

Тройной балансный смеситель диапазона 1 – 20 ГГц

А. А. Дубровская, Т. В. Старина

АО «Центральное конструкторское бюро автоматики»

Аннотация: в данной работе представлены результаты разработки тройного балансного смесителя. Представлена структурная схема и результаты измерений электрических характеристик изготовленного образца смесителя.

Ключевые слова: тройной балансный смеситель, симметрирующее устройство, широкополосное устройство, гетеродин, преобразователь частот, гибридная интегральная схема

1. Введение

Преобразователи частот являются важной составной частью приемопередающих устройств и радиоизмерительной аппаратуры СВЧ диапазона [1, 2]. Важнейшим элементом преобразователя частот является смеситель.

К смесителям, используемым в трактах приемопередающих устройств и радиоизмерительной аппаратуры, очень часто предъявляют требования по широкополосности, перекрытию диапазонов рабочих частот входного сигнала, гетеродина и сигнала промежуточной частоты (ПЧ), динамическому диапазону и габаритным размерам.

Смесители, обеспечивающие вышеуказанные требования, выпускаются в виде монолитных и гибридных интегральных схем тройных балансных смесителей представителями отечественной (АО «НПФ «Микран», АО «НПП «Салют») и зарубежной радиоэлектронной промышленности («Meuro Microwave Corp.» (КНР), «M/A-COM Technology Solutions Inc.» (США), «Marki Microwave Inc.» (США) и другие) [3 – 6].

Разработка тройного балансного смесителя в виде гибридной интегральной схемы (ГИС) позволяет добиться лучших электрических характеристик, в частности, более широкого диапазона рабочих частот входных сигналов.

Схема структурная (рисунок 1) тройного балансного смесителя строится вокруг диодной сборки поз. 16, состоящей из восьми диодов [7].

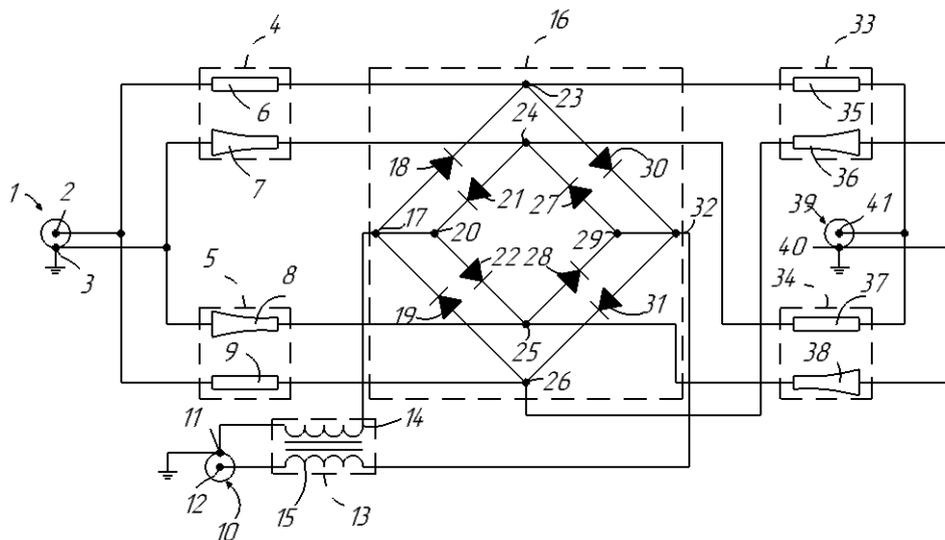


Рисунок 1. Схема структурная тройного балансного смесителя.

Эти диоды сгруппированы в две группы (поз. 18, 19, 30, 31 и поз. 21, 22, 27, 28), в каждой из которых по четыре диода, включенных последовательно («по кольцу»).

