

УДК 681

<sup>1</sup>В.П. Квасников, д.т.н.

<sup>2</sup>Ю.В. Овчаров, к.т.н.

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПРИ ДИСТАНЦИОННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ФАЗЫ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ

<sup>1</sup>Национальный авиационный университет

<sup>2</sup>ООО «Торрус»

*Проанализированы методы обеспечения разрешающей способности при дистанционном определении фазы коэффициента отражения, рассмотрен двухчастотный метод с последовательным зондированием, предложена стабилизация измерительного интервала с помощью биений.*

**Ключевые слова:** зондирование, биения, коэффициент отражения, эхолокация, разрешающая способность, двухчастотный метод, амплитудно-модулированный сигнал.

### Введение

Анализ работоспособности методов дистанционного определения фазы коэффициента отражения показал принципиальную возможность реализации таких измерений. Вместе с тем практическая ценность того или иного метода зависит от точности полученных результатов. Наиболее важными характеристиками, при выполнении локационных измерений, обычно считают точность и разрешающую способность. Поэтому в данной работе будут рассмотрены некоторые подходы к обеспечению предельной разрешающей способности при измерении фазы коэффициента отражения.

### Анализ последних исследований и публикаций

Разрешающая способность определяется длительностью зондирующего импульса, а минимальная длительность импульса ограничивается возможностями внутренней обработки сигналов, т.е. длительность импульса должна быть достаточной для определения сдвигов фаз отраженных сигналов относительно опорных или достаточной для преобразования частотных составляющих сигнала с последующим сравнением сдвигов фаз преобразованных колебаний.

Методы с амплитудно-модулированными сигналами и сигналами в форме биений, в этом смысле, имеют одинаковые возможности. Поэтому основные замечания рассмотрим применительно к амплитудно-модулированным сигналам, как более общим. При устранении неоднозначности выбором модулирующей частоты из условия, когда период огибающей больше времени распространения сигнала [2], метод с амплитудно-модулированными сигналами для работы в импульсном режиме рассматриваться не может, так как произвести выделение огибающей отраженного сигнала на интервале времени, меньше половины периода этого колебания, технически затруднительно. При устранении неоднозначности определения фазы коэффициента отражения допускает использование импульсного режима работы способ с выбором когерентных сигналов кратных частот [1-3].

### Постановка задач

Проанализированы методы обеспечения разрешающей способности при дистанционном определении фазы коэффициента отражения.

### Решение задачи

Для амплитудно-модулированных сигналов, минимальная длительность определяется необходимым числом периодов модулирующей частоты  $F$ . Отметим, что при рассмотрении работы метода были приведены выражения для непрерывного амплитудно-модулированного сигнала. При сокращении длительности сигнала (из непрерывного к конечной длительности) происходит соответствующее расширение спектра, а используемые для получения информации спектральные составляющие  $(f - F)$ ,  $f$ ,  $(f + F)$  сохраняются и внутри импульса могут рассматриваться как непрерывные. Из этих составляющих отдельно выделяется огибающая с частотой  $F$  и несущее колебание, по которым и определяется значение  $\varphi$  [3].

Этот метод допускает определенное продольное разрешение, но возможность его по этому параметру ограничена. Связано это прежде всего с низкочастотной огибающей, для выделения которой необходимо увеличивать длительность зондирующего сигнала до нескольких периодов огибающей. При измерениях необходимо, чтобы частота модулирующего сигнала была в 8-10 раз ниже несущего сигнала, а возможная минимальная длительность зондирующего сигнала должна составлять десятки периодов несущего колебания.

К аналогичному выводу перейдем при рассмотрении двухчастотного метода с близкими частотами, когда определение  $\varphi$  производится путем преобразования частот  $f_1$  и  $f_2$  в колебания суммарной  $(f_1 + f_2)$  и разности  $(f_2 - f_1)$  частот. При близких частотах  $f_1$  и  $f_2$  разница  $(f_2 - f_1)$ , в сравнении с каждой из частот, является гораздо более низкочастотной, что приведет, в результате, к использованию протяженных импульсов. При применении опорных сигналов, длительность импульсов сократить невозможно, так как для определения значений сдвигов фаз отраженных сигналов относительно опорных необходимо разделение частот  $f_1$  и  $f_2$ , что потребует определенной протяженности импульса.

Использование двухчастотного метода с кратными частотами позволяет уменьшить длительность зондирующего сигнала, за счет того, что разница между частотами может составлять 2-3 раза и поэтому минимальная длительность определяется только количеством периодов низшей из частот, которое необходимо для приема и обработки отраженного сигнала. Так как разница между используемыми частотами довольно значительна, то для разделения сигналов могут использоваться широкополосные тракты, обеспечивающие сокращение времени прохождения сигналов.

Современные методы эхолокации обеспечивают высокое продольное разрешение путем использования сигналов минимальной длительности. Эти системы используют измерения амплитуд и моментов прихода отраженных сигналов.

