

## Проектирование и исследование микроволнового балансного смесителя на комбинациях линий передачи

*Е.Н. Осадчий*

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** В работе спроектирован и исследован микроволновый балансный смеситель на комбинациях линий передачи. Исследованы два разработанных макета балансных смесителей на платах различных диэлектрических материалов. Результаты измерений параметров смесителей показали результаты, лучшие чем у смесителей, построенных по традиционным схемам на микрополосковых линиях.

**Ключевые слова:** балансный смеситель, комбинация линий передач, гибридное устройство, схема электрическая, кольцевой мост, четвертьволновый разомкнутый шлейф, потери преобразования, диэлектрик, микрополосковая линия, щелевая линия.

Анализ информационных источников и сведений по разработке смесителей СВЧ позволяет сделать вывод, что реализация смесителя с заданными параметрами является сложной задачей. Сложность реализации таких смесителей СВЧ заключается в том, что развязать сигналы входных частот и гетеродина является проблемной задачей.

Наибольшее распространение получили СВЧ балансные смесители, схемные примеры построения которых приведены на рис. 1 [1], где: а – схема с двухшлейфным гибридным соединением (ГС); б – схема с кольцевым ( $180^\circ$ ) ГС; в – схема с кольцевым ( $90^\circ$ ) ГС и отрезком длиной  $\lambda_0/4$ ; г – схема с направленным трёхдецибелным ответвителем ( $C_\phi$  емкость фильтра НЧ);  $f_c$ ,  $f_r$ ,  $f_{пч}$  – частота сигнала, гетеродина и промежуточной;  $\lambda_0$  – длина волны на центральной полосе диапазона.

В приведённых схемах получены полосы входных частот соответственно: 18% (при трёхшлейфном ГС 28%); 10% и развязки  $f_c/f_r$ : (18-20) дБ; 20 дБ; 20 дБ; 10 дБ, которые несколько улучшаются при введении отрезка длиной  $\lambda_0/4$ , как показано на рисунке 1, в. Во всех схемах применяют разнополярное включение диодов и объединенный выход по ПЧ. Следует иметь в виду, что при высоких ПЧ необходимо обеспечить фазировку

ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ.

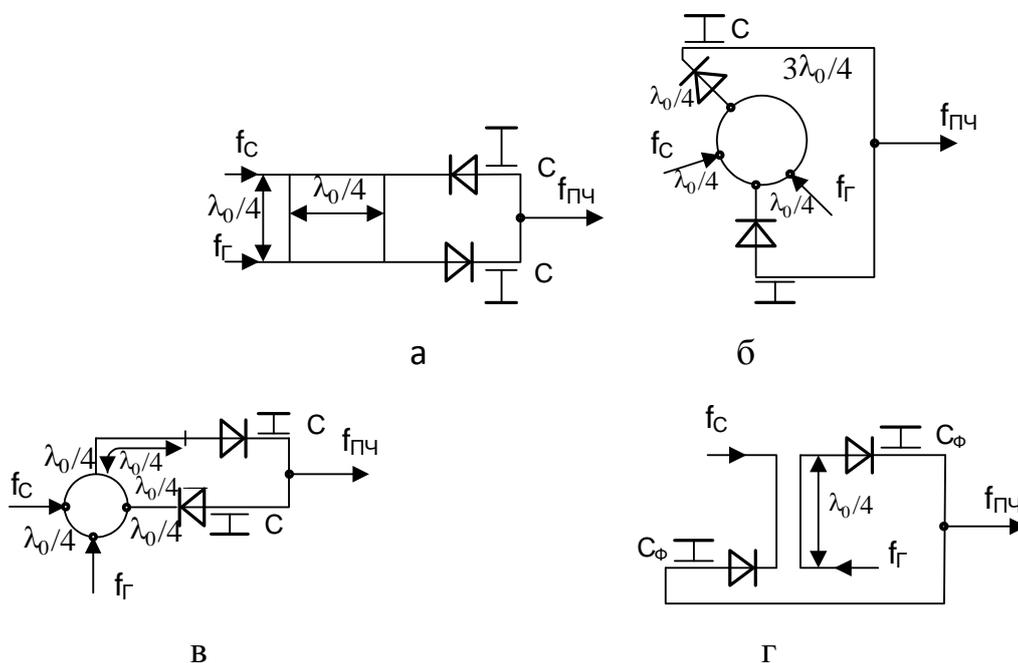


Рис. 1. – Схемные построения балансных смесителей

Основное преимущество приведенных схем заключается в принципиальной возможности обеспечения достаточно хорошей развязки и в низкой плотности интермодуляционных помех. Однако с увеличением полосы входных частот развязка падает, что связано с применением ГС на распределённых линиях передачи. Этот недостаток компенсируется в схемах двойных балансных смесителей, которые применяются при использовании технологии интегральных схем СВЧ.

