

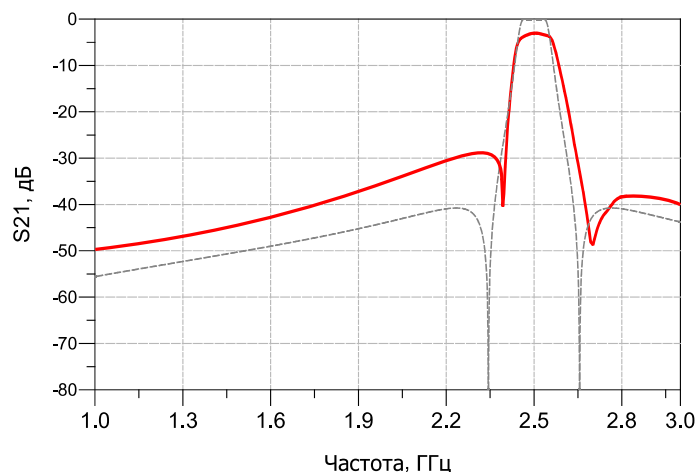


Рис. 7. Результаты моделирования и эксперимента

Заключение

Разработан новый метод синтеза компактных микрополосковых ступенчатых ЭФ. В качестве примера рассчитана топология ступенчатого ЭФ с центральной частотой $f_0 = 2,5$ ГГц и заданной относительной ПП $w = 3\%$ на диэлектрической подложке из материала RogersRO4003C с $\varepsilon_r = 3,55$ и толщиной $h = 1,524$ мм. Представлены результаты макетирования фильтра. Потери на центральной частоте составили 3 дБ, относительная ПП по ослаблению 3 дБ – 5 %. Габариты фильтра $21,8 \times 16,1 \times 1,524$ мм. Эксперимент демонстрирует хорошее совпадение с теорией. Использование симулятора электромагнитного поля на различных этапах расчета существенно снижает трудоемкость расчета ЭФ СВЧ и позволяет удовлетворительно предсказывать характеристики реального фильтра, что создает дополнительные предпосылки для ускорения темпов внедрения устройств данного типа в радиоэлектронную промышленность.

Список используемых источников

1. Кубалова А. Р., Томашевич С. В. Анализ и синтез микроволновых эллиптических фильтров. СПб.: Издательство СПбГУТ, 2013. 368 с.
2. Зааль Р. Справочник по расчету фильтров. М.: Радио и связь, 1983. 752 с.
3. Rhodes J. D. The Stepped Digital Elliptic Filter // Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on. 1969. Vol.: 17. С. 178–174.
4. Jia-Sheng Hong, Lancaster M. J. Microstrip filters for RF/Microwave applications. N. Y.: John Wiley & sons. Inc., 2001. P. 482.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ НА ЯЧЕЙКЕ ДЖИЛЬБЕРТА

Ю.А. Никитин, В.А. Юрова

В устройствах радиосвязи смесители (перемножители частоты) во многом определяют динамический диапазон и чувствительность аппаратуры, её устойчивость к воздействию помех. Возможно построение смесителей как на диодах, так и на транзисторах,

например, на управляемых токовых зеркалах и ячейках Джильберта. В статье рассмотрены варианты построения аналоговых преобразователей частоты, построенных на токовых зеркалах и ячейках Джильберта. Проведено их моделирование с помощью пакета Fastmean 6.

Ключевые слова: смеситель, диод, транзистор, токовое зеркало, ячейки Джильберта, дифференциальный каскад.

MODELING OF THE FREQUENCY MIXER ON THE GILBERT CELL

Nikitin Yu., Yurova V

In radio communication devices mixers (frequency multipliers) in many respects determine the dynamic range and sensitivity of the equipment, its resistance to influence of noises. It's possible to construct mixers on diodes, and on transistors, for example, on the operated current mirrors and Dzhilbert's cells. We consider the different types of electric circuits of the analog converters of frequency. A simulation is carried out using the package FASTMEAN.

Keywords: frequency mixer, diode, transistor, current mirror, differential amplifier, Gilbert cell.

При разработке современных электронных устройств в системах управления и связи существует значительная потребность в усилительных устройствах, сочетающих высокие энергетические характеристики с низким уровнем интермодуляционных искажений. Эта потребность определяется необходимостью плотного размещения каналов в частотном диапазоне, чтобы передавать постоянно возрастающие объемы информации. В результате взаимодействия сигналов разной частоты на нелинейных элементах возникают интермодуляционные искажения, основным способом борьбы с которыми является обеспечение линейности применяемых усилителей. Имеется обширная литература, посвященная анализу параметров и режимов работы как усилителей, так и преобразователей частоты. При этом авторы используют различные подходы, критерии оценки и математический аппарат, что затрудняет сравнение рассматриваемых ими схем.

