

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПЕРЕДАТЧИК L – ДИАПАЗОНА С КОМПРЕССИЕЙ ИМПУЛЬСОВ ИЗЛУЧЕНИЯ

А. А. Никифоров, П. Ю. Чумерин, В. Н. Слинко, В. А. Ваулин

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Статья поступила в редакцию 14 декабря 2018 г.

Аннотация. Приведены результаты разработки и исследования источника СВЧ излучения с компрессией импульса на выходе полупроводникового генератора. В результате разработан макет источника с параметрами: пиковая мощность 1,78 кВт, длительность импульса по уровню -3 дБ 5 нс, частота следования импульсов 250 Гц, несущая частота излучения 848 МГц. Материалы статьи докладывались на VI Всероссийской Микроволновой конференции.

Ключевые слова: усилитель, СВЧ компрессор, импульс наносекундной длительности.

Abstract. The results of the development and research of the microwave source with pulse compression at the output of a semiconductor generator are given. As a result, a model of a microwave source layout was developed with the following parameters: peak power 1.78 kW, pulse duration at -3 dB level 5 ns, pulse repetition rate 250 Hz, carrier frequency 848 MHz.

Key words: amplifier, microwave compressor, nanosecond pulse.

1. Введение

Одним из методов увеличения пиковой мощности СВЧ генераторов является временное сжатие энергии излучения на его выходе с помощью резонансных систем – резонансных компрессоров [1]. Интерес к использованию методов резонансной СВЧ компрессии при создании источников СВЧ излучения наносекундной длительности, с одной стороны, обусловлен возможностью увеличения пиковой мощности генератора без увеличения энергетического потенциала источника питания. С другой стороны,

формирование широкополосных и сверхширокополосных импульсных сигналов основано на простых технических решениях осуществления временного сжатия и использования существующей элементной базы узкополосной техники СВЧ [2-5].

Принципы временного сжатия энергии импульса относятся к пассивным методам увеличения пиковой мощности и основаны на накоплении электромагнитной энергии в высокочастотном резонаторе в течение времени $t_n = (3-5)\tau_p$, где $\tau_p = Q_n/\omega_0$ – постоянная времени резонатора, Q_n – нагруженная добротность резонатора, ω_0 – круговая резонансная частота, и последующим быстрым её выводом в нагрузку при изменении связи за время $t_v \ll \tau_p$. Коэффициент увеличения мощности M^2 связан со степенью сжатия, определяемой отношением длительности импульса на входе – $\tau_{вх}$ и на выходе – $\tau_{вых}$ устройства компрессии соотношением:

$$M^2 = \frac{P_{вх}}{P_{вых}} = \eta \cdot \frac{\tau_{вх}}{\tau_{вых}}, \quad (1)$$

где $P_{вх}$ и $P_{вых}$ – соответственно мощности на входе и выходе компрессора, η – КПД преобразования энергии импульса, поступающего на вход компрессора, в энергию выходного импульса.

В данной работе представлены результаты разработки и исследования источника СВЧ излучения с компрессией импульса на выходе полупроводникового генератора L – диапазона.

2. Описание СВЧ – компрессора на основе P-I-N диодного коммутатора и результаты исследования его работы

Структурная схема установки показана на рисунке 1 и включает: СВЧ генератор, СВЧ компрессор, циркулятор и электронный блок управления коммутатором.

В качестве источника СВЧ мощности используется СВЧ генератор от детектора нелинейных переходов NR-900ЕК3М «Коршун». Параметры данного СВЧ генератора приведены в таблице 1.

