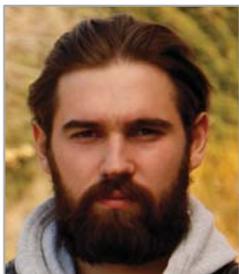


РАЗДЕЛ III. ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

ФОРМИРОВАТЕЛЬ СВЧ-ИМПУЛЬСОВ НАНОСЕКУНДНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНОГО РАДИОЛОКАТОРА



Никифоров Антон Александрович

Инженер Научно-исследовательской лаборатории СВЧ-технологии Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Аннотация: Радарные технологии являются одной из перспективных технологий, которые обеспечивают защиту от угроз совершения террористических актов в отношении объектов государственной важности. Использование в радарх зондирующих сигналов с широкой и сверхширокой полосой частот позволяет создавать новые высокоинформативные радиолокационные системы, функционирующие в режиме радиовидения цели. В настоящей работе приведены результаты разработки, конструирования и исследования формирователя СВЧ-импульсов наносекундной длительности для нелинейного радиолокатора. Данный формирователь СВЧ-импульсов наносекундной длительности обладает параметрами: пиковая мощность 2,09 кВт, длительность импульса по уровню -3 дБ 5 нс, частота следования импульсов 250 Гц, несущая частота излучения 848 МГц.

Ключевые слова: формирователь СВЧ-импульсов, усиление, импульс наносекундной длительности, аппаратура обнаружения, разрешающая способность по дальности.

Abstract: Radar technologies are one of the promising technologies that provide protection against terrorist threats acts on objects of national importance. Using of radar probing signals with a wide and ultra-wide frequency band allows us to create new highly informative radar systems that operate in the radio mode of the target. This paper presents the results of the development, design and study of a nanosecond microwave pulse former for a nonlinear radar. This microwave pulse former of nanosecond duration has the parameters: peak power 2,09 kW, pulse duration at -3 dB level 5 ns, pulse repetition rate 250 Hz, carrier frequency 848 MHz.

Key words: microwave pulse former, amplifier, nanosecond pulse, acquisition radar, range discrimination.

Введение

В настоящее время актуальным вопросом является оснащение наиболее уязвимых объектов транспортной инфраструктуры, объектов жизнеобеспечения и техногенноопасных объектов специализированными техническими средствами и устройствами, обеспечивающими устранение их уязвимости от актов незаконного вмешательства [1]. Кроме защиты от криминальных угроз в отношении объектов особой категории, важнейшее государственное значение имеет защита их от угрозы совершения террористических актов. Радарные технологии являются одной из перспективных технологий, лежащей в основе создания таких технических средств. Использование в радарх зондирующих сигналов с широкой и сверхширокой полосой частот позволяет создавать новые высокоинформативные радиолокационные системы, функционирующие в режиме радиовидения цели. В настоящее время наибольший интерес представляют нелинейные радиолокаторы, которые по-

зволяют выделять искомый объект на фоне помех. Эти приборы используются для обнаружения прослушивающих устройств и взрывоопасных объектов. Однако при использовании данных радиолокаторов существуют проблемы: длительное время процесса сканирования и малая вероятность обнаружения малозаметных объектов [2], а также низкая разрешающая способность по дальности. Данные проблемы могут быть решены с помощью метода резонансной СВЧ-компрессии.

Метод резонансной СВЧ-компрессии основан на накоплении СВЧ-энергии, которая поступает от СВЧ-генератора в накопительный резонатор с последующим выводом ее в виде короткого, увеличенного по амплитуде импульса [3]. Формирователь СВЧ-импульсов на основе использования метода резонансной СВЧ-компрессии может быть представлено структурной схемой, представленной на рис. 1.

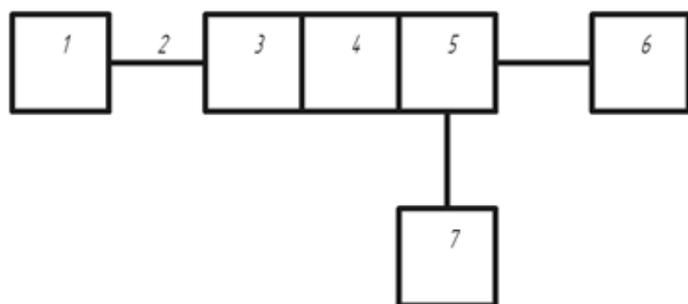


Рис. 1. Структурная схема устройства формирования СВЧ-импульсов. 1 – генератор, 2 – линия передачи, 3 – устройство связи, 4 – резонатор, 5 – элемент вывода, 6 – нагрузка, 7 – управляющий элемент

СВЧ-энергия, поступающая от генератора 1, по линии передачи 2 поступает через устройство связи 3 в резонатор 4, где происходит ее накопление. При срабатывании элемента вывода 5 под воздействием управляющего элемента 7, энергия, накопленная в резонаторе, поступает в нагрузку.

