

Передатчик системы досмотра на основе короткоимпульсного магнетрона W-диапазона в режиме многопозиционной локации и радиоосвещения

А.И. Вагин¹, Ю.В. Евдокимов¹, И.М. Иванов¹, Н.В. Петюшин¹, Н.И. Скрипкин²

¹ОАО «НПК «НИИДАР»

²АО «ПЛУТОН»

Аннотация: Представлены результаты работ по созданию передатчика системы досмотра в режиме многопозиционной радиолокации на дистанции до 30 м. Приведены экспериментальные данные для схемы передатчика на основе магнетрона с двумя выводами. Приведены расчетные и экспериментальные данные широконаправленной антенной системы передатчика с диэлектрической линзой и результаты измерений отраженного от объекта наблюдения сигнала в «частотной» и «временной» области в многопозиционной приемной схеме. Обсуждается возможность применения передатчика как источника «радиоосвещения» при изменении двух фиксированных значений частоты «от импульса к импульсу».

Ключевые слова: W-диапазон, радиоосвещение, магнетрон с двумя выводами, система досмотра

1. Введение

В рамках создания высокоэффективной двухступенчатой (миллиметрового и терагерцового диапазона) досмотровой системы в ОАО «НПК «НИИДАР» разработан передатчик для первой ступени досмотра. В докладе представлены результаты работ по созданию передатчика на основе двухвыводного магнетрона при уменьшении длительности импульса до 5 нс и снижению средней плотности потока энергии на выходе передатчика до санитарно-безопасных норм на малых расстояниях досмотра. Особенностью передатчика и досмотровой системы является то, что в зависимости от типа приемников, система одновременно может работать как многопозиционный локатор, определяющий координаты цели по измерению бистатических пар во временной области и определять свойства предметов в зоне досмотра в режиме «радиоосвещения» при регистрации отраженных сигналов в частотной области. При этом требование на уменьшение длительности импульса передатчика для улучшения оптимальной разрешающей способности по дальности в режиме многопозиционного комплекса одновременно позволяет увеличить ширину основного «лепестка» спектра, что обеспечивает эффективное «зондирование» в режиме «радиоосвещения».

Многопозиционная схема комплекса предполагает диаграмму направленности излучателей с углом раскрытия по азимуту не менее 45 градусов (по уровню 3 дБ), что также требуется в режиме «радиоосвещения». Для уменьшения влияния интерференционных помех используется двухчастотный режим работы передатчика с изменением частоты от импульса к импульсу. Использование системной обработки отраженных сигналов увеличивает эффективность решения задач локации скрытых предметов и определения их формы.

2. Магнетронный передатчик с модулятором

В 2016-2018 годах в АО «Плутон» был разработан магнетронный генератор W-диапазона с двумя выводами – активным и реактивным [1-3]. При этом активный

вывод присоединяется к нагрузке (антенный излучатель), а к реактивному выводу могут подсоединяться различные устройства для изменения частоты генерации (механический короткозамыкающий поршень, ферритовый фазовращатель) или стабилизирующий высокочастотный квазиоптический резонатор. Для применения в составе досмотрового комплекса в целях уменьшения габаритов источников питания в конце 2018 начале 2019 гг. была произведена глубокая модернизация данного магнетрона: импульсное напряжение питания было снижено с 13000 В до 6000 В. При этом максимальная выходная импульсная мощность составляет 400 Вт, а максимальная средняя составила не более 20 мВт (в волноводной согласованной нагрузке). Ниже представлены основные технические данные модернизированного магнетрона:

| | |
|---|---------------|
| - Выходная мощность | 400 - 450 Вт |
| - Рабочая частота | F0 ГГц |
| - Рабочая длительность импульса | 5 - 300 нс |
| - Диапазон перестройки частоты механическим поршнем, макс | 350 МГц, |
| - Диапазон электронной перестройки «от импульса к импульсу», макс | 150 МГц |
| - Частота посылок | 100 - 2000 Гц |

Внешний вид магнетрона представлен на Рис.1.

