

11, ноябрь 2015

УДК 001.891.573

Исследование и разработка балансных смесителей радиосигналов с различными типами нелинейных элементов

*Дорошевич А.В., студент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Технологии приборостроения»*

*Научный руководитель: Мешков С.А., к.т.н, доцент
Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Технологии приборостроения»
k_rl6@bmstu.ru*

Актуальность исследования

Преобразователи частоты являются важнейшими элементами аппаратуры направленной на прием или передачу информации. Одними из элементов, направленных на преобразование спектра принимаемых сигналов высоких частот в низкочастотный диапазон, являются диодные смесители радиосигналов. Характеристики смесителя определяют основные показатели назначения всей системы. Основным элементом смесителя радиосигналов, определяющим его технические характеристики: рабочую полосу, потери преобразования, динамический диапазон по уровню односторонней компрессии и значение IP_3 , является нелинейный элемент. В СВЧ диапазоне чаще всего в качестве нелинейного элемента (НЭ) для преобразования применяют диоды с барьером Шоттки. Их ВАХ описывается экспоненциальным законом. Применение в качестве НЭ резонансно-туннельного диода, одним из преимуществ которого является возможность получения различных форм вольт-амперных характеристик с помощью подбора параметров гетероструктуры, способно привести к улучшению показателей назначения БСМ на его основе [1].

Теоретический анализ работы БСМ с различными нелинейными элементами

Расчет характеристик смесителей и моделирование ВАХ диодов проведены с помощью программного продукта «NI AWR Design Environment 10 по автоматизации проектирования высокочастотных электронных устройств» (AWRDE 10) [2, 3].

Для проектирования балансного смесителя на ДБШ выбран диод [4], основные параметры которого приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры диода с барьером Шоттки, используемые для создания его модели

Коэффициент идеальности	$N = 1,05$
Ток насыщения	$I_0 = 4e-5$ мА
Сопротивление диода	$R = 12$ Ом
Ёмкость диода	$C = 0,1$ пФ

Вольт-амперная характеристика резонансно-туннельного диода получена экспериментально. На рисунке 1 показаны ВАХ диодов, используемые для моделирования характеристик балансных смесителей.

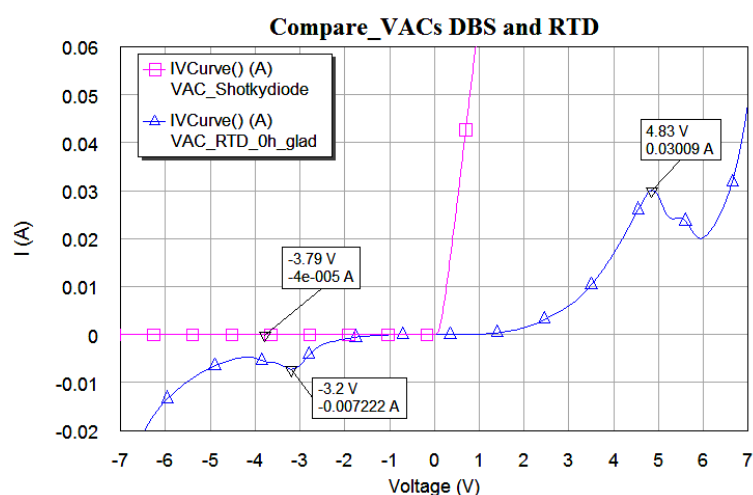


Рис. 1. Вольт-амперные характеристики диода с барьером Шоттки (квадратные маркеры) и резонансно-туннельного диода (треугольные маркеры)

Следующим этапом исследования являлся этап расчета характеристик балансного смесителя с исходными данными, представленными в таблице 2.

Параметры для моделирования БСМ

Частота сигнала	$f_c = 11,33$ ГГц
Частота гетеродина	$f_H = 11,4$ ГГц
Промежуточная частота (ПЧ)	$f_{п.ч.} = 0,07$ ГГц
Материал подложки	Поликор
Диэлектрическая проницаемость подложки	$\varepsilon = 9,8$
Тангенс угла диэлектрических потерь	$Tand = 10^{-4}$
Толщина подложки	$H = 0,5$ мм
Толщина металлизации	$T = 0,01$ мм

Принципиальная электрическая схема БСМ для расчета его характеристик показана на рисунке 2.

