



Основы использования GPRSim.net

Что такое GPR?

GPR это георадар, который также называется РЛ системой для зондирования горных пород и как видно из названия является техническим оборудованием для зондирования земли. Как и любой другой радар, он работает путем передачи электромагнитных волн в землю и записи возвращающихся сигналов. Данные возвращающиеся сигналы содержат информацию о материалах, или если быть точными информацию об изменениях в материалах или параметрах грунта на различных глубинах.

Целесообразно использовать георадар только если есть резкие различия в свойствах исследуемых материалов. Если различия материалов небольшие или их изменения постепенны, то возвращающиеся сигналы трудно интерпретировать, а во многих случаях даже невозможно.

GPR хорошо подходит для геофизического применения, археологических исследований и гражданского строительства, а также для нахождения скрытых объектов в земле.

Отображаются ли объекты как рентгеновские снимки?

Основным заблуждением, главным образом распространенным американской многосерийной передачей, является то, что изображение на дисплее управляющего устройства георадара отображает объекты как в рентгеновском снимке. Но это не так, основным рабочим инструментом для GPR оператора является яркостное сканирование, которое есть не что иное, как один за другим набор следов радара в 2D изображении.

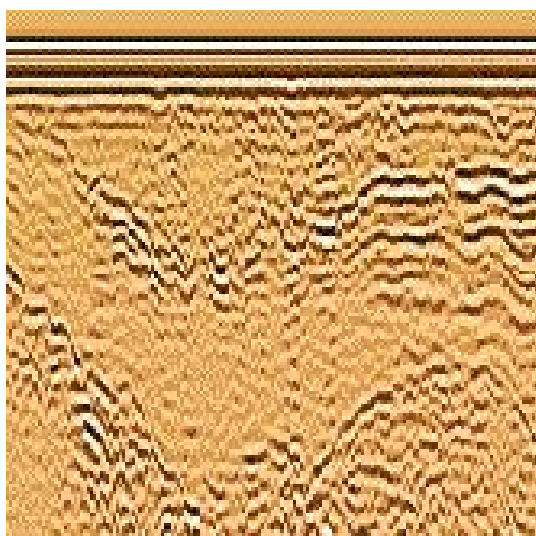


Рис. 1 GPR сканирование, отображающее слои в грунте



Если изображение такое непонятное, зачем всё равно использовать георадар?

Преимущества использования GPR много; в первую очередь это относительно недорогой способ исследования больших площадей без разрушения или искажения чего-либо. GPR обеспечивает простой способ оценки глубины до слоев, подземных вод, материковых пород, впадин и многих других подземных или над поверхностных феноменов без необходимости проведения земляных работ. Поиск металлических труб с металлоискателем является несложной задачей, поиск пластиковых труб невозможен. GPR системы не имеют никаких проблем, чтобы найти металлические или неметаллические трубы, электрические кабели, скрытые под землей, железобетонные трубы и т.п. (Рисунок слева отображает гиперболу в области сканирования, которая характерна для труб).

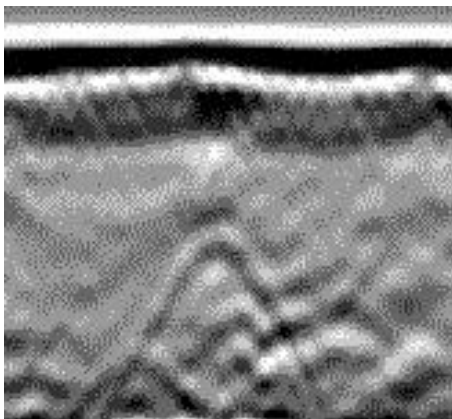


Рис. 2 Отражение подземных труб

Можно ли найти монету три метра глубиной?

Главное, что ситуация вряд ли произойдет. Размер и глубина объектов, которые могут быть обнаружены, зависят от частоты и интенсивности электромагнитных волн, излучаемых в землю GPR источниками с их антеннами. Они также «излучаются» в форме конуса, чем дальше вглубь материала они проникают, тем шире становится площадь, которую они покрывают и тем слабее они становятся. Для того, чтобы рассмотреть мелкие объекты рабочая частота GPR антенны должна быть увеличена, а для того чтобы рассмотреть более глубокие объекты рабочая частота должна быть снижена.