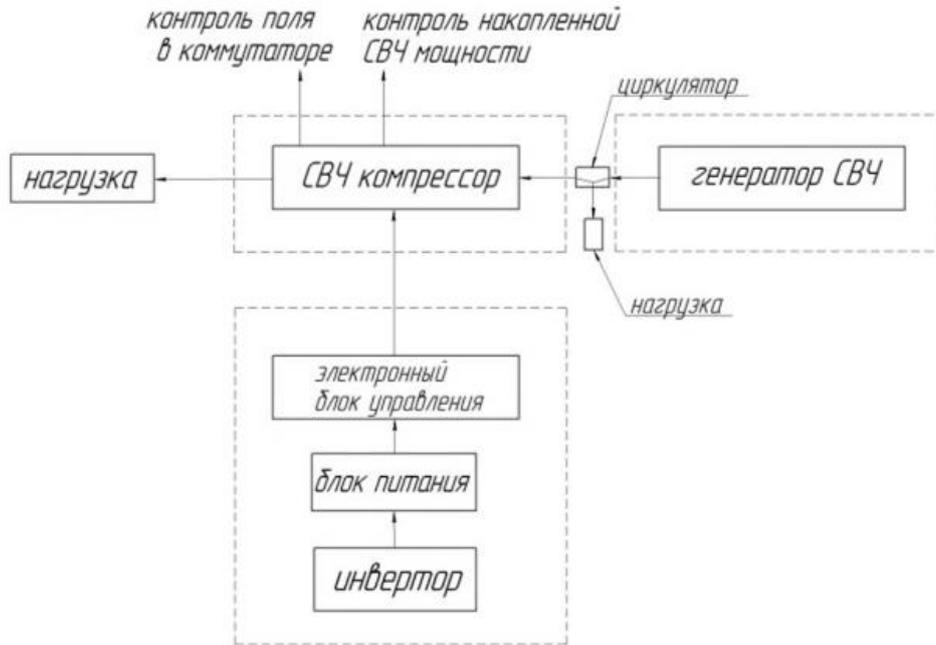


Рис.1. Структурная схема СВЧ – компрессора на основе P-I-N диодного коммутатора.

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

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 СВЧ 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 СВЧ-компрессора на основе P-I-N диодного коммутатора представлен на рисунке 2. На рисунке показаны 1 – накопительный резонатор; 2 – входной разъем связи с генератором; 3 – винты подстройки резонансной частоты накопительного резонатора; 4 – разъем для контроля накопленной СВЧ – мощности; 5 – переключающий P-I-N диодный коммутатор; 6 – выходной разъем связи с нагрузкой; 7 – винты подстройки запирающего коммутатора; 8 – разъем подачи смещения на P-I-N диоды; 9 – разъем для контроля поля в коммутаторе.

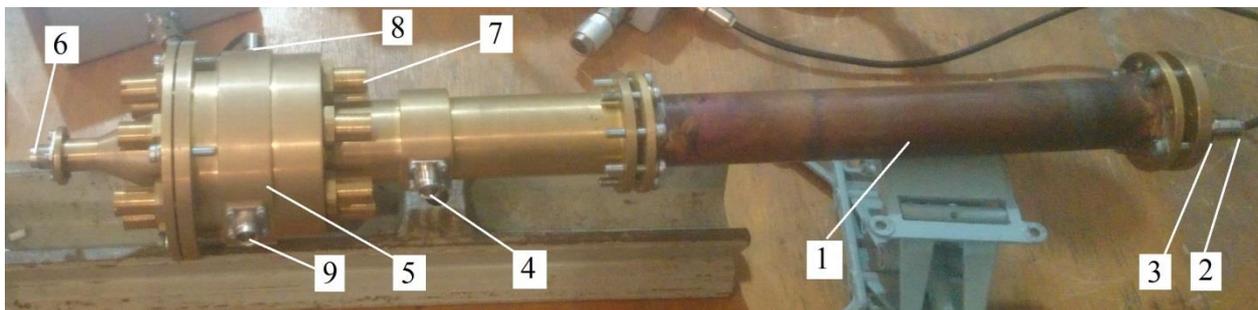


Рис. 2. Внешний вид СВЧ – компрессора на основе P-I-N диодного коммутатора.

Параметры СВЧ – компрессора на основе P-I-N диодного коммутатора приведены в таблице 2.

Таблица 2. Параметры СВЧ – компрессора на основе P-I-N диодного коммутатора.

Коэффициент усиления	Добротность резонансной системы	Время накопления, нс	Несущая частота, МГц
8,9	500	500	848

В качестве коммутируемого устройства в СВЧ компрессоре используется полупроводниковый коммутатор. Коммутация накопленной СВЧ мощности в данном устройстве осуществляется с помощью P-I-N диодов. Схема полупроводникового коммутатора приведена на рисунке 3. В схему входят 1,5 – коаксиальная линия, 2 – блок управления коммутатором, 3 – тороидальный резонатор, 4 – P-I-N диоды 2A542A1.

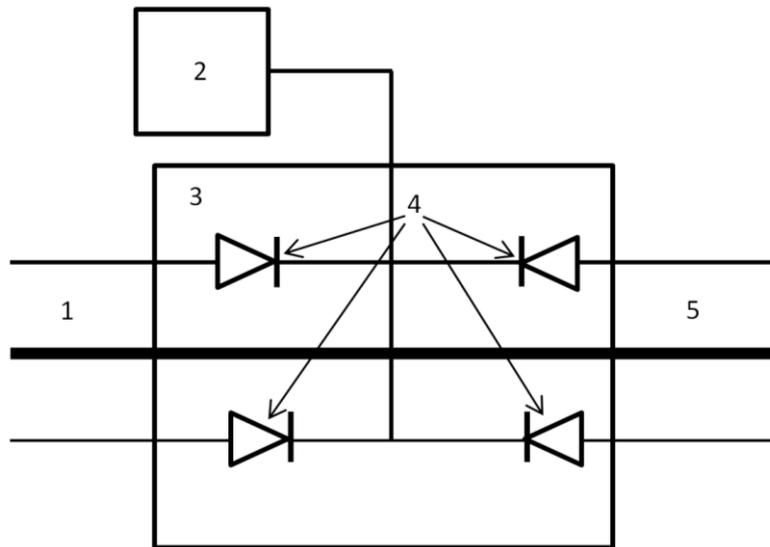


Рис. 3. Схема P-I-N диодного коммутатора.

