

Сверхширокополосная многодисковая антенна с переключаемой поляризацией для радаров подповерхностного зондирования

А.В. Кочетов, Г.В. Комаров

АО «НПП «Радар ммс», Россия 197375, г. Санкт-Петербург, ул. Новосельковская, д.37, лит. А, orienta@inbox.ru

Представлена многодисковая сверхширокополосная антенна с управляемой поляризацией и рабочей частотой, возбуждаемая сверхкороткоимпульсными (СКИ) сигналами длительностью не более 1 нс. Четыре внутренних элемента связи, каждый из которых имеет индивидуальный СВЧ вход, позволяют сформировать две линейные и две круговые поляризации без сужения полосы пропускания антенны. Многодисковая конструкция, а так же оптимизация размеров и положения всех элементов антенны, позволяют ей работать вблизи металлической поверхности. Результаты моделирования и измерения коэффициента отражения и коэффициента кросс-поляризации подтвердили эффективность предложенной конфигурации антенны. Предложенная антенна может использоваться в антенной системе радиолокатора подповерхностного зондирования, добавляя ему возможность независимого контроля поляризации зондирующего и принимаемого импульса.

An advanced multidisc ultra-wideband antenna with reconfigurable polarization and sub-GHz operating frequency is presented. Four internal antenna elements with individual RF input allow to implement two linear and two circular polarizations without narrowing bandwidth of antenna. Multidisc design, optimization size and position of all antenna elements allow this antenna operate near the metal plate without narrowing its working frequency. The simulated and measured results of the reflection coefficient and cross-polarization ratio verified the effectiveness of the proposed antenna configuration. The proposed antenna demonstrates suitable candidate for impulse ground-penetrating imaging radar antenna system by adding the benefits of control polarization probe pulse.

Введение

Для георадаров стандартной практикой является использование сверхширокополосных зондирующих сигналов и антенн [1], [2].

Некоторые радары используют сигналы с ЛЧМ модуляцией, другие – сверхкороткие импульсы [3], [4]. Однако для обеих систем важно получить больше информации, анализируя поляризацию принятого и контролируя поляризацию передаваемого сигнала. В настоящее время антенны со сложной геометрией и небольшими зазорами в топологии становятся все более распространенными в публикациях, а также в коммерческих устройствах. Однако, ставит под сомнение возможность их использования вместе с генераторами, основанными на дрейфовых диодах с резким восстановлением, которые генерируют импульсы с амплитудой 25 кВ или более [5]. Предлагаемая антенна имеет достаточно простую геометрию, большие зазоры между элементами, а также вспененный диэлектрик, чтобы минимизировать риск электрического пробоя внутри антенны и между соседними элементами антенной решетки.

Ниже представлен проект антенны в программе XFDTD, результаты компьютерного моделирования, измерения параметров опытного образца и их сравнение.

Внешний вид антенны и компьютерная модель

Для большинства используемых на практике антенн нет аналитических формул для анализа и оптимизации их параметров. Для моделирования и оптимизации таких антенн необходимо использовать программное обеспечение для электродинамического моделирования, которое широко используется в инженерной практике.

На рис. 1 показан внешний вид компьютерной модели антенны. В качестве импульса возбуждения при анализе использовался гауссов импульс, как наиболее близкий к рабочему импульсу экспериментальной установки.

Антенна состоит из трех дисков, между нижним и средним расположены элементы связи, они имеют специальную форму и, в зависимости от назначения антенны, к ним подключаются либо коаксиальные кабели с разъемами N-типа, либо малошумящие усилители. В компьютерной модели использовались дискретные порты, как наиболее близкое приближение к возбуждению антенны коаксиальным кабелем.

Диски антенны разделены диэлектриком (пенопластом). Поскольку диэлектрическая проницаемость пенопласта близка к единице, а потери на рабочих частотах антенны невелики, диэлектрик практически ни на что не влияет. Поэтому он не был введен в модель, чтобы упростить её и ускорить вычисления. После окончания компьютерного моделирования и оптимизации антенны были изготовлены два опытных образца, один из которых использовался для подтверждения результатов моделирования.

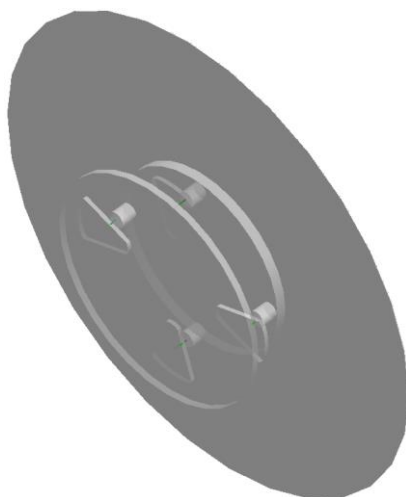


Рис. 1. Компьютерная модель антенны. Большой диск в основании имитирует проводящую поверхность, над которой установлена антенна.