В данной работе в качестве накопительного резонатора было решено использовать коаксиальный резонатор вследствие упрощения подключения к коммутирующему устройству и вследствие наибольшего усиления в отличие от стандартных прямоугольных волноводов [4].

Основными переключающими устройствами являются электромеханические, электронные, газоразрядные и твердотельные приборы. Особенно широкое распространение получили приборы, созданные на основе ферритов, полупроводников [5] и плазмы газового разряда. В данной работе было решено использовать полупроводниковый коммутатор, который осуществляет переключение за время 10⁻⁷ – 10⁻¹⁰ с и может обеспечить большую частоту повторения вплоть до нескольких мегагерц. Данный коммутатор состоит из тороидального резонатора с расположенными внутри него P-I-N диодами.

Описание формирователя СВЧ-импульсов наносекундной длительности для нелинейного радиолокатора и результаты исследования его работы

Структурная схема установки показана на рисунке 2 и включает: СВЧ-генератор, формирователь, циркулятор и электронный блок управления коммутатором.

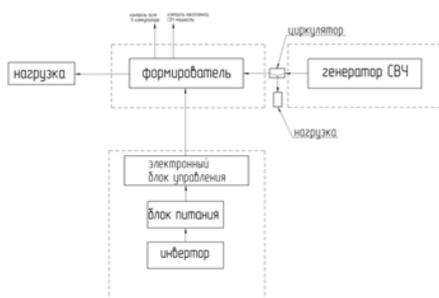


Рис. 2. Структурная схема формирователя СВЧ-импульсов наносекундной длительности для нелинейного радиолокатора

В качестве источника СВЧ-мощности используется СВЧ-генератор от детектора нелинейных переходов NR-900ЕКЗМ «Коршун». Параметры данного СВЧ-генератора приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры СВЧ-генератора			
Импульсная мощность СВЧ-генератора, Вт	Длительность генерируемых импульсов, мкс	Частота повторения импульсов, Гц	Несущая частота, МГц
200	4	250	848

На рис. 3 показана осциллограмма импульса на выходе генератора.

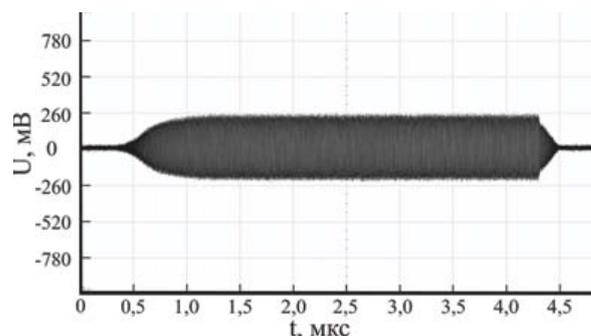


Рис. 3. Осциллограмма импульса СВЧ-генератора

Представленные осциллограммы в данной работе регистрировались с ослаблением в 44 дБ.

Для защиты от перегрузок на выходе СВЧ-генератора устанавливается коаксиальный циркулятор. Прямой выход циркулятора подключен к входу резонансной системы компрессии. Часть мощности генератора во время переходного процесса возбуждения резонатора отводится в нагрузку, подключенную к обратному выходу циркулятора. Потери в циркуляторе составляют 0,6 дБ. Резонансная система компрессии состоит из отрезка резонансной коаксиальной линии ограниченного со стороны входа элементом возбуждения и со стороны выхода полупроводниковым коммутатором на основе проходного тороидального резонатора. Коаксиальная линия изготовлена из меди и имела волновое сопротивление 59 Ом. Диаметр внешнего коаксиала составлял 32 мм и внутреннего 12 мм.

Внешний вид формирователя СВЧ-импульсов наносекундной длительности для нелинейного радиолокатора представлен на рис. 4.



Рис. 4. Внешний вид формирователя СВЧ-импульсов наносекундной длительности для нелинейного радиолокатора

Параметры формирователя СВЧ-импульсов наносекундной длительности для нелинейного радиолокатора приведены в табл. 2.

Таблица 2

Параметры формирователя СВЧ-импульсов наносекундной длительности для нелинейного радиолокатора

Коэффициент усиления	Добротность резонансной системы	Время накопления, нс	Несущая частота, МГц
10,5	500	500	848

В качестве коммутируемого устройства в формирователе используется полупроводниковый коммутатор. Коммутация накопленной СВЧ-мощности в данном устройстве осуществляется с помощью P-I-N диодов. Схема полупроводникового коммутатора приведена на рисунке 5. В схему входят 1-2 – отрезок коаксиальной линии, а-б вход и выход коаксиальной линии, 3 – кольцевой зазор, 4 – тороидальный резонатор, 5 – кольцо, 6 – P-I-N диоды, 7 – управляющий электрод, 8 – винты настройки.

