



ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЕВЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ, В ТОМ ЧИСЛЕ С ИНТЕГРИРОВАННЫМ СИНТЕЗАТОРОМ НА ОСНОВЕ ФАПЧ

FEATURES OF DEVELOPING SILICON-GERMANIUM FREQUENCY CONVERTERS, INCLUDING AN INTEGRATED PLL SYNTHESIZER

УДК 621.3.049.774, ББК 32.853.1

МУХИН ИГОРЬ ИГОРЕВИЧ

*К. т. н., начальник отделения СВЧ –
заместитель генерального конструктора*

MUKHIN IGOR I.

Ph.D

БЫЧКОВ МИХАИЛ СЕРГЕЕВИЧ

Начальник отдела разработки интегрированных СВЧ СнК

BYCHKOV MIKHAIL S.

ИОНОВ ЛЕОНИД ПЛАТОНОВИЧ

Начальник отдела разработки аналого-цифровых микросхем

IONOV LEONID P.

ШАБАРДИН РУСЛАН СЕРГЕЕВИЧ

К. т. н., начальник отдела разработки СВЧ аналоговых микросхем и модулей

SHABARDIN RUSLAN S.

Ph.D

АО «НИИМА «Прогресс»

125183, г. Москва, проезд Черепановых, 54

JSC “PROGRESS MRI”

54 Cherepanovikh Lane, Moscow 125183, Russia

В работе представлены результаты разработки ряда преобразователей частоты: активный двойной балансный смеситель L-диапазона, преобразователь частоты C-диапазона, МИС в составе дробного синтезатора со встроенным ГУН и двумя смесителями. Разработанные микросхемы обладают одними из лучших на сегодняшний день комплексами параметров.

Ключевые слова: активный смеситель; смеситель Джильберта; преобразователь частоты; дробный синтезатор частот; кремний-германиевая технология; СВЧ; микросхема.

The paper presents the results of developing a number of frequency converters, such as an active double balanced mixer with L band, frequency converter of C band, SSI within fractional synthesizer with embedded VCO and two mixers. The developed microcircuits possess operating parameters that today rank highest.

Keywords: active mixer; Gilbert mixer; frequency converter; fractional frequency synthesizer; silicon-germanium technology; microwave; microcircuit.

Преобразователь частоты относится к ключевым блокам приемопередающих трактов различного назначения. В большинстве случаев он определяет верхнюю границу динамического диапазона тракта [1]. Исходя из этого разработка преобразователей частоты с улучшенными свойствами была и остается актуальной задачей.

В основе подавляющего большинства преобразователей частоты лежат модифицированные схемы смесителя Джильберта [2]. В настоящее время известно достаточно большое количество работ [3, 4, 5], где исследуются свойства этой схемы и предлагаются улучшения по росту динамических и частотных характеристик. Однако в инженерной практике в зависимости от технологии изготовления актуальным является вопрос оптимизации той или иной схемы построения активного смесителя.

В работе представлены результаты разработки следующих устройств: двойной балансный смеситель L-диапазона, преобразователь частоты C-диапазона, СБИС дробного синтезатора частоты со встроенными ГУНом и двумя балансными смесителями.

Двойной балансный смеситель L-диапазона имеет следующие особенности:

- построен по модифицированной схеме смесителя Джильберта;
- входной преобразователь напряжение – ток реализован на МОП-транзисторах, транзисторный квартет — на биполярных транзисторах;
- выход выполнен в виде «открытого коллектора», что при напряжении питания 3 В позволило получить значение входной точки компрессии плюс 10 дБм;
- наличие цифрового управления током потребления, которое позволяет получить коэффициент шума менее 12 дБ;
- наличие ждущего и спящего режимов работы.

Преобразователь частоты C-диапазона имеет следующие характеристики: коэффициент преобразования 15 дБ, диапазон рабочих частот полезного сигнала от 20 МГц до 7 ГГц, выходная точка компрессии плюс 9 дБм, коэффициент шума 14 дБ.

Отличительной особенностью смесителей, которые входят в состав СБИС дробного синтезатора частоты, является их