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, поступающей с СВЧ генератора, в коаксиальном резонаторе. В этом случае на P-I-N диоды подается импульсное обратное смещение 800 В, которое запирает диоды.

СВЧ генератором генерируются импульсы длительностью до 4 мкс, следующие с частотой 250 Гц. Осциллограмма импульса приведена на рисунке 4. При поступлении на вход резонансной системы СВЧ импульсов от генератора происходит накопление энергии в резонансной системе.

Второй процесс – вывод накопленной энергии в нагрузку. Через время, равное 500 нс, когда уровень поля в резонаторе достигает 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 рисунке 5.

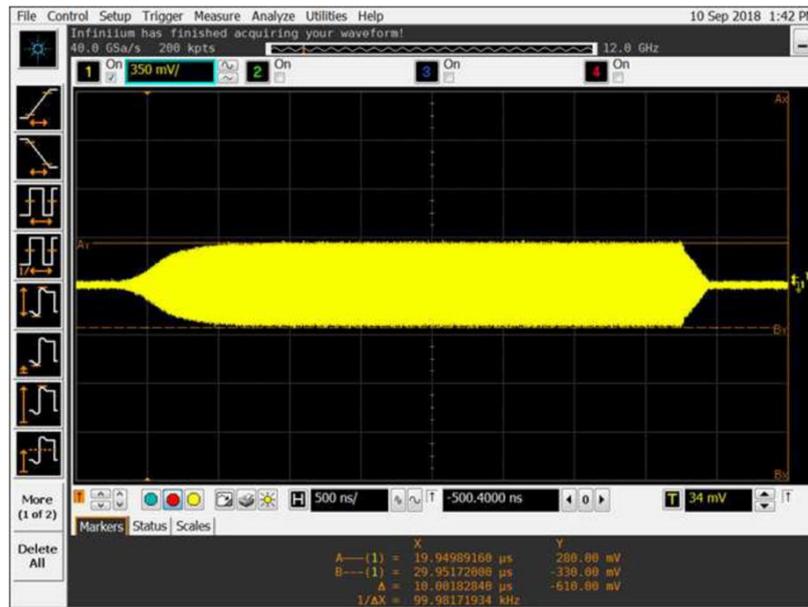


Рис. 4. Осциллограмма импульса СВЧ генератора.

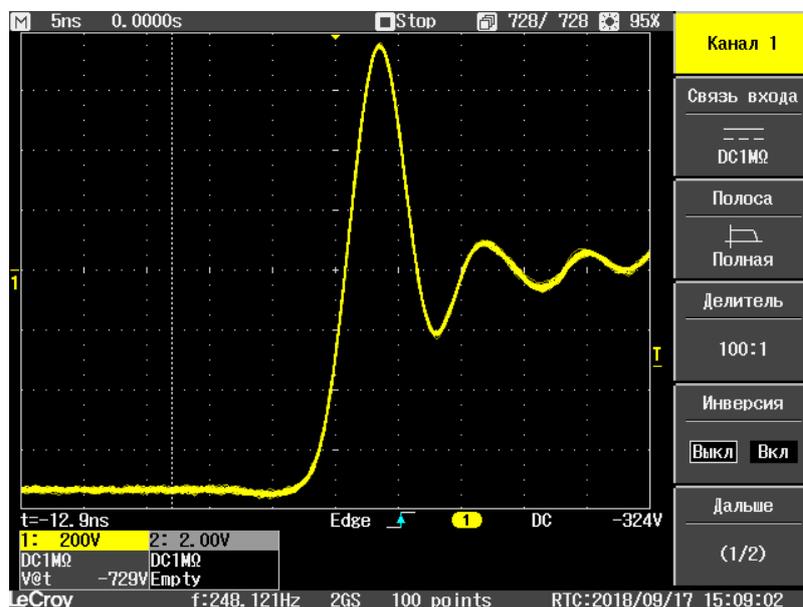


Рис. 5. Осциллограмма импульса, сформированного блоком управления коммутатором, который открывает коммутатор.

Через открытый коммутатор энергия, накопленная в резонансной системе, излучается в нагрузку в виде импульса, увеличенного по амплитуде относительно мощности генератора в 8,9 раз и длительностью, определяемой

добротностью резонансной системы в режиме вывода – 5 нс. Осциллограмма сформированного импульса приведена на рисунке 6.

