

Сазоненко Н.Ю., Никитин Ю.А., Юрова В.А.
Санкт-Петербургский государственный университет
телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Моделирование перемножителей сигналов с использованием пакета MICRO CAP

Смесители (перемножители сигналов) находят широкое применение в устройствах СВЧ электроники и микроэлектроники. В данной работе подобраны режимы работы схем перемножителей и проведено компьютерное моделирование в среде MICRO CAP версии 9. Получены спектральные характеристики выходного колебания при различных уровнях входного сигнала, проведена сравнительная оценка спектрального состава выходного колебания. Замечено, что схема смесителя на основе токового зеркала обладает лучшей линейностью преобразования, чем схема, выполненная на обычном транзисторном каскаде, даже при большей величине входного сигнала.

Ключевые слова: перемножитель, смеситель, токовое зеркало, спектр, транзистор, транзисторный каскад.

Во многих устройствах современной СВЧ электроники и микроэлектроники и также в их производстве применяются схемы перемножителей сигналов, к которым предъявляются жесткие требования по линейности. Это определено тем, что в результате взаимодействия совокупности входных сигналов разной частоты на нелинейных элементах смесителя появляются интермодуляционные искажения, часть из которых может попасть в полосу пропускания фильтра промежуточной частоты приемника, вследствие чего не сможет быть удалена с помощью линейной фильтрации. Борются с этой проблемой обеспечением линейности применяемых перемножителей сигналов и выбором уровней сигнала и гетеродина на нелинейных элементах, что приводит к понижению уровня паразитных продуктов преобразования, то есть комбинационных составляющих порядка выше второго, до приемлемых значений.

Аналогичные проблемы возникают и в быстроперестраиваемых синтезаторах частоты на основе пассивного аналогового синтеза, используемых для сканирования микроволнового диапазона, формирования сигналов с линейной частотной модуляцией, в том числе при томографических и внутриклеточных исследованиях [1].

Следовательно, при оптимизации параметров смесителя и выборе режимов работы его нелинейных элементов становится возможным обеспечить высокую чувствительность и точность измерений, в частности для малых количеств вещества и многокомпонентных составов твердотельных растворов.

Целью исследования является получение спектральных характеристик схем перемножителей на биполярных структурах и сравнительный анализ линейности перемножения с использованием единого подхода и критериев оценки.

В качестве объектов исследования были взяты базовые схемы на основе каскада на токовом зеркале, и $p-n$ перехода (диодной схемы) [1–2], которые используются как отдельно, так и служат основой для разработки более сложных схем перемножителей – кольцевых и балансных [3–4].

Для получения спектральных и временных характеристик выходного сигнала и проведения сравнительного анализа работы указанных схем, была использована компьютерная программа моделирования электрических цепей MICRO CAP версии 9 [5]. Она дает возможность проводить спектральные исследования различных структур смесителей в широком динамическом диапазоне, используя встроенную базу электронных компонентов.

Критерием линейности работы перемножителей частот был принят относительный уровень комбинационных составляющих порядка выше второго, поскольку комбинационная составляющая второго порядка $f_{\text{ВЫХ}} = f_{\text{СИГН}} \pm f_{\text{ГЕТ}}$ является полезным сигналом. Спектр сигнала с интермодуляционными составляющими (ИМИ) второго и третьего порядка изображен на рис. 1 [6].

