

Средства измерений

УДК 621.396.9

СИНТЕЗАТОР СВЧ С ПРЯМЫМ ЦИФРОВЫМ СИНТЕЗОМ

*Муравьев В.В.¹, Наумович Н.М.¹, Корневский С.А.¹, Стануль А.А.²*¹Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
г. Минск, Республика Беларусь²НПО ООО «ОКБ ТСП», г. Минск, Республика Беларусь
e-mail: Comrad-1@mail.ru

Разработан синтезатор частот с прямым цифровым синтезом и умножителем частоты на петле фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Исследованы фазовые шумы выходного сигнала синтезатора, шумы петли ФАПЧ, уровень побочных излучений на выходах цифрового синтезатора (частота 100 МГц) и выходе умножителя частоты на петле ФАПЧ (частота 8 ГГц).

Ключевые слова: фазовые шумы, ФАПЧ, побочные спектральные составляющие.

Введение

В настоящее время все больше для работы различных радиоэлектронных устройств требуются качественные синтезаторы частоты. К синтезаторам предъявляется множество требований: уровень побочного излучения, стабильность частоты, фазовые шумы и др. Так, например, для анализаторов спектра крайне важен уровень побочных спектральных составляющих и уровень фазовых шумов, а для векторных анализаторов цепей сигнал должен иметь возможность линейного изменения частоты с заданными параметрами и строго заданную фазу. В радиолокационных системах зондирующие сигналы, содержащие побочные спектральные составляющие могут восприниматься приемником как доплеровские частоты от ложных целей.

Синтезаторы частот с прямым цифровым синтезом позволяют обеспечивать практически

мгновенную перестройку частоты выходного сигнала, относительно малый уровень побочных излучений, необходимый закон изменения частоты и фазы выходного сигнала, коррекцию фазочастотных характеристик при формировании широкополосных сигналов [1]. Однако современная доступная элементная база не позволяет создавать синтезаторы с прямым цифровым синтезом на частотах более 1 ГГц.

Для использования достоинств синтезаторов с прямым цифровым синтезом в диапазоне СВЧ можно использовать умножитель частоты с петлей ФАПЧ.

Сравнение кварцевых генераторов и схем прямого цифрового синтеза

На рисунке 1 приведена структурная схема исследуемого синтезатора с прямым цифровым синтезом и умножителем частоты на петле ФАПЧ, работающего в диапазоне частот 8 ГГц.

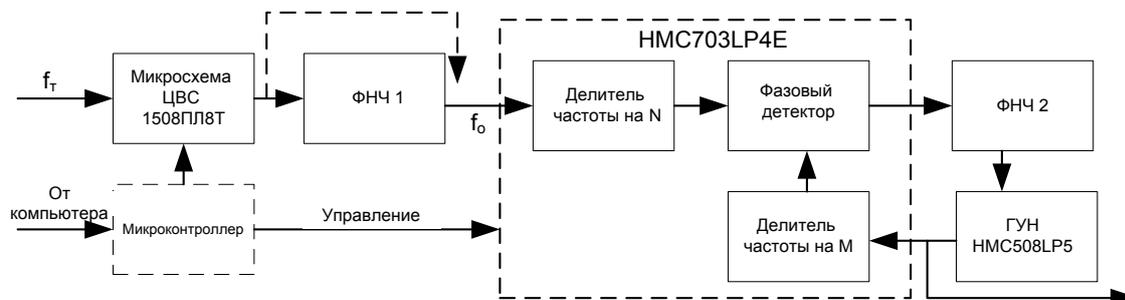


Рисунок 1 – Схема умножения частоты на петле фазовой автоподстройки частоты

Сравнительные характеристики устройств, используемых в качестве опорных генераторов