В силу этого представляется целесообразным провести сравнительный анализ схем преобразователей частоты на транзисторах (диодах или $p-n$ -переходах) с единых позиций, по единым критериям с использованием единой среды компьютерного моделирования работы схем.

Линейность – это отсутствие или низкий уровень спектральных компонентов, отсутствующих в исходном сигнале. При идеальном перемножении двух частот на выходе получают только суммарное и разностное колебания. Оценить нелинейность активного устройства, содержащего $p-n$ -переход, можно с помощью уровня интермодуляционных (внутрисистемных) искажений. Этот параметр определяется нелинейностью входных и выходных характеристик активных элементов, используемых в современной технике. Для измерения интермодуляционных искажений необходимо на вход исследуемого устройства

подать два таких сигнала с близкими частотами, чтобы амплитуды выходных сигналов были меньше точки однодецибельной компрессии (P_1) на 6...10 дБ.

Чтобы провести анализ работы схем и определить спектры выходного сигнала, в работе была использована компьютерная программа моделирования электрических цепей FASTMEAN [1, 2]. Она позволяет оценить работу схем разной сложности, как с использованием встроенной базы активных элементов, так и с построением их эквивалентных моделей с заданными параметрами. В программе FASTMEAN применены алгоритмы решения матричных уравнений электрических цепей, которые позволяют существенно повысить точность и скорость расчета переходного процесса и спектров по сравнению с известными стандартными алгоритмами.

Основой большинства усилительных элементов является p – n –переход (диода или транзистора), на границе которого имеют место различные эффекты, определяющие работу полупроводниковых приборов. Вольт–амперная характеристика (ВАХ) p – n –перехода имеет ярко выраженную нелинейную форму. Для проведения качественного анализа работы схем важным является подбор наилучшей аппроксимации ВАХ p – n –переходов усилительных элементов с отображением её нелинейности. Идеальную ВАХ можно описать выражением зависимости тока от напряжения, величина которого определяется числом носителей заряда, способных преодолеть потенциальный барьер обедненного слоя p – n –перехода [3]:

$$I = I_0 \cdot [\exp(e \cdot U / k \cdot T) - 1],$$

где I – сила тока, выраженная в амперах; I_0 – тепловой ток (или обратный ток насыщения); e – заряд электрона; U – приложенное к p – n –переходу напряжение в вольтах; k – постоянная Больцмана, выраженная в Дж/К; T – температура в Кельвинах.

Из-за падения части приложенного напряжения на объемном сопротивлении p – n –перехода прямая ветвь ВАХ реального диода в области прямых напряжений будет располагаться несколько ниже. В области обратных напряжений этим падением напряжения можно пренебречь.

На рисунке 1а представлена принципиальная схема широко используемого диодного перемножителя. Она состоит из диода и симметрирующего трансформатора со средней точкой. Трансформатор предназначен для дифференциального разделения принимаемого сигнала и сигнала гетеродина. Однако его использование в схемах при работе в широком диапазоне частот приводит к появлению собственных частот резонанса и искажение формы импульсов на выходе трансформатора в результате действия паразитной межвитковой емкости и емкости монтажа.

Степень подавления входных сигналов на выходе определяется уровнем симметричности (балансности) схемы смесителя и характеризует его развязку по отношению к входным сигналам. Схема позволяет осуществлять инверти-

рующее и неинвертирующее преобразование, характеризуется малым уровнем собственных шумов, малыми внутренними паразитными реактивностями и малогабаритностью [4].

Полученный в ходе компьютерного моделирования спектр выходного сигнала для перемножителя на диоде представлен на рисунке 1б.

