

РАСЧЕТ ФОРМЫ ОТРАЖЕННОГО СИГНАЛА ОТ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЗОНДИРОВАНИИ ИССЛЕДУЕМОГО ПРОСТРАНСТВА

Шевченко И. Н.,

научный руководитель д-р техн. наук Панько С.П.

Сибирский федеральный университет

Радиотехнические методы определения внутренней структуры объектов находят применение в технике поиска скрытых объектов, полезных ископаемых, при проведении исследований внутренних органов и тканей методами ультразвуковых исследований и оптико-акустической томографии, при технологическом контроле качества слоистых покрытий, при обследовании дорожного полотна, ледников, водоемов и т.д.

Любую исследуемую цель сложной формы находящуюся в подповерхностном пространстве можно представить дискретным множеством точечных объектов [1]. Для этого, прежде всего, необходимо задаться условием, при выполнении которого объект является точечным. Данное условие возникает исходя из соотношения длительности зондирующего импульса и времени распространения падающей волны вдоль рассеивающего объекта, т.е. отношения размера объекта вдоль направления облучения к скорости распространения сигнала в среде

$$\frac{\tau}{\tau_0} \geq 1, \quad (1)$$

где τ – длительность импульса, τ_0 - время распространения падающей волны вдоль рассеивающего объекта.

Для начала рассмотрим зондирование подповерхностного пространства содержащего отражающий точечный объект импульсом $U(t)$ при различных соотношениях условия (1). Пусть зондируемое пространство идеально, т.е. не обладает затуханием и дисперсией, и крайнее положение точечного объекта расположено перпендикулярно приемо-передающей антенне (ППА) находящейся на поверхности этого пространства. Ниже приведены результаты моделирования отраженных сигналов $S(t)$ при зондировании пространства видеоимпульсом (рис. 1) и радиоимпульсом (рис. 2) содержащим один период синусоиды при следующих данных: $\tau = 1$ мкс, глубина залегания объекта $Z_{ц} = 0,1$ м, скорость распространения зондирующего сигнала $V = 1500$ м/с.