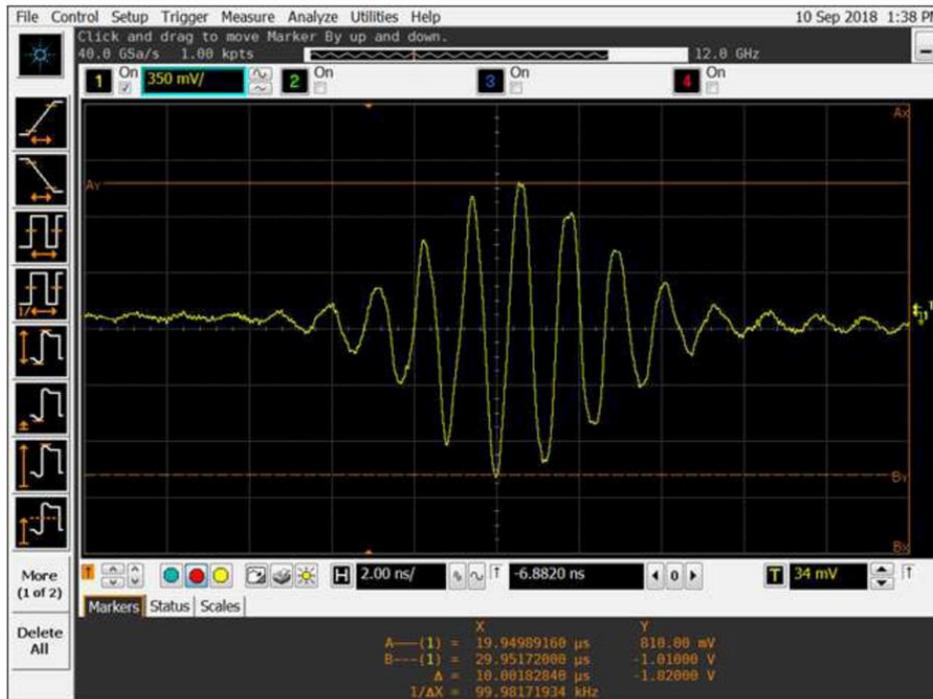


Рис. 6. Осциллограмма импульсов на выходе источника СВЧ излучения.

Параметры сформированных СВЧ импульсов приведены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры импульсов излучения на выходе источника.

Пиковая мощность на выходе компрессора, Вт	Длительность СВЧ импульсов, нс	Частота повторения импульсов, Гц
1780	5	250

3. Заключение

Таким образом, в результате проведенной работы:

- разработана конструкция устройства СВЧ компрессора с полупроводниковым коммутатором на основе P-I-N диодов.
- на базе полупроводникового генератора с параметрами, приведенными в таблице 1, создан лабораторный макет источника СВЧ излучения наносекундной длительности с параметрами, приведенными в таблице 2 и 3.

Работа выполнена при (частичной) финансовой поддержке ГЗ «Наука», проект 11.1928.2017/4.6.

Литература

1. Диденко А. Н., Юшков Ю. Г. Мощные СВЧ – импульсы наносекундной длительности. – М.: Энергоатомиздат, 1984. 112 с.
2. Badulin N.N., Batsula A.P., Mel'nikov A.I., Novikov S.A., Razin S.V., Shoshin E.L., Yushkov Yu.G. Nanosecond Pulse-compression Microwave Radar. *Electromagnetic Waves & Electronic Systems*, 1997, Vol. 2.
3. Новиков С.А., Разин С.В., Чумерин П.Ю., Юшков Ю.Г. Получение мощного СВЧ излучения при сложении радиосигналов на выходе резонансных формирователей. *Письма в ЖТФ*. 1990, Т. 16, № 20, с. 46- 48.
4. Диденко А.Н., Новиков С.А., Разин С.В., Чумерин П.Ю., Юшков Ю.Г. Формирование мощных сверхширокополосных радиосигналов при последовательной временной компрессии СВЧ энергии. *Доклады АН СССР*. 1991. Т. 321, № 3, с. 518–520.
5. Новиков С.А., Разин С.В., Чумерин П.Ю., Юшков Ю.Г. Получение мощных сверхширокополосных радиоимпульсов с помощью резонансных формирователей. *Письма в ЖТФ*. 1991, Т. 17, № 13, с.37–39.

Для цитирования:

А. А. Никифоров, П. Ю. Чумерин, В. Н. Слинко, В. А. Ваулин. Полупроводниковый датчик L-диапазона с компрессией импульсов излучения. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2018. № 12. Режим доступа: <http://jre.cplire.ru/jre/dec18/18/text.pdf>
DOI 10.30898/1684-1719.2018.12.18