Отстройка от несущей	AD9914	1508ПЛ8Т	AD9912	CVHD-950 100 МГц	TEMEX ULN HF BA2 100 МГц
100 Гц	– 125	Нет данных	– 125	– 118	– 130
1 кГц	– 140	– 135	– 132	– 143	– 158
10 кГц	– 148	– 145	– 143	– 157	– 174
100 кГц	– 148	– 152	– 148	– 164	≤ 175
1 МГц	– 158	– 155	– 150	– 168	≤ 175
10 МГц	– 160	нет данных	– 150	– 170	≤ 175
Частота дискретизации	3500 МГц	1000 МГц	1000 МГц	нет данных	нет данных

Синтезатор частот с прямым цифровым синтезом выполнен на микросхеме 150ПЛ8Т. Петля ФАПЧ умножителя частоты выполнена на микросхемах *HMC508LP5* (генератор, управляемый напряжением – ГУН) и *HMC703LP4E* (делитель частоты с переменным коэффициентом деления и фазовый детектор). Для обеспечения малого уровня фазовых шумов на выходе ГУН среднее значение частоты выходного сигнала синтезатора с прямым синтезом выбрано равным 100 МГц, значения коэффициентов деления: $M = 80$; $N = 1$. Моделирование характеристик синтезатора частот показало, что при частоте сравнения 100 МГц, полоса пропускания фильтра нижних частот (ФНЧ) должна быть менее 40 кГц, что позволяет обеспечивать минимальные значения фазовых шумов на выходе умножителя.

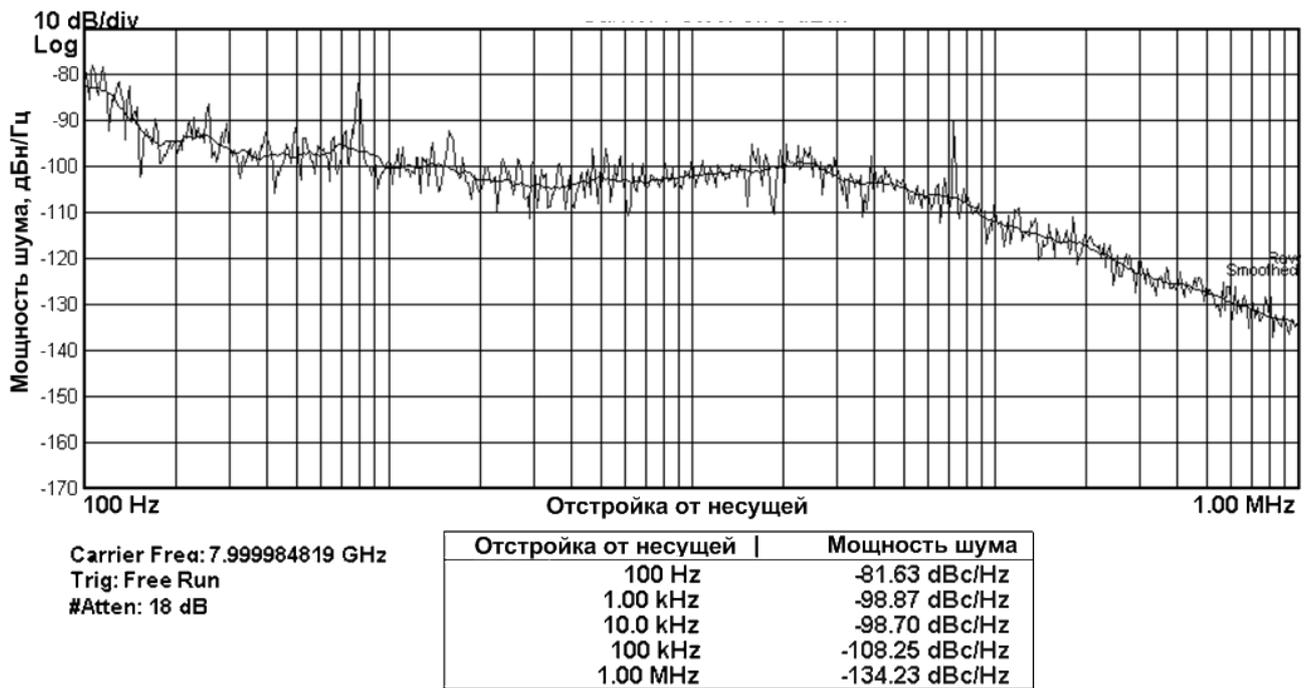
Известно, что в полосе пропускания ФНЧ фазовый шум выходного сигнала петли ФАПЧ определяется фазовыми шумами опорного генератора, вне полосы – собственными фазовыми шумами ГУН [2]. В таблице приведены значения фазовых шумов для различных микросхем (цифровых вычислительных синтезаторов и опорных кварцевых генераторов) при частоте выходного сигнала 100 МГц и различных значениях отстройки частоты от несущей. Из таблицы видно, что из рассмотренных микросхем минимальный уровень фазовых шумов обеспечивает кварцевый генератор «*TEMEX ULN HF BA 100 МГц*». Поэтому при исследовании генераторов с прямым цифровым синтезом он использовался как эталонный опорный генератор.