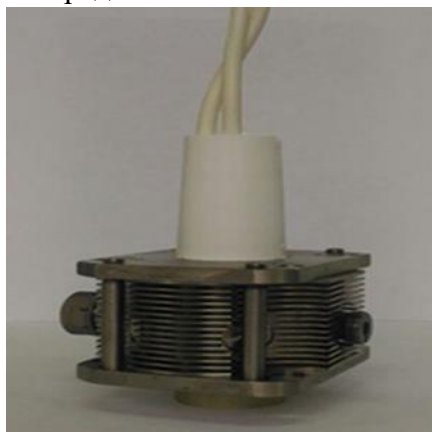


Рисунок 1. Двухвыводной магнетрон W - диапазона

С целью обеспечения многопозиционной радиолокационной системы досмотра в 2014-2016 годах для импульсного питания магнетронов был разработан трехканальный модулятор на основе твердотельных коммутаторов типа IGBT. В 2018 года в АО «НПК «НИИДАР» была проведена глубокая модернизация модулятора с целью уменьшения импульсного напряжения и длительности импульса до требуемых параметров локатора. Диапазон регулируемых длительностей импульса анодного тока в 3-х магнетронах был снижен с уровня 100-300 нс до 5-50 нс. Осциллограмма импульсов напряжения и тока модулятора представлена на Рис.2.



Рисунок 2. Осциллограмма импульсов тока и напряжения модулятора

3. Антенный излучатель для досмотровой системы.

Эффективная работы досмотровой системы в многопозиционном режиме обеспечивается диаграммой направленности с углом раскрытия по азимуту по уровню 3 дБ не менее 45 градусов. Было проведено моделирование таких излучателей на основе перехода с прямоугольного на круглый волновод с характерным размером неоднородности более 3 длин волн. Расчетная модель и диаграмма направленности представлена на рис. 3. Расчетный угол раскрытия составил $47,7^\circ$ по уровню 3 дБ.

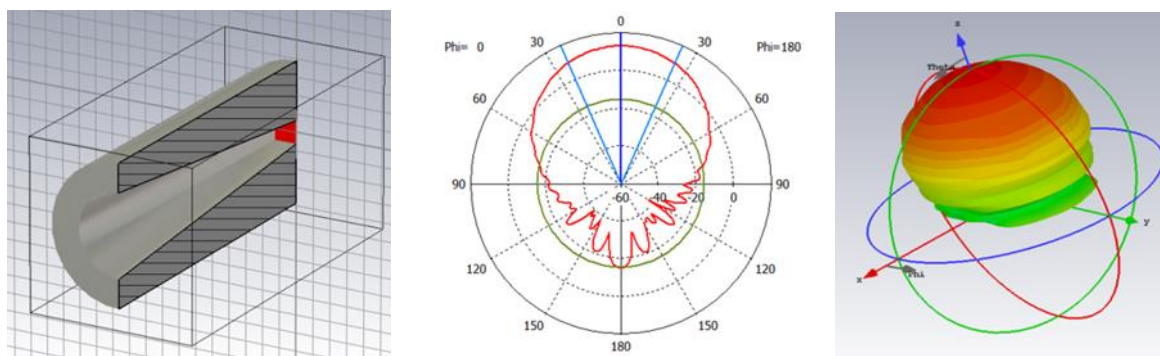


Рисунок 3. Модель и диаграмма направленности базовой антенны

При решении задач радиоосвещения необходимо существенно расширить угол равномерного подсвета антенного излучателя: применение диэлектрической линзы на выходе круглого волновода с диаметром 4,6 мм увеличило равномерный подсвет в дальней зоне до угла около $79,6^\circ$ по уровню 3 дБ (рис. 4).

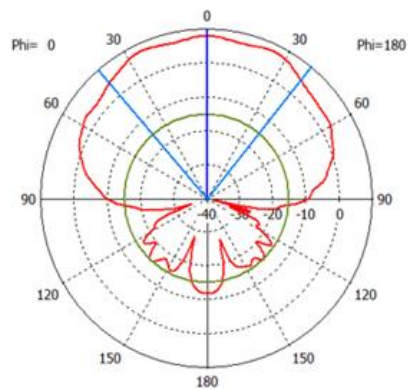
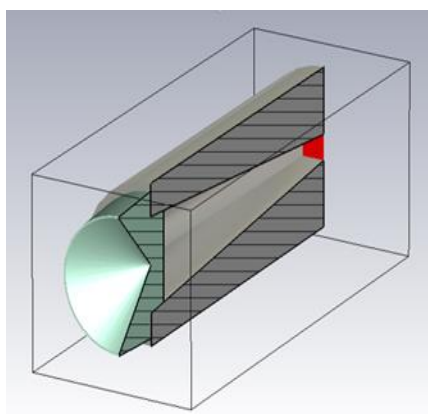


Рисунок 4. Модель и диаграмма направленности антенны с линзой

Расчетная структура электрических полей в ближней зоне представлена на рисунке 5.

