

**Сарибекян А.М.<sup>1,3</sup>, Юшин А.М.<sup>1,3</sup>, Кучерук В.В.<sup>2,3</sup>, Лебедев Н.В.<sup>2,3</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет

информационных технологий, механики и оптики

<sup>3</sup>ООО «Арзус-ЭТ»

## Разработка PIN-диодного ограничителя мощности S-диапазона

*Представлены результаты разработки и моделирования PIN-диодного ограничителя мощности с заданными параметрами (входная пиковая мощность не более  $P_{in} = 48 \text{ dBm}$ , мощность на выходе не более  $P_{out} = 14 \text{ dBm}$ ).*

**Ключевые слова:** Ограничители мощности, защитные устройства СВЧ, PIN-диоды.

На сегодняшний день такие области, как радиолокация, радионавигация, телекоммуникационные системы интенсивно развиваются. В связи с этим предъявляются повышенные требования к параметрам СВЧ устройств.

В современной электронике важен очень высокий показатель надежности и устойчивости всей системы в целом при воздействии различных внешних факторов. В частности, во входных каскадах приемных устройств СВЧ-диапазона часто применяются маломощные усилители (МШУ), которые очень чувствительны к воздействию мощного СВЧ-сигнала. Типы транзисторов, используемых в МШУ, подвержены электрическому пробое, поэтому для защиты СВЧ приемных устройств используют ограничители мощности. Ограничители предназначены для уменьшения СВЧ-мощности, поступившей на вход приемников до безопасного уровня.

Приемники, работающие в СВЧ-диапазоне, обладают некоторыми особенностями. Основной особенностью является использование одной приемо-передающей антенны. Из-за этого возникает необходимость в специальном антенном переключателе, который предназначен для автоматического переключения антенны с передачи на прием и обратно, а также в защитном устройстве (ЗУ). На рис.1 представлена принципиальная схема антенного переключателя на двух последовательно подключенных Y-циркуляторах и ограничителе мощности на PIN-диодах.

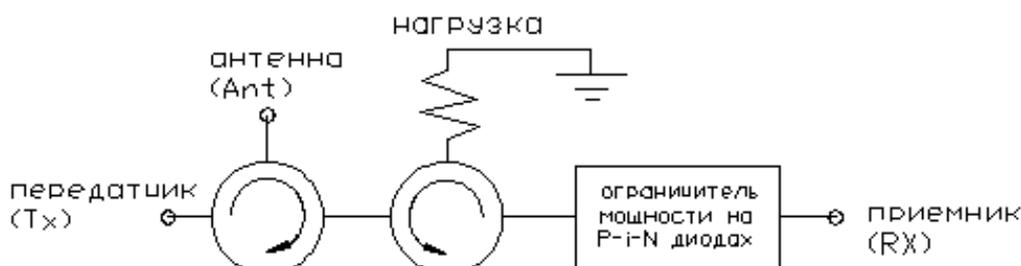


Рисунок 1. Принципиальная схема антенного переключателя.

В данной работе был рассчитан и смоделирован ограничитель мощности на PIN-диодах в каскаде с диодом Шоттки. Выбор ограничителя был обусловлен тем, что такой ограничитель не требует дополнительной подводки питания и имеет сравнительно небольшие размеры.

Рассмотрим амплитудную характеристику ограничителя мощности. При низком уровне падающей мощности (ниже порога ограничения) проводимость диодов мала, и мощность на выходе устройства практически равна мощности на входе, так как потери в устройстве при уровне мощности ниже порога ограничения составляют около 0,5 дБ в дециметровом и 1-1,5 дБ в сантиметровом диапазонах [1]. Эта часть характеристики отмечена римской цифрой (I) на рис. 2а.

При дальнейшем увеличении уровня падающей мощности линейная зависимость между мощностями на входе и выходе ограничителя нарушается из-за существенного увеличения проводимости PIN-диодов при увеличении падающей мощности.

