

Сверхширокополосные направленные и ненаправленные детекторы проходящей мощности

Андрей С. Загородний^{1,2}, Алексей В. Дроздов^{1,2}, Николай Н. Воронин¹, Игорь В. Юнусов¹
¹Томский Государственный Университет Систем Управления и Радиоэлектроники, Томск, Россия
²ЗАО «Научно-производственная фирма «Микран», Томск, Россия

Аннотация – В работе представлены результаты разработки сверхширокополосных детекторов проходящей мощности. Отражены результаты моделирования монолитных интегральных схем детекторов мощности с малыми вносимыми потерям (Insertion losses). Представлено сравнение характеристик моделей и экспериментальных зависимостей изготовленных образцов в частотном диапазоне от 10 МГц до 65 ГГц. Вносимые потери МИС (ММИС) ненаправленных детекторов менее 1 дБ до 40 ГГц, направленных не более 2 дБ до 40 ГГц. Динамический диапазон детекторов не менее 55 дБ.

Ключевые слова – Детектор мощности, низкобарьерный диод, измерение мощности, высокочастотные сигналы, направленность.

I. ВВЕДЕНИЕ

Одной из важных тенденций в измерительной технике является расширение диапазона рабочих частот приборов, что обуславливает актуальность применения широкополосных устройств в составе приборов и радиосистем. Основным энергетическим параметром на радиочастотах (In RF and microwave) является мощность. Наибольшее распространение в современном измерительном оборудовании получили детекторные диоды, отличающихся от иных преобразователей быстродействием, высоким динамическим и частотным диапазонами. В работе (In this paper) представлены результаты проектирования монолитных интегральных схем (МИС) детекторов с малыми вносимыми потерями на основе низкобарьерных детекторных диодов, работающих в режиме с нулевым смещением.

II. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Все детекторы мощности можно разделить на детекторы поглощаемой мощности и детекторы проходящей мощности (ДПМ), функциональные схемы детекторов показаны на Рис. 1. Детекторы поглощаемой мощности представляют собой эквивалент согласованной нагрузки, для измерений необходимо подключение к источнику сигнала. ДПМ включаются в линию передачи без отключения от нагрузки, вносят малые потери и измеряют мощность, передающуюся в СВЧ тракте. В этом случае необходимо разделять измерение мощности поступающего на вход сигнала P_{INCIDENT} и мощности отражённого сигнала $P_{\text{REFLECTED}}$ (Fig. 1). Отражённая мощность может оказывать существенное влияние на источник сигнала вплоть до выведения его из строя. Направленные детекторы мощности в идеальном случае детектируют только падающую мощность и не дают отклика на мощность отражённого

сигнала. Направленность детектора определяется отношением выходных напряжений детектора при прямом и инверсном включении. Под инверсным подключением понимается подключение источника к выходу детектора, нагрузки ко входу.

Направленные ДПМ чаще всего реализуются либо с использованием направленного ответвителя (НО) и детектора поглощаемой мощности, подключенного к плечу НО на которое ответвляется мощность, либо с использованием направленного моста и чувствительного элемента (диода) включенного в него.

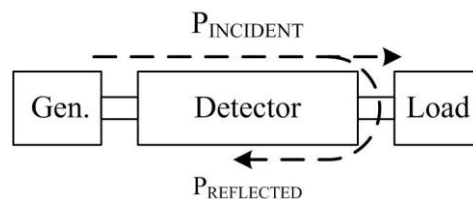


Рис. 1. Схема подключения детектора проходящей мощности

Главным недостатком реализации ДПМ с использованием НО являются их существенные габариты. ДПМ на основе направленных мостов лишены этого недостатка, также возможна их реализация на основе технологии монолитных интегральных схем (МИС). Номенклатура коммерчески доступных ДПМ произведенных по технологии МИС имеет широкий ряд, однако они либо имеют узкую полосу рабочих частот, либо малый динамический диапазон. Необходимость в реализации сверхширокополосных детекторов имеющих при этом широкий динамический диапазон обуславливает актуальность работы описанной в данной статье.

III. ТЕОРИЯ

Спроектированы и изготовлены МИС детекторов на подложке GaAs толщиной 0.1 мм. Элементы детекторов изготовлены по планарной технологии, конденсаторы выполнены в виде конденсаторов МДМ (переформулировать), а резисторы выполнены в виде полигонов с резистивным напылением. В качестве преобразующих элементов используются низкобарьерные диоды ZB-28 производства «Микран». Схема включения используемая при моделировании диода показана на Рис. 2 [1], а основные SPICE параметры элементов схемы приведены в Табл. 1 [2]. Применение низкобарьерных диодов обусловлено возможностью их работы без подачи напряжения смещения, что исключает возможность влияния цепей смещения на остальные части детектора [3].