Потенциально, продольная разрешающая способность определяется шириной спектра излучаемых и принимаемых сигналов. При использовании сигналов минимальной длительности, в пределах нескольких периодов основного колебания, и близких частот, задача одновременного разделения составляющих  $f_1$  и  $f_2$  и последующей их обработки, решена быть не может. Метод с опорными сигналами позволяет осуществить последовательный режим зондирования, который представлен сигналами на рис. 1.

Излучение и прием зондирующих импульсов может осуществляться через одну и ту же приемоизлучающую систему. Время отстояния  $t_{отст}$  импульса с периодом  $T_1$  от импульса с периодом  $T_2$  выбирается исходя из возможностей акустического тракта и глубины зондирования. В случае необходимости достижения минимальной мертвой зоны, возможен вариант зондирования с выбором времени отстояния больше чем время распространения импульса до отраженного объекта и обратно.

Первый вариант: излучается импульс с периодом колебания  $T_1$ , затем импульс с периодом колебания  $T_2$ . Время отстояния импульса от импульса определяется длительностью самих импульсов и временем необходимым для прекращения колебаний после излучения импульса. Отраженные импульсы принимаются в той же последовательности и сравниваются, также последовательно, с соответствующими опорными сигналами  $u_{1on}(t)$  и  $u_{2on}(t)$ . Фазовые сдвиги  $\psi_1$  и  $\psi_2$  определяются временным интервалом  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$  соответственно, между переходами через ноль отраженных и опорных сигналов. В результате измеряются два временных интервала, откуда определяются значения  $\psi_1 = \Delta t_1 \frac{2\pi}{T_1}$  и  $\psi_2 = \Delta t_2 \frac{2\pi}{T_2}$ .

Измерение значений  $\psi_1$  и  $\psi_2$  не позволяет сделать вывод о фазе  $\varphi$ , поэтому этот метод реализуем только лишь при условии, что будет предусмотрена возможность записи значений  $\psi_1$  и  $\psi_2$  в память, а затем произведено определение  $\varphi$  в соответствии с формулой.

$$\varphi = \psi_1 \frac{f_2}{f_2 - f_1} - \psi_2 \frac{f_1}{f_2 - f_1} - 2\pi \left( \left[ \frac{\psi_1 f_2}{2\pi(f_2 - f_1)} \right] - \left[ \frac{\psi_2 f_1}{2\pi(f_2 - f_1)} \right] \right) \quad (1)$$

Второй вариант отличается от первого тем, что время отстояния импульса от импульса выбирается большим, чем протяженность зондирующей среды, т.е. первый импульс должен пройти контролируемую среду и вернуться в измерительный тракт, после чего может быть излучен второй импульс. В этом случае значения  $\psi_1$  и  $\psi_2$  также должны быть сначала запомнены, а потом подвержены обработке в соответствии с формулой (1).

Достоинством этих двух вариантов является то, что они позволяют использовать один и тот же акустический тракт для определения  $\varphi$  и, тем самым, добавить к известным амплитудным оценкам отражающих свойств объектов еще и фазовую оценку. Кроме этого, значение  $\varphi$  может использоваться для повышения точности измерения расстояния до отражающего объекта [1].

Недостаток такого способа зондирования заключается, прежде всего в том, что отражение сигналов происходит в различные моменты времени. Это делает условия отражения неодинаковыми, а следовательно приводит к погрешностям. Максимальное уменьшение времени отстояния  $t_{отс}$  импульсов уменьшает влияние изменения условий отражения. В этом случае первый вариант более предпочтителен.

Метод может быть реализован следующим образом (рис.1.). Отраженные импульсы  $u_{1omp}(t)$  и  $u_{2omp}(t)$ , принятые акустическим преобразователем и преобразованные в электрические сигналы, подаются на амплитудный детектор и формирователь уровня. Амплитудный детектор должен обеспечивать формирование амплитудной огибающей  $u_M(t)$  импульса.

Формирователь уровня обеспечивает усиление отраженного сигнала до постоянного уровня с преобразованием его в последовательность прямоугольных импульсов  $u'_{1omp}$  или  $u'_{2omp}$ , которые подаются на соответствующие входы фазометров. На вторые входы этих фазометров подаются, соответственно, непрерывные последовательности опорных сигналов  $u_{1on}(t)$  и  $u_{2on}(t)$ .

Работа фазометров должна осуществляться также в импульсном режиме, а измерение ведут на одном интервале, пропорциональном фазовому сдвигу двух колебаний. С этой целью, амплитудная огибающая импульса сравнивается с пороговым напряжением  $u_{II}$ , после превышения которого вырабатывается интервал  $u_u$ , разрешающий проведение измерения  $\psi$ .

Временное расположение измерительного интервала  $\Delta t$  определяется положением переднего фронта импульса (переднего фронта  $u_u$ ) и точками перехода через ноль импульсов отраженных и опорных сигналов.

Для исключения влияния погрешности за счет возможных измерений  $\Delta t$  по разным периодам колебаний, возможно, после срабатывания порогового элемента, запустить счетчик импульсов с заданным числом счета (1,2,...,n), который обеспечит отсчет полупериодов (в том числе и неполных, так как первый полупериод, при срабатывании порогового элемента, будет укорочен) и выдаст импульс  $u_{сч}$  для срабатывания фазометра.