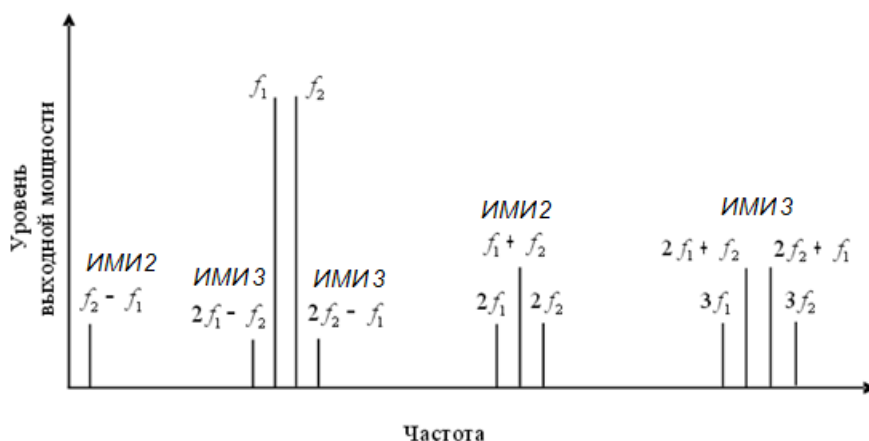


Рис. 1. Спектр сигнала с интермодуляционными искажениями 2-го (ИМИ2) и 3-го (ИМИ3) порядка.

В ходе работы были подобраны режимы работы и параметры схем, которые позволяют получить на выходе заданные уровень сигнала и коэффициент передачи. Схемы представлены на рис. 2 и 3. Были получены спектральные и временные характеристики данных схем.

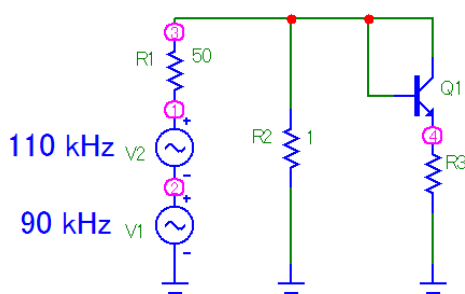
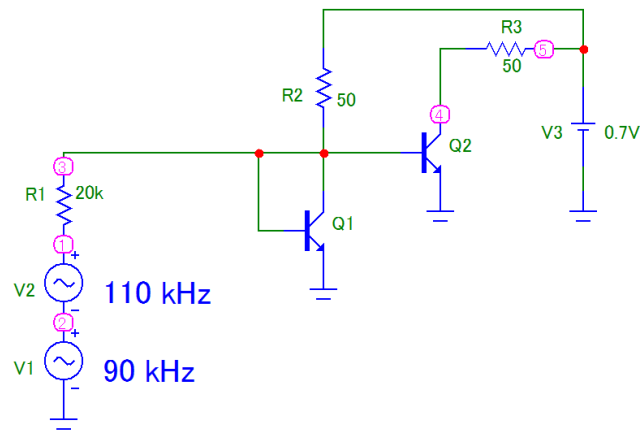
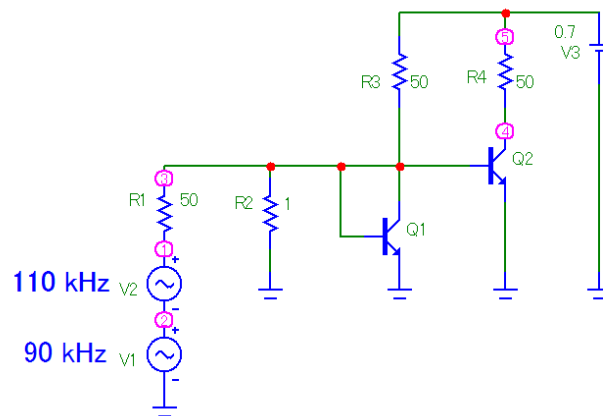


Рис. 2. Диодная схема, смоделированная в программе MICRO CAP 9.



