

УДК 681

¹В.П. Квасников, д.т.н.
²Ю.В. Овчаров

АНАЛИЗ РАБОТОСПОСОБНОСТИ МЕТОДОВ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАЗЫ КОЭФФИЦИЕНТА ОТРАЖЕНИЯ ПРИ НЕОДНОРОДНОСТИ СРЕДЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛОВ

¹Национальный авиационный университет, г. Киев, e-mail: kvp@nau.edu.ua

²ООО «Торрус», г. Черкассы

В работе проанализированы методы дистанционного определения фазы коэффициента отражения. Показано, что дополнительные фазовые сдвиги, возникающие при дистанционном распространении на отдельных частотных составляющих зондирующего сигнала, компенсируются при определении фазы коэффициента отражения.

Ключевые слова: фаза коэффициента отражения, дистанционное определение, многочастотные методы, локация.

Введение

Проведенный ранее анализ работоспособности многочастотных методов дистанционного определения фазы коэффициента отражения был выполнен для условия, когда среда между антенной и отражающим объектом была однородной [1].

В реальных условиях локации объектов естественно допустить, что свойства среды, в которой распространяются зондирующие сигналы, изменяются вдоль направления распространения. При этом полагаем, что изменения на расстоянии длины волны незначительные и можем представить неоднородную среду распространения сигналов, из однородных соприкасающихся слоев с постоянными импедансами $Z = \rho c$.

Постановка задачи

Провести анализ работоспособности многочастотных методов дистанционного определения фазы коэффициента отражения при условии, когда среда между антенной и отражающим объектом однородная.

Решение задачи

Результат влияния неоднородности среды рассмотрим на одном слое.

1. Влияние неоднородности среды для двухчастотного метода с опорными сигналами.

Рассмотрение продолжим исходя из того, что отраженные сигналы могут быть представлены в следующем виде [3]:

$$u_{1omp}(t) = U_{M1} \cos\left(2\pi f_1 \left(t - 2\frac{R - \Delta r}{c}\right) - 2\pi f_1 2\frac{\Delta r}{c_1} - \varphi\right);$$
$$u_{2omp}(t) = U_{M2} \cos\left(2\pi f_2 \left(t - 2\frac{R - \Delta r}{c}\right) - 2\pi f_2 2\frac{\Delta r}{c_1} - \varphi\right),$$

где Δr - толщина слоя с отличающимся импедансом $Z_1 = \rho_1 c_1$; c - скорость распространения сигналов в среде; c_1 - скорость распространения сигналов в слое Δr ; f_1 и f_2 - выбранные рабочие частоты; R - расстояние от антенны до отражающего объекта.

Считаем, что толщина Δr выбрана такой, что импедансы Z и Z_1 граничащих слоев, отличаются незначительно, поэтому, отражением можем пренебречь и рассмотрим только прошедшую волну.

Сравнив по фазе отраженные сигналы с соответствующими опорными определим сдвиги фаз Ψ_1 и Ψ_2 :

$$\Psi_1 = 2\pi f_1 2\frac{R - \Delta r}{c} + 2\pi f_1 \frac{2\Delta r}{c_1} + \varphi - 2\pi n_1; \quad \Psi_2 = 2\pi f_2 2\frac{R - \Delta r}{c} + 2\pi f_2 \frac{2\Delta r}{c_1} + \varphi - 2\pi n_2;$$

где n_1 и n_2 - целые числа равные числу периодов колебаний с частотами f_1 и f_2

соответственно укладываемых во временном интервале необходимом для распространения сигнала до отражающего объекта и обратно.

Используя двухчастотный метод с близкими частотами [2] можем определить фазу коэффициента отражения в виде:

$$\varphi = \Psi_1 \frac{f_2}{f_2 - f_1} - \Psi_2 \frac{f_1}{f_2 - f_1} - 2\pi \left(\left[\frac{\Psi_1 f_2}{2\pi(f_2 - f_1)} \right] - \left[\frac{\Psi_2 f_1}{2\pi(f_2 - f_1)} \right] \right) - 2\pi \Delta r \frac{f_2 \times f_1 - f_1 \times f_2}{c_1(f_2 - f_1)}.$$

Из последнего выражения следует, что, влияние слоя не сказывается на результате определения φ , т.к. $(f_2 f_1 - f_1 f_2) = 0$. Очевидно, что при прохождении сигналом ряда таких слоев, влияние каждого из них будет компенсировано и результат определения φ от неоднородности среды не зависит. Вместе с тем, подобные допущения справедливы в том случае, когда сигналы с частотами f_1 и f_2 проходят одинаковое расстояние в одном направлении и одновременно. Последнее замечание имеет значение при технической реализации метода и предполагает определенные требования к режиму работы и используемой антенне.

2. Влияние неоднородности среды для методов с амплитудно-модулированными сигналами и сигналами в форме биений.

Для методов с амплитудно-модулированными сигналами и сигналами в форме биений, представим неоднородную среду аналогичным образом. В этом случае отраженный сигнал будет описываться следующими выражениями:

а) огибающая $U_{omp}(t) = U_M M \cos \left(2\pi F \left(t - 2 \frac{R - \Delta r}{c} \right) - 2\pi F 2 \frac{\Delta r}{c_1} \right)$, где M – коэффициент модуляции; F – частота модулирующего колебания;

б) несущее колебание $u_{omp}(t) = u_m \cos \left(2\pi f \left(t - 2 \frac{R - \Delta r}{c} \right) - 2\pi f 2 \frac{\Delta r}{c_1} - \varphi \right)$, где f – несущая частота.

