

УДК 621.317

АНАЛИЗ ПОГРЕШНОСТИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МЕТОДА ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Ю.М. Иванов

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

E-mail: fuego27@rambler.ru

Исследуется новый метод измерения частоты по мгновенным значениям входного и дополнительных гармонических сигналов. Метод обеспечивает определение частоты по мгновенным значениям сигналов, измеренным одновременно в произвольный момент времени и через образцовый интервал времени. Приводятся результаты анализа влияния угловой погрешности блоков формирования фазы сигналов, которые формируют дополнительные напряжения, на погрешность результата определения частоты. Установлено, что данный вид погрешности зависит от угла сдвига фазы дополнительных сигналов и длительности образцового интервала времени. Полученные результаты позволяют определять оптимальные параметры измерительного процесса в зависимости от требований по точности и времени измерения.

Ключевые слова: гармонический сигнал, частота, дополнительный сигнал, мгновенные значения, блок формирования сдвига фазы, погрешность.

Частота периодического сигнала является одним из основных параметров, которые используются для решения задач испытаний и контроля энергообъектов и электротехнического оборудования, автоматизированного управления технологическими процессами, а также для повышения точности измерений некоторых физических величин, которые предварительно преобразуются в сигналы, пропорциональные частоте [1].

Используемые в настоящее время методы и средства измерения (СИ) частоты звукового диапазона основаны на преобразовании частоты в интервалы времени с последующим определением их длительности [2]. При использовании таких методов время измерения частоты не может быть менее периода входного сигнала.

В настоящее время получили распространение аппроксимационные методы измерения частоты, при реализации которых считается, что входной сигнал является гармоническим, что обеспечивает сокращение времени определения частоты до долей периода контролируемого сигнала [3].

Использование пространственного разделения мгновенных значений сигналов за счет формирования дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входных, обеспечивает сокращение времени измерения [4].

Использование в качестве дополнительных сигналов ортогональных составляющих входных [5, 6] неизбежно приводит к частотной погрешности блоков формирования сдвига фазы (БФСБ), которые производят формирование дополнительных

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16-08-00252 А).

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

сигналов. При изменении частоты угол сдвига фазы БФСБ будет отличаться от 90° .

Частотная погрешность устраняется в методах измерения частоты [7–9], которые используют формирование дополнительного сигнала, сдвинутого относительно входного на произвольный угол $\Delta\alpha$.

Реализация большинства подобных методов предусматривает определение переходов сигналов через ноль, что значительно увеличивает время измерения частоты. Это обусловлено тем, что момент начала измерения и момент перехода сигнала через ноль в общем случае не совпадают [10].

В статье исследуется новый метод измерения частоты, который обеспечивает начало измерения в произвольный момент времени [11].

В основу метода положено формирование двух дополнительных сигналов напряжения, сдвинутых по фазе относительно входного на углы $\Delta\alpha$ и $2\Delta\alpha$, и использование мгновенных значений входного и дополнительных сигналов для определения частоты. Согласно методу в произвольный момент времени измеряют первые мгновенные значения входного и дополнительных сигналов. Через образцовый интервал времени Δt производят измерение вторых мгновенных значений входного и дополнительного сигнала, сдвинутого относительно входного на $\Delta\alpha$. Частоту сигнала определяют по полученным мгновенным значениям.

Метод можно пояснить с помощью временных диаграмм (рис. 1).