Фазовые шумы на выходе умножителя на петле ФАПЧ при частоте выходного сигнала 8 ГГц и использовании генератора «*TEMEX ULN HF BA 100 МГц*», показаны на рисунке 2а. Из рисунка видно, что усредненное значение фазо-

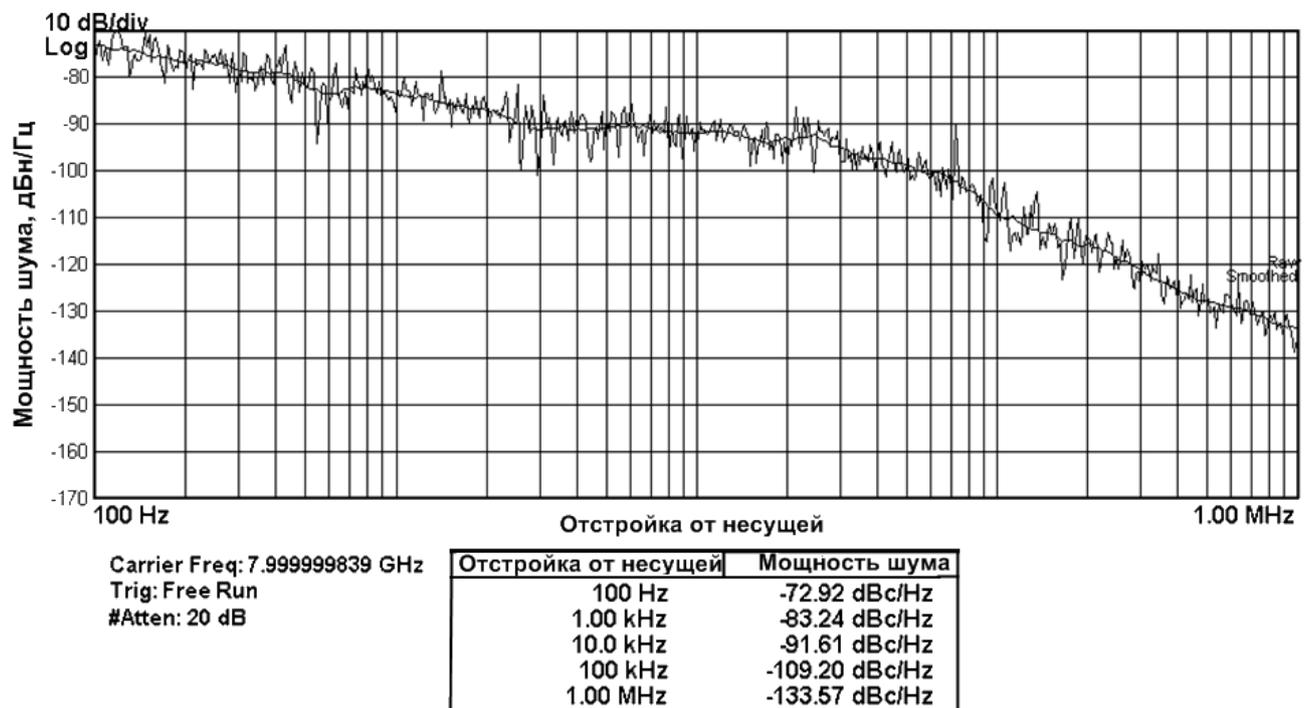
вых шумов составляет – 100 дБ/Гц при отстройке от несущей на 1 кГц. Проведенный анализ показывает, что полученное значение фазовых шумов синтезатора частот определяется шумами умножителя частоты с петлей ФАПЧ.