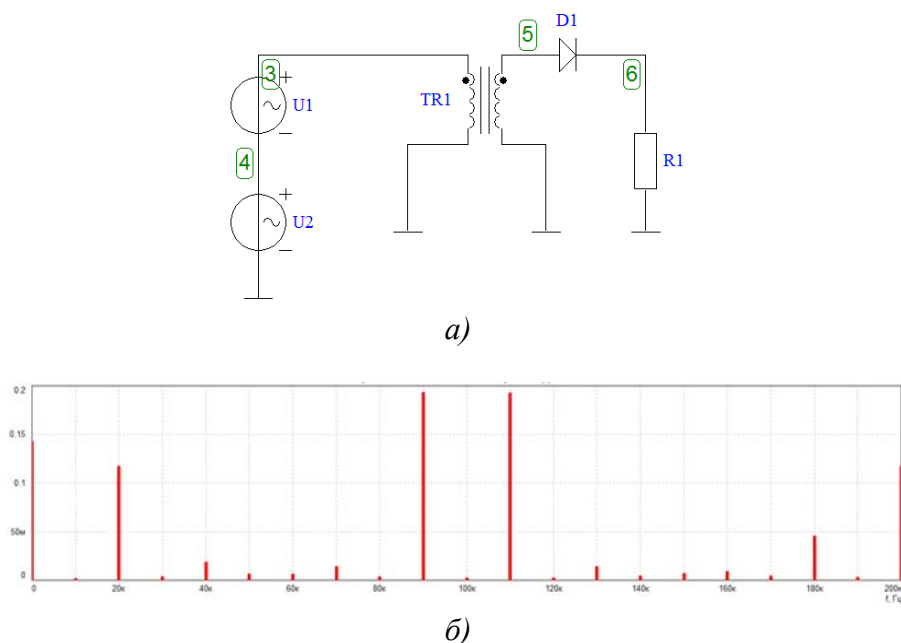


Рис. 1. а) Принципиальная схема балансного перемножителя на диоде и б) спектр её выходного сигнала

Простейшая схема перемножителя, выполненная на транзисторе, приведена на рисунке 2. Обычно у транзисторного перемножителя довольно низкое входное сопротивление и высокое выходное, поэтому для согласования с цепями источников переменного сигнала и нагрузки используют трансформаторы, что делает затруднительным интеграции и миниатюризации данной схемы.

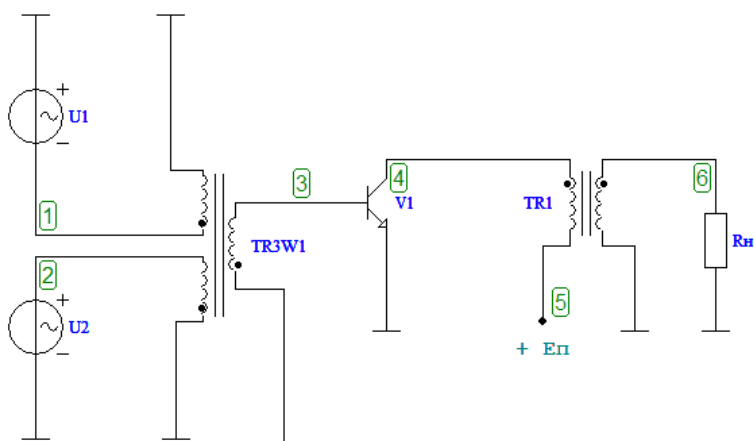


Рис. 2. Принципиальная схема перемножителя на транзисторе

Также для проведения сравнительного анализа была рассмотрена схема перемножителя на управляемых токовых зеркалах (см. рис. 3). Здесь один из транзисторов плеча работает в диодном режиме, что позволяет увеличить температурную стабильность рабочей точки, и улучшается линейность перемножения.