Этот участок (II) представляет собой плоскую часть, занимающую при удачной конструкции ограничителя 3-4 порядка изменения входной мощности. В конце этого участка характеристики проводимость диода перестает увеличиваться при возрастании падающей мощности и начинается участок характеристики (III), где проводимость ограничительного диода велика и постоянна. На участке (III) мощность на выходе линейно связана с падающей мощностью. Наконец, на участке (IV) происходит разрушение диода из-за превышения номинальной мощности рассеяния диода.

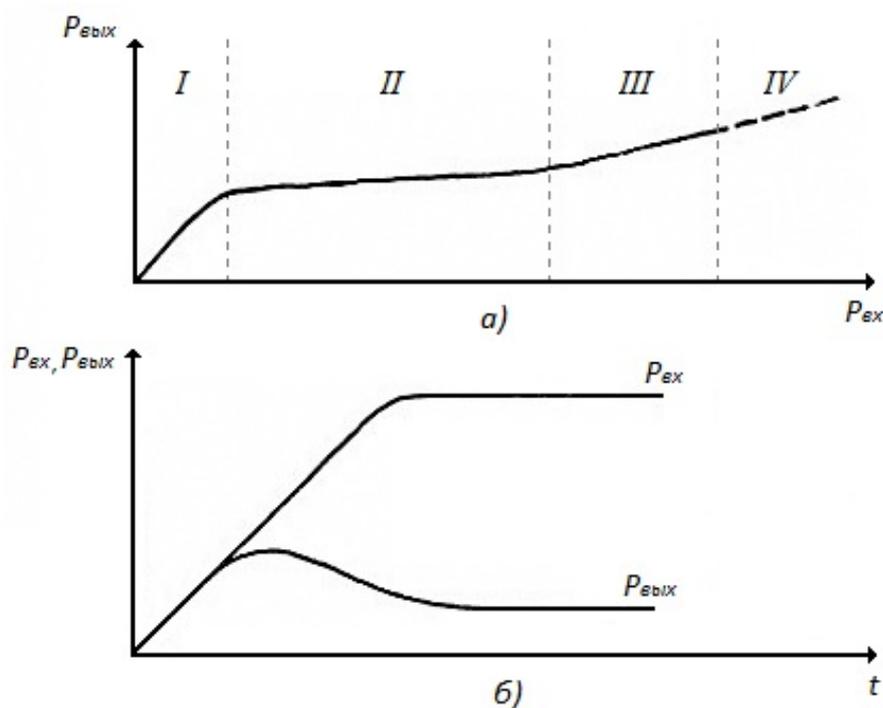


Рисунок 2. а) амплитудная характеристика ограничителя мощности;  
б) процесс установления рабочего режима во времени.

На рис. 2б показано увеличение мощностей  $P_{вх}$  на фронте радиоимпульса и  $P_{вых}$  на выходе ограничителя. При быстром нарастании колебаний на фронте радиоимпульса сказывается время установления низкого сопротивления ограничительного диода, и в начале импульса просачивающейся мощности на выходе ограничителя имеется пик мощности. Его длительность и амплитуда зависят от соотношения крутизны фронта радиоимпульса и времени установления низкого сопротивления диода [1].

Для анализа многокаскадного полупроводникового ограничителя на PIN-диодах рассмотрим модель ограничителя, показанную на рис.3, которая представляет собой микрополосковую линию, включенную последовательно в линию передачи через PIN-диоды на расстояниях кратных четверти длины волны один от другого. В конце ограничителя установлен смесительный диод подпитки (диод Шоттки). Ограничитель с диодом подпитки работает следующим образом: когда уровень проходящей через ограничитель мощности достигает достаточно большой величины, диод подпитки открывается; выпрямленный ток, проходящий через него, замыкается через PIN-диоды и понижает порог открывания. Так как передний фронт пришедшего СВЧ импульса всегда наклонный, то PIN-диоды, начав открываться с помощью диода подпитки при прохождении нижней части фронта, уже достаточно открыты при прохождении его верхней части, т. е. быстродействие ограничителя увеличивается. Когда PIN-диоды открылись, они отражают большую часть пришедшей мощности, и, таким образом, защищают последующую часть приемника, а также и диод подпитки [2].