Результаты моделирования и измерений

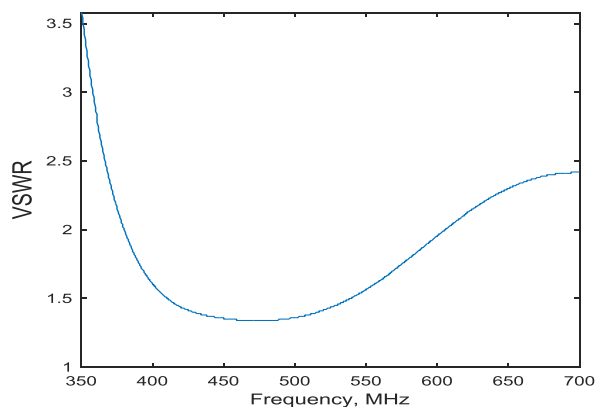
Коэффициент отражения

На рис. 2.а и рис. 3.б показаны графики зависимости КСВН от частоты. Некоторые отличия между ними связаны с неизбежными погрешностями компьютерного моделирования и особенностями антенны, которые рассматриваются далее.

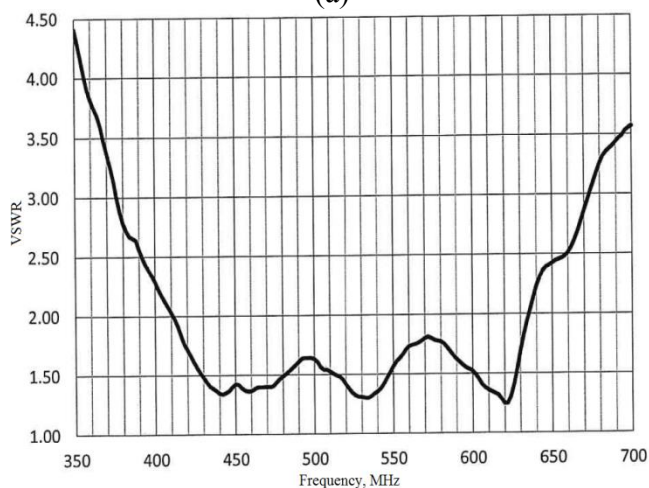
Важной особенностью представленной антенны является наличие двух способов питания элементов связи. В первом из них необходимо синхронно приложить короткие импульсы противоположной полярности к двум диаметрально противоположным элементам связи, а во втором - зондирующий импульс подается только на один активный элемент, а ко второму подключается согласованная нагрузка.

При использовании первого режима можно получить диаграмму направленности, максимум которой направлен перпендикулярно плоскости антенны. При использовании согласованной нагрузки полоса рабочих частот расширяется, а максимум диаграммы направленности смещается на несколько градусов в сторону нагрузки. В зависимости от приоритетной задачи вы можете выбрать один из этих двух вариантов или воспользоваться переключателем, чтобы использовать эти режимы по очереди.

Результаты моделирования соответствуют результатам измерений с погрешностью, не превышающей 5 %.



(а)



(б)

Рис. 2: Графики КСВН рассматриваемой антенны по результатам моделирования (а) и измерений (б) при условии подключения согласованной нагрузки к вторичному порту.

Диаграмма направленности

На рис. 3 показана измеренная диаграмма прототипа антенны, когда согласованная нагрузка подключена к вторичному порту. Наблюдаемое отклонение диаграммы соответствует ожидаемому эффекту, возникающему из-за асимметричного токового распределения в антенне. При проектировании антенной решетки возможны два решения - использование двух генераторов противоположной полярности с некоторым сужением рабочей полосы антенны или учет отклонения максимума диаграммы направленности с соответствующей коррекцией диаграммообразующей схемы.