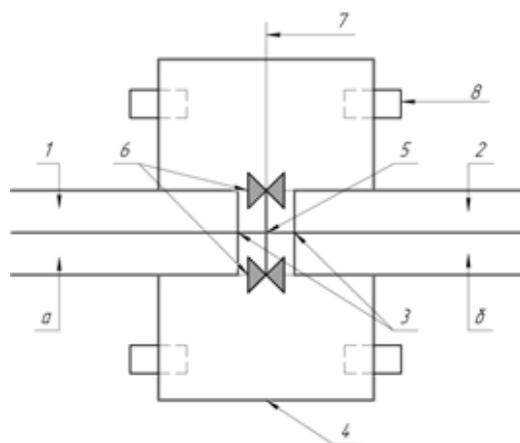


Рис. 5. Схема P-I-N диодного коммутатора

Тороидальный резонатор выполнен из медного волновода с внутренним диаметром 80 мм и длиной 64 мм. В кольцевом зазоре резонатора располагаются 6 пар включенных встречно P-I-N диодов 2A542A1. Выход коаксиальной линии соединен с нагрузкой.

Формирование импульсов методом резонансной СВЧ-компрессии происходит в результате двух процессов.

Первый процесс – накопление энергии в резонансном объеме. На вход резонансной системы поступают СВЧ-импульсы от генератора. При этом в течение 3,5 мкс на P-I-N диоды подается постоянное запирающее напряжение 300 В с целью уменьшить переходное затухание. Затем подается импульсное запирающее напряжение в 800 В в течение 500 нс для максимального накопления в резонансном объеме.

Подача запирающего постоянного, импульсного и прямого напряжения осуществляется блоком управ-

ления коммутатором. На рис. 6 приведена осциллограмма импульсного запирающего напряжения подаваемого на P-I-N диоды.

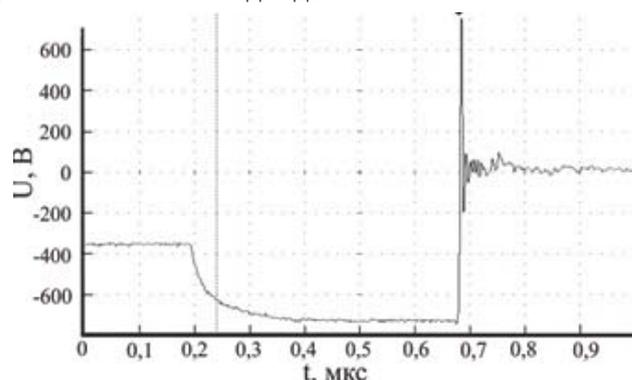


Рис. 6. Осциллограмма импульсного обратного напряжения

Второй процесс – вывод накопленной энергии в нагрузку. После того как на диоды было подано импульсное запирающее напряжение в течение 500 нс и уровень поля в резонаторе достиг максимальной величины, блок управления коммутатором формирует импульс отрицательной полярности 800 В, длительностью 5 нс и крутизной нарастания 320 В/нс в результате чего коммутатор открывается.

Осциллограмма импульса, сформированного блоком управления коммутатором, который открывает коммутатор, показан на рис. 7.

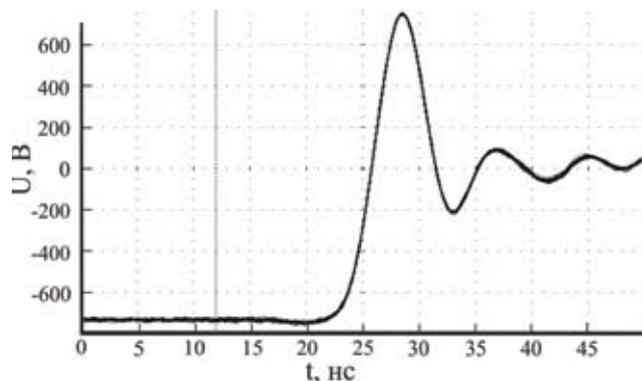


Рис. 7. Осциллограмма импульса, сформированного блоком управления коммутатором, который открывает коммутатор

Через открытый коммутатор энергия, накопленная в резонансной системе, излучается в нагрузку в виде импульса, увеличенного по амплитуде.

С помощью маркеров определяем амплитуду импульса. Таким образом, амплитуда импульса полученного в формирователе СВЧ-импульсов наносекундной длительности равняется 0,76 В. Осциллограмма сформированного импульса приведена на рис. 8.