Всегда ли это работает?

Как было объяснено выше, GPR исследования возможны, только если свойства материалов под поверхностью исследования существенно различаются. Более того, если проводимость почвы или материала слишком высока, то проникновение электромагнитных волн в среду будет очень ограничено, если таковое вообще будет. Почвы с высоким содержанием материалов или глины не являются хорошими вариантами для GPR исследований.

Давайте рассмотрим несколько примеров, и посмотрим как работает GPR!

Прежде чем двигаться дальше я хотел бы напомнить несколько вещей.

Во-первых, смоделированные файлы сохраняются как CSV-файлы в специальном формате. Каждая секция имеет связанный CSV-файл, поэтому Вам не придется вводить все параметры, скачайте архив, содержащий все смоделированные файлы, поместите его на Ваш жесткий диск, и распакуйте в определенном месте на компьютере, где Вы сможете в дальнейшем их найти.

Во-вторых, после того как сделано моделирование можно сделать анализ данных во временной или частотной области путем перемещения мыши по области графика. Если необходимо, чтобы была собрана какая-то информация, нажмите левую кнопку мыши, и Вы увидите измерение в нижнем левом углу окна приложения.



Контраст материалов

Если свойства материалов, которые мы хотим исследовать достаточно не отличаются друг от друга, то их становится сложно обнаружить. Мы можем использовать понятие коэффициента отражения, для того чтобы лучше понять смысл контрастности материалов.

Коэффициент отражения ρ (ρ_0) представляет собой отношение разности квадратных корней диэлектрической проницаемости двух материалов.

$$\rho = (\sqrt{\epsilon_1} - \sqrt{\epsilon_2}) / (\sqrt{\epsilon_1} + \sqrt{\epsilon_2})$$

ϵ_1 – относительная диэлектрическая проницаемость материала номер один

ϵ_2 – относительная диэлектрическая проницаемость материала номер два

Одно замечание об этом уравнении: материал номер один – это вышележащий материал, а материал номер два – это нижележащий материал.

Коэффициент отражения может принимать как положительные, так и отрицательные значения, но для этого практического занятия мы будем рассматривать только его абсолютное значение. В таком случае, правильнее будет сказать, что коэффициент отражения принимает значения, изменяющиеся от нуля до единицы. Чем ближе коэффициент отражения становится к единице, тем лучше для съемки георадаром.

Давайте посмотрим на то, как будет выглядеть след георадара когда контрастность материалов различна или близка к друг другу.

Пример No. 1

1. Откройте смоделированный файл sim1.csv. Моделирование было создано для работы с частотой 1 ГГц, мы будем придерживаться этой частоты, так как контрастность материалов является той, которую мы хотим видеть в этом примере. Контрастность между первым и вторым слоем - хорошая; коэффициент отражения равен приблизительно 0,3. С другой стороны контрастность между вторым и третьим слоем не такая хорошая, а коэффициент отражения со временем становится в десять раз меньше или 0,03.

2. Из меню просмотра выберите 1:4, для того чтобы лучше видеть что происходит, и нажмите кнопку моделирования.

