

**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

***Плаксиенко Владимир Сергеевич***

д-р техн. наук, профессор

Инженерно-технологическая академия

ФГОУ ВПО «Южный федеральный университет»

г. Таганрог, Ростовская область

***Плаксиенко Нина Евгеньевна***

канд. техн. наук, доцент

Инженерно-технологическая академия

ФГОУ ВПО «Южный федеральный университет»

г. Таганрог, Ростовская область

***Хадыка Иван Владимирович***

аспирант

Инженерно-технологическая академия

ФГОУ ВПО «Южный федеральный университет»

г. Таганрог, Ростовская область

***Сиденков Александр Сергеевич***

аспирант

ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»

г. Таганрог, Ростовская область

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ СМЕСИТЕЛЯ  
НА ОСНОВЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО КАСКАДА**

*Аннотация: в статье рассмотрены особенности построения смесителя вещательного приемника, который применяется в интегральных микросхемах; выполнено моделирование линейного и нелинейного режимов работы.*

*Ключевые слова: радиоприемник, моделирование, смеситель.*

Проведём моделирование балансного смесителя в программе схемотехнического моделирования Micro-Cap, так как именно такие схемы обычно применяются в интегральных микросхемах современных радиоприёмников. Исследуемая схема изображена на рис. 1.

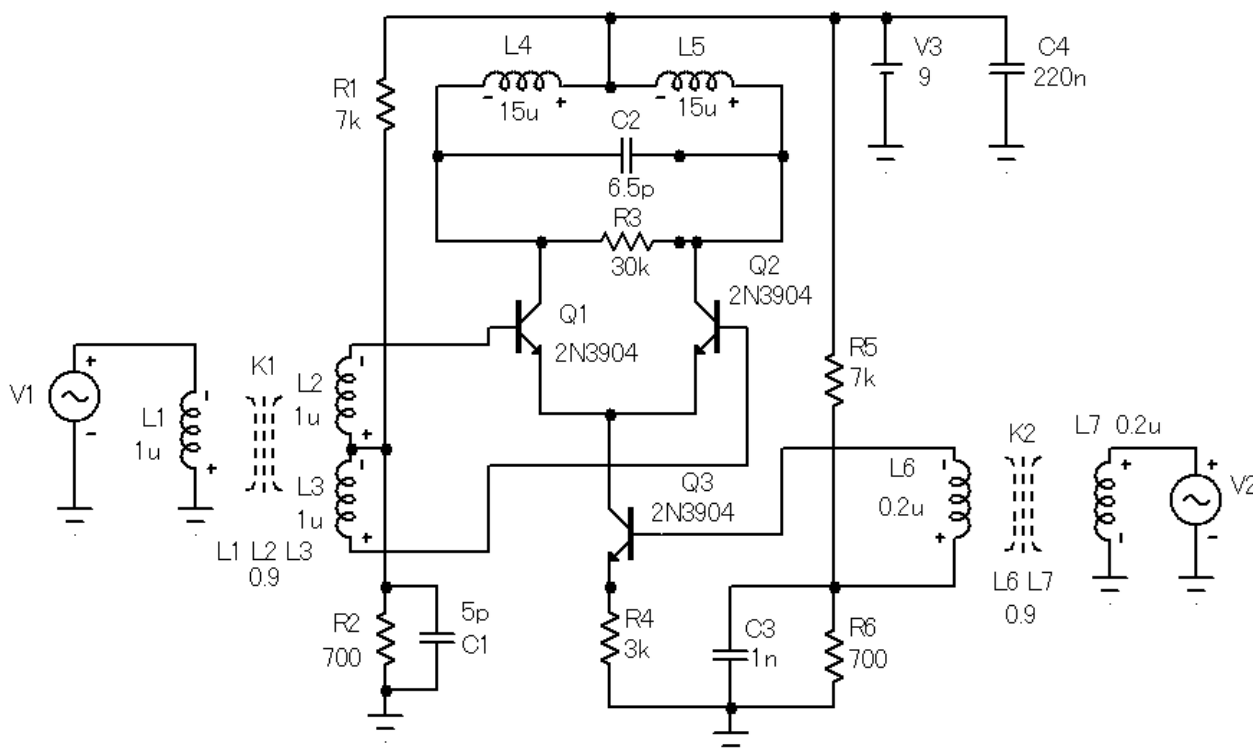


Рис. 1

Основу смесителя составляет дифференциальный каскад на транзисторах Q1 и Q2. Коллекторное напряжение подаётся на них через среднюю точку катушки индуктивности L4, L5 выходного резонансного контура C2, L4, L5, настроенного на промежуточную частоту. Делитель напряжения R1R2 задаёт начальное смещение на этих транзисторах. Каскад на транзисторе Q3 выполняет роль источника тока транзисторов дифференциального каскада Q1 и Q2. Смещение на транзистор Q3 задаётся делителем напряжения R5R6.