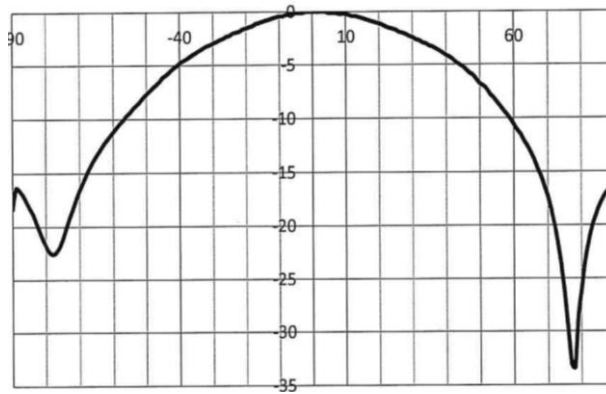


Рис. 3: Диаграмма направленности антенны-прототипа. Асимметрия диаграммы направленности обусловлена односторонним возбуждением диска при работе одного генератора.

Прототипы приемной и передающей антенны

Основное различие между приемной и передающей антеннами заключается в величине рабочих напряжений. Хотя на передающую антенну могут подаваться напряжения в десять и более киловольт, величина напряжения на приемной антенне будет намного ниже.

Несмотря на использование генераторов с высоким выходным напряжением, для получения высокой чувствительности в составе приемной антенны необходимо использовать малозумящие усилители. Для защиты от пробоев как внутри антенны, так и на окружающие объекты в передающей антенне используются пенопластовые вставки, поддерживающие постоянные геометрические размеры прототипа и защищающие от случайного контакта с высоковольтными цепями. Использование разъемов N-типа на передающей антенне также вызвано высоким рабочим напряжением. На приемной антенне используются разъемы SMA. Фотография прототипа антенн показана на рис. 4, а прототип приемной антенны - на рис. 5.



Рис. 4: Две антенны-прототипа. Слева – передающая антенна, справа – приемная.

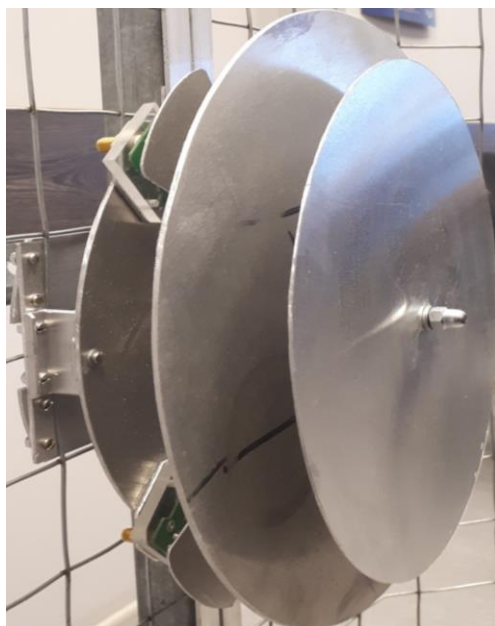


Рис. 5: Прототип приемной антенны. Малошумящие усилители встроены в антенну.

Пенопластовые элементы могут быть установлены в приемной антенне, если это необходимо для обеспечения механической прочности, например, при установке такой антенны на транспортном средстве. Установка малошумящих усилителей в самой антенне позволяет принимать слабые сигналы, отраженные от глубоких объектов. Все компоненты, используемые в представленной антенне, являются плоскими, что повышает технологичность представленного прототипа.

Заключение

В статье представлена новая сверхширокополосная антенна для радара подповерхностного зондирования. Рабочая полоса частот антенны лежит между 412 МГц и 632 МГц. Радиоволны этих частот могут глубоко проникать вглубь почвы, а использование переключаемой поляризации в приемной и передающей антеннах дает возможность обнаруживать длинные тонкие проводящие объекты, такие как кабели и металлические трубы, обнаружение которых является одной из наиболее важных задач георадара.

Литература

1. D.I. Voskresensky and A.Y. Grinev, "Subsurface penetrating radars," *12th International Conference Microwave and Telecommunication Technology*, Sevastopol, Crimea, Ukraine, 2002, pp. 9-12.
2. James D. Taylor, *Ultrawideband Radar: Application and Design*. CRC Press, 2012
3. Lei Wentai and Su Yi, "A UWB impulse subsurface imaging radar," 2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications, Beijing, 2005, pp. 1356-1360 Vol. 2.
4. B.V. Ivanov, A.A. Smirnov and S.A. Shevchenko, "A study of charge losses in 4H-SiC drift step recovery diodes (DSRD)," 2016 IEEE NW Russia Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference (EIConRusNW), St. Petersburg, 2016, pp. 51-52.
5. L.M. Merensky, A.F. Kardo-Sysoev, D. Shmilovitz and A.S. Kesar, "Efficiency Study of a 2.2 kV, 1 ns, 1 MHz Pulsed Power Generator Based on a Drift-Step-Recovery Diode," in *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 41, no. 11, pp. 3138-3142, Nov. 2013.