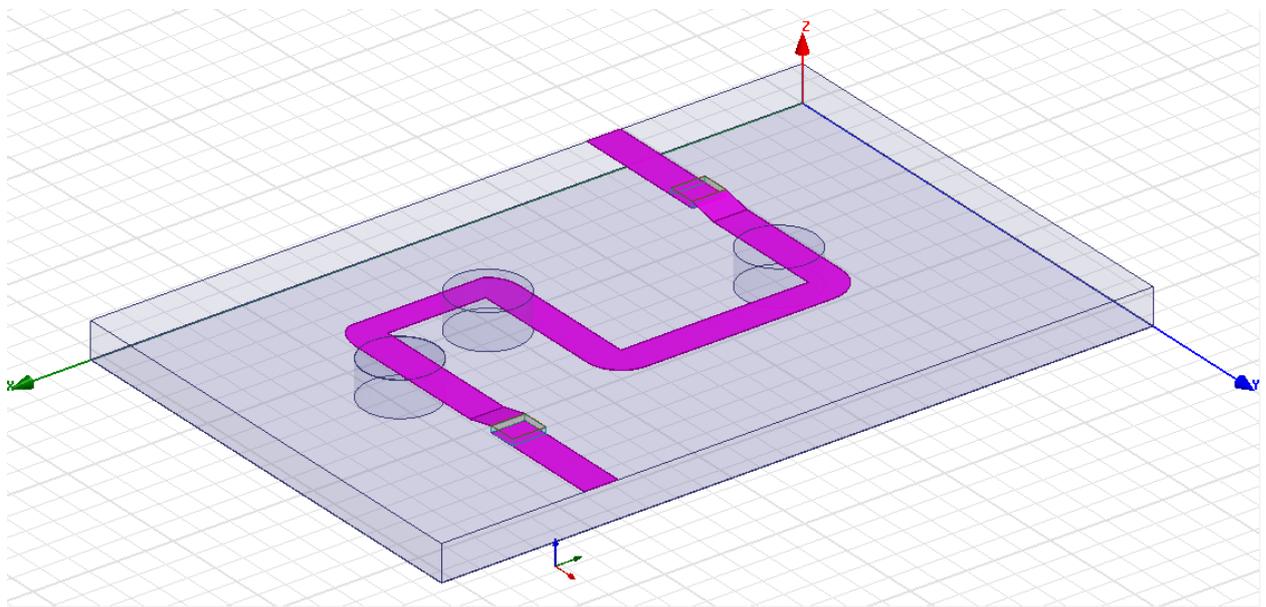


Рисунок 3. 3D модель ограничителя мощности.

Одной из основных задач проектирования ограничителя мощности является то, что выходная мощность не должна превышать 0,025 Вт или 14 dBm. Для достижения этой цели нам понадобится два PIN-диода и диод Шоттки. Так как входная мощность составляет не более 48 dBm, на входе ограничителя должен стоять мощный PIN-диод, такой как MLP7121, после которого выходная мощность составляет 41 dBm. Это превышает допустимое значение выходной мощности. Для уменьшения излишней мощности ставится еще один PIN-диод (MLP7131), который ограничивает мощность до 22 dBm. Остаток мощности уменьшает последовательно подключенный диод Шоттки (MZB600). Таким образом, двумя PIN-диодами в каскаде с диодом Шоттки была решена задача ограничения мощности.

В результате моделирования были получены характеристики для двух режимов работы диодов: диоды в закрытом состоянии (при низком уровне мощности) и в открытом состоянии (при высоком уровне мощности). Ниже представлены S11, S22, S21 параметры.