Напряжение синусоидального сигнала, создаваемое источником V1, подаётся в противофазе на базы транзисторов Q1 и Q2 дифференциального каскада за счет использования отвода от средней точки вторичной обмотки входного трансформатора K1 – L2, L3. Напряжение гетеродина, создаваемое источником V2, подаётся на базу транзистора Q3 через обмотку L6 трансформатора K2.

Коллекторные токи транзисторов Q1 и Q2, вызванные напряжением сигнала, текут через выходной колебательный контур навстречу друг другу, поэтому они будут вызывать на нём падение напряжения, следовательно, в выходном напряжении смесителя будет присутствовать напряжение с частотой сигнала.

Коллекторные токи транзисторов Q1 и Q2, вызванные напряжением гетеродина, текут в одном направлении через контур, поэтому они не будут вызывать падения напряжения на нём, следовательно, в выходном напряжении смесителя напряжение с частотой гетеродина будет отсутствовать.

Под действием напряжения гетеродина изменяется крутизна характеристик транзисторов Q1 и Q2, что, при воздействии напряжения сигнала, приводит к возникновению составляющих с комбинационными частотами в выходном напряжении, одна из которых выделяется выходным колебательным контуром, настроенным на промежуточную частоту.

Для получения амплитудно-частотной характеристики смесителя, которая, практически, определяется выходным колебательным контуром (рис. 2), воспользуемся анализом по переменному току программы Micro-Cap – *AC Analysis*. Колебательный контур должен быть настроен на промежуточную частоту приёмников ЧМ-сигналов 10,7 МГц, поэтому зададим диапазон частот от 9,7 до 11,7 МГц.

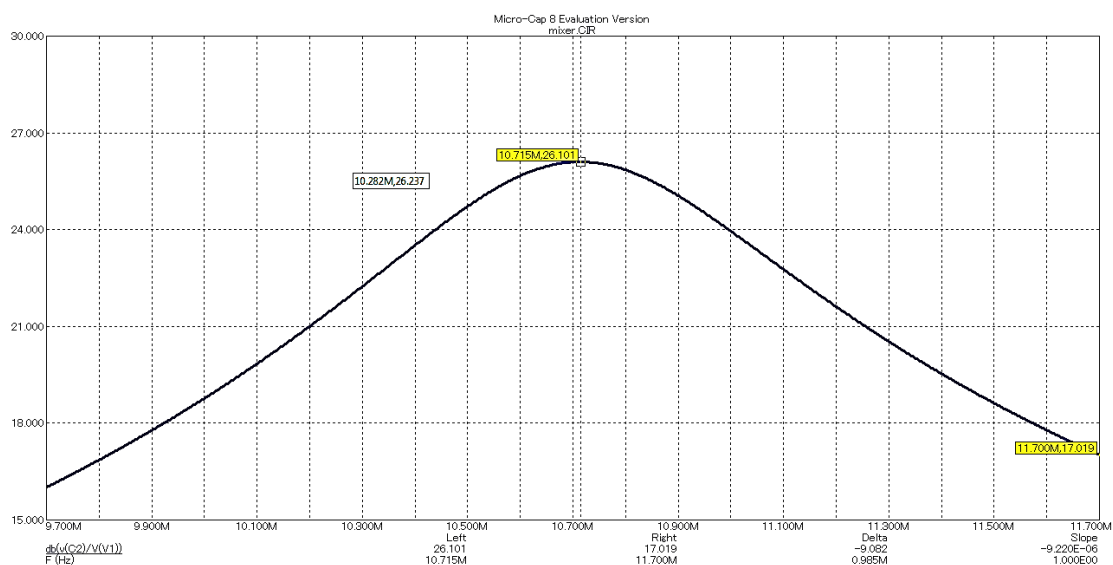


Рис. 2

Из рассмотрения рис. 2 следует, что выходной колебательный контур моделируемого смесителя настроен на промежуточную частоту 10,7 МГц, полоса пропускания по уровню минус 3 дБ равна 700 кГц.