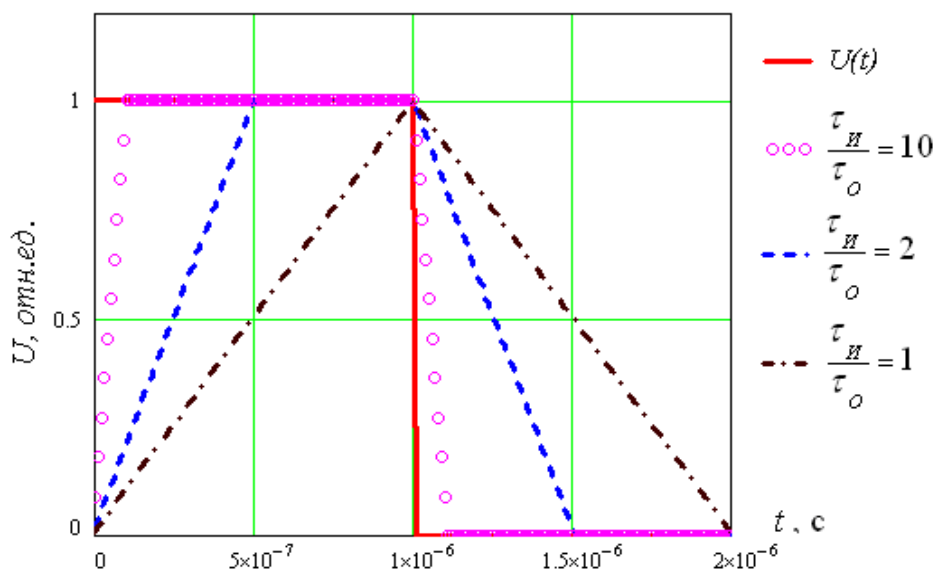


Рис. 1. Отраженные сигналы от точечного объекта при зондировании видеоимпульсом

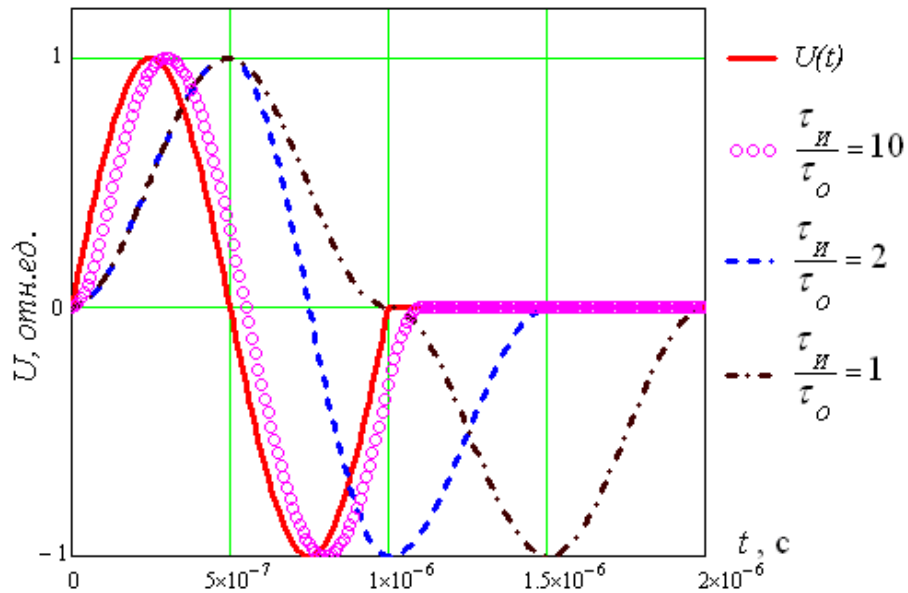


Рис. 2. Отраженные сигналы от точечного объекта при зондировании радиоимпульсом, содержащим один период синусоиды

Рис. 1 и 2 получены путем представления точечного объекта множеством элементов N , время распространения падающей волны вдоль которых много меньше длительности излученного импульса, и суммированием отраженных импульсов от каждого элемента точечного объекта, повторяющих форму зондирующих, разнесенных относительно друг друга по времени

$$S(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{n=1}^N P_n(t) = \int_0^{\tau_e + \tau_{cN}} S_n(t) dt, \quad (2)$$

$P_n(t)$ – отраженный сигнал повторяющий зондирующий импульс от n -го элемента на интервале времени $\tau_{\varphi n} < t \leq \tau_e + \tau_{\varphi n}$, τ_{3n} – задержка между принятым отраженным сигналом от элемента объекта расположенного перпендикулярно ППА и принятым отраженным сигналом от n -го элемента

$$\tau_{\varphi n} = 2 \frac{\sqrt{Z_0^2 + ((n-1)\Delta d)^2} - \sqrt{Z_0^2}}{V}, \quad (3)$$

где Δd – расстояние между соседними элементами объекта. Амплитуды отраженных сигналов нормированы по своему максимальному амплитудному значению.

По смоделированным сигналам видно, что чем больше соотношение (1), тем форма отраженного импульса ближе к форме зондирующего. При зондировании пространства видеоимпульсом с длительностью равной времени распространения падающей волны вдоль отражающего точечного объекта, отраженный импульс имеет форму треугольника с длительностью равной двум длительностям зондирующего видеоимпульса (рис. 1). При зондировании пространства радиоимпульсом с одним периодом синусоиды и при таких же временных соотношениях длительности зондирующего импульса и времени распространения падающей волны вдоль отражающего объекта, длительность отраженного импульса, как и в случае зондирования видеоимпульсом, в два раза больше длительности зондирующего, а форму отраженного сигнала уже нельзя назвать синусоидальной. Форма такого импульса состоит из двух осесимметричных колоколообразных импульсов. Длительность одного колоколообразного импульса со-

ответственно равна времени распространения падающей волны вдоль отражающего точечного объекта.

