

СТАНДАРТИЗАЦІЯ, МЕТРОЛОГІЯ І СЕРТИФІКАЦІЯ

УДК 681

В.П. Квасников, д.т.н.
Ю.В. Овчаров
В.Н. Ильченко, к.т.н.

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФАЗОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ НА РЕЗУЛЬТАТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗЫ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ

Национальный авиационный университет

В статье дано обоснование того, что погрешность фазовых измерений сказывается на результате определения фазы коэффициента отражения. Приведенные соотношения позволяют оценить необходимую точность отдельных фазометров для необходимой точности определения фазы коэффициента отражения.

Ключевые слова: фаза коэффициента отражения, точность, фазометрия.

Введение

Исследование работоспособности методов дистанционного определения фазы коэффициента отражения многочастотными сигналами позволяет сделать выводы о практической их ценности для реальных условий локации объектов. Это обусловлено прежде всего тем, что при определенных требованиях к реальным техническим устройствам методы позволяют компенсировать влияние эффекта Доплера и кратковременной нестабильности частоты [3], а также в условиях неоднородности среды распространения сигналов, дополнительные фазовые сдвиги на отдельных частотных составляющих зондирующего сигнала, компенсируют друг-друга при окончательном определении фазы коэффициента отражения.

Несмотря на то, что в самих методах это влияние не проявляется, или точнее сказать влияние сигнала одной частоты, компенсируется сигналом другой частоты, но при этом появляется погрешность измерений фазовых сигналов на отдельных частотах, что в свою очередь приводит к появлению методической погрешности многочастотного метода из-за погрешности фазовых измерений на отдельных частотах.

Постановка задачи.

В работе ставится цель проанализировать методическую погрешность двухчастотного метода дистанционного определения фазы коэффициента отражения при погрешности фазовых измерений на отдельных частотах и возможности ее уменьшения при создании реальных технических устройств.

Погрешность двухчастотного метода

Рассмотрим двухчастотный метод дистанционного определения фазы коэффициента отражения с опорными сигналами [2].

Суть метода заключается в том, что выполняется измерение фаз отраженных сигналов с опорными. При этом получают следующие результаты измерений:

$$\Psi_1 = 2\pi f_1 2 \frac{R}{c} + \varphi - 2\pi n_1 ; \quad (1)$$

$$\Psi_2 = 2\pi f_2 2 \frac{R}{c} + \varphi - 2\pi n_2 ; \quad (2)$$

где Ψ_1 и Ψ_2 сдвиги фаз отраженных сигналов относительно опорных для частот f_1 и f_2 , соответственно;

φ – фаза коэффициента отражения;

n_1 и n_2 – целые числа.

Принимая во внимание то, что кроме этих параметров в результат измерений может входить и погрешность самих измерений, рассмотрим методическую погрешность определения фазы

коэффициента отражения в более общем виде, когда фазовые сдвиги ψ_1 и ψ_2 представляются в виде:

$$\psi_1 = \psi_{01} \pm \Delta\psi_1 ; \quad (3)$$

$$\psi_2 = \psi_{02} \pm \Delta\psi_2 ; \quad (4)$$

где ψ_{01} и ψ_{02} - истинное значение фазовых сдвигов отраженных сигналов относительно опорных для частот f_1 и f_2 соответственно;

$\Delta\psi_1$ и $\Delta\psi_2$ - погрешность определения значений ψ_{01} и ψ_{02} , соответственно.

В этом случае фаза коэффициента будет представляться следующим выражением:

$$\varphi = \psi_1 \frac{f_2}{f_2 - f_1} - \psi_2 \frac{f_1}{f_2 - f_1} - 2\pi \left[\frac{\psi_1 f_2}{2\pi(f_2 - f_1)} \right] - \left[\frac{\psi_2 f_1}{2\pi(f_2 - f_1)} \right] \pm \left(\frac{\Delta\psi_1 f_2 \pm \Delta\psi_2 f_1}{f_2 - f_1} \right), \quad (5)$$

где [] квадратными скобками обозначена целая часть выражения.

Опуская рассмотрение конкретных способов измерения значений ψ_1 и ψ_2 примем, что знак погрешности $\Delta\psi_1$ и $\Delta\psi_2$ определяется произвольно. Поэтому последнее выражение целесообразно представить так:

$$\varphi = \varphi_p \pm \left(\frac{\Delta\psi_1 f_2 + \Delta\psi_2 f_1}{f_2 - f_1} \right),$$

где величина

$$\Delta\varphi_\psi = \pm \left(\frac{\Delta\psi_1 f_2 + \Delta\psi_2 f_1}{f_2 - f_1} \right) \quad (6)$$

представляет собой методическую погрешность определения фазы коэффициента отражения, обусловленную погрешностями фазовых измерений ψ_1 и ψ_2 отраженных сигналов относительно опорных.