широкий динамический диапазон, достигнутый при напряжении питания 3 В. В основе смесителей лежит модифицированная схема Джилберта, где входной преобразователь напряжения — ток линеаризован с помощью структурного метода [6], позволяющего также обеспечить эффект частичной компенсации шума [7]. В результате смеситель обладает значением входной точки компрессии плюс 10 дБм при величине коэффициента шума не более 11 дБ. Общее потребление тока микросхемы не превышает 170 мА. Фазовые шумы гетеродина на частоте 1 ГГц и отстройке от несущей на 10 кГц не превышают минус 95 дБ/Гц.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника: в 2 т. / У. Титце, К. Шенк. — М.: Додэка-XXI, 2008. — Т. 2.
2. Gilbert B. *A Precise Four-quadrant Multiplier with Subnanosecond Response* // IEEE Journal of Solid-State Circuits. — 1968. — Vol. SC-3, pp. 365–373.
3. Богатырев Е.А., Бычков М.С. Оценка эффективности структурного метода на примере проектирования интегральных смесителей / Е.А. Богатырев, М.С. Бычков // Труды РНТОРЭС имени А.С. Попова «71-я научная сессия, посвященная Дню радио». — 2016. — Т. 1. — С. 387–392.
4. Darabi H., Abidi A.A. *Noise in RF-CMOS Mixers: A Simple Physical Model* // IEEE Transactions on Solid-State Circuits. — 2000, Vol. 35. — № 1, pp. 15–25.
5. Terrovitis M., Meyer R. *Noise in Current-commutating CMOS Mixers* // IEEE Journal of Solid-State Circuits. — 1999, Vol. 34. — № 6, pp. 772–782.
6. Бычков М.С. Методика реализации структурных схем с нулевой чувствительностью // Радиотехника. — 2016. — № 11. — С. 46–53.
7. Blaakmeer S., Klumperink E., Leenaerts D., Nauta B. *The Blixer. A Wideband Balun-LNA-I/Q-Mixer Topology* // IEEE Journal of Solid-State Circuits. — 2008, Vol. 43. — № 12, pp. 2706–2715.

Frequency converters refer to key blocks of receiving/transmitting paths of various purposes. In most cases they determine upper limit of dynamical path range [1]. Accordingly, the design of frequency converters with improved specifications has always been and still remains a topical problem.

Modified circuits of Gilbert mixer are basic elements in the vast majority of frequency converters [2]. A fairly large number of works [3, 4, 5] is known today, which investigate the properties of this circuit and propose improvements of dynamical and frequency characteristics. But in engineering practice, depending on fabrication technique, the issue of active mixer circuit optimization is a major one.

This paper presents the results of the following devices development: double balanced mixer with L-band, frequency converter with C-band, VLSI of fractional frequency synthesizer with embedded VCO and two balanced mixers.

Double balanced mixer with L-band has the following features:

- built by modified Gilbert mixer circuit;
- input voltage-current converter is implemented on MOS-transistors, basic Gilbert cell on bipolar transistors;
- output is made in the form of “open collector”, which at supply voltage of 3V made it possible to attain value of input compression point +10dBm;

- the presence of digital control for current consumption, which enables attaining noise factor lower than 12dB;
- the presence of sleep and waiting modes of operation.

Frequency converter with C-band has the following characteristics: conversion ratio is 15dB, operating frequencies band of valid signal — from 20MHz to 7GHz, output point of compression +9dBm, noise factor –14dB.

Distinctive feature of mixers, which constitute a part of fractional frequency synthesizer, is their wide dynamical range attained at supply voltage of 3V. Modified Gilbert circuit constitutes a mixer base, where input converter voltage-current is linearized by means of structured method [6], enabling one to provide the effect of partial noise compensation [7]. As a result, the mixer has a value of input compression point +10dBm, noise factor being lower than 11dB. Total microcircuit current consumption does not exceed 170mA. Phase noises of heterodyne at 1GHZ and tune-out from carrier at 10kHz do not exceed –95dB/Hz.

REFERENCES

1. Tittse U., Shenk K. *Poluprovodnikovaya skhemotekhnika: v 2 t.* / U. Tittse, K. Shenk. M.: Dodeka-XXI, 2008. Vol. 2. (In Russian).

2. Gilbert B. *A Precise Four-Quadrant Multiplier with Subnanosecond Response* // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 1968. Vol. SC-3, pp. 365–373.
3. Bogatyrev E.A., Bychkov M.S. *Otsenka effektivnosti strukturnogo metoda na primere proektirovaniya integral'nykh smesitelei* / E.A. Bogatyrev, M.S. Bychkov // Trudy RNTORES imeni A.S. Popova “71-ya nauchnaya sessiya, posvyashchennaya Dnyu radio”. 2016. Vol. 1. P. 387–392. (In Russian).
4. Darabi H., Abidi A.A. *Noise in RF-CMOS Mixers: A Simple Physical Model* // IEEE Transactions on Solid-State Circuits. 2000. Vol. 35, No. 1, pp.15–25.
5. Terrovitis M., Meyer R. *Noise in Current-Commutating CMOS Mixers* // IEEE Journal of Solid-State Circuits. — 1999. Vol. 34, No. 6, pp. 772–782.
6. Bychkov M.S. *Metodika realizatsii strukturnykh skhem s nulevoi chuvstvitel'nost'yu* // Radiotekhnika. 2016. № 11. P. 46–53. (In Russian).
7. Blaakmeer S., Klumperink E., Leenaerts D., Nauta B. *The Blixer. A Wideband Balun-LNA-I/Q-Mixer Topology* // IEEE Journal of Solid-State Circuits. 2008, Vol. 43, No. 12, pp. 2706–2715.



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

ЭЛЕКТРОНИКА
ТЕХНОЛОГИИ
И СИСТЕМЫ

НАНОИНДУСТРИЯ
НАУКА ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ

ФОТОНИКА

ПЕРВАЯ
МИЛЯ

Аналитика

СТАНКОИНСТРУМЕНТ
НАУКА ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВО