

СИНТЕЗ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПО МГНОВЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ГАРМОНИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ¹

В.С. Мелентьев, Ю.М. Иванов, А.Е. Сеницын

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

E-mail: vs_mel@mail.ru

Рассматривается классификация методов измерения интегральных характеристик по мгновенным значениям с использованием ортогональных гармонических сигналов. Предлагается новый подход к синтезу таких методов. Рассматриваются четыре метода, синтезированные на основе данного подхода.

Ключевые слова: *интегральные характеристики, гармонические сигналы, мгновенные значения, ортогональные составляющие сигналов, сравнение сигналов, характерные точки.*

Введение. Одним из наиболее часто используемых на практике видов сигналов являются периодические сигналы. На основе измерения их характеристик осуществляется контроль разного рода электрических и электронных генераторов, оценивается качество электрической энергии, проводятся испытания колебательных механических систем.

В настоящее время распространение получили методы измерения интегральных характеристик гармонических сигналов (ИХГС) по отдельным мгновенным значениям. Существенное сокращение времени измерения обеспечивают методы, основанные на формировании дополнительных сигналов, сдвинутых по фазе относительно входного сигнала, и определении ИХГС по мгновенным значениям входного и дополнительных сигналов [1].

Значительное упрощение реализации обеспечивают методы измерения ИХГС, в которых в качестве дополнительных сигналов используются ортогональные составляющие сигналов (ОСС).

В статье приводится классификация и синтезируются методы измерения ИХГС по мгновенным значениям ортогональных составляющих гармонических сигналов.

Принципы классификация методов измерения ИХГС с использованием ортогональных составляющих. Предлагается классифицировать методы измерения интегральных характеристик с использованием ОСС по следующим основным признакам: сравнение основного и дополнительного сигналов; связь с характерными точками сигналов; запоминание мгновенных значений сигналов для последующего сравнения; разделение мгновенных значений сигналов во времени (рис. 1).

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 11-08-00039-а).

Владимир Сергеевич Мелентьев (д.т.н., профессор), заведующий кафедрой «Информационно-измерительная техника».

Юрий Михайлович Иванов (к.т.н.), мл. научный сотрудник.

Антон Евгеньевич Сеницын, аспирант.

Исключая противоположные операции (связь или отсутствие связи с характерными точками сигналов; использование или отсутствие разделения во времени), а также учитывая тот факт, что запоминание мгновенных значений сигналов производится только с их последующим сравнением, можно условно выделить три группы, характеризующие принципы синтеза методов.



Рис. 1. Классификация методов измерения ИХГС с использованием ортогональных составляющих сигналов

Первую группу составляют методы, основанные на сравнении основного и дополнительного сигналов напряжения или тока. Для этой группы можно синтезировать следующие методы: *ACH; ACJ; ACFH; ACFJ; ADH; ADJ; AEH; AEJ; ADFH; ADFJ; ADGH; ADGJ; AEFH; AEFJ; AEGH; AEGJ*.

Вторую группу составляют методы, основанные на сравнении основного и дополнительного сигналов и напряжения, и тока. Для этой группы можно синтезировать следующие методы: *BCH; BCJ; BCFH; BCFJ; BDH; BDJ; BEH; BEJ; BDFH; BDFJ; BDGH; BDGJ; BEFH; BEFJ; BEGH; BEGJ*.

Наконец, третью группу составляют методы, не использующие сравнение основного и дополнительного сигналов. Для этой группы можно синтезировать следующие методы: *CH; CJ; DH; DJ; EH; EJ*.

Таким образом, представленная классификация позволяет в общем случае синтезировать 38 методов.

Синтез методов измерения ИХГС с использованием ортогональных составляющих. Рассмотрим примеры синтеза методов.

Метод *ACH*, представляющий первую группу методов, основан на сравнении ортогональных составляющих одного из сигналов. Метод предполагает формирование дополнительных сигналов напряжения и тока, сдвинутых относительно основных на 90° ; в момент равенства основного и дополнительного сигналов напряжения одновременно измеряют мгновенные значения основного сигнала напряжения, основного и дополнительного сигналов тока и определяют ИХГС по измеренным значениям [2].