Анализируя публикации последних лет, посвящённые конструированию схем смесителей СВЧ можно проследить характер изменения внимания разработчиков к различным типам линий передач для построения схем. На рис. 2 по вертикали отложены проценты выполнения схем СВЧ смесителей частоты с использованием тех или иных линий передачи [2]. Как следует из графика рис. 1 наибольшее распространение сегодня получают микроволновые смесители, создаваемые на основе

микроструктурных линий передач (МПЛ) и комбинациях линий различного типов.

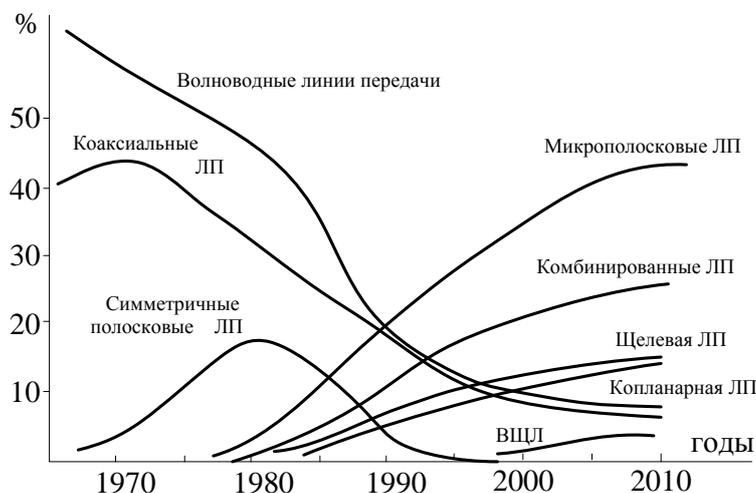


Рис. 2. - Конструирование схем смесителей СВЧ на различных типах линий передачи по годам

Однако, использовать традиционные схемные решения для создания смесителей СВЧ не представляется возможным из-за сравнительной близости значений частот сигнала и гетеродина в сравнительно широком диапазоне частот. В связи с этим в данной работе была сделана попытка использовать нетрадиционные схемные решения для создания смесителя с нужными параметрами. Предложен вариант смесителя СВЧ, схема электрическая которого изображен на рис. 3.

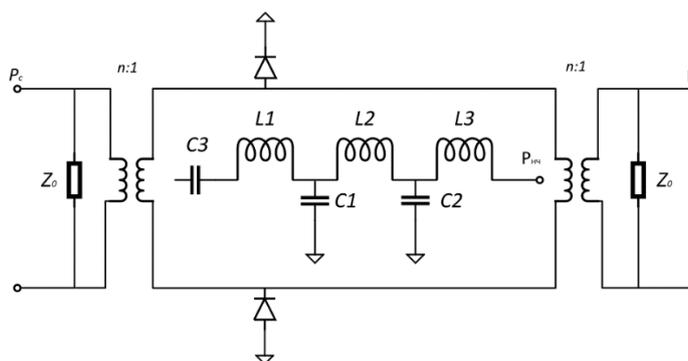


Рис. 3. – Электрическая схема балансного смесителя

Данная конструкция проста и не требует повышенной точности изготовления. Использование комбинаций линий передач различного типа в данной конструкции позволило получить развязку между сигналами входных частот и гетеродина на уровне двадцати децибел (20 дБ), развязка между входом и выходом ( $f_C - f_{ПЧ}$ ) – примерно сорок децибел (40 дБ).

Смеситель разработан по балансной схеме и представляет собой гибридное устройство с использованием различных линий передач. Данное устройство не только позволяет существенно улучшить габаритные показатели конструкции, но и обеспечивает минимальную длину соединительных линий передач, а, следовательно, и малые паразитные индуктивность и емкость соединения входного (гетеродинного) каскада балансного смесителя с диодами, что особенно критично при реализации СВЧ балансных смесителей [3 - 5].

Разработанный балансный смеситель состоит из кольцевого моста (КМ) и шлейфных переходов щелевая линия – микрополосковая линия (ЩЛ – МПЛ). Эскиз топологии смесителя приведен на рис. 4. Пунктирными линиями обозначены микрополосковые линии на обратной стороне платы.

