

УДК.621.396.96

Результаты экспериментальных исследований фазовых шумов сигналов гетеродинов когерентной РЛС

Е.Г. Молчанов, Д.С. Очков, Е.А. Силаев, И.С. Формальнов

Приведены и проанализированы результаты измерений фазовых шумов сигналов гетеродинов, предназначенных для когерентных РЛС.

Phase noise experimental results of coherence radar local oscillators

E.G. Molchanov, D.S. Ochkov, E.A. Silaev, I.S. Formalnov

Phase noise experimental results of coherence radar local oscillators are presented and discussed

Введение

Если для тематического подразделения при составлении технического задания отраслевому подразделению, может быть, важнейшими параметрами оценки когерентности РЛС являются значения паразитных (случайных) набегов фазы сигналов радиотракта РЛС на заданных интервалах измерения [1,2], то для отраслевого подразделения главным инструментом оценки когерентности сигналов радиотрактов, а, точнее, когерентности сигналов гетеродинов, определяющих когерентность всей станции, является уровень фазовых шумов этих сигналов [3]. При этом, по мере продвижения проблемы она не теряет остроту: ведь чем более когерентна РЛС, то есть чем ниже уровень фазовых шумов её гетеродинов, тем, при прочих равных условиях, она способна более точно измерять координаты целей, различать близко расположенные цели, получать более подробные радиоизображения этих целей и т.д. [4].

Результаты экспериментальных исследований

Исследование фазовых шумов гетеродинов проводилось, как серия измерений зависимостей спектральной плотности мощности фазовых шумов сигнала гетеродина от частоты отстройки от его центральной частоты $S(f)$.

Измерения проводились анализатором спектра FSIQ40 фирмы Rohde & Schwarz с помощью программного приложения FS-K4, ver. 2.1. В качестве исследуемых гетеродинов использовались гетеродины X и Ku диапазона, разработанные авторами для ряда работ ОАО "Радиофизика".