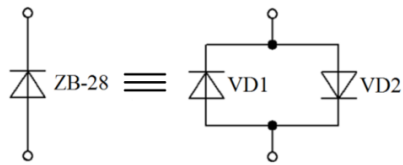


Рис. 2. Представление модели диода ZB-28

ТАБЛИЦА I
SPICE-ПАРАМЕТРЫ ZB-28

Обозначение	Параметр	Ед. Изм.	VD1	VD2
I_s	Ток насыщения	μA	34.64	62.32
R_s	Сопротивление потерь	Ω	30	62.3
N	Коэффициент неидеальности		1.35	21.5
C_{jo}	Емкость перехода	фФ	0.030	0.030

IV. НАПРАВЛЕННЫЙ ДППМ

Разработанный направленный ДППМ реализован по схеме направленного моста с включенным в одно из плеч детекторного диода [4]. Принципиальная схема по которой реализован направленный ДППМ показана на Рис. 3.

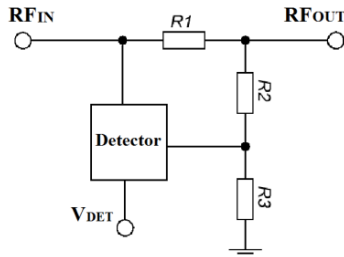


Рис. 3. Принципиальная схема направленного ДППМ

Мостовая схема реализована резисторами R_1 , R_2 , R_3 . Сопротивление резисторов находятся в пропорции $R_1=0,1W$, $R_2=W$, $R_3=10W$, где W – волновое сопротивление линии передачи.

Моделирование детектора проводилось в системе автоматизированного проектирования Advanced Design System (ADS). 3D модель детектора, построенная в Momentum ADS, показана на Рис. 4.

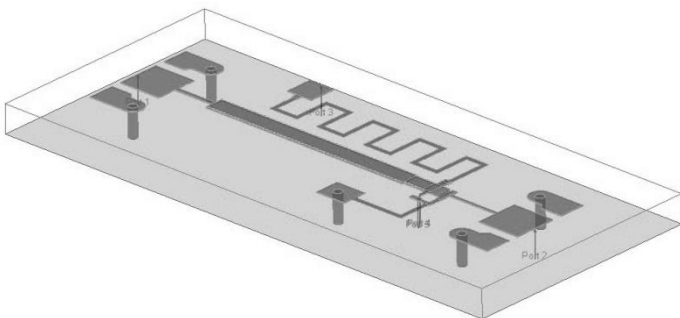


Рис. 4. Модель МИС MD902 в программе Momentum ADS

Микрофотография направленного ДППМ показана на Рис. 5.

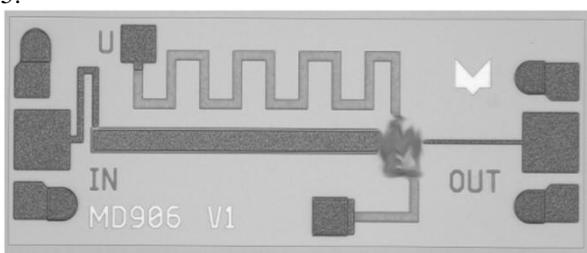


Рис. 5. Микрофотография МИС MD902

Разработка топологии проводилась с учетом паразитных параметров, вносимых соединительными компонентами (разварочными проволоками).

На Рис. 6 представлено сравнение результатов моделирования возвратных потерь с измеренными данными на частотах до 65 ГГц.

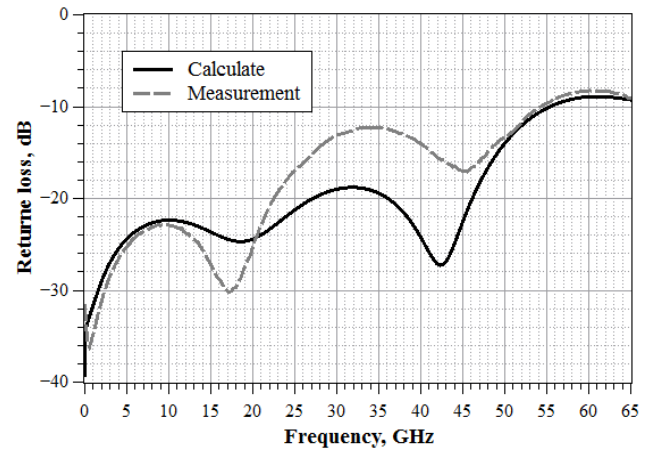


Рис. 6. Модуль коэффициента отражения МИС MD902

На Рис. 7 представлено сравнение результатов моделирования вносимых потерь с измеренными данными.