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 2.

Для входного напряжения $u_1(t) = U_m \sin \omega t$ и тока $i_1(t) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$ и дополнительных сигналов напряжения $u_2(t) = U_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = U_m \cos \omega t$ и тока $i_2(t) = I_m \sin\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$ в момент времени t_1 , когда основной и дополнительный сигналы напряжения будут равны, выражения для мгновенных значе-

ний сигналов примут вид:

$$U_{11} = U_m \sin \alpha_1; \quad (1)$$

$$U_{21} = U_m \cos \alpha_1; \quad (2)$$

$$I_{11} = I_m \sin \alpha_2; \quad (3)$$

$$I_{21} = I_m \cos \alpha_2,$$

где U_m , I_m – амплитудные значения напряжения и тока; α_1 , α_2 – фазы сигналов напряжения и тока в момент времени t_1 ; $\varphi = \alpha_2 - \alpha_1$ – угол сдвига фаз между сигналами напряжения и тока; ω – угловая частота входного сигнала.

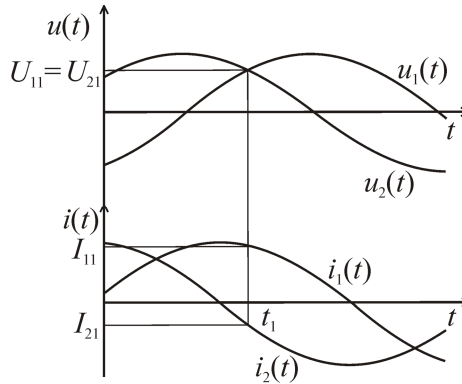


Рис. 2. Временные диаграммы, поясняющие первый метод

Мгновенные значения U_{11} и U_{21} будут равны при угле $\alpha_1 = \frac{\pi}{4} + \pi l$, где $l = 0, 1$.

В этом случае выражения для определения основных ИХГС примут вид:

– среднеквадратические значения (СКЗ) напряжения и тока

$$U_{\text{СКЗ}} = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = |U_{11}|; \quad (4)$$

$$I_{\text{СКЗ}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{I_{11}^2 + I_{21}^2}{2}};$$

– активная (АМ) и реактивная (РМ) мощности

$$P = \frac{U_m I_m \cos \varphi}{2} = \frac{U_{11}(I_{21} + I_{11})}{2};$$

$$Q = \frac{U_m I_m \sin \varphi}{2} = \frac{U_{11}(I_{11} - I_{21})}{2}.$$

Анализ показывает, что время измерения ИХГС не зависит от угла сдвига фаз между напряжением и током, а определяется в основном временем между моментом начала измерения и моментом равенства мгновенных значений напряжений U_{11} и U_{21} .

Метод *ВСН*, представляющий вторую группу методов, предполагает сравнение ортогональных составляющих сигналов и напряжения и тока. Метод основан на том, что формируют дополнительные сигналы напряжения и тока, сдвинутые относительно основных на 90° ; в момент равенства основного и дополнительного сигналов напряжения одновременно измеряют мгновенные значения основных сигналов напряжения и тока; в момент равенства основного и дополнительного сигналов тока измеряют мгновенные значения основных сигналов тока и напряжения и определяют ИХГС по измеренным значениям.

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 3.

В момент времени t_1 , когда основной и дополнительный сигналы напряжения будут равны, выражения для мгновенных значений сигналов будут соответствовать выражениям (1) – (3).

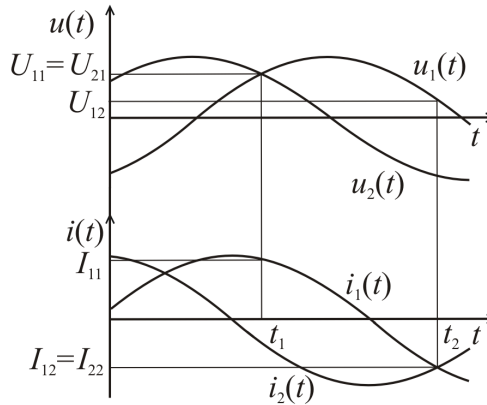


Рис. 3. Временные диаграммы, поясняющие второй метод

В момент времени t_2 , когда будут равны основной и дополнительный сигналы тока, выражения для мгновенных значений сигналов будут иметь следующий вид:

$$I_{12} = I_m \sin \alpha_3; \quad I_{22} = I_m \cos \alpha_3; \quad U_{12} = U_m \sin(\alpha_3 - \varphi) = U_m \sin\left(\frac{\pi}{4} + \pi l - \varphi\right),$$

где α_3 – фаза сигнала тока в момент времени t_2 .