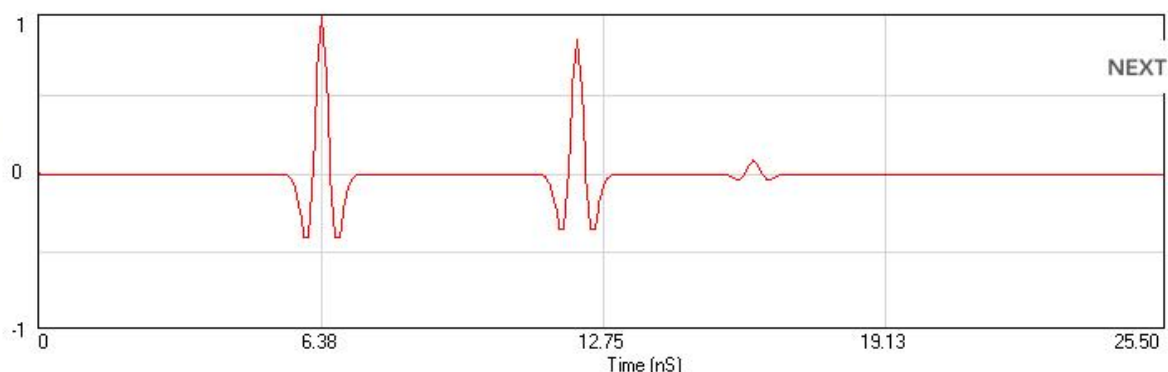


Рис. 3 Моделирование двух границ с различными коэффициентами отражения

Итак, по-видимому, мы сделали все правильно. Второе пиковое значение в несколько раз сильнее, чем последнее, точно также как мы этого ожидали.

3. Теперь попробуйте ввести новое значение относительной диэлектрической проницаемости для третьего слоя, скажем 8,9 вместо 8, и снова нажмите кнопку моделирования. Что произошло? Последнее пиковое значение почти исчезло, это связано с тем, что относительная диэлектрическая проницаемость между вторым и третьим слоем настолько близка, что вообще нет почти никакого отражения.

Попробуйте изменение относительной диэлектрической проницаемости различных слоев и выполнение моделирования. Значением, вызывающим интерес будет 18 для последнего слоя без изменения других. По поводу этого происходит изумление, посмотрите и постарайтесь узнать, когда это происходит и если будет весьма интересно, почему это происходит?

Интересную статью, рассматривающую амплитуду и фазовые изменения при наличии сильного контраста между материалами, можно найти здесь:
http://cgiss.boisestate.edu/~johnb/sea_ice_v2.htm

Разрешение и проникновение

Разрешение и проникновение, которые могут быть достигнуты с помощью GPR, зависят от многих факторов. Здесь, мы постараемся дать представление о наиболее важных из них, не вдаваясь в подробности слишком глубоко, все-таки GPRSim.net – это основной моделирующий инструмент, достаточно хороший благодаря упрощенным данным.

GPR разрешение:

Понятие GPR разрешения в его самой простой форме не что иное, как самый маленький объект, который может обнаружить георадар на соответствующей рабочей частоте антенны.

Давайте попробуем обнаружить один и тот же объект (слой в нашем программном обеспечении) с двумя различными рабочими частотами.

Пример No.2

1. Откройте смоделированный файл file sim2.csv. С самого начала моделирование было создано для работы с частотой 1 ГГц. Были определены три слоя, верхний слой с диэлектрической проницаемостью равной 3 и полметра толщиной. Второй слой с диэлектрической проницаемостью равной 6 и очень тонкий, только 8 см толщиной и наконец, последний слой, который рассматривается с бесконечной толщиной. Проводимость всех слоев была установлена равной и очень низкой для того чтобы избежать ослабляющих эффектов.



2. Из меню просмотра выберите 1:4, для того чтобы лучше видеть что происходит.
3. Нажмите кнопку моделирования, и должен появиться след, как показано на рисунке 4.