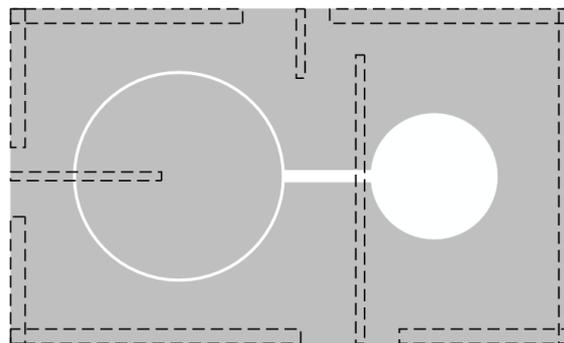


Рис. 4. - Топологический чертеж балансного смесителя

В кольцевой мост непосредственно в щелевую линию кольца включены два диода на расстоянии четверти длины волны ( $0,25 \lambda$ ) от входа сигнала ( $P_c$ ), образованного МПЛ, заканчивающейся за щелевой линией кольца четвертьволновым разомкнутым шлейфом. Диаметрально-противоположная точка кольца соединена четвертьволновым отрезком щелевой линии с переходом на МПЛ, которая является входом для сигнала гетеродина. В переходе за местом пересечения линий передачи МПЛ заканчивается четвертьволновым разомкнутым шлейфом, а щелевая линия – размыкателем, который представляет собой круг (щелевой резонатор) с удаленным слоем металла. Выход сигнала промежуточной (разностной) частоты ( $f_{ПЧ}$ ) осуществляется через фильтр нижних частот (ФНЧ). Развязка между портами гетеродина и выходным сигналом ( $f_{ПЧ}$ ) обусловлена экспоненциальным затуханием поля в щелевой линии в поперечном направлении и достигает более 25 дБ [6, 7].

Для получения более высокой развязки между входом гетеродина и выходным сигналом промежуточной частоты необходимо подключить фильтр нижних частот, который обеспечит прохождение сигнала промежуточной частоты и заграждение входного сигнала и сигнала гетеродина [8].

Смеситель разрабатывался на следующие частотные параметры:

- частота входного сигнала: 6,0 – 7,0 ГГц;
- частота гетеродина: 5, 5 – 6,5 ГГц;
- промежуточная частота: 0,5 ГГц (500 МГц).

Для макетирования смесителя в качестве платы был использован фольгированный диэлектрик марки ФЛАН-10 с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon_r = 10$  толщиной 1 миллиметр.

Результаты экспериментальных исследований разработанного смесителя СВЧ на комбинациях линий передач в диапазоне входных частот показали следующие результаты:

- При входной мощности гетеродина 10 мВт (милливатт) смеситель имел потери преобразования  $L_{np} = 5,8 - 7,0$  дБ;
- развязка между сигнальным и гетеродинным портами  $L_p > 20$  дБ;
- развязка между гетеродинным и выходным портом промежуточной частоты (ПЧ)  $L_p > 23$  дБ.

При уменьшении мощности гетеродинного сигнала до 5 мВт потери преобразования смесителя возрастали до 14 мВт. При мощности гетеродина 1 мВт преобразовательные свойства смесителя терялись.

В ходе работы была рассчитана топология платы балансного смесителя на материале RT/duroid 5870 ( $\epsilon_r = 2.33$ ). На данной топологии вместо кольцевого моста использовался прямоугольный мост. Эскиз такой топологической платы показан на рис. 5.

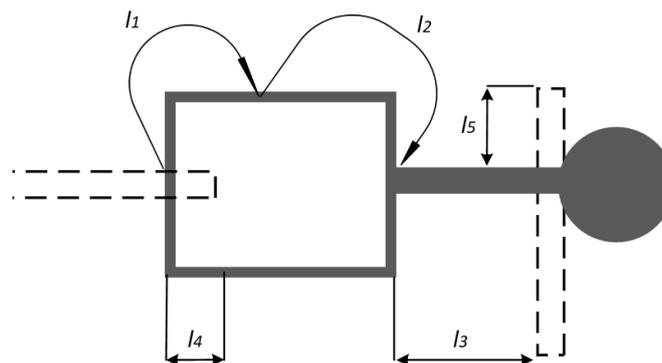


Рис. 5. - Эскиз топологической платы балансного смесителя

В ходе экспериментального исследования смесителя на материале RT/duroid 5870 были получены результаты, ненамного отличающиеся от макета смесителя на плате из ФЛАН-10:

- потери преобразования  $L_{np} = 6,2 - 7,4$  дБ при мощности гетеродина 10 мВт;

- развязка сигнал - гетеродин  $L_p > 18$  дБ;

- развязка гетеродин - ПЧ  $L_p > 20$  дБ.