Из осциллограммы импульса видно, что длительность импульса составляет 10 нс.

Коэффициент усиления мощности определяется по формуле:

$$M = (U_{\text{вх}} / U_{\text{вых}})^2,$$

где $U_{\text{вх}}$ – амплитуда импульса СВЧ-генератора,
 $U_{\text{вых}}$ – амплитуда импульса на выходе формирователя.

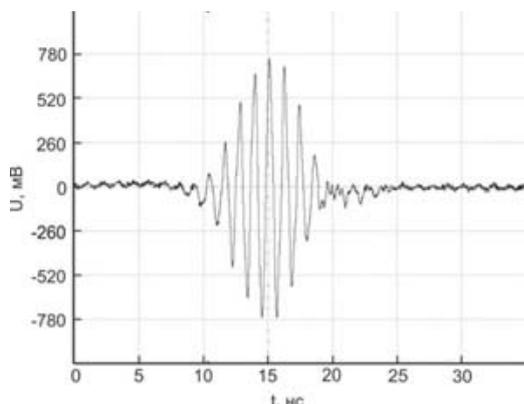


Рис. 8. Осциллограмма импульса на выходе формирователя СВЧ-импульсов

Таким образом, коэффициент усиления равен 10,5. Параметры сформированных СВЧ-импульсов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Параметры импульсов излучения
на выходе источника

Пиковая мощность на выходе формирователя, Вт	Длительность СВЧ-импульсов, нс	Частота повторения импульсов, Гц
2090	5	250

Как видно из таблицы, сформированный импульс обладает большей мощностью и меньшей длительностью.

Выводы

Разработан и сконструирован формирователь СВЧ-импульсов наносекундной длительности для нелинейного радиолокатора с повышенной импульсной мощностью и коротким импульсом излучения. Данное устройство способно повысить уровень безопасности на наиболее уязвимых объектах транспортной инфраструктуры, объектах жизнеобеспечения и на стратегически важных объектах. Также данное устройство, которое формирует сверхкороткие сигналы с коэффициентом усиления 10,5, решает проблемы при использовании стандартных нелинейных радиолокаторов, которые предназначены для обнаружения прослушивающих устройств и взрывоопасных объектов. Использо-

вание сверхкоротких импульсов позволит увеличить разрешающую способность по дальности, что позволит проводить примерный анализ количества взрывоопасных объектов в направлении зондирования местности. Повышенная мощность зондирующего сигнала позволит увеличить дальность действия нелинейного радиолокатора, а также увеличить вероятность обнаружения малозаметных объектов.

Однако при формировании СВЧ-импульсов методом резонансной СВЧ-компрессии для РЛС существует проблема. После вывода энергии из накопительного резонатора коммутатору необходимо время для восстановления запирающего. В течение этого времени сохраняется связь СВЧ-генератора с антенной системой, вследствие чего в это время СВЧ-энергия с СВЧ-генератора поступает в нагрузку. Компактные РЛС, использующие единую приемопередающую антенну во время восстановления коммутатора, не могут работать в режиме приема радиолокационных импульсов, вследствие чего увеличивается ближняя зона действия РЛС. Таким образом, для РЛС, использующих метод резонансной СВЧ-компрессии, уменьшение ближней зоны действия является одной из задач, которые необходимо решать при конструировании данных устройств. Далее планируется исключить послеимпульсное излучение во время вывода накопленной энергии.

Список литературы

1. Каширин В.И. Проблемы укрепления безопасности и противодействия экстремизму и терроризму на Северном Кавказе: колл. Моногр. / В.И. Каширин, О.В. Каширина, И.А. Анисеев [и др.]; отв. ред. проф. Н.П. Медведев. – Ставрополь: Изд-во СКФУ, 2016. – 132 с.
2. Тяпкин В.Н. Основы построения радиолокационных станций радиотехнических войск / В.Н. Тяпкин. Красноярск: Сибирский федер. ун-т, 2016. – 536 с.
3. Ozlem Karsli, Mustafa Dogan, Senior Member, IEEE, Fatih Ahiska, and O. Orkun Surel. Implementation of High Power Microwave Pulse Compressor // IEEE transactions on plasma science, Vol. 47, No. 6, June 2019
4. Миронов О.С. Режим высокой частоты повторения импульсов в сверхширокополосной радиолокации / О.С. Миронов // Известия вузов России. Радиоэлектроника. – 2016. – Вып. 5. – С. 47–51.
5. Иванов Б.В. Формирование наносекундных импульсов напряжения дрейфовыми диодами с резким восстановлением / Б.В. Иванов, А.А. Смирнов, С.А. Шевченко [и др.] // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2015. – Вып. 3. – С. 25–29.