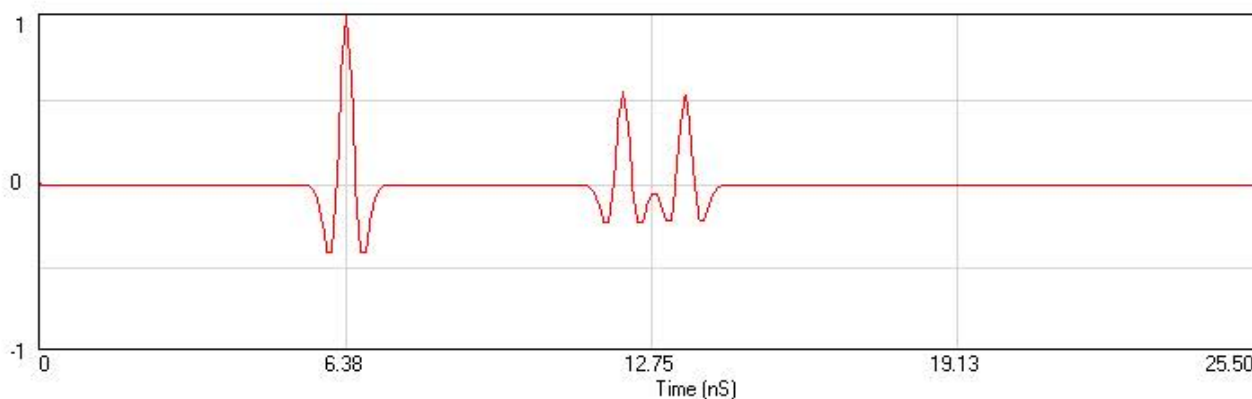


Рис. 4 Моделирование СВЧ-антенны, выделяющей тонкие слои

Отражение, от границы между верхним толстым слоем и вторым тонким слоем, четко видно, это пиковое значение между большим (поверхность) и другим маленьким пиковым значением. Можно без проблем найти отражение от границы между толстым слоем и последним слоем.

4. Теперь введите в окно частоты значение 200. Это рабочая частота для нового моделирования.

5. Нажмите кнопку моделирования и посмотрите, что произошло.

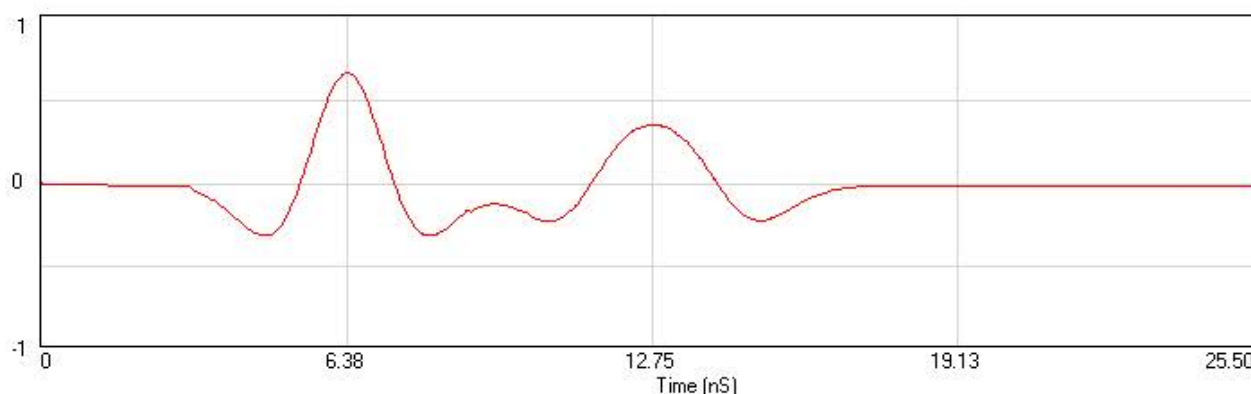


Рис. 5 Моделирование, отображающее низкое разрешение ОБЧ антенн для тонких слоев

Неожиданно исчезли две маленькие вершины и вместо этого появились широкие. Невозможно сказать что-либо об этом не затрагивая определения толщины первого и второго слоя. Попробуйте различные частоты и посмотрите что происходит когда частота увеличивается и уменьшается.

Предыдущий пример показывает что то, что было четко различимо с помощью антенны, работающей на 1 ГГц, не распознается с помощью антенны, работающей на 200 МГц.

Итак, означает ли что более высокая частота всегда лучше? Рассмотрим следующий пример.