На рисунке 2б показаны фазовые шумы на выходе умножителя при использовании синтезатора с прямым цифровым синтезом, выполненным на микросхеме 1508ПЛ8Т (выходной сигнал – синусоида с частотой 100 МГц). Анализ сравнения экспериментальных результатов приведенных на рисунках 2а, 2б показывает, что использование в качестве опорного генератора петли ФАПЧ синтезатора частот с прямым цифровым синтезом на микросхеме 1508ПЛ8Т приводит к увеличению фазовых шумов выходного сигнала СВЧ, по сравнению с использованием малошумящего генератора «*TEMEX ULN HF B*». При отстройке частоты на 1 кГц от несущей шумы увеличиваются на 17 дБ, при отстройке на 10 кГц – на 10 дБ. Расчеты показывают, что использование в опорном генераторе микросхемы прямого цифрового синтеза *AD9914* теоретически позволяет обеспечить значение фазовых шумов –96 дБ/Гц, а для микросхемы *AD9912* – 102 дБ/Гц при отстройке от несущей частоты на 1 кГц.

На рисунке 3а приведены результаты экспериментальных исследований паразитных составляющих на выходе синтезатора с прямым цифровым синтезом (частота 100,1 МГц). На рисунке 3б показан спектр сигнала на выходе умножителя частоты, выполненного на петле ФАПЧ. Коэффициент умножения петли ФАПЧ – 80, полоса пропускания ФНЧ – 20 КГц. Анализ рисунков 3а и 3б показывает значительное уменьшение относительной мощности паразитных излучений на выходе умножителя частоты на петле ФАПЧ.