Входной сигнал поз. 1 поступает на вход несимметричной полосковой линии поз. 2, 3 и далее по тракту делится на два сигнала равной мощности, и при помощи двух идентичных симметрирующих устройств поз. 4, 5 преобразуется в два балансных сигнала, распространяющихся по ленточным двухпроводным линиям (ЛДЛ) поз. 6, 7 и 8, 9. Выходы ЛДЛ присоединяются к выводам диодной сборки поз. 23 – 26.

Сигнал гетеродина поз. 39 поступает на вход несимметричной полосковой линии поз. 40, 41 и далее по тракту делится на два сигнала равной мощности и при помощи двух идентичных симметрирующих устройств поз. 33, 34 преобразуется в два балансных сигнала, распространяющихся по ЛДЛ поз. 35, 36 и 37, 38. Выходы ЛДЛ присоединяются к выводам диодной сборки поз. 23 – 26.

Сигнал ПЧ снимается с контактов поз. 17, 20, 29, 32 диодной сборки поз. 16 и через трансформатор поз. 13 поступает на выход ПЧ поз. 10.

В следующем разделе приведены результаты измерений электрических характеристик изготовленного образца тройного балансного смесителя с коэффициентом перекрытия 20.

2. Подготовка образцов и экспериментальные результаты

Образец тройного балансного смесителя выполнен в виде гибридной интегральной схемы с полосковыми входами и выходами.

Тракты входного сигнала и сигнала гетеродина выполнены на платах из материала RP220B («Wuxi RELONG New Material Technology Co.» Китай) с относительной диэлектрической проницаемостью $\epsilon_r = 2,2$ и тангенсом угла диэлектрических потерь $\operatorname{tg} \delta = 0,0009$ толщиной 0,508 мм.

Диодная сборка (поз. 16, рисунок 1) выполнена из двух идентичных моделей МИС диодного кольца с балочными выводами MSS30-442-E45 фирмы M/A-COM Technology Solutions Inc.. Данная модель отличается пониженным напряжением смещения ($U_{см} = 230 - 350$ мВ при $I_{см} = 1$ мА), что позволяет применять ее без цепей смещения напряжения питания.

Трансформатор (поз. 13, рисунок 1) представляет собой отрезок витой пары, выполненной из провода ПЭВТЛ-2 0,140 ТУ 16-502.023-82 и намотанной на держатель.

Измерения проводились с использованием векторного анализатора цепей ZNA43 и анализатора спектра FSL18 компании «Rohde & Schwarz», а также генератора E8257D компании «Keysight».

На рисунке 2 представлены результаты измерений коэффициента передачи смесителя в диапазоне частот входного сигнала при разных соотношениях частот входного сигнала и сигнала гетеродина при уровне мощности входного сигнала $P_{вх} =$ минус 10 дБм, уровне мощности сигнала гетеродина $P_g = 13$ дБм на частоте ПЧ $F_{пч} = 450$ МГц.