Пример №. 3

1. Откройте смоделированный файл file sim3.csv. Моделирование было создано почти точно таким же способом как в примере до этого, мы просто добавили немного проводимости, чтобы сделать нашу точку более отчетливой для понимания и для того, чтобы сделать середину слоя немного толще, поэтому в данной ситуации разрешение не было проблемой.
2. В меню просмотра выберите 1:1, так как это моделирование более глубокого обследования и нам необходим такой диапазон, насколько это возможно.
3. Нажмите кнопку моделирования, и должен появиться след, как показано на рисунке 6.

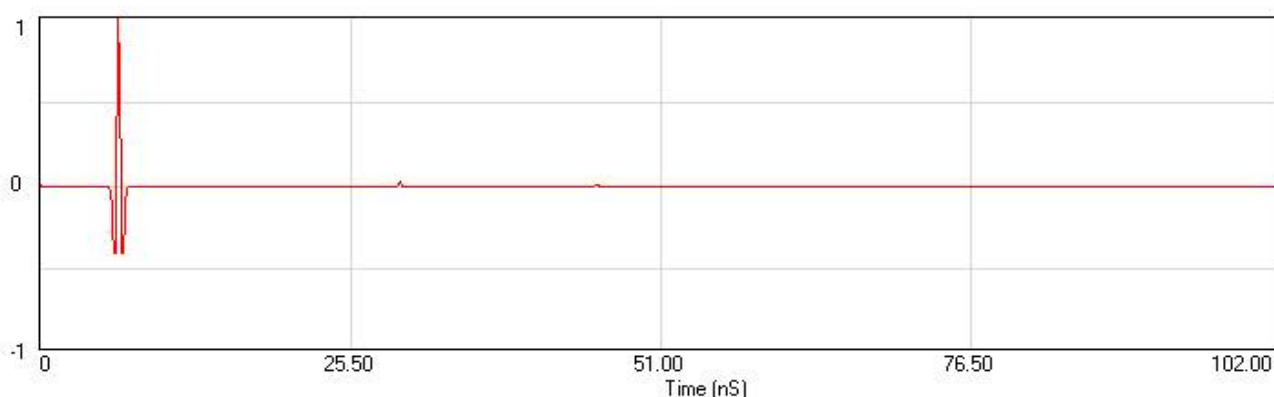


Рис. 6 Моделирование СВЧ антенны, проникающая в тонкий двухметровый слой

Итак, здесь ничего нет за исключением отражения от поверхности! Что же произошло с двухметровым слоем? Рабочая частота антенна 1ГГц является очень хорошей для выделения тонких слоев рядом с поверхностью, как мы видели в предыдущем примере, но это кажется, будет бесполезно, когда второй и третий слои несколько глубже.

4. Теперь введите в окно частоты значение 200. Это рабочая частота для нового моделирования.

