

100 МГц до 3 ГГц. Соответствующие испытательные уровни представлены в таблице.

Далее испытания устойчивости образца оборудования были проведены путем воздействия электромагнитного поля с уровнями, указанными в таблице, при снятом корпусе. Оборудование сохранило качество функционирования по категории А. Следовательно, экранирующие свойства корпуса блока таковы, что обеспечивается надежная защита электронной части блока от дестабилизирующего действия высокоинтенсивного радиочастотного поля в частотном диапазоне от 0,1 до 3 ГГц

при заданных в стандарте уровнях напряженности электрического поля.

Выводы

Разработан малогабаритный преобразователь напряженности электрического поля с оптической линией передачи информации в диапазоне частот от 0,1 до 5 ГГц.

Проведены измерения эффективности экранирования реального корпуса – экрана.

Доказана высокая эффективность предложенного метода измерений.

УДК 621.396.969.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЩЕЛЕВАЯ АНТЕННА С ИЗМЕНЯЕМОЙ ПОЛЯРИЗАЦИЕЙ НА ИЗЛУЧЕНИЕ И ПРИЕМ В СОСТАВЕ МАКЕТА ГЕОРАДАРА ДЕЦИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

А.В. Букин, младший научный сотрудник Института радиопизики и электроники имени А.Я. Усикова НАН Украины, г. Харьков

Е.М. Васильева, кандидат технических наук, начальник лаборатории ННЦ “Институт метрологии”, г. Харьков

В.Г. Сузак, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории Института радиопизики и электроники имени А.Я. Усикова НАН Украины, г. Харьков



А.В. Букин

Е.М. Васильева

В.Г. Сузак

Разработана широкополосная антенна для подповерхностного зондирования, позволяющая излучать и принимать сигналы ортогональных поляризаций. Изготовлен и испытан стенд для исследования технических характеристик макета георадара.

Developed is the broadband antenna for subsurface sensing, allowing to modify the polarization of the emitted (received) signals. Manufactured and tested the stand for research of the technical characteristics of the layout of the GPR.

Введение

Под подповерхностной радиолокацией понимается радиолокационное зондирование радиопрозрачных сред с целью обнаружения объектов, скрытых в этих средах. В настоящее время неразрушающий контроль дорог, тротуа-

ров, бетонных сооружений, поиск находящихся под землей объектов (труб, пустот и т. п.) вызывает все возрастающий интерес. Появление сверхвысокочастотных твердотельных радиоэлементов, развитие компьютерной техники и прикладного программного обеспечения дали возможность создавать малогабаритные радиолокаторы для подповерхностного зондирования (георадары). В англоязычной научно-технической литературе они называются “Ground Penetrating Radar” или “GPR”.

Принципы, лежащие в основе работы георадара, имеют много общего с классическим радиолокатором, однако определенные физические свойства сред (например, диэлектрическая проницаемость, проводимость, слоистость), в которых производится радиолокационное зондирование, накладывают ограничения на его применение. Большинство вышеперечисленных свойств среды являются заранее неизвестными, поэтому точное определение местоположения исследуемых объектов является сложной задачей.

Распространение радиоволн в среде в значительной степени определяется ее физическими свойствами. Среда может быть однослойной и многослойной, содержать разнообразные включения, такие как песок, вода, дерево, асфальт, металлические конструкции и т. п. Для описания физических свойств среды применяются понятия: скорость распространения электромагнитной волны в среде,

постоянная затухания, диэлектрическая и магнитная проницаемости, проводимость. Для описания аппаратуры, применяемой в георадаре, используются понятия: диапазон рабочих частот, выходная мощность, чувствительность приемника, усиление антенны.

Электромагнитная волна, излучаемая передающей антенной, распространяясь в среде, претерпевает существенное затухание из-за поглощения энергии радиоволн в процессе распространения. С возрастанием излучаемой частоты погонное затухание увеличивается, соответственно уменьшается уровень отраженного от цели сигнала. Основной диапазон частот, используемых в подповерхностной радиолокации, находится в пределах 50...2000 МГц. Отдельные исследования проводятся и на других частотах [1, 2].