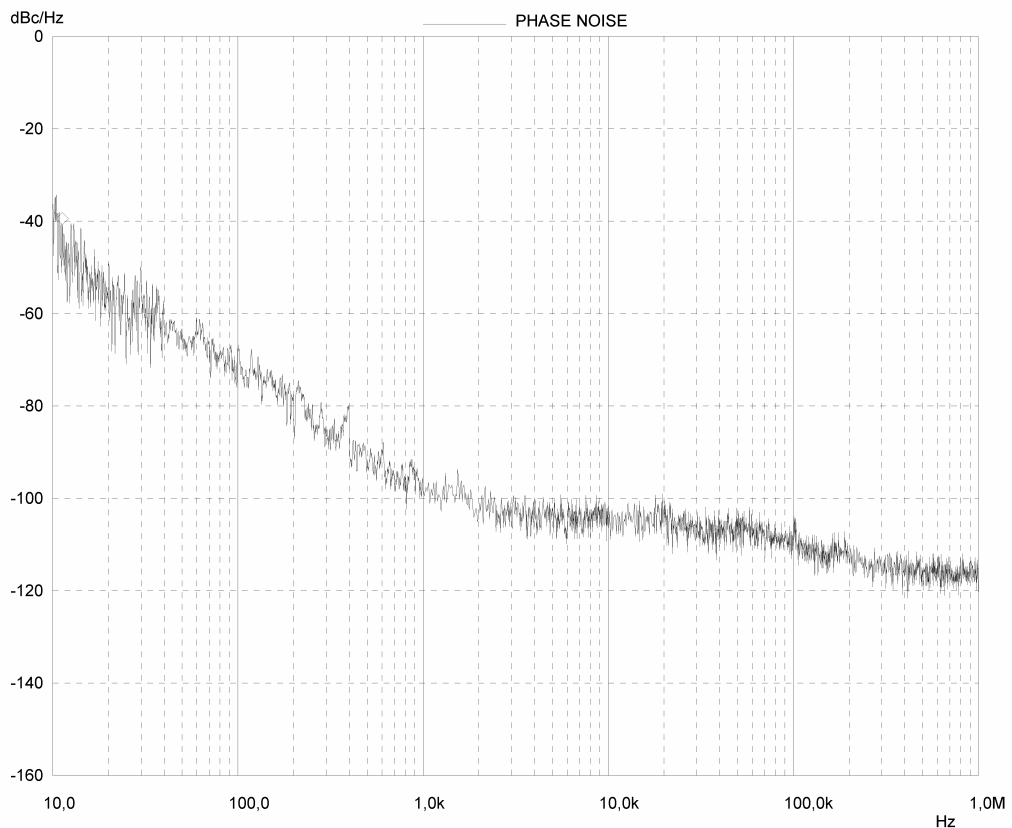


Рис.1

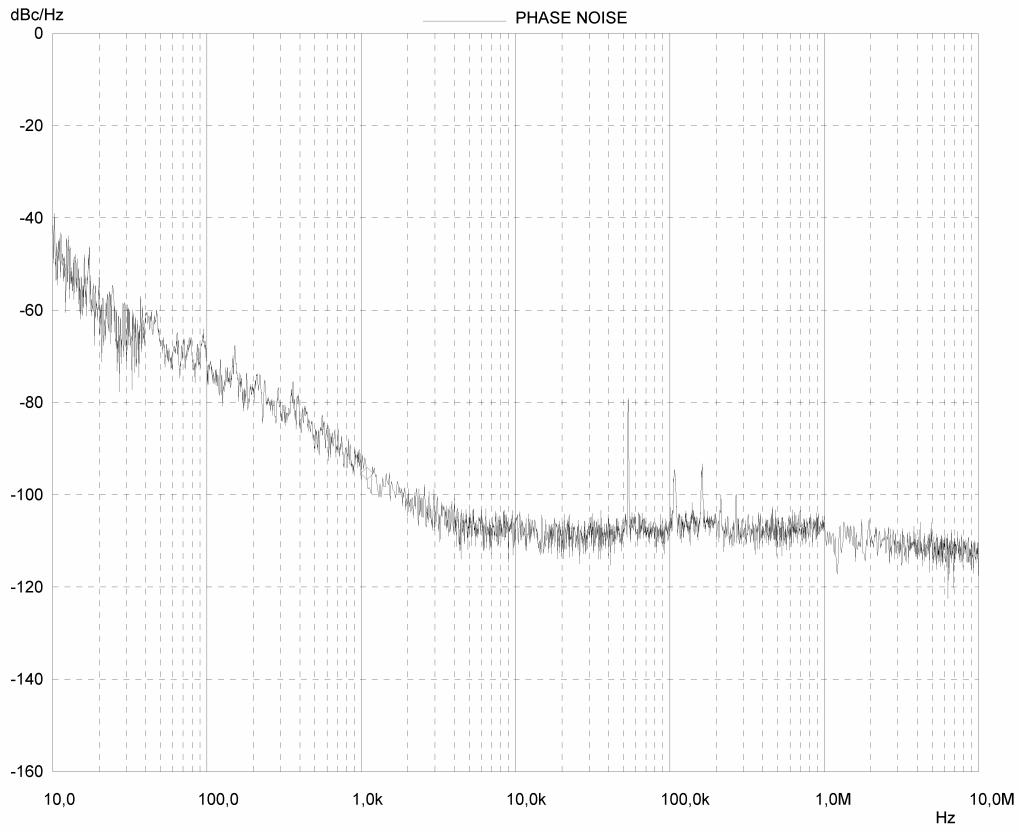