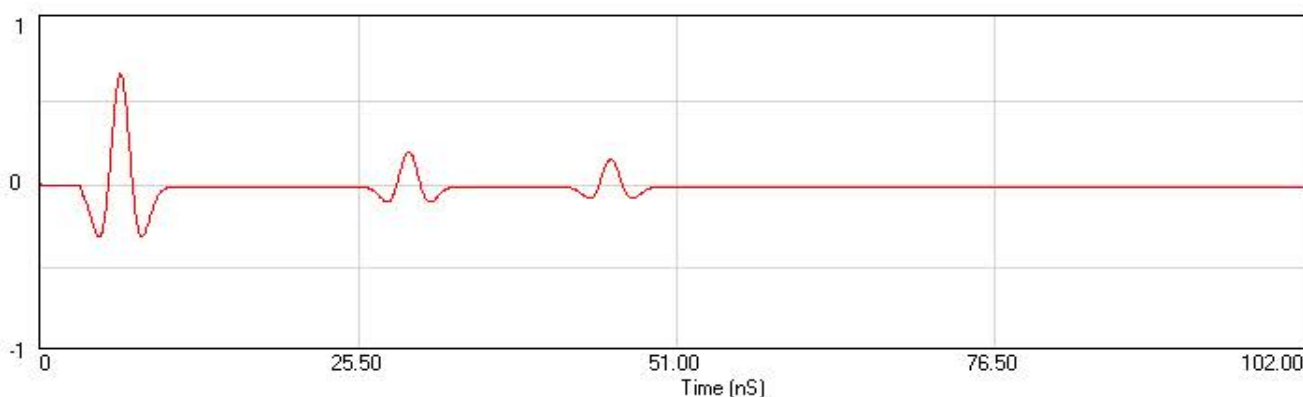


Рис. 7 Моделирование ОБЧ антенны, проникающая в тонкий двухметровый слой

5. Нажмите кнопку моделирования и посмотрите, что произошло. Две вершины, показывают две появившиеся глубокие границы, которые четко различимы без каких-либо проблем. В данной ситуации произошло то, что антенна с рабочей частотой 200 МГц проникла в материал глубже, хоть и за счет разрешения.



Попробуйте уменьшить толщину второго слоя при сохранении той же рабочей частоты и посмотрите что получится. Интересующее значение может быть равно 10 см, продолжите и смотрите что будет.

Из примера номер три было понятно, что более высокая частота не всегда лучше. Рабочая частота антенны и GPR источник должны быть выбраны в зависимости от глубины и размеров объектов, которые мы хотим обнаружить.

Ослабление

В предыдущем примере, мы изменили один параметр для того, чтобы сделать нашу точку отчетливой, это была проводимость слоев. Как это влияет на GPR исследование? Чем выше проводимость материалов, которые мы хотим исследовать, тем выше ослабление электромагнитных волн, проникающих в среду, и как следствие мы можем меньше «проникать» в грунт. Среда с достаточно высокой электропроводностью это соленая вода, а также некоторые типы глин, особенно если они мокрые. Сельскохозяйственные почвы, содержащие растворимые удобрения такие как азот или калий, также могут быть высокопроводящими.

Давайте рассмотрим пример, отображающий как раз данный случай.

Пример No. 4

1. Откройте смоделированный файл sim4.csv. Моделирование было создано для трех слоев с одинаковой проводимостью и диэлектрической проницаемостью, которые были выбраны так, чтобы вершины располагались равномерно друг от друга.
2. Из меню просмотра выберите 1:4, для того чтобы лучше видеть что происходит.
3. Нажмите кнопку моделирования, и должен появиться след, как показано на рисунке 8.

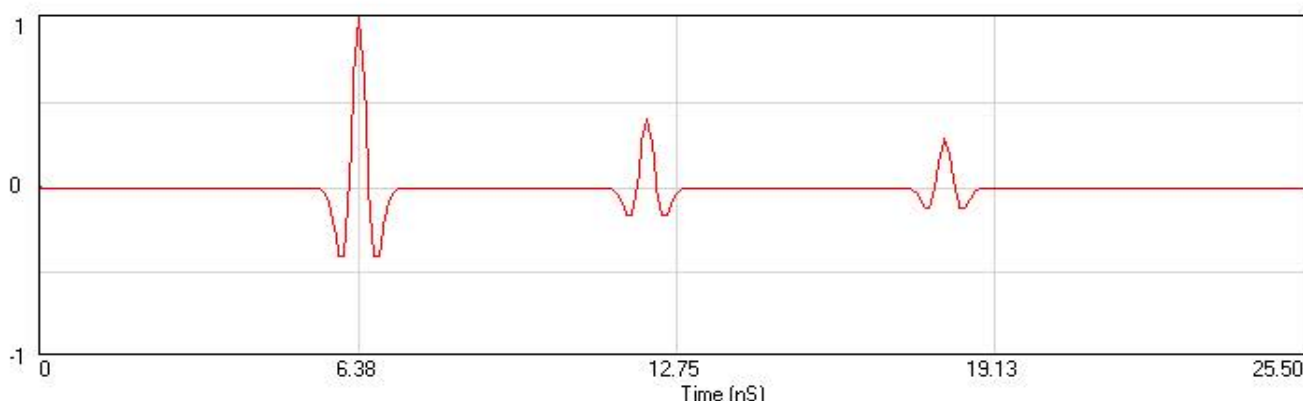


Рис. 8 Моделирование СВЧ антенны, проникающая в слои с низкой проводимостью

Мы получили три вершины, расположенные на равном расстоянии и с амплитудами, соответствующие контрастности между слоями.