Основная часть

Экспериментальный георадар был разработан для радиолокационного зондирования грунта с целью поиска и определения местоположения диэлектрических и металлических объектов, находящихся под его поверхностью. В основу работы разработанного георадара положен следующий принцип: передающая антенна георадара излучает радиочастотный сигнал определенной мощности, частота которого ступенчато изменяется в заданных пределах по линейному закону. При наличии какого-либо объекта, размеры которого могут вызывать рассеяние падающей на него радиоволны, часть отраженного от него сигнала попадает на приемную антенну георадара. С приемной антенны сигнал поступает на вход приемника георадара. Приемник георадара представляет собой фазовый детектор, на первый вход которого подается опорный сигнал генератора текущей рабочей частоты, на второй – принимаемый сигнал. По пути следования от передающей антенны к объекту и от объекта к приемной антенне радиосигнал приобретает определенную фазовую задержку по отношению к опорному сигналу. Фазовая задержка с помощью фазового детектора преобразуется в постоянное напряжение, пропорциональное этой задержке на текущей рабочей частоте. Постоянное напряжение с выхода квадратурного фазового детектора поступает на вход аналогово-цифрового преобразователя и далее в компьютер для дальнейшей обработки. Диапазон, в пределах которого происходит изменение частоты зондирующего радиосигнала георадара, определяет его разрешающую способность. Чем шире этот диапазон, тем точнее определяются границы раздела сред, становятся различимыми небольшие объекты, и, таким образом, увеличивается точность определения места нахождения интересующих нас объектов (например, противопехотных мин):

$$\Delta R = \frac{C}{2} \cdot B,$$

где ΔR – разрешающая способность георадара; C – скорость распространения электромагнитной волны в среде; B – ширина полосы частот зондирующего радиосигнала.

Состояние современной радиоэлектронной базы позволяет создать аппаратную часть георадара с требуемыми характеристиками, в то же время разработка антенн для георадара является актуальной задачей. Основными характеристиками таких антенн являются:

- рабочий диапазон частот (не менее октавы);
- уровень боковых лепестков;
- фиксированный фазовый центр излучения во всем рабочем диапазоне.

Антенны (передающая и приемная) георадара располагаются на поверхности зондируемой среды или на некотором расстоянии от нее. Характеристики антенн, измеренные в воздушном пространстве, не соответствуют их характеристикам в присутствии среды. Расчет характеристик антенн с учетом изменяющихся параметров среды является сложной научной задачей, требующей обработки больших вычислительных ресурсов.

Антенная система георадара может состоять как из двух антенн – приемной и передающей, так и из одной – совмещенной. Антенны могут быть как электрическими, так и магнитными. Одной из основных проблем при использовании непрерывного зондирующего сигнала является подавление прямого просачивания излучаемого сигнала в тракт приемника, что ограничивает его динамический диапазон и, как следствие, глубину зондирования георадара. Часть излучаемого сигнала попадает в приемный тракт из-за близкого расположения передающей и приемной антенн. Для решения этой проблемы существует несколько путей:

- применение отдельных, далеко разнесенных в пространстве антенн для излучения и приема отраженных сигналов;
- использование широкополосного циркулятора, который позволяет разделить сигналы излучения и приема (развязка более 20 дБ) при использовании совмещенной антенны.

В первом случае излучаемый сигнал и сигналы, отраженные подповерхностными объектами, проходят разные пути, и это не позволит получить достаточную поляризационную селекцию объектов в случае применения антенны с переключаемой поляризацией. Циркулятор же позволяет применять одну и ту же антенну на прием и передачу с неизменным положением фазового центра антенны.

Представленная антенна является совмещенной магнитной щелевой антенной [3], которая позволяет излучать и принимать сигналы

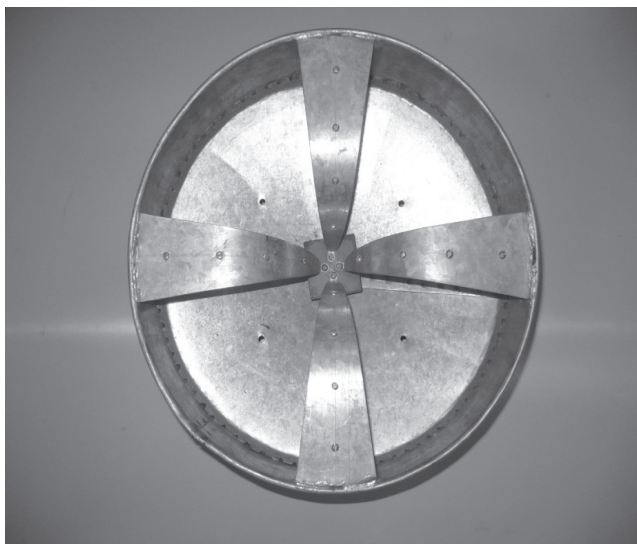


Рис. 1. Фотография щелевой магнитной антенны (вид сверху)