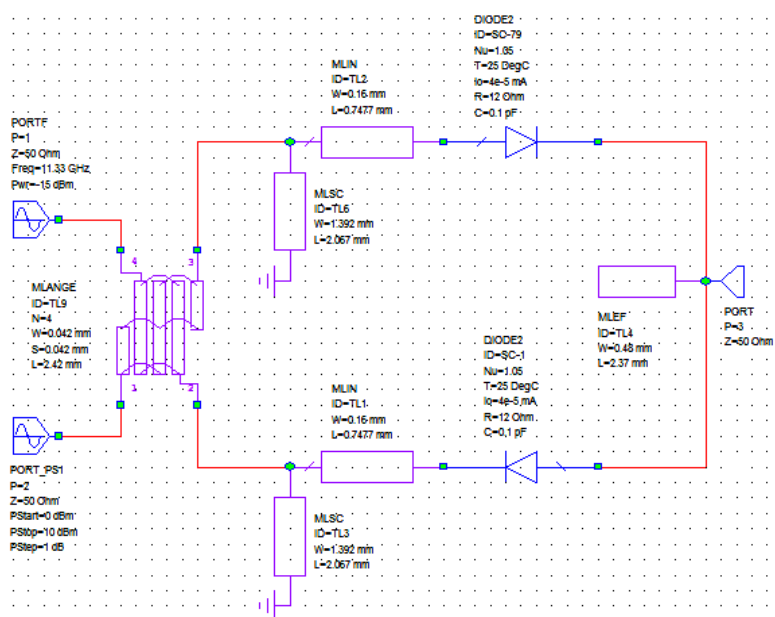


Рис. 2. Принципиальная электрическая схема БСМ

В смесителе на базе РТД на диод подавалось постоянное напряжение смещения, значение которого было выбрано из условия оптимальности характеристик смесителя по критерию минимума потерь преобразования при ограничении на мощность гетеродина $P_H \leq 13$ дБм. Оптимальное напряжение смещения составило 1,2 В. Характеристики,

полученные в результате моделирования смесителей на РТД и ДБШ, приведены в таблице 3. Мощность сигнала для расчета характеристик выбрана равной -15 дБм.

Таблица 3

Численные значения параметров балансных смесителей

Параметр	Смеситель с НЭ на ДБШ	Смеситель с НЭ на РТД
Мощность гетеродина P_r , дБм	8	12
Потери преобразования L , дБ	5,8	10,4
Мощность 1 дБ компрессии по входу смесителя P_{-1dB} , дБм	2	8,23
Уровень IP3 по входу $IP3$, дБм	18,36	29,1

Сравнительный анализ результатов расчета БСМ на РТД и ДБШ показал, что смеситель, выполненный на РТД, при мощности гетеродина 12 дБм обеспечивает уровень IP3 на 10,74 дБм превышающий уровень IP3 при реализации БСМ на ДБШ и увеличение динамического диапазона по уровню односторонней компрессии на 6,23 дБм. При оптимальных значениях мощности гетеродина и напряжения смещения смеситель на РТД обеспечивает большие по сравнению со смесителем на ДБШ потери преобразования, однако при этом происходит существенное расширение динамического диапазона (значения IP3). Этим обуславливается целесообразность замены ДБШ на РТД в конструкции БСМ.

Теоретический анализ работы БСМ после искусственного старения диода

Рассмотрено изменение характеристик БСМ на основе РТД в результате искусственного старения диода. Диод подвергался пяти циклам термических воздействий. Последовательность воздействий приведена на рисунке 3. Температура воздействий составляла 300 °С.

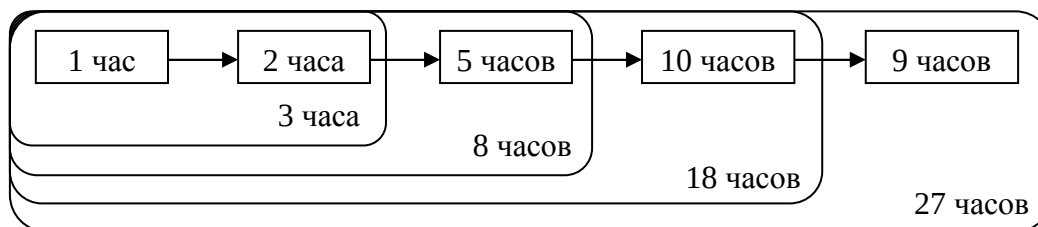


Рис. 3. Последовательность и продолжительность циклов температурного воздействия на РТД

Изменение вольт-амперной характеристики диода в процессе искусственного старения представлено на рисунке 4.