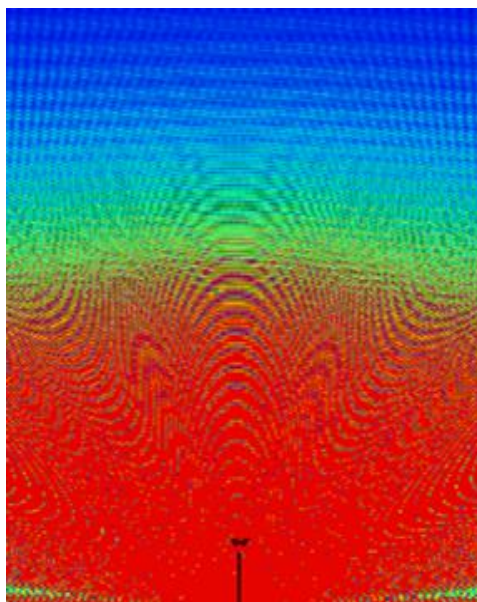


Рисунок 5. Структура электрического поля в пределах 1 метра от излучателя

Были проведены расчеты работа излучателя на две цели и регистрация сигнала на удаленный от целей и передатчика приемник. Расчетная картина поля и расчетные сигналы приемника во временной области представлены на Рис. 6.

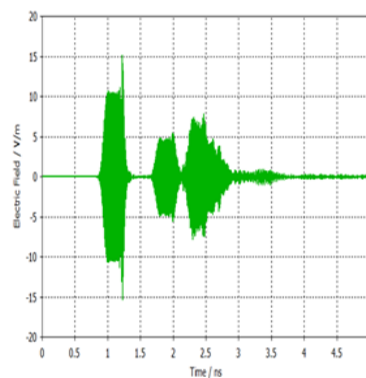
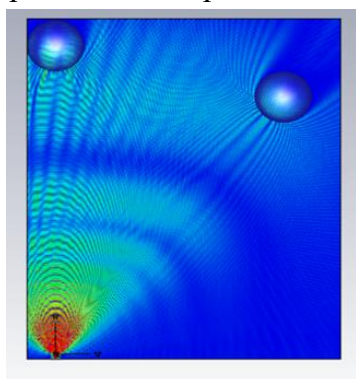


Рисунок 6. Картина поля для двух целей и сигналы прямого и отраженных сигналов

4. Экспериментальные результаты.

Для проверки работы передатчика был использован четырехканальный приемник, интегрированный с гетеродином с частотой 92 ГГц, с распределенными в пространстве приемными антеннами. Наружная панель приемника представлена на Рис. 7. Взаиморасположение приемных и передающих антенн в многопозиционной локации определяет систему базисов для расчета положения цели. В контрольных экспериментах один передатчик работал на три приемника многопозиционной системы. Четвертый приемник работал на анализ спектральных отраженных сигналов в частотной области в режиме «радиоосвещение». Площадь зоны досмотра составляла 16 кв.м. На рис. 8 представлены приемные осциллограммы для трех каналов при наличии в зоне досмотра 2-х металлических предметов прямоугольной формы размером 200x200x200 мм находящиеся на расстоянии 700 мм друг от друга. Разрешение по опорному и отраженным сигналам для двух целей позволяет определить бистатические пары для расчета положения объектов досмотра.

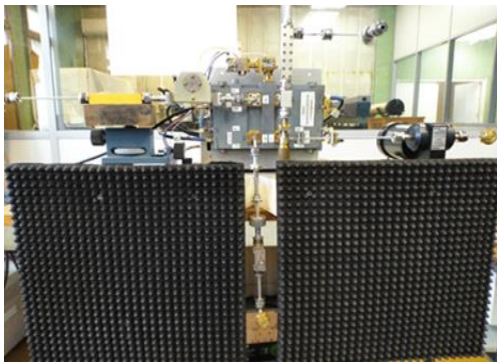


Рисунок 7. Приемный блок

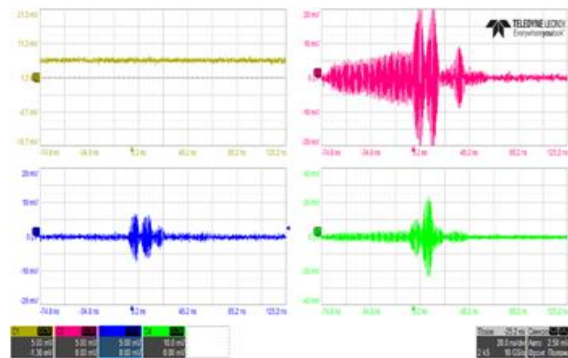


Рисунок 8. Осциллограммы приемных сигналов

В режиме «радиоосвещение» на анализаторе спектра представлены спектрограммы отраженного от различных предметов сигнала с высокой скважностью ($\approx 10^6$):