Фазометр определит  $\psi_1$  и  $\psi_2$ . Работа счетчика должна быть построена так, чтобы на интервале длительности отраженного сигнала не выполнялся повторный счет, т.е. отсчитывал заданное число полупериодов, счетчик должен остановиться и больше не срабатывать в течении длительности этого отраженного сигнала. В противном случае может произойти повторный счет и повторное срабатывание фазометров.

Для стабилизации временного положения измерительного интервала  $\Delta t$  в отраженном сигнале, необходимы меры для обеспечения постоянных значений  $u_M$  или  $U_1$ . Поддерживаем постоянную амплитуду  $u_1$  первого периода колебаний в импульсе.

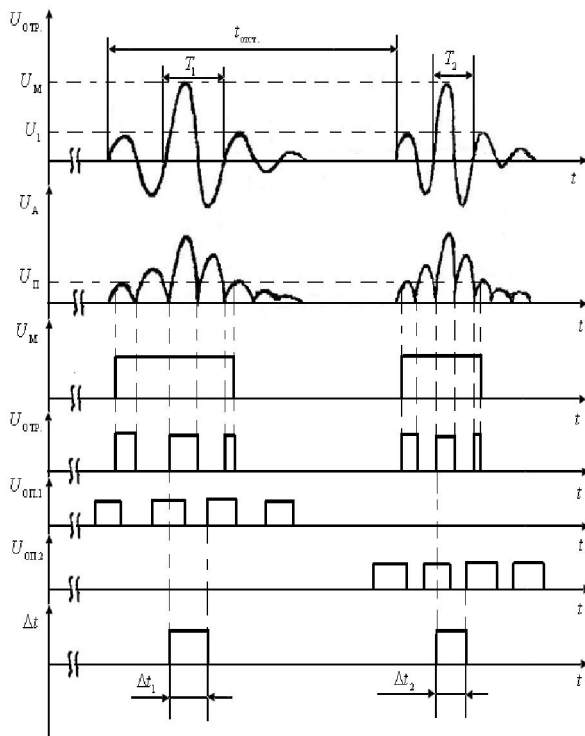


Рис. 1. Реализация двухчастотного метода с последовательным зондированием

В случае использования двухчастотных сигналов с длительностью импульса в несколько периодов разностной частоты ( $f_2 - f_1$ ) (или с амплитудно-модулированными сигналами), обеспечение стабилизации временного положения  $\Delta t$  может быть решено несколько проще (см.рис.2).

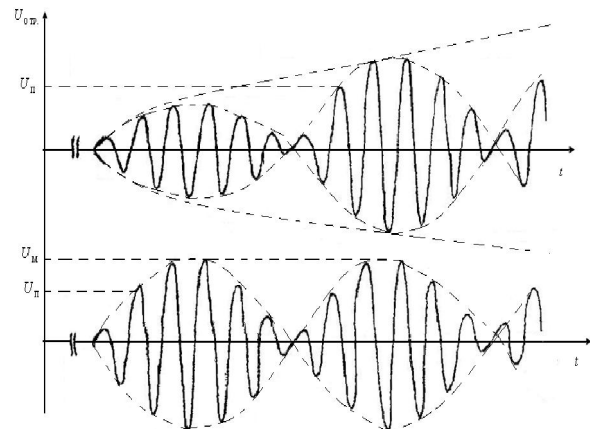


Рис. 2.2. Стабилизация измерительного интервала с помощью биений

Принятый отраженный сигнал  $u_{отр}(t)$  разделяется на составляющие  $f_1$  и  $f_2$ . Разделенные сигналы усиливаются усилителем с АРУ до фиксированного уровня  $u_M$  и суммируются. Образуется сигнал в форме биений двух частот со стабилизированной максимальной амплитудой. Задавая пороговый уровень  $u_П$  легко определить наличие сигнала в течении первого полупериода разностной частоты. Дальнейший отсчет положения временного интервала  $\Delta t$  может быть выполнен аналогично предыдущему случаю, но использовать при этом необходимую разностную частоту ( $f_2 - f_1$ ).

### Выводы

Проанализированы методы, которые позволяют обеспечить разрешающую способность при дистанционном определении фазы коэффициента отражения. Обосновано влияние погрешности за счет возможных измерений  $\Delta t$  по разным периодам колебаний. Рассмотрен подход, который мог бы, без разработки принципиально новых инструментальных средств обеспечить измерение еще одного параметра – фазы коэффициента отражения.

### Список литературных источников

1. Квасников В.П. Ультразвуковой метод дистанционного контроля сред / В.П. Квасников, Ю.В. Овчаров // Вісник Інженерної академії України. – 2007. – №3-4. – С. 143-148.
2. Квасников В.П. Методы дистанционного определения фазы коэффициента отражения / В.П. Квасников, Ю.В. Овчаров // Вісник Інженерної академії України. – 2009. – № 1. – С.82-84.
3. Квасников В.П. Дистанционное определение фазы коэффициента отражения методами отраженных сигналов / В.П. Квасников, Ю.В. Овчаров // Інженерної академії України. – 2009. – № 2. – С. 132-136.