Мгновенные значения I_{12} и I_{22} будут равны при угле $\alpha_3 = \frac{\pi}{4} + \pi l$.

Для данного метода СКЗ напряжения соответствует выражению (4).

Остальные ИХГС можно определить с помощью выражений:

$$I_{СКЗ} = |I_{12}|; \quad P = \frac{U_{11} \left[I_{11} + \text{sign}(U_{11}) \text{sign}(U_{12}) \text{sign}(I_{12}) \sqrt{2I_{12}^2 - I_{11}^2} \right]}{2};$$

$$Q = \frac{U_{11} \left[I_{11} - \text{sign}(U_{11}) \text{sign}(U_{12}) \text{sign}(I_{12}) \sqrt{2I_{12}^2 - I_{11}^2} \right]}{2}.$$

Анализ показывает, что время измерения ИХГС в данном методе возрастает, поскольку оно определяется не только временем между моментом начала измерения и моментом равенства мгновенных значений напряжений U_{11} и U_{21} , но и зависит от угла сдвига фаз между напряжением и током. Однако при реализации метода требу-

ется измерять только мгновенные значения основных сигналов напряжения и тока.

Метод *СН*, относящийся к третьей группе методов, основан на определении интегральных характеристик сигналов по двум мгновенным значениям напряжения и тока, одновременно измеренным в произвольный момент времени, причем вторые мгновенные значения напряжения и тока сдвинуты относительно первых на угол 90° в сторону опережения [3].

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 4.

Если сигналы напряжения и тока в исследуемой цепи имеют гармонические модели, то их мгновенные значения в момент времени t_1 равны

$$U_{11} = U_m \sin \alpha'_1; \quad U_{21} = U_m \sin \left(\alpha'_1 + \frac{\pi}{2} \right) = U_m \cos \alpha'_1; \quad I_{11} = I_m \sin \alpha'_2;$$

$$I_{21} = I_m \sin \left(\alpha'_2 + \frac{\pi}{2} \right) = I_m \cos \alpha'_2,$$

где α'_1, α'_2 – фазы сигналов напряжения и тока в произвольный момент времени t_1 .

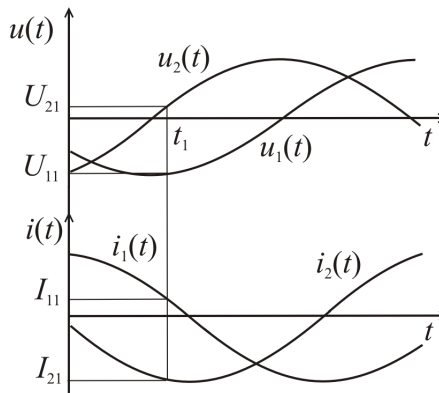


Рис. 4. Временные диаграммы, поясняющие третий метод

Выражения для определения ИХГС принимают следующий вид:

$$U_{СКЗ} = \sqrt{\frac{U_{11}^2 + U_{21}^2}{2}}; \quad I_{СКЗ} = \sqrt{\frac{I_{11}^2 + I_{21}^2}{2}}; \quad P = \frac{U_{11}I_{11} + U_{21}I_{21}}{2}; \quad Q = \frac{U_{11}I_{21} - U_{21}I_{11}}{2}.$$

Анализ данного метода показывает, что время измерения не зависит ни от начала измерения, ни от угла сдвига фаз между напряжением и током. Таким образом, реализация метода обеспечивает существенное сокращение времени определения основных ИХГС.