ортогональных поляризаций. При этом фазовые центры антенн совмещены, что исключает появление дополнительных фазовых искажений сигналов вследствие разных путей распространения радиоволн. Развязка между этими двумя каналами составляет более 25 дБ. Рабочий диапазон частот антенны равен 500...1000 МГц. Активная часть входного сопротивления антенны в открытом пространстве порядка 200 Ом, КСВН не превышает 3,5. При расположении антенны вблизи поверхности грунта полное входное сопротивление и КСВН антенны изменяются в зависимости от физических характеристик грунта.

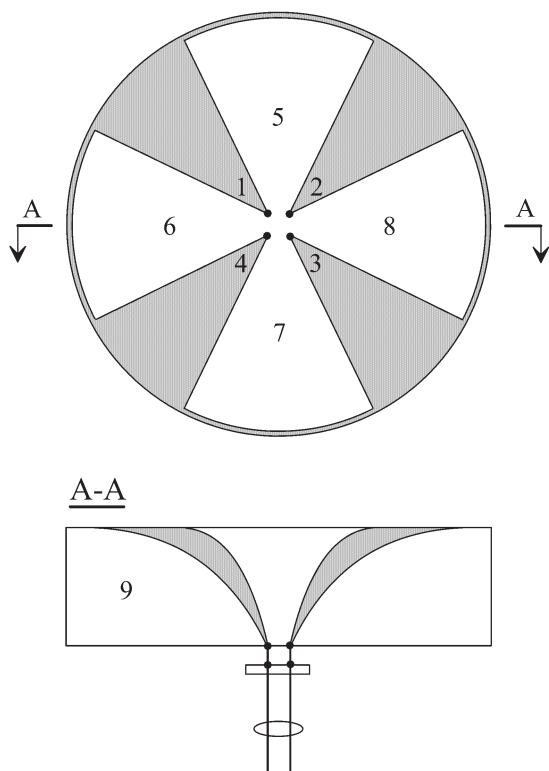


Рис. 2. Щелевая магнитная антенна

Антенна выполнена в виде металлического резонатора, в плоскости которого, обращенной к поверхности земли, прорезаны две щели, образованные четырьмя лепестками и поверхностью резонатора (рис. 1). Конфигурация этих щелей схематически показана на рис. 2. Расходящиеся от центра нижней плоскости резонатора изогнутые лепестки 1–4 используются для создания излучающих щелей. Попарное электрическое соединение (замыкание) лепестков 1-го со 2-м и 3-го с 4-м в местах, отмеченных точками, образует щель 6–8. Аналогично соединение лепестков 1-го с 4-м и 2-го с 3-м образует щель 5–7, перпендикулярную щели 6–8. Резонатор антенны образован верхним экранирующим коробом круговой цилиндрической формы 9.

Антенная система работает следующим образом. Внешнее переключающее устройство, реализованное на р-і-п-диодах, поочередно замыкает лепестки в сочетаниях, описанных выше. Управляется переключающее устройство сигналами, поступающими из блока управления.

При расположении антенны вблизи грунта добротность резонатора уменьшается практически до единицы.

Испытания антенны были проведены в составе специального стенда совместно с георадаром (рис. 3). Стенд представляет собой емкость с песком и совмещенную с ним механическую конструкцию, предназначенную для перемещения антенны георадара над поверхностью песка. На дне емкости помещен радиочастотный поглотитель.

Такая конструкция антенны и применение специальных алгоритмов обработки сигналов позволили определить наличие и ориентировочное местоположение металлических и диэлектрических предметов с линейными размерами более 15 см в проекции раскрыва антенны вне зависимости от их ориентации относительно антенны на дистанции (глубине) до 1 м в сухом песке, в то время как теоретический потенциал георадара предполагает обнаружение подобных предметов при тех же условиях на глубине до 3 м.