Далее перейдем к рассмотрению линейного подповерхностного объекта. В качестве такого объекта рассмотрим протяженную плоскую металлическую пластину (рис. 3) длиной L_{Π} и шириной D_{Π} , условно разбитую на нечетное количество N элементов, время распространения падающей волны вдоль которых много меньше длительности излученного импульса, и при условии что время распространения падающей волны вдоль ширины пластины так же удовлетворяет данному условию.

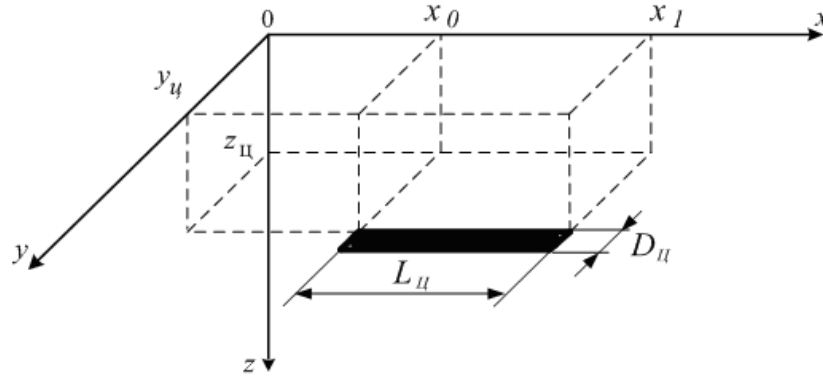


Рис. 3. Расположение пластины в подповерхностном пространстве

Пусть ППА расположена перпендикулярно началу (концу) пластины. Зондирующий импульс начнет последовательно отражаться от первого до N -го элемента. На рис. 4 и 5 представлены смоделированные в среде Mathcad принятые ППА сигналы $S(t)$ на фоне зондирующих импульсов $U(t)$. Как и в предыдущих случаях, пространство зондируется видеоимпульсом и радиоимпульсом, содержащим один период синусоиды. Исходные данные для моделирования: $\tau_{\Pi} = 1$ мкс; $L_{\Pi} = 0,01$ м; $Z_{\Pi} = 0,01$ м; $V = 1500$ м/с; $\tau_{\Pi}/\tau_{\Theta} = 100$, где τ_{Θ} - время распространения падающей волны вдоль одного элемента. Амплитуды отраженных сигналов нормированы по их максимальному амплитудному значению.