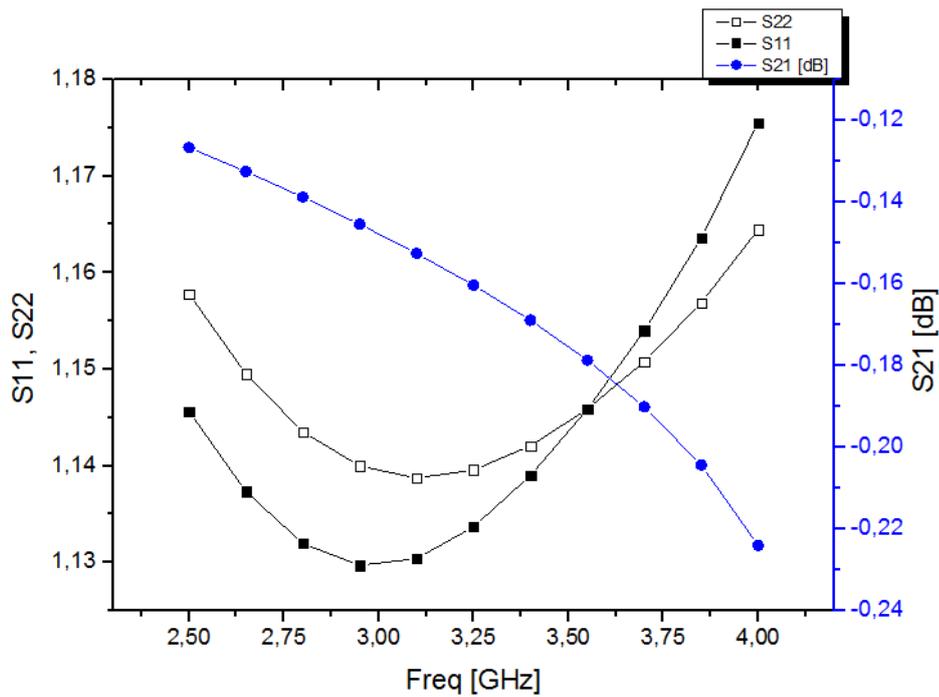


Рисунок 4. S11, S22, S21 параметры при низком уровне мощности.

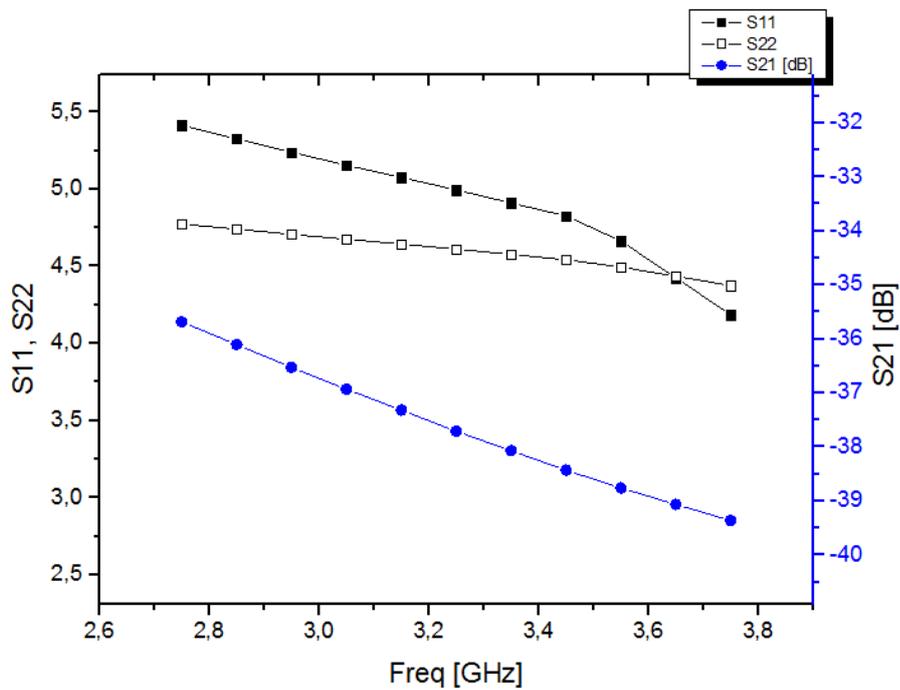


Рисунок 5. S11, S22, S21 параметры при высоком уровне мощности.

#### Библиографический список

1. Вайсблат А.В. Коммутационные устройства СВЧ на полупроводниковых диодах. Производственное издание. Москва: Издательство «Радио и связь». Редакция литературы по электронной технике, 1987. - Серия «Массовая библиотека инженера «Электроника»
2. Микроэлектронные устройства СВЧ/ Н. Т. Бова, Ю. Г. Ефремов, В. В. Конин и др. К.: Техника, 1984. — 184с.