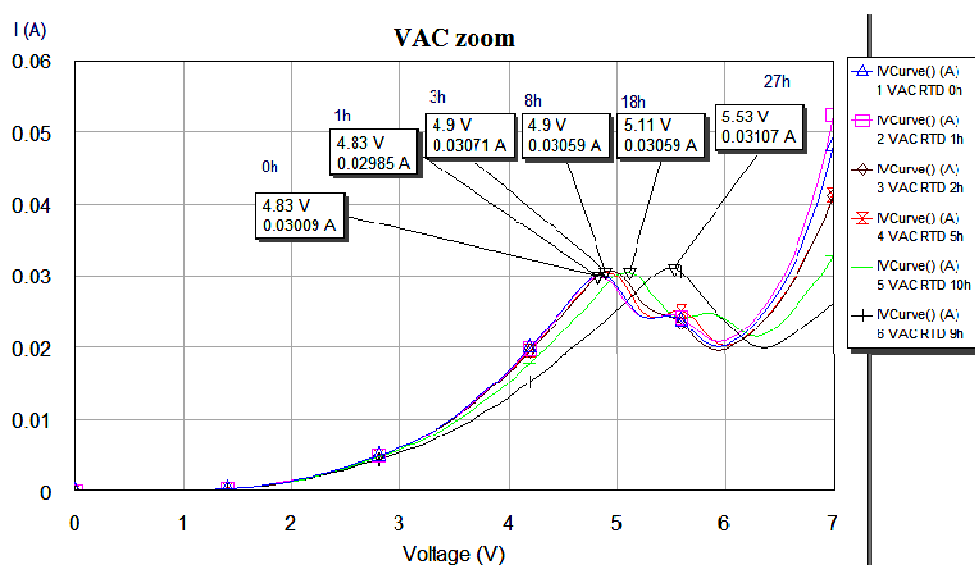


Рис. 4. Вольт-амперная характеристика резонансно-туннельного диода в зависимости от времени старения

На рисунке 5 показаны результаты расчета характеристик БСМ на РТД в зависимости от времени старения диода.

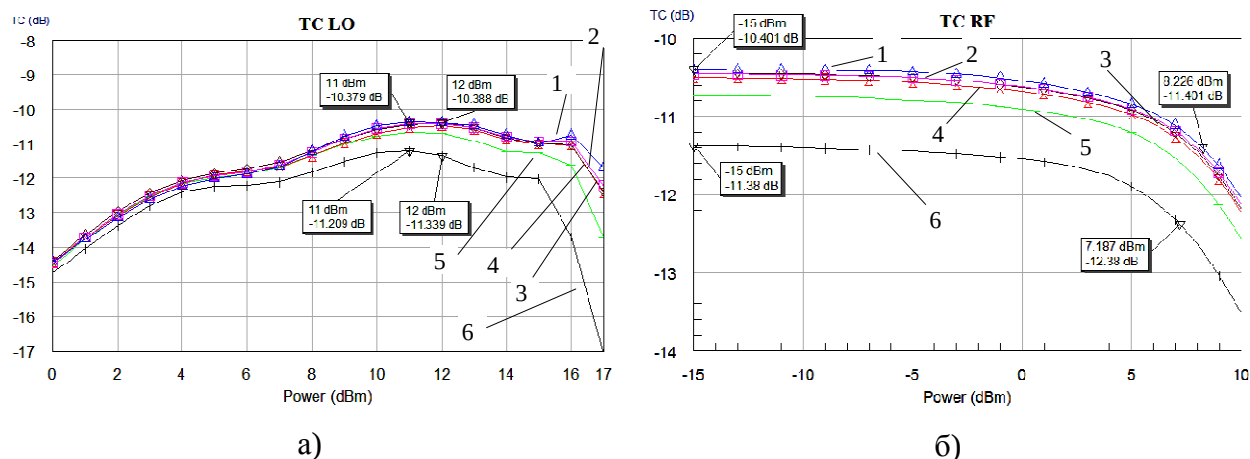


Рис. 5. Зависимость коэффициента передачи от кинетики старения:

1 – до термических воздействий ($\triangle$), 2 – после 1 часа термических воздействий ($\square$),
 3 – после 3 часов термических воздействий ($\diamond$), 4 – после 8 часов термических
 воздействий ($\times$), 5 – после 18 часов термических воздействий (—), 6 – после 27 часов
 термических воздействий ($\text{—}+$)

а) – коэффициент передачи от мощности гетеродина, дБ; б) – коэффициент передачи от
 мощности сигнала, дБ

В таблице 4 приведены рассчитанные характеристики БСМ в процессе искусственного старения РТД.