Рис. 9 – пустое помещение досмотра

Рис. 10 – полиэтиленовый манекен

Рис. 11 – манекен в хлопчатобумажном халате

Рис. 12 – человек с двумя металлическими цилиндрами длиной 150 мм

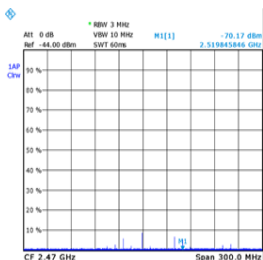


Рисунок 9

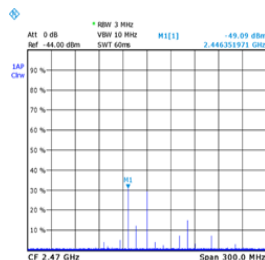


Рисунок 10

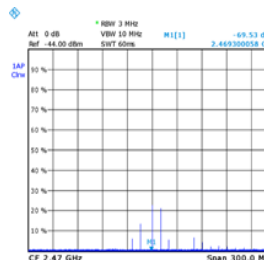


Рисунок 11

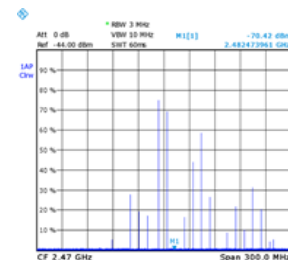


Рисунок 12

При зондировании широкополосным сигналом в W-диапазоне на спектральный состав может влиять как свойства отражающих материалов, так и структура отражающей поверхности. В эксперименте отмечено отличие отражения от тканей различной толщины вязки. База данных спектральных отраженных сигналов используется для определения материалов в зоне досмотра.

5. Двухчастотный режим «радиоосвещения».

Предлагается использование передатчика W-диапазона с «быстрой» перестройкой частоты от импульса к импульсу на основе двухвыводного импульсного магнетрона, ферритового фазовращателя разработки АО «Феррит-Домен» и оригинальной системы управления частотой генерации. При этом частота посылок настраивалась в диапазоне 100 — 2000 Гц. Передатчик работал в двухчастотном режиме с фиксируемым частотным сдвигом. Данное устройство в системе досмотра позволяет производить фильтрацию по интерференционным помехам в режиме «радиоосвещения» и одновременно увеличивать количество «позиций» передатчика в режиме многопозиционной локации. На Рис. 13 представлен генератор с устройством «быстрой» перестройки. На Рис. 14 представлен спектр двухчастотного передатчика.



Рисунок 13. Магнетрон с быстрой перестройкой

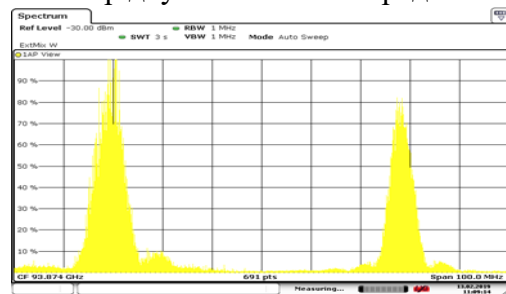


Рисунок 14. Спектр двухчастотного сигнала

6. Заключение

Применение многопозиционной локации с двухчастотной схемой передатчика перспективно в системах досмотра в связи с относительно малыми расстояниями между объектами досмотра и приемо-передающими устройствами. Применение спектрального анализа отраженных сигналов позволяет определять материалы объектов в зоне досмотра, при этом двухчастотный режим позволяет исключить интерференционные помехи. При этом максимально используются возможности коротковолновой части миллиметрового диапазона.

Список литературы

1. Скрипкин Н.И., Моругин С.Л. «Перестройка частоты магнетрона 3-мм диапазона длин волн с помощью дополнительного вывода». «ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА ЭКСПЕРИМЕНТА» №4 2018 г стр. 47-52.
2. Донецкий Р.В., Ефремова М.В., Иванов И.М., Платонов С.А., Скрипкин Н.И., Шмелев А.В. «Магнетроны коротковолновой части миллиметрового диапазона длин волн с перестройкой и стабилизацией частоты. Новые возможности.» Доклад на V НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОЭЛЕКТРОНИКА СВЧ» Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ», 2017
3. Иванов И.М., Скрипкин Н.И., Шмелев А.В. «Стабилизация частоты импульсных магнетронов W-диапазона.» Доклад на VI НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ «ЭЛЕКТРОНИКА И МИКРОЭЛЕКТРОНИКА СВЧ» Санкт-Петербургский электротехнический университет «ЛЭТИ», 2018