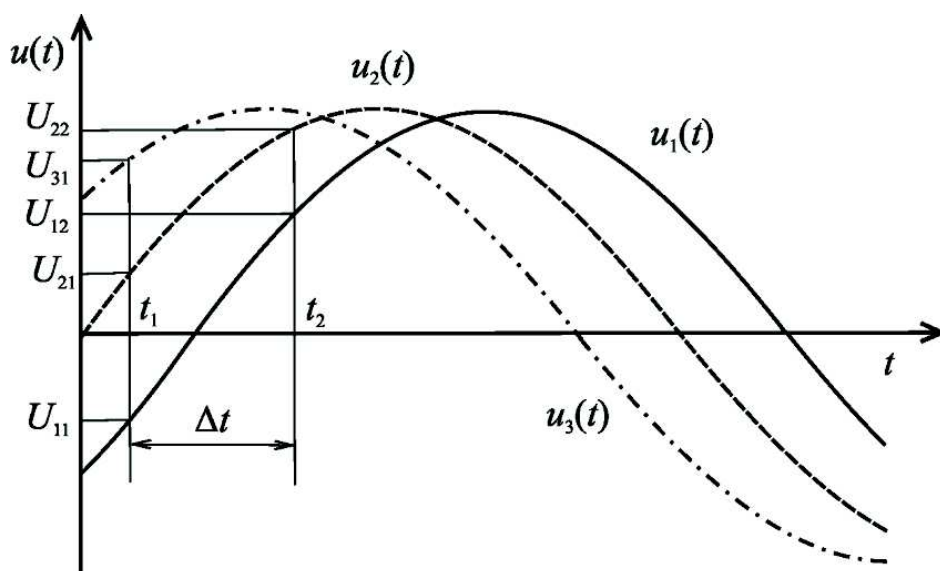


Рис. 1. Временные диаграммы для метода измерения частоты

Если входной сигнал равен $u_1(t) = U_m \sin \omega t$, то дополнительные сигналы будут иметь следующий вид: $u_2(t) = U_m \sin(\omega t + \Delta\alpha)$ и $u_3(t) = U_m \sin(\omega t + 2\Delta\alpha)$.

В произвольный момент начала определения частоты t_1 мгновенные значения сигналов будут равны $U_{11} = U_m \sin \alpha_1$; $U_{21} = U_m \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha)$; $U_{31} = U_m \sin(\alpha_1 + 2\Delta\alpha)$, где U_m – амплитудное значение напряжения; α_1 – фаза сигнала напряжения в момент времени t_1 ; ω – угловая частота.

Через интервал времени Δt с момента первого измерения мгновенные значения сигналов будут равны

$$U_{12} = U_m \sin(\alpha_1 + \omega\Delta t); \quad U_{22} = U_m \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha + \omega\Delta t).$$

При использовании полученных мгновенных значений можно найти частоту

входного сигнала:

$$f = \frac{1}{2\pi\Delta t} \arcsin \frac{(U_{21}U_{12} - U_{11}U_{22})\sqrt{U_{21}^2 - (U_{31} + U_{11})^2}}{2U_{21}(U_{21}^2 - U_{31}U_{11})}. \quad (1)$$

Метод можно реализовать с помощью следующей информационно-измерительной системы (ИИС) (рис. 2).

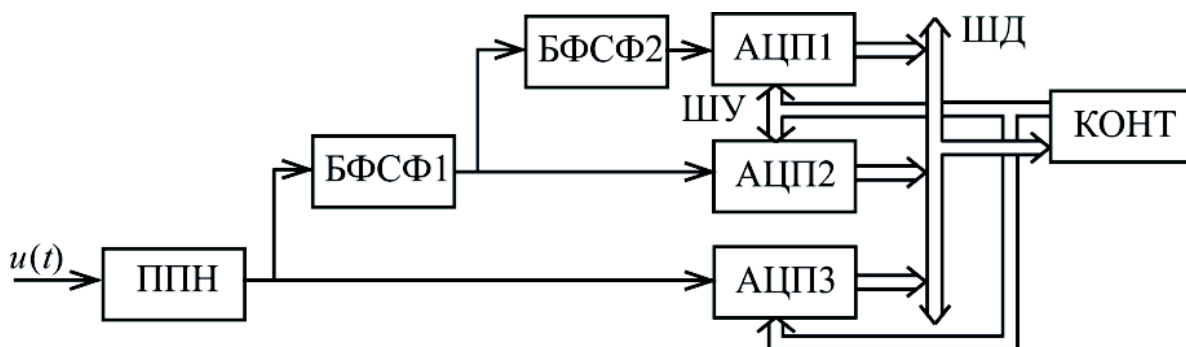


Рис. 2. Функциональная схема ИИС, реализующей метод

В состав ИИС входят: первичный преобразователь напряжения ППН, два блока формирования сдвига фазы БФСФ1 и БФСФ2, которые осуществляют сдвиг сигналов на угол $\Delta\alpha$, три аналого-цифровых преобразователя АЦП1–АЦП3, контроллер КОНТ, шины управления ШУ и данных ШД.

