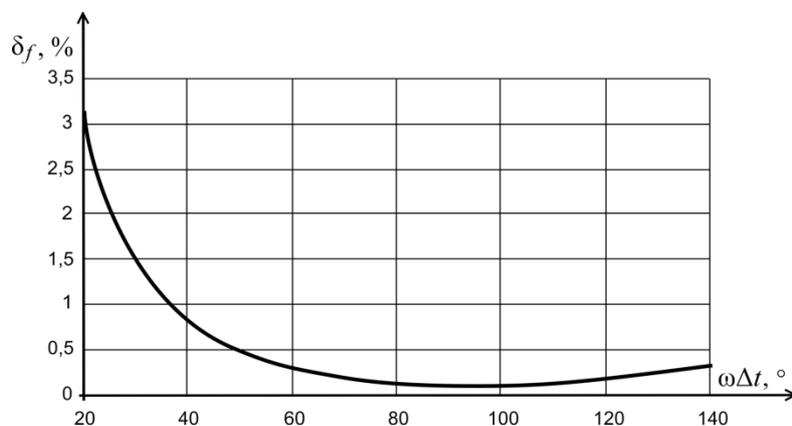


Рис. 2. График зависимости погрешности измерения частоты от $\omega \Delta t$

Полученные в работе результаты позволяют выбирать соответствующие аппаратные средства и параметры измерительного процесса в зависимости от предъявляемых требований по точности и времени измерения.

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., Миронов А.А. Исследование метода измерения частоты гармонических сигналов // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 198-201.
3. Мелентьев В.С., Сеницын А.Е., Миронов А.А. Методы измерения частоты на основе сравнения гармонических сигналов, сдвинутых в пространстве и разделенных во времени // Информационно-измерительные и управляющие системы: Сб. науч. статей. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2013. – № 1(8). – С. 75-79.
4. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.
5. Мелентьев В.С., Миронов А.А., Муратова В.В. Анализ погрешности метода измерения частоты из-за отклонения сигнала от гармонической модели // Математическое моделирование и краевые задачи: Тр. IX Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Ч. 2. – Самара: СамГТУ, 2013. – С. 111-114.

Статья поступила в редакцию 5 марта 2014 г.

THE METHOD FOR MEASURING A FREQUENCY BASED ON THE COMPARISON OF THE INSTANT VALUES OF INPUT AND ADDITIONAL HARMONIC SIGNALS

A.E. Sinitsyn¹, A.O. Lychev², E.E. Yaroslavkina²

¹ LLC «Metrology and Automation»
5A, Kievskaya st., Samara, 443013, Russian Federation

² Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation

A brief analysis of methods for measuring the frequency on instant values of harmonic signals that reduce the measurement time is considered. A new method of measuring the frequency of the harmonic signals based on the formation of additional voltage signals and comparing the instantaneous values of the input and one of the additional signals is described. In order to determine the frequency is used the temporal separation of the instant values of an additional signal on the exemplary time interval. The block diagram of measurement tool that implement the methods is provided. The results of the analysis of the method's error due to the deviation of the actual signal from the harmonic model are considered. The obtained results allow to identify exemplary intervals that will ensure reduction of error.

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

*Anton E. Sinitsyn, Project Manager.
Alexander O. Lychev, Postgraduate Student.
Ekaterina E. Jaroslavkina (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.*