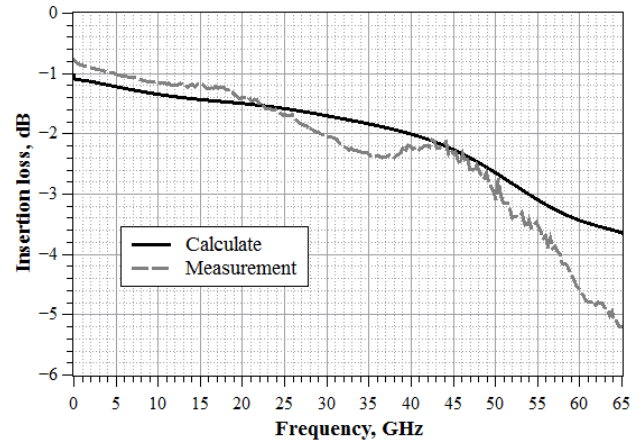


Рис. 7. Модуль коэффициента передачи МИС MD902

На Рис. 7 результаты расчета вносимых потерь повторяют экспериментальные данные вплоть до 50 ГГц с ошибкой не более 0,5 дБ. По результатам сравнения данных моделирования с экспериментальными можно судить о корректности применяемых моделей.

Динамические характеристики МИС детектора показаны на Рис. 8.

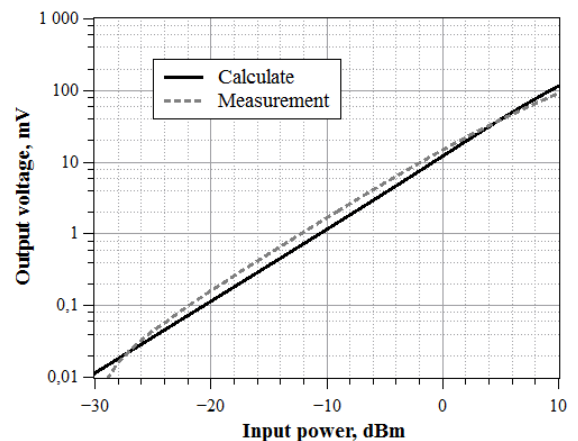


Рис. 8. Детекторная характеристика МИС MD902

Направленность детектора, по результатам измерений, составляет не хуже 10 дБ.

V. НЕНАПРАВЛЕННЫЙ ДПП

Когда необходимо чтобы ДПП вносил как можно меньше ослабления, и при этом направленные свойства самого детектора не имеют значения, применяют ненаправленные ДПП. Разработанный ненаправленный ДПП имеет менее сложную структуру по сравнению с направленным, и представляет собой согласованную линию на проход, с включенным в нее чувствительным элементом. Принципиальная схема разработанного ненаправленного ДПП показана на Рис. 9.

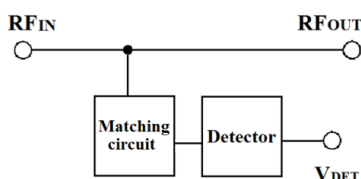


Рис. 9. Принципиальная схема ненаправленного ДПП

Использование корректирующей цепи улучшает характеристики детектора на высоких частотах, но при этом чувствительность самого детектора ухудшается.

Моделирование детектора проводилось в ADS. Модель ненаправленного ДПП представлена на Рис. 10.

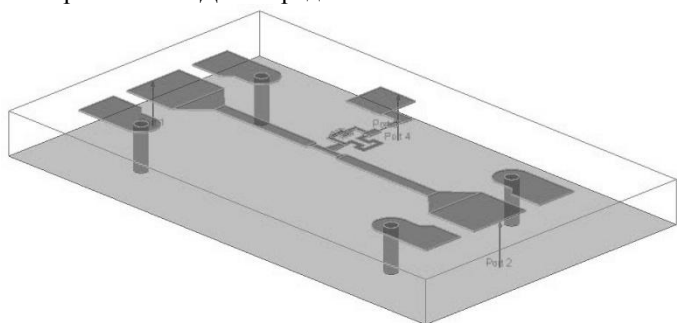


Рис. 10. Модель МИС MD908 в программе Momentum ADS

Микрофотография разработанного детектора показана на Рис. 11.