Одним из факторов, оказывающим влияние на точность метода определения частоты при его реализации, является угловая погрешность блоков формирования сдвига фазы [12].

Будем считать, что угол сдвига фазы БФСФ2 будет отличаться от угла сдвига БФСФ1 на $\Delta\beta$. В этом случае мгновенное значение второго дополнительного напряжения примет вид

$$U'_{31} = U_m \sin(\alpha_1 + 2\Delta\alpha + \Delta\beta).$$

Учитывая мгновенные значения напряжений, в соответствии с (1) можно определить относительную погрешность определения частоты сигнала:

$$\delta_{f\beta} = \frac{1}{\omega\Delta t} \arcsin \left| \frac{\sin \Delta\alpha \sin \omega\Delta t}{2 \sin(\alpha_1 + \Delta\alpha) [\sin^2(\alpha_1 + \Delta\alpha) - \sin \alpha_1 \sin(\alpha_1 + 2\Delta\alpha + \Delta\beta)]} \right| \times \\ \times \sqrt{4 \sin^2(\alpha_1 + \Delta\alpha) - [\sin(\alpha_1 + 2\Delta\alpha + \Delta\beta) + \sin \alpha_1]^2} - 1. \quad (2)$$

Из анализа (2) следует, что относительная погрешность зависит от угловой погрешности, характеризуемой $\Delta\beta$, угла сдвига фазы БФСФ $\Delta\alpha$, образцового интервала времени Δt и начальной фазы входного напряжения α_1 .

На рис. 3 показаны графики зависимости погрешности измерения частоты от $\Delta\alpha$ и $\omega\Delta t$ для угла $\Delta\beta=0,1^\circ$ и $\alpha_1 = 45^\circ$, которые получены согласно выражению (2).

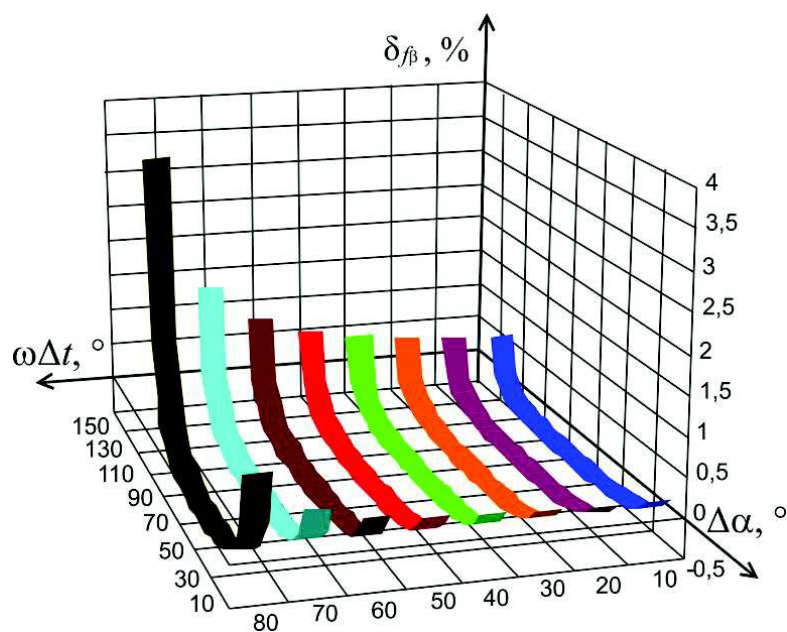


Рис. 3. Графики зависимости $\delta_{\phi\beta}$ от $\omega\Delta t$ и $\Delta\alpha$ при $\alpha_1 = 45^\circ$

Анализ рис. 3 показывает, что если выбирать углы сдвига фазы БСФ $\Delta\alpha$ в диапазоне от 20 до 80°, а $\omega\Delta t = 10 \div 50^\circ$, то $\delta_{\phi\beta}$ будет меньше 0,15 %.