(a)



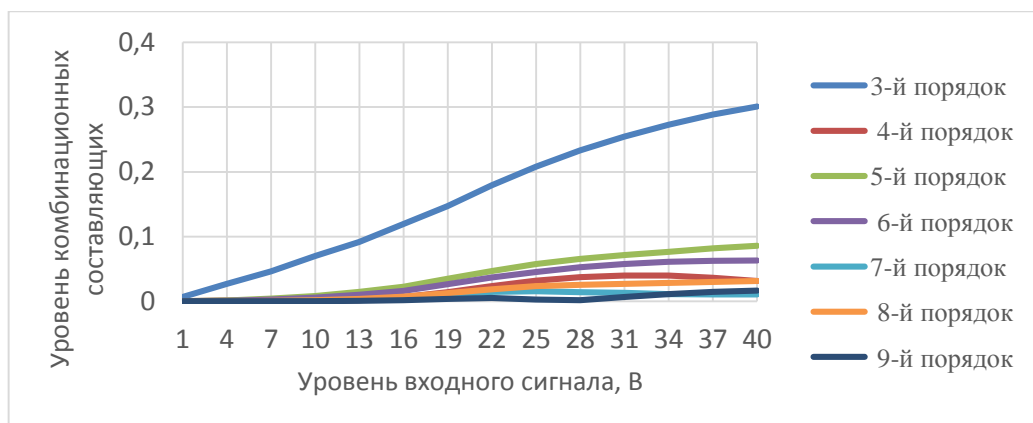
(б)

Рис. 3. Схема компьютерного моделирования каскада на токовом зеркале с генератором тока (а) и генератором напряжения на входе (б).

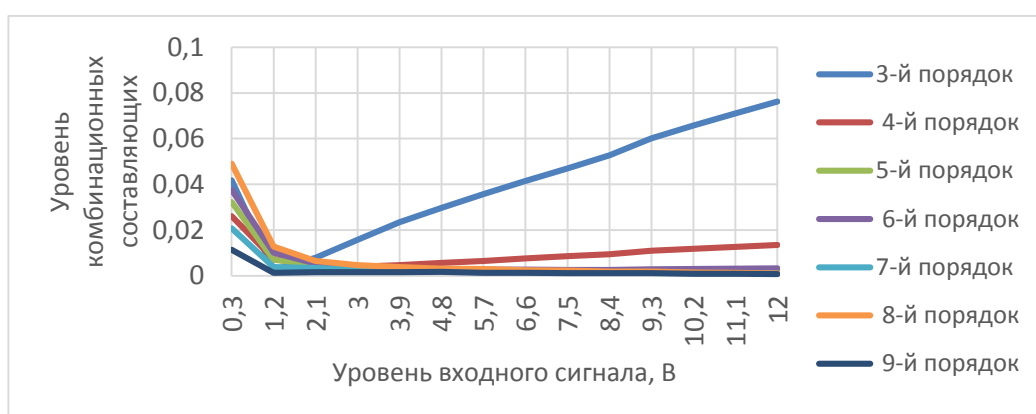
При напряжении сигнала $U(3)$ свыше 1,5 мВ, подаваемых на вход схемы каскада на токовом зеркале с генератором напряжения, наблюдается перегрузка. Таким образом, чтобы изменить значение абсолютного коэффициента передачи каскада $K_{ГН-ТЗ} = U_{Вых20кГц} / U_{Базы90кГц}$, т.е. $K_{ГН-ТЗ} = U(4)/U(3)$, нужно подобрать уровень входного сигнала. В дальнейшем были подобраны уровни входного сигнала 1,5 мВ и гетеродина 100 мВ, при этом получили значение абсолютного коэффициента передачи каскада 0,61 (- 4,3дБ).

Также были получены спектральные характеристики выходного сигнала, получены зависимости уровня выходного сигнала от вида источника сигнала – генератор напряжения и генератор тока. На рис. 4 представлены зависимости уровней комбинационных составляющих выходного сигнала от уровня сигнала, подаваемого на вход перемножителя частот.