В радиовещательных приёмниках используется верхняя настройка гетеродина, то есть значение частоты гетеродина превышает значение частоты принимаемого сигнала на величину, равную значению промежуточной частоты. При моделировании смесителя значение частоты сигнала выберем –

25 МГц, тогда значение частоты гетеродина должно быть равно 35,7 МГц.

Для реализации линейного режима работы смесителя, необходимо, чтобы напряжение сигнала было мало и при его воздействии не сказывалась нелинейность характеристики транзисторов. Напряжение гетеродина наоборот должно быть велико. Поэтому для анализа линейного режима работы смесителя установим значение амплитуды на генераторе V1, равное 1 мВ, а на генераторе V2 – 100 мВ.

Построим временные диаграммы напряжений на выходном колебательном контуре смесителя и на генераторе V1, воспользовавшись анализом переходных процессов, вызываемым в программе Micro-Cap командой *Transient Analysis*. По результатам временного анализа схемы, построим амплитудный спектр выходного напряжения смесителя при помощи функции БПФ HARM (*u*), вычисляющей амплитудные значения гармоник сигнала. При этом разрешение по частоте определяется временным диапазоном при анализе переходных процессов, а максимальная частота определяется количеством отсчетов функции HARM (*u*).

Зададим временной диапазон анализа от 0 до 0,1 мс, что даёт разрешение по частоте при построении амплитудного спектра выходного напряжения в 10 кГц. Число отсчетов функции БПФ выберем равным 32768, что позволит отобразить максимальную частоту в спектре, превышающую 100 МГц.

На рис. 3 представлены временные диаграммы напряжений входного сигнала (вверху) и напряжения на выходе смесителя (внизу), полученные в результате анализа переходных процессов в программе Micro-Cap.

Выходное напряжение смесителя определяется как сумма нескольких гармоник, поэтому возникают биения, которые видны на рис. 3.

Амплитудный спектр напряжения на выходе схемы смесителя, построенный при помощи функции HARM ( $u$ ) по результатам временного анализа в программе Micro-Cap, показан на рис. 4.