Большим достоинством разработанного метода является малое время измерения, которое зависит только от длительности образцового интервала времени Δt .

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зайцев С. Цифровые методы время-частотных измерений // Современная электроника. – 2009. – № 6. – С. 20–23.
2. Ратхор Т.С. Цифровые измерения. АЦП/ЦАП. – М.: Техносфера, 2006.
3. Мелентьев В.С. Измерительно-моделирующий подход к определению частоты сигналов // Современные информационные технологии: Тр. междунар. науч.-техн. конф. – Вып. 2. – Пенза: ПГТА, 2005. – С. 49–51.
4. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Миронов А.А. Метод измерения частоты гармонических сигналов / Измерения, контроль, информатизация: Матер. XIV междунар. науч.-техн. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – Т. 1. – С. 55–57.
5. Мелентьев В.С., Сеницын А.Е., Муратова В.В. Анализ метода измерения частоты гармонического сигнала по мгновенным значениям ортогональных составляющих напряжения / Информационно-измерительные и управляющие системы: Сб. науч. статей. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2014. – № 1(9). – С. 89–92.
6. 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.
7. Мелентьев В.С., Сеницын А.Е., Миронов А.А. Метод измерения частоты по мгновенным значениям входного и дополнительного сигналов // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: Матер. X Междунар. науч.-практ. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – С. 187–189.
8. Мелентьев В.С., Сеницын А.Е., Бурдукский Н.С. Повышение точности измерения частоты гармонических сигналов // Современные материалы, техника и технологии. – 2015. – № 1(1). – С. 142–145.
9. Мелентьев В.С., Муратова В.В., Ярославкина Е.Е. Повышение точности измерения частоты по отдельным мгновенным значениям гармонических сигналов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки. – 2014. – № 3 (43). – С. 58–62.
10. Мелентьев В.С., Серов К.С., Бурдукский Н.С. Исследование метода измерения частоты по мгновенным значениям гармонического сигнала с использованием переходов дополнительных

- сигналов через ноль / Информационно-измерительные и управляющие системы: Сб. науч. статей. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2015. – № 2(12). – С. 61–67.
11. Мелентьев В.С., Батищев В.И., Иванов Ю.М. Анализ и совершенствование методов и систем измерения частоты гармонических сигналов // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2016. – № 1. Т. 17. – С. 32–36.
 12. Мелентьев В.С., Ярославкина Е.Е., Сеницын А.Е. Исследование влияния погрешности фазосдвигающего блока на точность измерения частоты гармонического сигнала // Техника и технологии: пути инновационного развития: Матер. III Междунар. науч.-практ. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2013. – С. 126–129.

Статья поступила в редакцию 4 июня 2016 г.

THE EFFECT OF QUANTIZATION OF INSTANT VALUES OF SIGNALS AT THE ERROR OF DETERMINATION OF THEIR INTEGRAL CHARACTERISTICS

Yu.M. Ivanov

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

Investigated a method of measuring the integral characteristics on the instantaneous values of the input and additional harmonic signals. A method provides defining characteristics on instantaneous values of signals, measured simultaneously once per period at the moment of transition of one of the additional voltage through zero. The results of the analysis of influence of quantization of instant values of signals at the error of the result of the determination of informative parameters are shown. It is established that this type of error depends not only on the width of analog-to-digital converters but also the phase angle of the additional signals. The obtained results allow to determine the optimum angle of phase shift depending on the requirements of measurement accuracy.

Keywords: *characteristics of periodic signals, an additional signal, instantaneous value, phase shift, analog-to-digital converter, the error*