4. Теперь введите в окно проводимости для второго слоя значение 0,15, что составляет 150 миллиСм/м. мы увеличили проводимость для второго слоя в десять раз.



5. Нажмите кнопку моделирования и посмотрите что произошло (Рис.9). Третья вершина теперь едва заметна, несмотря на то, что контраст между вторым и третьим слоем вообще не изменился. Итак, что же произошло? Проводимость второго слоя стала настолько высокой, что почти вся энергия рассеялась, и не было почти ничего, чтобы определило бы толщину последнего слоя и отразилось бы обратно.

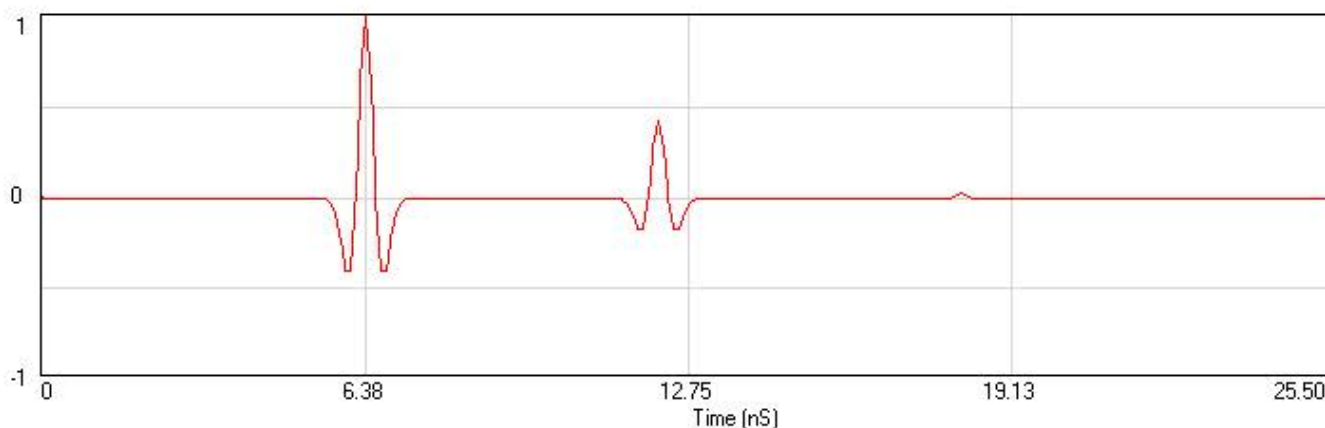


Рис. 9 Моделирование СВЧ антенны, проникающая в слои с высокой проводимостью

При изменении значения проводимости возможно увидеть как различные среды становятся более или менее прозрачными для электромагнитных волн.

Попробуйте изменить значения проводимости и посмотрите, как это будет влиять на след георадара. При увеличении проводимости первого слоя – второй и третий ослабевают. Попробуйте проделать это с более чем тремя слоями.

Глубина до объекта

Скорость: скорость распространения электромагнитной волны через физическую среду для большинства практических целей может быть определена как отношение между скоростью света в вакууме и квадратного корня относительной диэлектрической проницаемости среды.

$$v = c / \sqrt{\epsilon}$$

Если будет известна скорость распространения через среду и может быть получено время прохождения через нее, то можно будет легко вычислить толщину среды. Это будет верно, только если среда является однородной и изотропной в пространстве.

Давайте попробуем рассмотреть пример, как это работает:

Пример No.5

1. Откройте смоделированный файл sim5.csv. Как Вы можете видеть, существуют только два слоя в данном моделировании: первый слой и нижний, который считается бесконечным.

2. Из меню просмотра выберите 1:4, для того чтобы получить четкое отражение поверхности и границу разделения между первым и вторым слоем.

3. Нажмите кнопку моделирования и должен появиться след, как показано на рисунке 10. Первое колебание это отражение от поверхности, а второе это отражение от границы между первым и вторым слоями.