Рассмотрим еще один метод, относящийся к третьей группе методов, который, в отличие от представленных ранее, использует характерные точки. Метод *ЕН* основан на том, что в момент перехода ортогональной составляющей сигнала напряжения через ноль одновременно измеряют первые мгновенные значения входного напряжения и тока; в момент перехода ортогональной составляющей сигнала тока через ноль измеряют второе мгновенное значение входного тока и определяют ИХГС по измеренным значениям [4].

Временные диаграммы, поясняющие метод, представлены на рис. 5.

Мгновенные значения сигналов в моменты времени t_1 и t_2 имеют вид

$$U_{11} = U_m \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) = -U_m; I_{11} = I_m \sin \varphi; I_{12} = I_m \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) = -I_m.$$

Основные ИХГС можно определить с помощью следующих выражений:

$$U_{СКЗ} = |U_{11}|; I_{СКЗ} = |I_{12}|; P = \frac{|U_{11}|I_{11}}{2}; Q = \frac{\text{sign}(U_{12})\text{sign}(I_{12})|U_{11}|\sqrt{I_{12}^2 - I_{11}^2}}{2}.$$

Время измерения ИХГС в данном методе существенно увеличивается, поскольку определяется интервалом времени между моментом начала измерения и моментом перехода ортогональной составляющей сигнала напряжения через ноль, а также интервалом времени с данного момента времени до перехода ортогональной составляющей сигнала тока через ноль, то есть зависит от угла сдвига фаз между напряжением и током. Однако при реализации метода исключается погрешность по напряжению (току) фазосдвигающих блоков (ФСБ), осуществляющих формирование ортогональных составляющих.

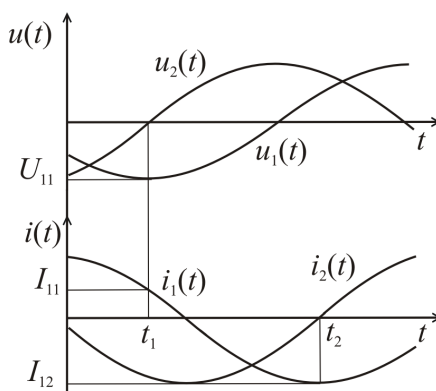


Рис. 5. Временные диаграммы, поясняющие четвертый метод

Общим недостатком средств измерений, реализующих рассмотренные методы, следует считать частотную погрешность ФСБ, которая возникает при изменении частоты входного сигнала.

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., Рудаков Д.В. Методы измерения интегральных характеристик гармонических сигналов, основанные на сравнении ортогональных составляющих сигналов // Измерения, автоматизация и моделирование в промышленности и научных исследованиях: Межвуз. сборник. – Вып. 1. – Бийск: Изд-во Алтайского гос. техн. ун-та им. И.И. Ползунова, 2011. – С. 129-131.
3. Батищев В.И., Мелентьев В.С. Аппроксимационные методы и системы промышленных измерений, контроля, испытаний, диагностики. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 393 с.
4. Мелентьев В.С., Иванов Ю.М., Синицын А.Е. Метод измерения интегральных характеристик гармонических сигналов по мгновенным значениям их ортогональных составляющих // Современные инновации в науке и технике: Матер. II-й Междунар. науч.-практ. конф. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2012. – С. 123, 124.

Статья поступила в редакцию 28 июня 2012 г.

THE SYNTHESIS OF METHODS OF MEASUREMENT OF INTEGRATED CHARACTERISTICS ON INSTANT VALUES OF ORTHOGONAL MAKING HARMONIOUS SIGNALS

V.S. Melentiev, JU.M. Ivanov, A.E. Sinitsyn

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

Classification of methods of measurement of integrated characteristics by instant values with use of orthogonal harmonious signals is considered. The new approach to the synthesis of such methods is offered. Four methods synthesized on the basis of the given approach are examined.

Keywords: *integrated characteristics, harmonious signals, instant values, orthogonal components of signals, comparison of signals, characteristic points.*

*Vladimir S. Melentiev (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.
Jury M. Ivanov (Ph.D. (Techn.)).
Anton E. Sinitsyn, Postgraduate Student.*