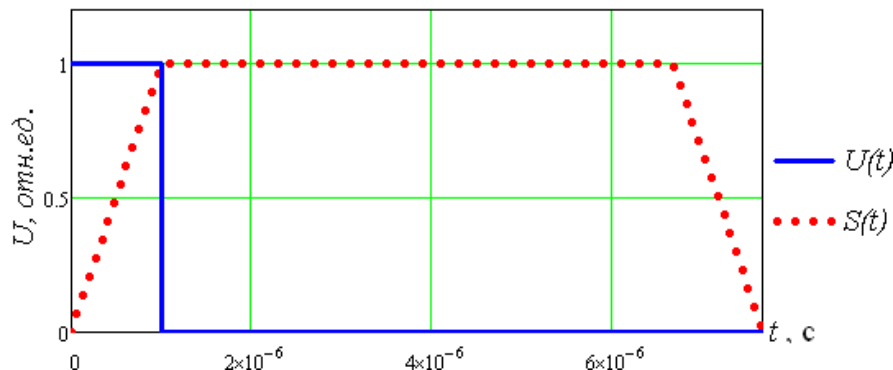


Рис. 4. Зондирующий видеоимпульс и принятый отраженный импульс от пластины

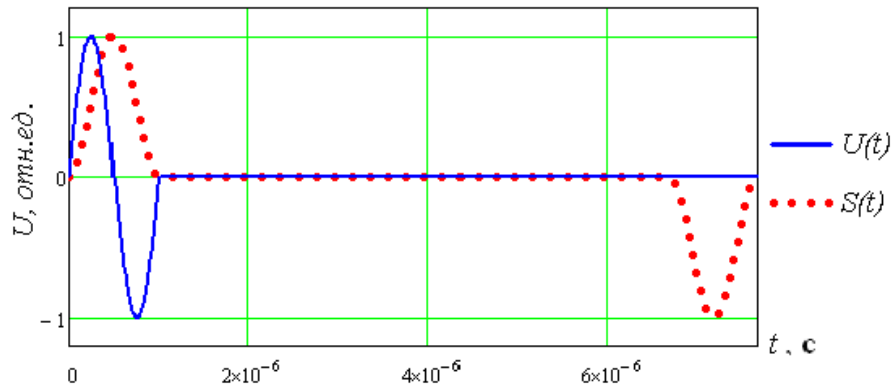


Рис. 5. Зондирующий радиоимпульс и принятый отраженный импульс от пластины

Как видно по рис. 4, фронт и срез отраженного сигнала имеют одинаковую длительность, равную длительности зондирующего сигнала. Полученная такая форма принятого отраженного сигнала на физическом уровне объясняется тем, что зондирующий импульс последовательно отражается от первого до N -го элемента. В течение времени τ_n происходит нарастающее пространственное сложение элементарных отраженных видеоимпульсов от соседних точечных элементов. Затем, когда заканчивается прием отраженного сигнала от первого элемента, еще продолжается прием от других элементов, которые уже отражают и начинается прием от нового следующего элемента и т.д. В результате амплитуда принимаемого сигнала сохраняется постоянной, пока не начнется ситуация, когда временная протяженность оставшихся отражающих элементов до края пластины не станет меньше длительности зондирующего импульса.

Из рис. 5 видно, что при использовании в качестве зондирующего сигнала радиоимпульса с одним периодом синусоиды, форма отраженного сигнала имеет два колоколообразных импульса разнесенных по времени, первый принятый из которых имеет положительную полярность, второй отрицательную. Длительности этих колоколообразных импульсов равны длительности зондирующего радиоимпульса. Соответственно максимум положительного импульса по оси времени относительно начала координат находится в точке с длительностью равной половине длительности зондирующего радиоимпульса (половине периода синусоиды). Такая форма отраженного сигнала объясняется тем, что на интервале времени от начала регистрирования данного сигнала до $\tau_M/2$ происходит суммирование положительной полуволны синусоиды, отраженной от первого элемента пластины с такими же полуволнами смещенными относительно ее на задержку, определяемую формулой (3), за счет чего на оговоренном интервале времени происходит нарастание сигнала. Далее от первого отражающего элемента начинает отражаться отрицательная полуволна зондирующего сигнала, которая суммируется с отраженными от последующих элементов положительными полуволнами, которые последовательно с задержкой (3) начинают так же сменяться отрицательными. В итоге на интервале времени от $\tau_M/2$ до τ_M происходит спад сигнала. Затем возникает такая ситуация, что смещенные относительно друг друга радиоимпульсы начинают подавлять друг друга (максимум одной смещенной синусоиды по времени приходится на минимум другой), пока не начнется ситуация, когда временная протяженность оставшихся отражающих элементов до края пластины не станет меньше длительности зондирующего импульса. В результате на интервале времени от τ_{3N} до $\tau_{3N} + \tau_M$ будет сформирован отрицательный колоколообразный импульс. Колоколообразная форма положительного и отрицательного импульсов получается вследствие того, что синусоида в разных точках имеет различную крутизну, т.е. в течение длительности от начала отраженного сигнала до $\tau_M/2$ суммируются отраженные положительные полуволны радиоимпульсов сдвинутые относительно друг друга по времени, а следовательно каждая из них в оди-

наковый момент времени имеет свою крутизну, отличную от крутизны другой. Аналогичен процесс и на участке времени от $\tau_{II}/2$ до τ_{II} .

Определение характеристик объекта по отраженному сигналу в отсутствие априорных сведений об этом объекте возможно лишь при наложении ограничений по типу и параметрам объектов поиска. Рассчитав отраженные сигналы для моделей объектов, требующих распознавания, можно установить затем соответствие или несоответствие принятого сигнала какому-либо из рассчитанных.

Список литературы

1. Штагер, Е.А. Рассеяние радиоволн на телах сложной формы / Е.А. Штагер – М.: Радио и связь, 1986. – 184 с. ил.