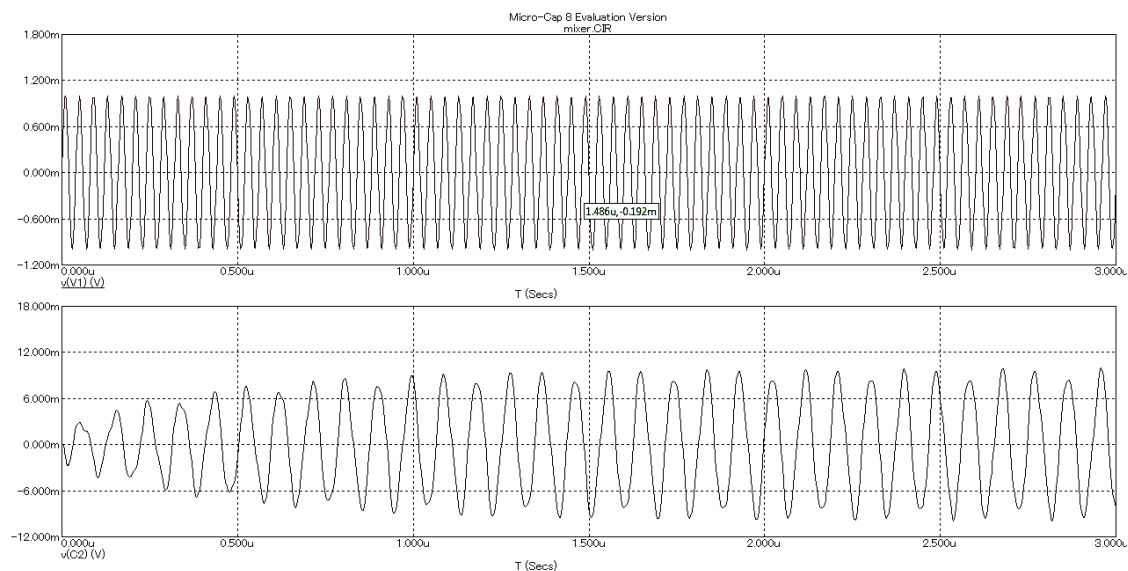


Рис. 3

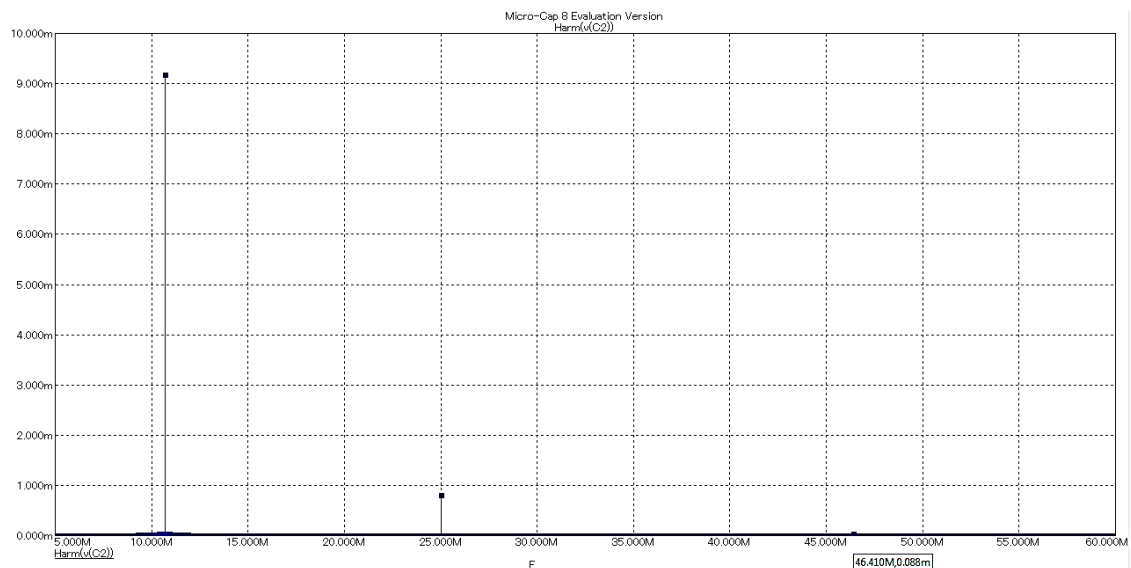


Рис 4

Из рассмотрения рис. 4 следует, что в спектре присутствует составляющая на промежуточной частоте (10,7 МГц), составляющая на частоте входного сиг-

нала (25 МГц) и незначительная по амплитуде составляющая на частоте зеркального канала (46,4 МГц). Составляющая на частоте гетеродина (35,7 МГц) отсутствует в выходном напряжении по причине, указанной ранее.

Полезной составляющей в спектре выходного напряжения смесителя является составляющая на промежуточной частоте, она выделяется избирательной системой УПЧ, а составляющие на частотах сигнала и зеркального канала будут подавлены.

Если на входе смесителя будут действовать кроме полезного сигнала, сигналы на частотах, равных промежуточной частоте и частоте зеркального канала, то в выходном напряжении смесителя появятся спектральные составляющие на промежуточной частоте, которые будут мешать полезному сигналу. От этих побочных каналов приёма помогает избавиться избирательная система преселектора, подавляющая на входе приёмника сигналы с частотами, равными промежуточной частоте и частоте зеркального канала.

Рассмотрим работу смесителя в *нелинейном* режиме, то есть когда напряжение сигнала достаточно велико и проявляется нелинейность характеристики активного элемента. Проанализируем возможность появления других побочных каналов приёма. Пусть амплитуда генератора V1 как и V2 равна 100 мВ. Проведём временной анализ и построим амплитудный спектр выходного напряжения смесителя при нелинейном режиме работы смесителя (рис. 5).