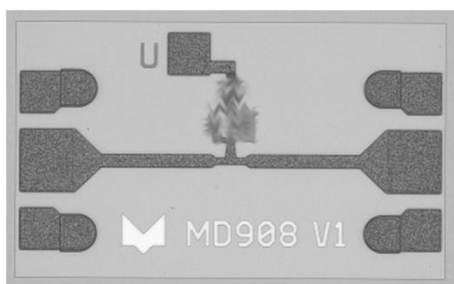


Рис. 11. Микрофотография МИС MD908

Для улучшения частотных характеристик были применены плавные переходы между элементами детектора. На месте включения диода была выполнена топологическая индуктивность, в виде уменьшения ширины линии, для компенсации паразитной емкостной составляющей самого диода.

Частотные характеристики ненаправленного детектора показаны на Рис. 12 и 13.

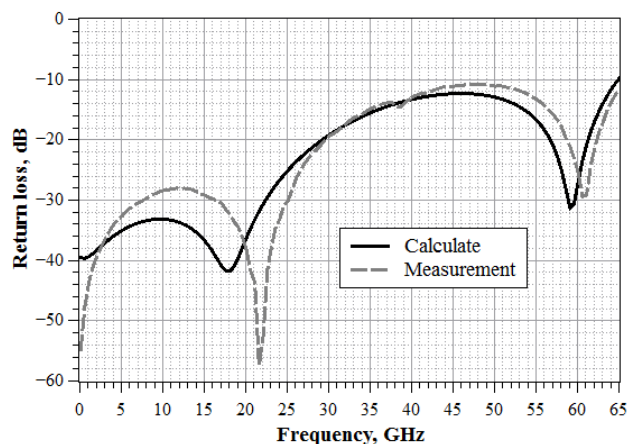


Рис. 12. Модуль коэффициента отражения МИС MD908

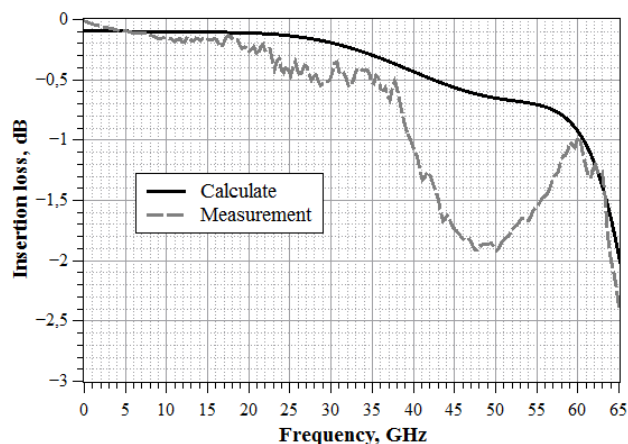


Рис. 13. Модуль коэффициента передачи МИС MD908

Как видно из рисунков ненаправленный ДПП имеет низкие вносимые потери, не более 1 дБ, в широкой полосе частот.

На Рис. 14 показана детекторная характеристика в сравнении с экспериментальными данными.

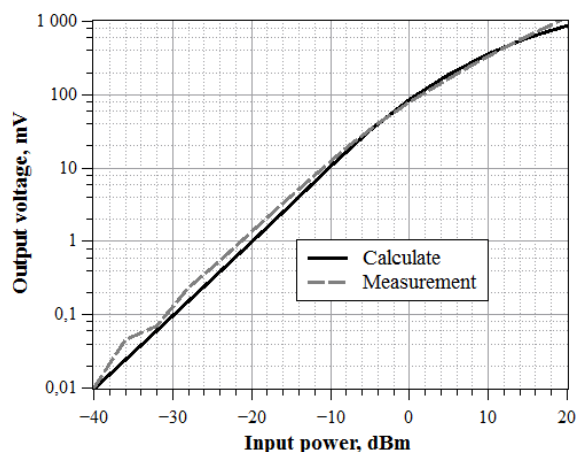


Рис. 14. Детекторная характеристика МИС MD908

VI. РАЗВАРОЧНЫЕ ПРОВОЛОЧКИ

Одним из факторов, влияющих на общие характеристики устройств, содержащих МИС, является неидеальность соединительных элементов. Для подключения МИС к микрополосковым линиям передачи используются разварочные проволочки или фольга. Эквивалентная схема соединительных компонентов представляет собой последовательное включение сопротивления и индуктивности и показана на Рис. 15.