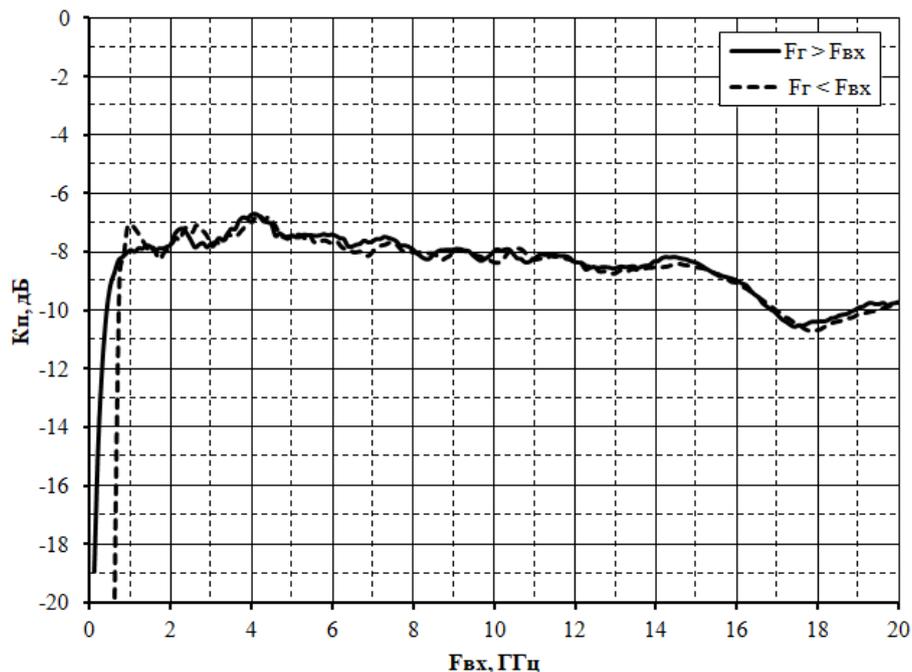


Рисунок 2. Частотная зависимость коэффициента передачи тройного балансного смесителя в диапазоне частот входного сигнала.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- коэффициент передачи смесителя в диапазоне частот входного сигнала от 1 до 20 ГГц:

а) при $F_g > F_c$ составляет от минус 6,7 до минус 10,6 дБ;

б) при $F_g < F_c$ составляет от минус 6,7 до минус 10,7 дБ;

- неравномерность коэффициента передачи в диапазоне частот входного сигнала от 1 до 20 ГГц:

а) при $F_g > F_c$ составляет 3,9 дБ, не более;

б) при $F_g < F_c$ составляет 4 дБ, не более.

Повышенное значение неравномерности коэффициента передачи в диапазоне рабочих частот смесителя предположительно обусловлено влиянием длины балочных выводов диодной сборки.

На рисунке 3 представлены результаты измерений коэффициента передачи смесителя в диапазоне частот сигнала ПЧ при разных соотношениях частот входного сигнала и сигнала гетеродина при уровне мощности входного сигнала $P_{вх} =$ минус 10 дБм, уровне мощности сигнала гетеродина $P_g = 13$ дБм.

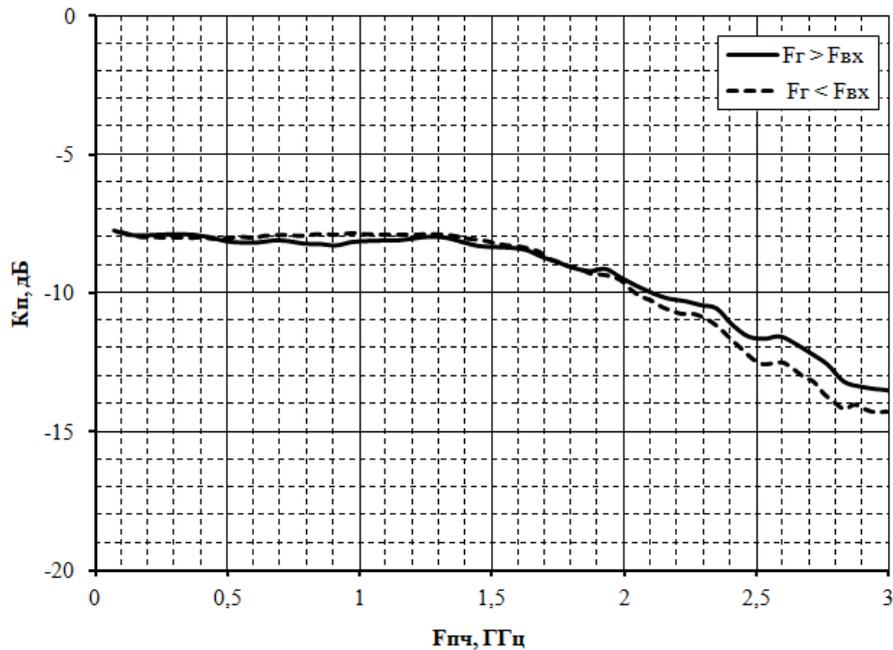


Рисунок 3. Частотная зависимость коэффициента передачи тройного балансного смесителя в диапазоне частот сигнала ПЧ.