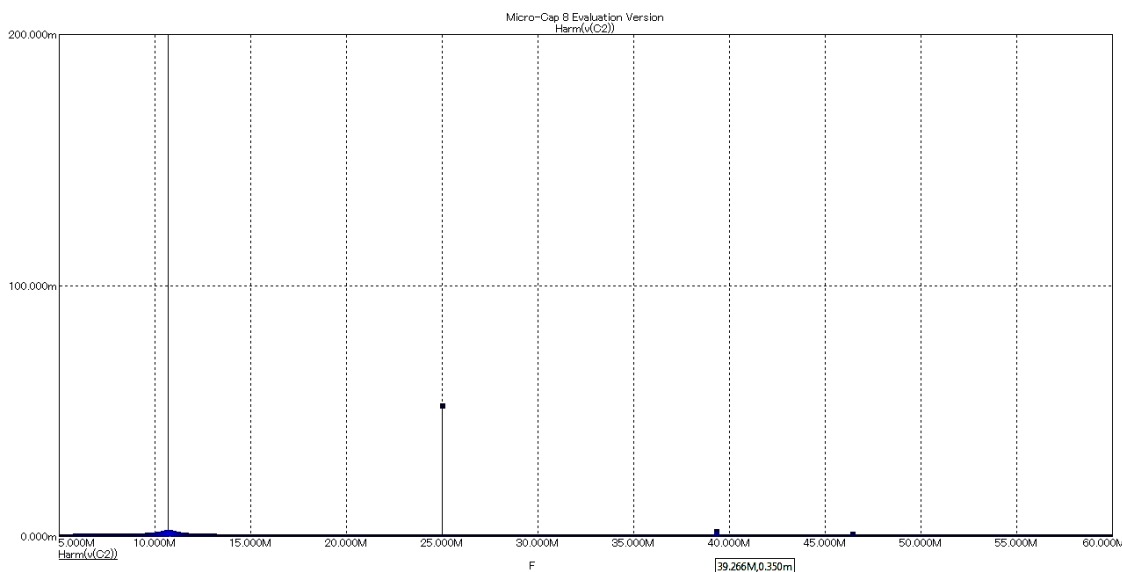


Рис. 5

Из рассмотрения рис. 5 следует, что в спектре выходного напряжения появилась новая составляющая на частоте так называемого третьзеркального канала  $-f_r + f_{np}/3$ , что составляет примерно 39,27 МГц. Составляющие на частоте полужеркального канала  $f_r \pm f_{np}/2$  отсутствуют в спектре выходного напряжения, так как в дифференциальном каскаде смесителя подавляются четные гармоники преобразуемого сигнала. Появление новой составляющей в спектре выходного напряжения на частоте  $f_r + f_{np}/3$  приведёт к возникновению нового побочного канала приёма на этой частоте.

*Вывод:* работа смесителя в нелинейном режиме недопустима, так как увеличивается число побочных каналов приёма, причем они расположены близко к полезному сигналу на частотной оси и возникнут проблемы с их подавлением в преселекторе радиоприёмника. Для предотвращения нелинейного режима работы смесителя необходимо охватывать цепью автоматической регулировки усиления (АРУ) усилитель радиочастоты и смеситель.

Достоинство рассмотренной схемы балансного смесителя заключается в том, что если, по каким-либо причинам, он будет работать в нелинейном режиме, то возникающий при этом третьзеркальный побочный канал приёма с основной энергетикой будет расположен дальше от полезного сигнала по частотной оси, чем полужеркальный побочный канал приёма, который может возникать в смесителях, построенных по другим схемам.

### ***Список литературы***

1. Плаксиенко В.С. Цифровая обработка в радиоприемных устройствах: Учебное пособие / В.С. Плаксиенко, Н.Е. Плаксиенко. – Кисловодск: Изд-во КГТИ, 2006. – 80 с.
2. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / Н.Н. Фомин, Н.Н. Буга, В.С. Плаксиенко [и др.] – М.: Радио и связь, 2003. – 520 с.