Представим значение сдвигов фаз модулирующего γ и несущего ψ отраженных сигналов относительно опорных в виде:

$$\gamma = 2\pi F \cdot 2 \frac{R - \Delta r}{c} + 2\pi F \frac{2\Delta r}{c_1} - 2\pi n_3; \quad (1)$$

$$\psi = 2\pi f \cdot 2 \frac{R - \Delta r}{c} + 2\pi f \frac{2\Delta r}{c_1} + \varphi - 2\pi n_4, \quad (2)$$

где n_3 и n_4 – целые числа.

Выразив из выражения (1) значение R и подставив его в выражение (2) определим фазу коэффициента отражения:

$$\varphi = \psi - \gamma \frac{f}{F} + 2\pi \left[\frac{\gamma f}{2\pi F} \right], \quad (3)$$

где $[]$ – обозначена целая часть числа.

Слагаемое $2\pi \left[\frac{\gamma f}{2\pi F} \right]$ берется со знаком «плюс», так как углы γ и ψ измеряются в интервале $(0 \div 2\pi)$, следовательно произведение $\gamma \frac{f}{F}$ может принимать значение превышающее 2π . В результате разность $\psi - \gamma \frac{f}{F}$ может принимать отрицательные значения, а поэтому, необходимо прибавлять целое значение периодов 2π .

Подставив значения ψ и φ в формулу (3) приходим к выводу, что влияние неоднородного слоя Δr на результат определения фазы коэффициента отражения не сказывается и компенсируется тем, что слагаемые равны нулю [5, 6]:

$$2\pi f \frac{2\Delta r}{c_1} - 2\pi F \frac{f}{F} \frac{2\Delta r}{c_1} = 0 \quad \text{и} \quad 2\pi f \cdot 2 \frac{R - \Delta r}{c} - 2\pi F \frac{f}{F} \cdot 2 \frac{R - \Delta r}{c} = 0.$$

Для методов с сигналами в форме биений представив неоднородную среду аналогичным образом придем к выводу, что ее влияние на результате определения φ не проявляется.

3. Влияние неоднородности среды для методов без использования опорных сигналов

В случае определения фазы коэффициента отражения без использования опорных сигналов, путем формирования суммированного $u_c(t)$ и разностного $u_p(t)$ колебаний, из отражаемых сигналов $u_{1отр}(t)$ и $u_{2отр}(t)$ получим

$$u_c(t) = 1 \cos \left(2\pi(f_1 + f_2) \left(t - 2 \frac{R - \Delta r}{c} \right) - 2\pi(f_1 + f_2) \frac{2\Delta r}{c_1} - 2\varphi \right);$$

$$u_p(t) = 1 \cos \left(2\pi(f_2 - f_1) \left(t - 2 \frac{R - \Delta r}{c} \right) - 2\pi(f_2 - f_1) \frac{2\Delta r}{c_1} \right).$$

Дальнейшее преобразование частоты, например разностной $(f_2 - f_1)$ к суммарной $(f_1 + f_2)$, формирует преобразованное колебание

$$u_{np}(t) = 1 \cos \left(2\pi(f_1 + f_2) \left(t - 2 \frac{R - \Delta r}{c} \right) - 2\pi(f_1 + f_2) \frac{2\Delta r}{c_1} \right).$$

После сравнения $u_{np}(t)$ и $u_c(t)$ приходим к выводу, что в этом случае слой с толщиной Δr и скоростью распространения сигналов c_1 на результат определения φ влияния не оказывает.

Другие возможные преобразования частот f_1 и f_2 рассмотренные в работе [4] также исключают влияние неоднородности среды распространения сигналов.

Выводы

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что многочастотный метод дистанционного определения фазы коэффициента отражения работоспособны в условиях неоднородной среды распространения сигналов. Работоспособность методов в таких условиях обусловлена тем, что сигналы на отдельных частотах проходят одновременно в одном направлении одинаковые расстояния.

Дополнительные фазовые сдвиги, возникающие при таком распространении на отдельных частотных составляющих зондирующего сигнала, компенсируются друг другом при окончательном определении фазы коэффициента отражения. Это обстоятельство дает возможность утверждать, что рассмотренные методы дистанционного определения фазы коэффициента отражения не имеют методической погрешности вносимой неоднородностью среды распространения зондирующих сигналов.

Список литературных источников

- 1) Бреховских Л.М. Волны в слоистых средах. Из-во АН СССР, 1957.
- 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. Методы дистанционного определения фазы коэффициента отражения. Вісник інженерної академії України.-№ 1, 2009. –с. 82-84.
- 4) Овчаров Ю.В., Квасников В.П. Дистанционное определения фазы коэффициента отражения методами отраженных сигналов. Вісник інженерної академії України.-№ 2, 2009. –с. 132-136.
- 5) Квасников В.П., Овчаров Ю.В. Методические погрешности определения фазы коэффициента отражения при частотной зависимости. Вісник інженерної академії України.-№ 3-4, 2009. –с.236-239.
- 6) Квасников В.П., Овчаров Ю.В. Анализ методических погрешностей двухчастотного метода определения фазы коэффициента отражения. Вісник інженерної академії України.-№ 1, 2010. –с. 243-247.