При расчете топологических плат смесителя (рис. 3) использовались следующие формулы для расчета:

$$\lambda = \frac{300}{f_{cp}}; \quad \varepsilon_{эф1} = \varepsilon_{эфш} = \frac{\varepsilon_r + 1}{2};$$

$$\varepsilon_{эф2} = \varepsilon_{эфМПЛ} = \frac{\varepsilon + 1}{2} + \frac{\varepsilon - 1}{2} \left( \sqrt{1 + \frac{10h}{W}} \right)^{-1}.$$

Длины отрезков линий  $l_1 - l_5$  рассчитывались по следующим формулам:

$$l_1 = \frac{300}{4F_{cp.c} \sqrt{\varepsilon_{эф1}}}; \quad l_2 = l_1; \quad l_3 = \frac{300}{4F_{cp.r} \sqrt{\varepsilon_{эф1}}}; \quad l_4 = \frac{300}{4F_{cp.c} \sqrt{\varepsilon_{эф1}}};$$

$$l_4 = \frac{300}{4F_{cp.c} \sqrt{\varepsilon_{эф2}}}; \quad l_5 = \frac{300}{4F_{cp.r} \sqrt{\varepsilon_{эф2}}}.$$

Волновые сопротивления передающих линий определялись следующим образом:

$$z_1 = 50 \text{ ом}; \quad z_2 = z_1 \sqrt{2}; \quad z_3 = 2z_1.$$

В ходе экспериментального исследования обоих макетов балансного смесителя на комбинациях линий передач были получены значения по потерям преобразования и по изоляции портов прибора, лучшие, чем у традиционных схем смесителей в микрополосковом исполнении [9,10], показанных на рис. 1.

## Литература

1. Белоус А.И., Мерданов М.К., Шведов С.В. СВЧ-электроника в системах радиолокации и связи. Техническая энциклопедия в 2-х книгах. – М.: Техносфера, 2016. 1416 с.
2. Белов Л.А. Преобразователи частоты. Современные ВЧ компоненты. Электроника: Наука, Технологии, Бизнес. – 2004, № 2, С. 44-50.
3. Зикий А.Н., Плёнкин А.П. Смеситель дециметрового диапазона на комбинации линий передачи. Инженерный вестник Дона, 2016, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3701](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3701)
4. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Бондаренко Л.В., Плёнкин А.П. Двойной балансный смеситель на симметрирующих трансформаторах. Вопросы специальной радиоэлектроники, серия Общие вопросы радиоэлектроники, 2010, №1, С.101-105.
5. Джурицкий К.Б. Миниатюрные коаксиальные радиокомпоненты для микроэлектроники СВЧ. – М.: Техносфера, 2006. – 216 с.
6. Пустовалов А.И. Двухканальное приемное устройство СВЧ диапазона. Инженерный вестник Дона, 2010, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195).
7. Зикий А.Н., Зламан П.Н., Плёнкин А.П., Мухин Н.А. Моделирование и экспериментальное исследование субгармонического смесителя. Электронный журнал «Информационное противодействие угрозам терроризма», 2011, №17, С.131-135.
8. Maas S. Microwave Mixers. Artech House, 1993. 375p.
9. Tsui James Bao-Yen. Receivers with Electronic Warfare Applications, 2016. 460p.
10. Moskaliuk V. Simplified analytical model of resonant-tunneling diode Abstracts Proceedings of 32nd International Spring Seminar on Electronics Technology "ISSE 2009". – Brno, Czech Republic. 2009. pp. 1-5.

## References

1. Belous A.I., Merdanov M.K., Shvedov S.V. SVCH-elektronika v sistemakh radiolokatsii i svyazi [Microwave electronics in radar and communication systems]. Tekhnicheskaya entsiklopediya v 2-kh knigakh. M: Tekhnosfera, 2016. 1416 p.
2. Belov L.A. Elektronika: Nauka, Tekhnologii, Biznes. [Electronics: Science, Technology, Business] 2004, № 2, pp. 44-50.
3. Zikiy A.N., Plënkin A.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3701](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2016/3701).
4. Zikiy A.N., Zlaman P.N., Bondarenko L.V., Plënkin A.P. Voprosy spetsial'noy radioelektroniki, seriya Obshchiye voprosy radioelektroniki, 2010, №1. pp.101-105.
5. Dzhurinskiy K.B. Miniatyurnyye koaksial'nyye radiokomponenty dlya mikroelektroniki SVCH [Miniature coaxial radio components for microwave microelectronics]. M.: Tekhnosfera, 2006. 216 p.
6. Pustovalov A.I. Inzhenernyj vestnik Dona, 2010, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2010/195).
7. Zikiy A.N., Zlaman P.N., Plënkin A.P., Mukhin N.A. Elektronnyy zhurnal «Informatsionnoye protivodeystviye ugrozam terrorizma», 2011, №17, pp.131-135.
8. Maas S. Microwave Mixers. Artech House, 1993. 375 p.
9. Tsui James Bao-Yen. Receivers with Electronic Warfare Applications, 2016. 460 p.
10. Moskaliuk V. Simplified analytical model of resonant-tunneling diode Abstracts Proceedings of 32nd International Spring Seminar on Electronics Technology "ISSE 2009". Brno, Czech Republic. 2009. pp. 1-5.