На точность определения местоположения объекта оказывают влияние наличие боковых лепестков в диаграмме направленности антенны и отражение радиоволн от элементов конструкции стенда. Для проведения полноценных измерений и подтверждения потенциальных возможностей применяемого георадара аппаратуру стенда необходимо дополнить специальным, частотно-независимым зондом, позволяющим исследовать структуру излучаемого антенной поля в среде электромагнитной волны.

Выводы

1. Разработана широкополосная антенна для подповерхностного зондирования, позволяющая

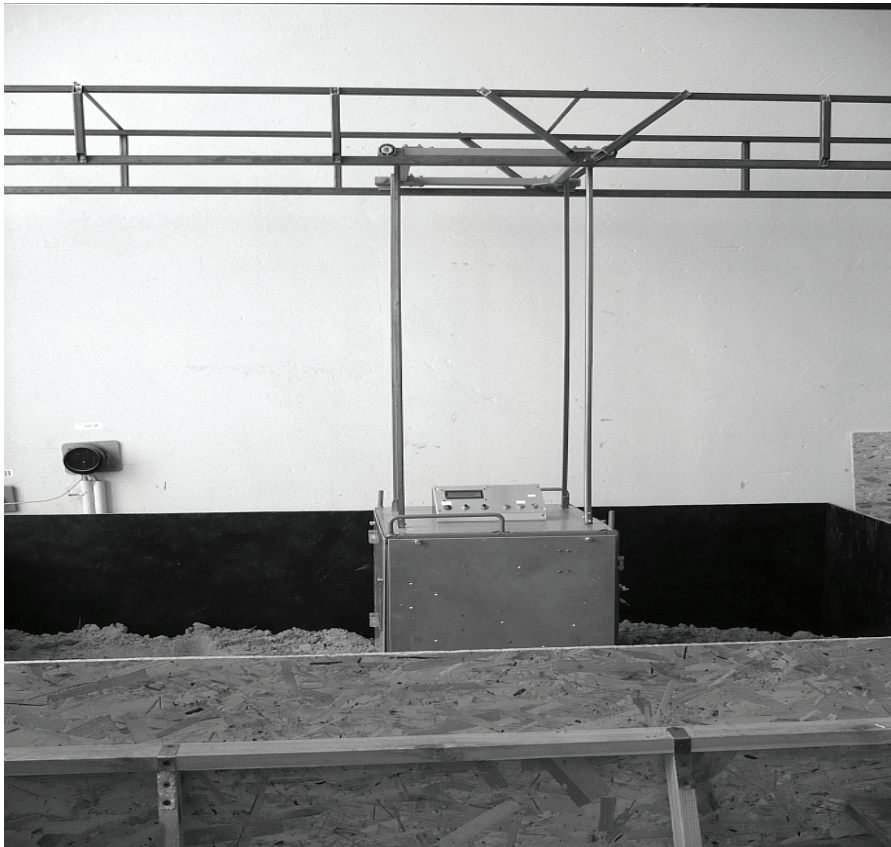


Рис. 3. Фотография действующего макета георадара в составе стенда

изменять поляризацию излучаемых (принимаемых) сигналов.

2. Проведенный эксперимент подтвердил возможность применения представленной антенны в составе георадара для поиска малоразмерных объектов в грунте на глубине до 1 м.

Список литературы

1. *Park Joongsuk*. Development of microwave and millimeter-wave integrated circuit stepped-frequency radar sensors for surface and subsurface profiling: A Dissertation Doctor of Philosophy / Joongsuk Park. – Texas A&M University, December 2003. – 176 p.
2. *Jol Editor Harry M*. Ground Penetrating Radar: Theory and Applications / Editor Harry M. Jol. – Great Britain, Oxford: Elsevier Science, 2009. – 508 p.
3. Радиолокатор со ступенчатым изменением частоты для обнаружения и распознавания малогабаритных объектов под поверхностью земли / В.Г. Сугак, А.В. Букин, Е.М. Васильева [и др.] // Радиофізика та електроніка. – 2010. – Т. 1 (15), № 3. – С. 92–97.