Таблица 4

Характеристики БСМ в зависимости от времени старения РТД

Параметр Время	L , дБ	$P_{-10Б}$, дБм	IP_3 , дБм
0 ч	10,388	8,226	29,102
1 ч	10,418	8,165	32,304
3 ч	10,408	8,011	28,304
8 ч	10,471	8,027	29,739
18 ч	10,692	7,803	30,329
27 ч	11,339	7,187	27,886
Δ_{27-0}	+0,951 (+ 9,15 %)	-1,04 (-12,63 %)	-1,22 (-4,18 %)

Малые изменения в значениях параметров объясняются изменением формы ВАХ, при котором происходит незначительное рассогласование входной цепи. За изменение согласования отвечает изменение коэффициента отражения от диодной секции, представленное на рисунке 5.

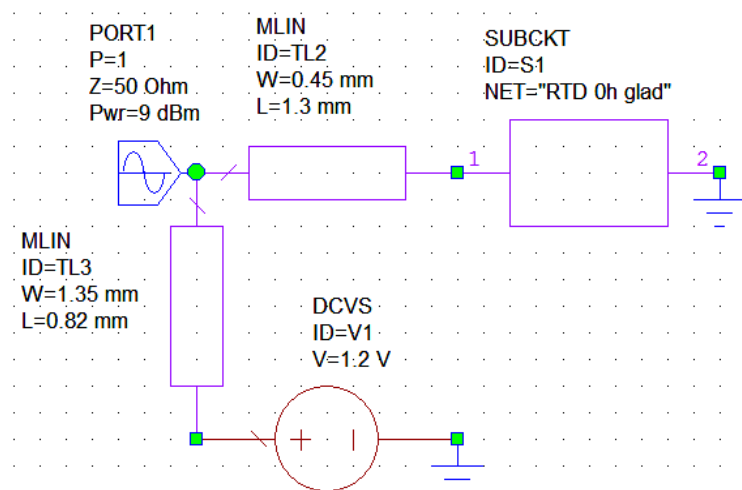


Рис. 6. Принципиальная электрическая схема диодной секции

На рисунке 7 показана зависимость коэффициента отражения для диодной секции рисунка 6 до термических воздействий и после пяти циклов воздействий.

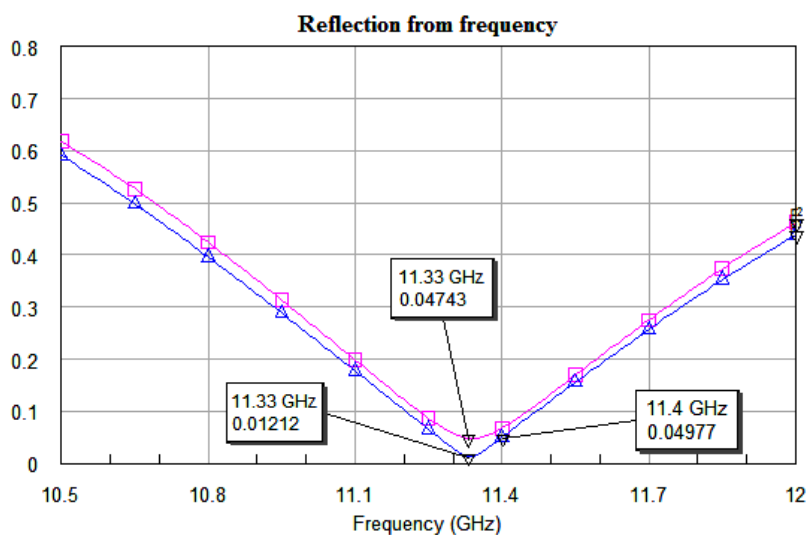


Рис. 7. Зависимость коэффициента отражения для диодной секции до термических воздействий (треугольные маркеры) и после пяти циклов воздействий (квадратные маркеры)

Заключение

На основании проведенных исследований сделан вывод о целесообразности замены ДБШ на РТД.

Исследована зависимость параметров балансного смесителя на РТД от температурной деградации диода. Результаты исследования показали, что при термическом воздействии на диод данной температуры и длительности параметрического отказа смесителя не происходит.

Список литературы

1. Ветрова Н.А., Иванов Ю.А., Мешков С.А., Назаров В.В., Синякин В.Ю., Федоренко И.А., Федоркова Н.В., Шашурин В.Д.. Перспективы разработки нелинейных преобразователей радиосигналов на базе резонансно-туннельных нанодиодов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2012. № 4. С. 100–113.
2. Федоренко И.А., Федоркова Н.В. Применение пакета программ Microwave Office 2009 AWR для проектирования микрополосковых устройств СВЧ: учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. 55 с.
3. Microwave Office, Applied Wave Research, Inc. Режим доступа: <http://www.awrcorp.com> (дата обращения 05.06.2015).
4. Surface mount mixer and detector Schottky diodes. Skyworks. Режим доступа: http://www.skyworksinc.com/Product/508/SMS7621_Series (дата обращения 05.06.2015).