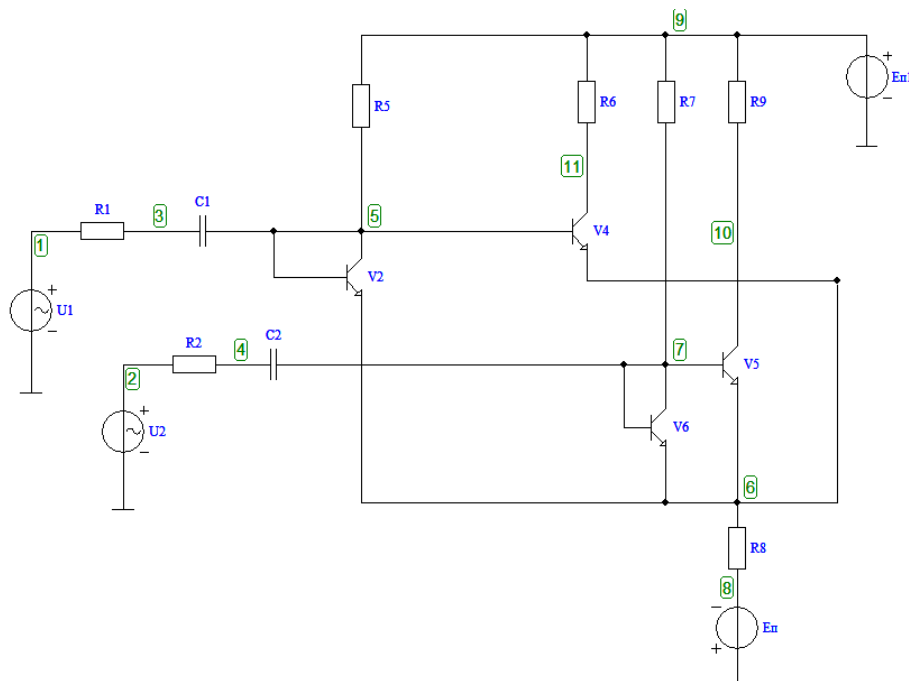


Рис. 3. Принципиальная схема перемножителя на управляемых токовых зеркалах

На рисунке 4 приведена принципиальная схема активного перемножителя на ячейке Джилберта с двойной балансировкой. Широкополосный разностный усилитель и/или перемножитель напряжения, спроектированный на основе управляемых и соединенных между собой дифференциальных транзисторных пар, называется ячейкой Джилберта [5]. Вследствие её симметричности гармоники четных порядков малы.

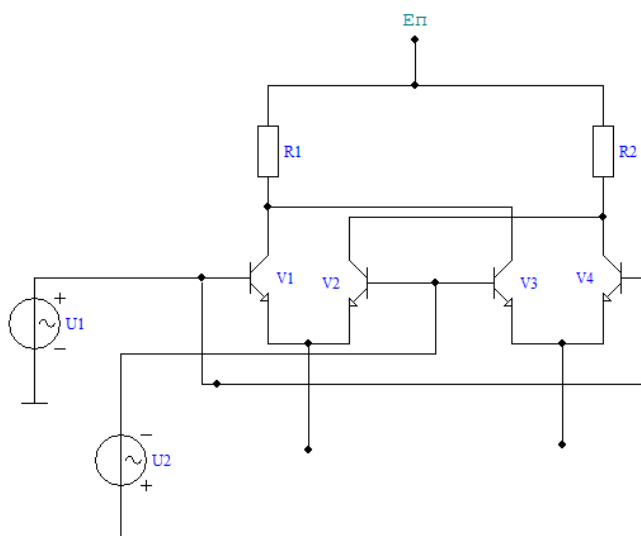


Рис. 4. Принципиальная схема перемножителя на ячейках Джилберта

Таким образом, был проведен анализ и подбор методики для проведения сопоставления работы разных схем преобразователей частоты. Подобраны параметры цепей смещения, которые позволяют получить на выходе заданные дифференциальный сигнал и коэффициент усиления. Получение спектральных характеристик и оценка линейности остаются задачей для будущих исследований.

Список используемых источников

1. Филин В. А., Смирнов В. С. Автоматизированная компьютерная программа быстрого расчета и оптимизации переходных и стационарных процессов в электрических цепях радиотехнических и телекоммуникационных устройств FASTMEAN. Свидетельство о регистрации № 2002610191 Российская Федерация; Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича.
2. Артым А. Д., Есполов К. Ж., Филин В. А. Матричные модели радиотехнических цепей / под ред. д.т.н., проф. В. А. Филина. СПб.: «Элмор», 2015. 280 с.
3. Джонс М. Х. Электроника – практический курс; пер. с англ. 2-е изд. М.: Техносфера, 2006. 512 с.
4. Фомин Н. Н., Буга Н. Н., Головин О. В. и др. Радиоприемные устройства: учебник для вузов / под редакцией Н. Н. Фомина. 3-е изд., стереот. М.: Горячая линия – Телеком, 2007. 520 с.
5. Бобрешов А. М., Малежин М. И., Степкин В. А., Усков Г. К. Двойной балансный смеситель для перемножения сверхширокополосных импульсных сигналов // Вестник ВГУ. Серия: Физика. Математика. 2014. N 2. С. 5–13.

ПОКАЗАТЕЛИ ЭФФЕКТИВНОСТИ LC-ФИЛЬТРОВ С РАЗЛИЧНЫМИ АППРОКСИМИРУЮЩИМИ ФУНКЦИЯМИ

В.В. Сергеев

Максимальная запасаемая энергия в реактивном фильтре является универсальным показателем его эффективности и определяет массу, габариты, потери энергии и параметрическую чувствительность характеристик фильтра. В работе приведены результаты сравнительного анализа указанных показателей и даны рекомендации по их оптимизации для фильтров Баттерворта, Чебышева (полиномиальных и инверсных) и Золотарева-Кауэра.

Ключевые слова: реактивный фильтр, энергетические функции, массогабаритные показатели.

PERFORMANCE INDICATORS LC-FILTERS WITH DIFFERENT FUNCTIONS APPROXIMATING

Sergeev V.

The maximum stored energy in the reactive filter is a universal indicator of its efficiency and determines the mass, dimensions, power loss and parametric sensitivity characteristics of the filter.