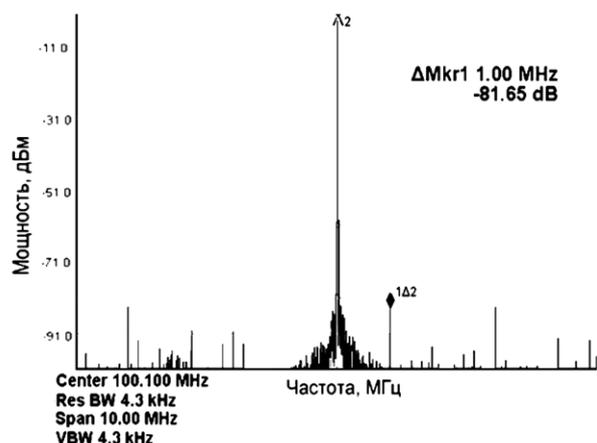


а

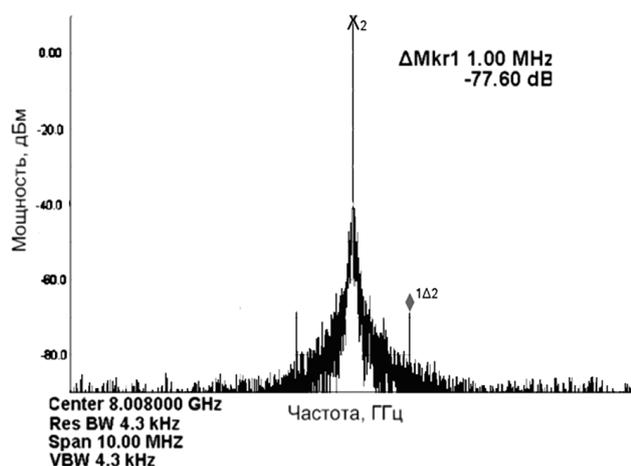


б

Рисунок 2 – Фазовые шумы при работе: а – от опорного генератора; б – от цифрового вычислительного синтезатора



а



б

Рисунок 3 – Спектр сигнала:

а – после цифрового вычислительного синтезатора;
 б – после петли фазовой автоподстройки частоты

Заключение

Разработан синтезатор частот с прямым цифровым синтезом и умножителем частоты на петле фазовой автоподстройки частоты. Экспериментально исследованы его фазовые шумы и уровень побочных излучений на выходах. Определен собственный уровень шумов разработанного умножителя частоты, равный 100 дБ/Гц, при отстройке от несущей на 1 кГц. Приведена частотная зависимость фазовых шумов генератора с прямым цифровым синтезом, выполненного на российской микросхеме 1508ПЛ8Т.

Список использованных источников

1. Страница ОАО НПЦ «ЭЛВИС» [Электронный ресурс] / информация о выпускаемой продукции: Микросхема интегральная 1508ПЛ8Т. Техническое описание /– Режим доступа : http://multicore.ru/index.php?id=43#flexradio_doc. – Загл. с экрана. – Дата доступа: 10.02.2013.
2. Ченакин, А. Частотный синтез: текущие решения и новые тенденции / пер. с англ. // Microwave Journal. – Май, 2007. – С. 256–266.
3. Домашняя страница фирмы Hittite [Электронный ресурс] / информация о выпускаемых продукции: техническое описание HMC70LP4E / Hittite microwave corp. версия 01.09.11 [2013]. – Режим доступа : https://www.hittite.com/content/documents/data_sheet/hmc703lp4e.pdf. – Загл. с экрана. – Дата доступа : 10.02.2013. – Яз. англ.

RF SYNTHESIZER WITH DIRECT DIGITAL SYNTHESIZ

Murav'iov V.V.¹, Korenevsky S.A.¹, Naumovich N.M.¹, Stanul A.A.²

¹Belorussian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus

²NPO OOO «OKB TSP», Minsk, Belarus

e-mail: Comrad-1@mail.ru

Abstract. A synthesizer of frequencies with direct digital synthesis and a frequency multiplier on PLL are developed. Phase noises of an output signal of the synthesizer, noise of a loop of PLL, level of collateral radiations on outputs of the digital synthesizer (frequency of 100 MHz) and the frequency multiplier output on a loop of PLL (frequency of 8 GHz) are probed.

Keywords: phase noise, PLL, spurs.

References

1. *Domashnyaya stranitsa OAO NPC «ELVIS»/ informatsiya o vypuskayemoy produkcii: microshema integralnaya 1508ПJI9Т. Tehnicheskoye opisaniye* [Homepage of SPC «ELVIS»] [electronic resource] / Product Information: Integrated Circuits 1508ПJI8Т. Technical description]. Available at: http://multicore.ru/index.php?id=43#flexradio_doc (accessed 10.02.2013) (in Russian).
2. Chenakin A.A Frequency Synthesis: Current Solutions and New Trends: Transl. from English. *Microwave Journal*, May 2007, pp. 256–266. (in Russian)
3. Hittite microwave corp. Product Information: Technical Overview HMC70LP4E. Available at: https://www.hittite.com/content/documents/data_sheet/hmc703lp4e.pdf (accessed 10.02.2013) (in Russian).

Поступила в редакцию 02.04.2013.