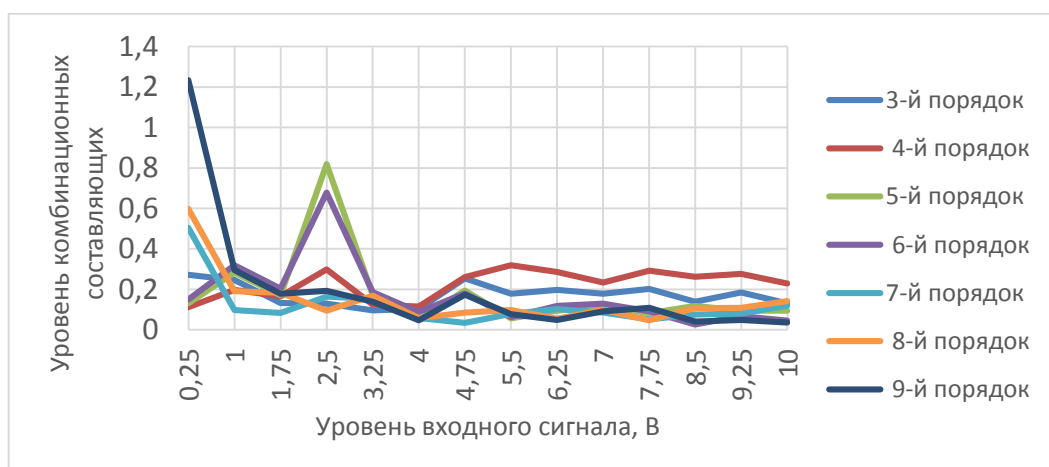
Таким образом, в ходе проведенной работы подобраны параметры схем транзисторных смесителей, которые дают возможность получить на выходе заданные уровень сигнала и коэффициент передачи при приемлемом уровне комбинационных составляющих.



(а)



(б)



(в)

Рис. 4. Зависимости уровней комбинационных составляющих выходного сигнала от уровня сигнала, подаваемого на вход транзистора в диодной схеме (а) и на вход каскада на токовом зеркале с генератором тока (б) и генератором напряжения (в).

В данной работе были получены спектральные и временные характеристики выходного сигнала для схем смесителей, выполнены на основе каскада на токовом зеркале и диодной схемы.

Из анализа спектров выходных сигналов установлено, что базовая схема смесителя на основе токового зеркала с генератором тока обеспечивает меньший уровень

комбинационных составляющих, что важно для высококачественных микроволновых синтезаторов частот с многоступенчатыми трактами приведения.

Представляет интерес дальнейшее исследование влияние параметров гетеродина на спектральные характеристики рассмотренных схем смесителей, а также исследование влияния изменения режимов работы элементов и введение в схемы цепей обратной связи.

Библиографический список

1. Никитин Ю.А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот. Часть 1. Общие положения. Пассивный синтезатор частот: учебное пособие. СПб. – СПбГУТ, 2015. 100 с.
2. Никитин Ю.А. Схемотехника современных микроволновых синтезаторов частот: Часть 3. Элементы микроволновых синтезаторов. Аналоговая схемотехника: учебное пособие. СПб. – СПбГУТ, 2016. 91 с.
3. Фомин Н. Н., Буга Н. Н., Головин О. В. и др. Радиоприемные устройства: Учебник для вузов / под редакцией Н. Н. Фомина. – 3 -е издание, стереотип. М.: Горячая линия–Телеком, 2007. – 520 с.
4. Бобрешов А. М., Малезин М. И., Степкин В. А., Усков Г. К. Двойной балансный смеситель для перемножения сверхширокополосных импульсных сигналов // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. 2014. № 2. С. 5–13.
5. Копысов А.Н., Зайцева Е.М. Основы компьютерного проектирования и моделирования радиоэлектронных средств в среде Micro-Cap: метод. указания к лабораторным работам. Ижевск, 2013. 66с.
6. Поляков А.Е., Стрыгин Л.В. Методика измерения IP2 и IP3 двухтонового сигнала // Труды МФТИ. 2012. № 2. С. 54 – 63.