По полученным результатам можно сделать следующие выводы:

- коэффициент передачи смесителя в диапазоне частот сигнала ПЧ от 0,1 до 2 ГГц:

а) при $F_{г} > F_{с}$ составляет от минус 7,7 до минус 9,5 дБ;

б) при $F_{г} < F_{с}$ составляет от минус 7,8 до минус 9,9 дБ;

- неравномерность коэффициента передачи смесителя в диапазоне частот сигнала ПЧ от 0,1 до 2 ГГц:

а) при $F_{г} > F_{с}$ составляет 1,7 дБ;

б) при $F_{г} < F_{с}$ составляет 2,1 дБ.

На рисунке 4 представлены результаты измерений частотной зависимости развязок между портами смесителя.

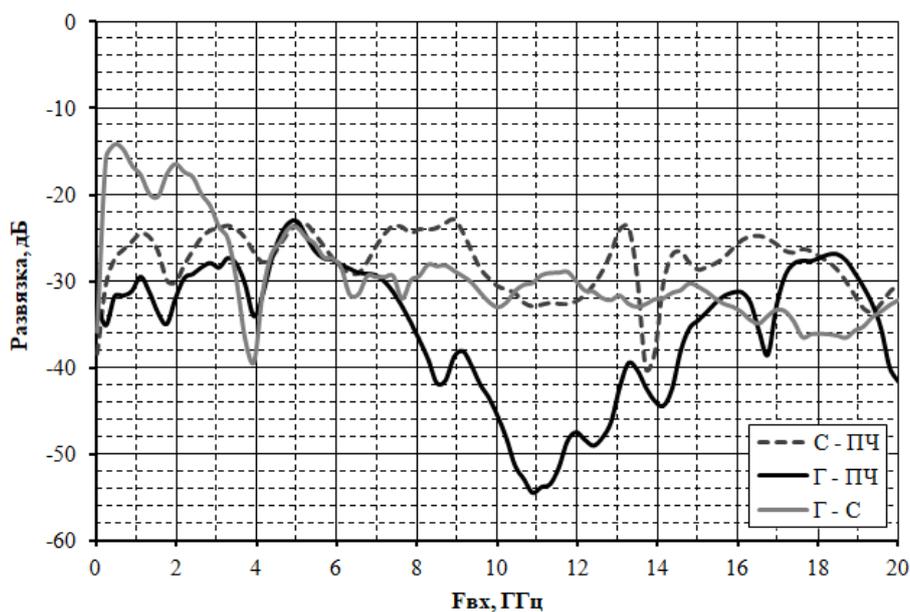


Рисунок 4. Частотная зависимость развязок между портами тройного балансного смесителя.

По полученным результатам можно сделать следующий вывод:

- развязка смесителя в диапазоне частот от 1 до 20 ГГц составляет:

- а) не менее 22,8 дБ между портами Сигнал – ПЧ;
- б) не менее 23,2 дБ между портами Гетеродин – ПЧ;
- в) не менее 16,5 дБ между портами Гетеродин – Сигнал.

Полученные значения развязок между портами смесителя являются типовыми для тройных балансных смесителей.

На рисунке 5 представлены результаты измерений коэффициента передачи смесителя на частотах входного сигнала 1, 5, 10, 18 ГГц в зависимости от уровня мощности сигнала гетеродина при $F_{г} > F_{вх}$ при мощности входного сигнала $P_{вх} = \text{минус } 10 \text{ дБм}$ на частоте сигнала ПЧ $F_{пч} = 450 \text{ МГц}$.