4. Наведите курсор на о-образную область и поместите указатель мыши на самое высокое пиковое значение и нажмите левую кнопку мыши, в левом нижнем углу появится время, показывающее 6.33 нс. Теперь поместите курсор на следующее высокое пиковое значение и сделайте то же самое, что и до этого. Время, которое мы получили для данного отражения, составляет 11.7 нс.

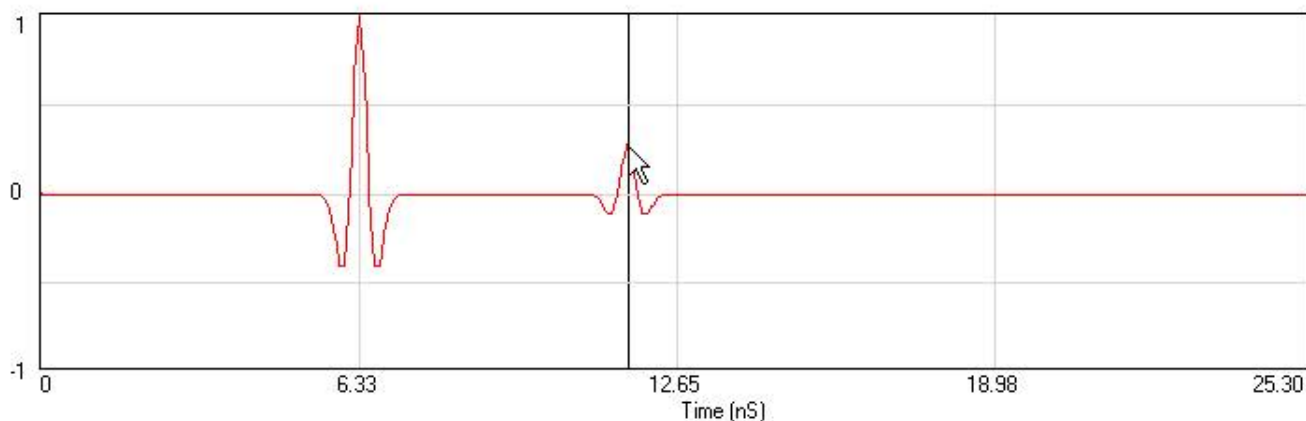


Рис. 10 Измерение толщины слоя с известной относительной диэлектрической проницаемостью

5.

6.

$$D = \frac{c \cdot t}{2 \cdot \sqrt{\epsilon}}$$

D – Глубина до объекта или толщина слоя

c – Скорость света в вакууме

t – Двухстороннее время в пути

ϵ – Относительная диэлектрическая проницаемость среды

Подстановка значений в уравнение дает нам 0.2 метра толщины и это именно то значение, которое мы вводим в окно толщины слоя.

В реальных условиях исследования относительная диэлектрическая проницаемость слоя может быть получена в первую очередь путем прямого измерения или путем простого расчета. Чем однороднее среда и чем точнее значения для относительной диэлектрической проницаемости, тем более точны результаты измерений глубины.

Попробуйте использовать различное моделирование для того чтобы получить представление о необходимом диапазоне для проведения наблюдений характеристик местности под землей.

Понятия, приведенные выше, являются основными понятиями технологии георадара. Конечно, не все было полным или исчерпывающим в данной статье и многие важные моменты не были учтены, отчасти потому что это не было целью данной статьи и отчасти, потому что функции,



такие как рассеивание, фокусирование, контакт с грунтом, эффекты в ближнем поле и многие другие не могут быть смоделированы в GPRSim.net.

Я надеюсь, что данная статья послужит очень легким и простым руководством для введения в георадар для тех, кто не был знаком с технологией ранее.

Любые комментарии, предложения или исправления приветствуются, Вы можете направлять их на электронный адрес mail@geoscanners.com. Пожалуйста, указывайте в теме сообщения «**Руководство GPRSim.net**», в противном случае сообщение может попасть в спам.