Рис.2

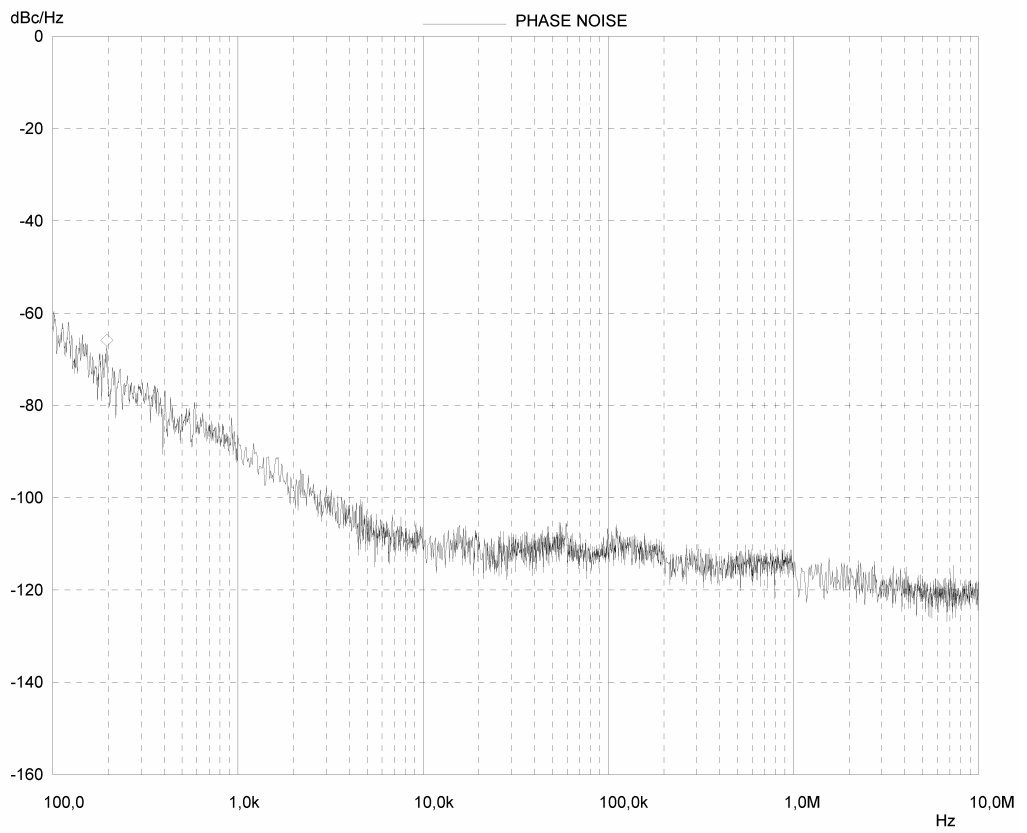


Рис.3