При использовании близких частот f_1 и f_2 и одностипных фазометров для измерения ψ_1 и ψ_2 , имеющими $\Delta\psi_1 = \Delta\psi_2 = \Delta\psi$, методическую погрешность определения фазы коэффициента отражения можно представить в виде:

$$\Delta\varphi_\psi = \pm \Delta\psi \left(\frac{f_1 + f_2}{f_2 - f_1} \right). \quad (7)$$

В случае использования амплитудно-модулированных сигналов представим значение отраженных сигналов относительно опорных в виде :

1) для несущего колебания на частоте f :

$$\psi = \psi_0 + \Delta\psi$$

2) для огибающей на частоте F :

$$\gamma = \gamma_0 + \Delta\gamma ,$$

можем определить величину методической погрешности

$$\Delta\varphi_{A\psi} = \pm \left(\Delta\psi + \Delta\gamma \frac{f}{F} \right) \quad (8)$$

Для случаев с сигналами в форме биений также представим сдвиг фаз отраженных сигналов относительно опорных

1) для несущего сигнала

$$\psi_\delta = \psi_0 + \Delta\psi ;$$

2) для огибающей

$$\gamma_\delta = \gamma_0 + \Delta\gamma$$

и определяем методическую погрешность в виде:

$$\Delta\varphi_{\delta\psi} = \pm(\Delta\psi_{\delta} + \Delta\gamma \frac{f_1 + f_2}{f_2 - f_1}). \quad (9)$$

Для методов без опорных сигналов, основанных на преобразовании одной частоты к другой и сравнении по фазе [4], погрешность измерения фазового сдвига двух колебаний (преобразованного и отраженного) имеет аддитивный характер для метода.

Особенности измерений сдвига фаз сигналов для определения фазы коэффициента

При выполнении локационных измерений наиболее важными характеристиками обычно считают точность получаемых оценок определяемой величины и разрешающую способность. Пространственная разрешающая способность локационных средств координатно делится на продольную и поперечную. Анализ, проведенный для амплитудных методов[5], показал, что в большинстве практических случаев поперечная разрешающая способность определяется эффективной шириной луча. По этому, для методов определения фазы коэффициента отражения, в первую очередь, интересен вопрос продольной разрешающей способности. Исходить надо из того, что минимальная длительность импульса ограничивается возможностями внутриимпульсной обработки сигнала. Для этих целей наиболее подходящими являются фазометры с прямым преобразованием измеряемого фазового сдвига в цифровой код [1].

Применение этих фазометров, где фазовые сдвиги преобразуются в постоянное напряжение, обуславливаются тем, что они могут использоваться в импульсном режиме работы и получаемое постоянное напряжение может легко в необходимое число раз(в соответствии с формулой (5)) быть умножено и вычтено из другого напряжения, что позволит в результате определять фазу коэффициента отражения. Недостатком таких фазометров является (в сравнении с время-импульсным преобразованием) преобразование цифрового кода в постоянное напряжение, что является источником дополнительной погрешности и ограничивает возможности точности измерения измерений.

Представляется целесообразным использовать цифровые фазометры с измерением за один период.

В основе этого типа лежит измерение интервала времени между переходами исследуемых напряжений через ноль с последующим или одновременным определением фазового сдвига между этими напряжениями.

Если период исследуемого напряжения равен T , а частота квантующих импульсов равна f , на счетчик импульсов получит за одно измерение :

$$N = \frac{\varphi T f}{2\pi} = \tau f \text{ импульсов.}$$

Результат измерений может быть определен как:

$$\psi = N \frac{2\pi}{Tf} = N \cdot 2\pi \frac{F}{f}.$$

Для того, чтобы определить измеряемый фазовый сдвиг, нужно знать точное значение частоты F , что усложняет проведение измерений.

Следует отметить, что в случае возникновения погрешности измерений ψ из-за измерения частоты F за счет влияния эффекта Доплера, такая погрешность на результате определения фазы коэффициента отражения не скажется [1].

Максимальная погрешность измерения временного интервала равна одному периоду квантующих импульсов:

$$\Delta\tau = \frac{1}{f},$$

что соответствует погрешности измерения фазового сдвига:

$$\Delta\psi = 2\pi \frac{\Delta\tau}{T} = 2\pi \frac{F}{f}.$$

Максимальная частота исследуемого процесса, на который погрешность измерения вследствие дискретности преобразования не превысит заданной величины $\Delta\psi$.

$$F_{\max} \leq \Delta\psi \cdot \frac{f}{2\pi}.$$

Например: пусть производится определение азы коэффициента отражения на частотах $f_1 = 72 \text{ кГц}$ и $f_2 = 80 \text{ кГц}$, при погрешности фазометров равной $\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi_2 = 0,1^\circ$. По большей из частот, то есть по частоте f_2 определим необходимую частоту квантования:

$$f_k \geq \frac{f_2 \cdot 360^\circ}{\Delta\psi} = \frac{80 \cdot 10^3 \cdot 360^\circ}{0,1^\circ} = 288 \times 10^5 \text{ Гц} = 28,8 \text{ МГц}.$$

Методическая погрешность определения фазы коэффициента отражения при этом, в соответствии с формулой (5) составит:

$$\Delta\varphi_4 = \pm 0,1^\circ \left(\frac{72 + 80}{80 - 72} \right) = 1,9^\circ$$

Выводы

Таким образом из рассмотренных соображений следует, что в общем случае, погрешность фазовых измерений сказывается на результате определения фазы коэффициента отражения. Приведенные соотношения позволяют оценить необходимую точность отдельных фазометров для необходимой точности определения фазы коэффициента отражения.

Список литературных источников

1. Домарский В.Й., Пилецкас Э.Л. Ультразвуковая эхоскопия. –Л.: Машиностроение. – 1988.-276с.
2. Квасников В.П., Овчаров Ю.В. Ультразвуковой метод дистанционного контроля сред. Вісник Інженерної академії України. – №3-4. – 2007. –с 143-148.
3. Квасников В.П., Овчаров Ю.В. Анализ методической погрешности двухчастотного метода определения фазы коэффициента отражения. Вісник Інженерної академії України № 1,2010. –с. 243-247.
4. Квасников В.П., Овчаров Ю.В. Дистанционное определение фазы коэффициента отражение методами отраженных сигналов. Вісник Інженерної академії України № 2, 2009. – с.132-136.
5. Смирнов П.Т. Цифровые фазометры. –Л. Энергия. 1974. – 144с.