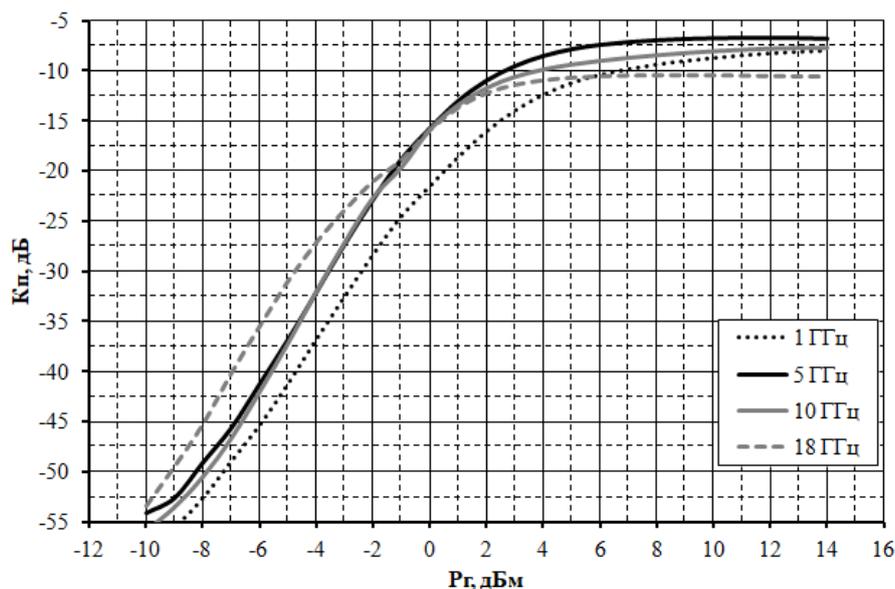


Рисунок 5. Зависимость коэффициента передачи тройного балансного смесителя от уровня мощности сигнала гетеродина.

По полученным результатам можно сделать вывод, что оптимальный уровень мощности сигнала гетеродина, необходимый для стабильной работы смесителя, должен быть не менее 10 дБм.

3. Заключение

Изготовленный образец тройного балансного смесителя имеет следующие характеристики:

- 1) диапазон рабочих частот входного сигнала и сигнала гетеродина от 1 до 20 ГГц;
- 2) диапазон рабочих частот сигнала ПЧ до 2 ГГц;
- 3) приемлемые уровни развязок между портами и широкий динамический диапазон входного сигнала;
- 4) оптимальный уровень мощности сигнала гетеродина, необходимый для стабильной работы смесителя, должен быть не менее 10 дБм;
- 5) габаритные размеры изготовленного образца гибридной интегральной схемы смесителя составили 51x35,3x14 мм с учетом длины соединителей и герметизирующего винта.

Разработанный смеситель может быть использован в трактах приемопередающих устройств и радиоизмерительной аппаратуры СВЧ диапазона.

Список литературы

1. Дингес С., Кочемасов В. СВЧ-преобразователи частоты. Часть 1. Основные сведения о преобразователях частоты // Компоненты и технологии, 2018. № 4. С. 18 – 23.
2. Maas A. Stephen Nonlinear Microwave and RF. Boston: Artech House, 2003.
3. Каталог ф. АО «НПФ «Микран» [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://www.micran.ru/productions/IIS/svch/svch-moduli-sverkhshirokopolosnykh-smesiteley/3-50-ggts/> свободный (дата обращения: 21.03.2023)
4. Каталог ф. Marki Microwave Inc. [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://www.markimicrowave.com/mixers/mixers-products.aspx#mixers-legacy> свободный (дата обращения: 21.03.2023)
5. Каталог ф. M/A-COM Technology Solutions Inc. [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://www.macom.com/products/rf-microwave-mmwave/frequency-conversion/mixers> свободный (дата обращения: 21.03.2023)
6. Каталог ф. Meuro Microwave Corp. [Электронный ресурс]. - режим доступа: <https://www.macom.com/products/rf-microwave-mmwave/frequency-conversion/mixers> свободный (дата обращения: 21.03.2023)
7. Patent USA no.4063176, July.29, 1976. Broadband High Frequency Mixer / Thomas A. Milligan, Littleton; Peter Will, Denver, both of Colo.