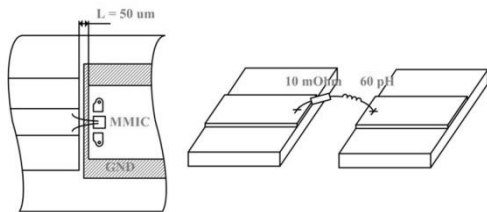


Рис. 15. Пример соединения элементов ГИС

Для компенсации параметров соединительных компонентов в МИС MD908 внесены ёмкостные неоднородности, за счёт изменения размеров контактных площадок. Влияние учета модели разварочных проволочек показано на примере улучшения возвратных потерь детектора MD908 на Рис. 16.

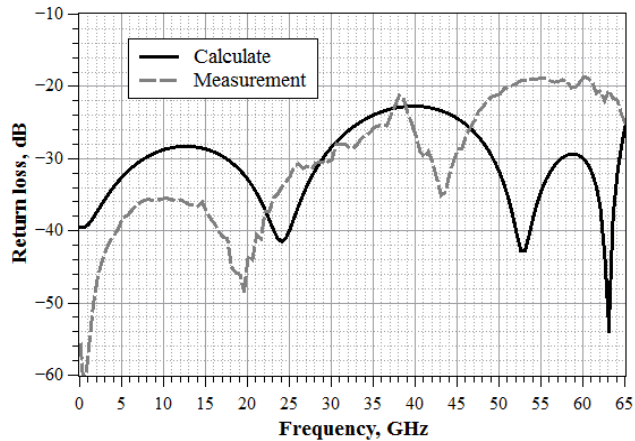


Рис. 16. Модуль коэффициента отражения МИС MD908 с учетом разварочных проволочек

Как видно из Рис. 16, внесение дополнительной индуктивной составляющей улучшает возвратные потери, как модели, так и экспериментальных данных, на основании чего можно судить о правильности выбранного нами подхода. В дальнейшем при размещении МИС в корпусе паразитное влияние соединительных элементов будет компенсироваться топологией, и улучшать характеристики СВЧ блока в целом.

VII. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Детекторы проходящей мощности широко используются в СВЧ системах мониторинга, для создания систем автоматической регулировки усиления. Представленные блоки МИС детекторов могут быть использованы в измерительной аппаратуре с частотным диапазоном от 10 МГц до 50 ГГц и выше. МИС направленного детектора может быть использована вместо направленного ответвителя совместно с детектором поглощаемой мощности. Разработанные МИС отличаются от аналогов совмещением широкого динамического и частотного диапазонов. МИС направленного детектора позволяет измерять сигналы мощностью от -30 дБм до 25 дБм, МИС ненаправленного детектора от -40 дБм до 20 дБм.

ОПРОБИРОВАНИЕ

Эта работа выполнена по договору между 19.02.2013 №10/13 Микран и Томский Университет Систем Управления и Радиоэлектроники как часть Постановления Правительства Российской Федерации от 09.04.2010 218, контракт 25.05.2013 № 02.G25.31.009.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Modelithics Inc., Nonlinear Diode Models for Enhanced Simulation Accuracy, Microwave Journal: 48, 3; 2005, pp. 152-159.
- [2] A.S.Zagorodny, A.V. Drozdov, N.N. Voronin, I.V. Yunusov. Modeling and Application of Microwave Detector Diodes. 14 International conference and seminar of young specialists on micro/nanotechnologies and electron devices(EDM), 2013, pp. 96-99: Conference Proceedings, 2013 ISBN 978-5-7782-2094-9.
- [3] M. Hrobak, et. al., Planar Zero Bias Schottky Diode Detector Operating in the E- and W-Band. Microwave Conference (EuMC), 2013, pp. 179-182.
- [4] R.Ehlers, Low-loss directional bridge, Patents US 2006/0197627 A1, Pub. Date: Sep. 7, 2006.
- [5] L.A. Tejedor-Alvarez, et. al., An ultrabroadband microstrip detector up to 40 GHz, Proceedings of the 14th Conference on Microwave Techniques, 2008.