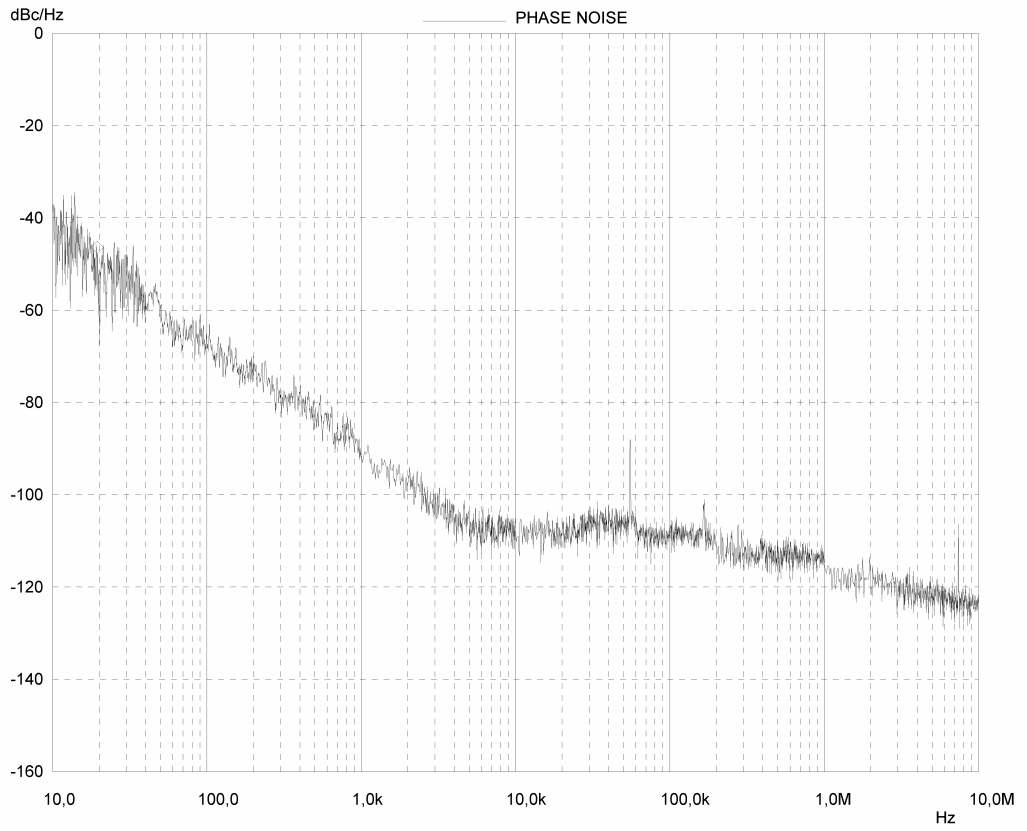


Рис.4

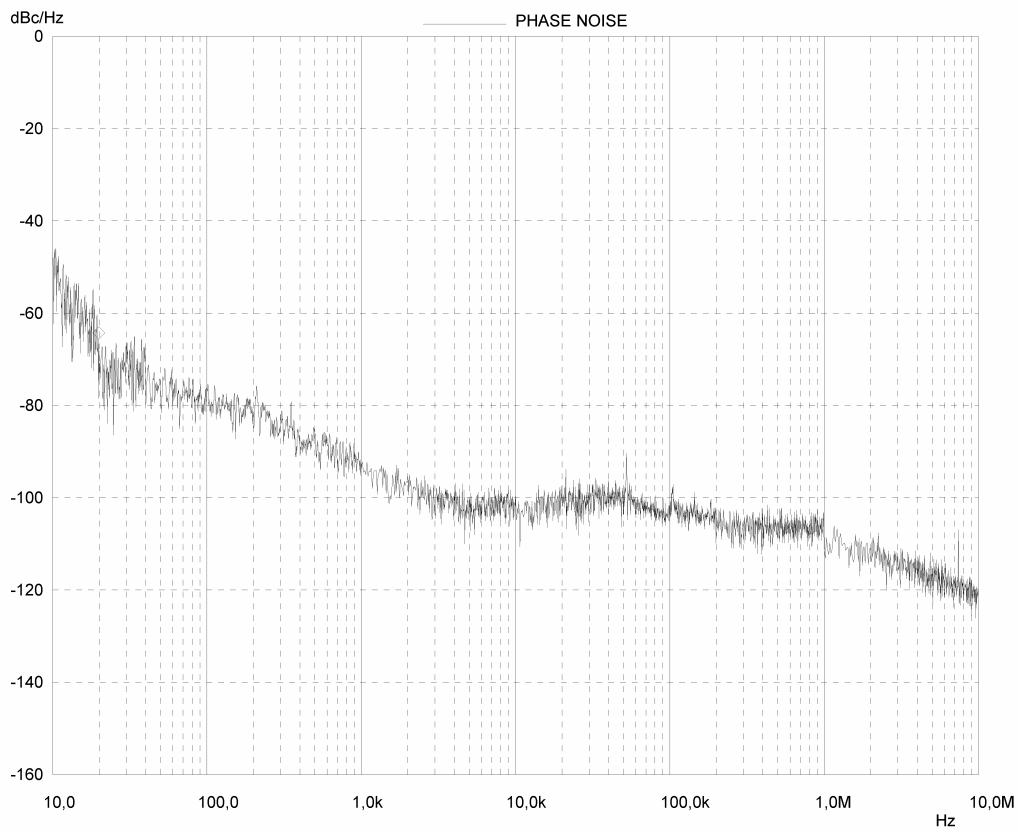


Рис.5

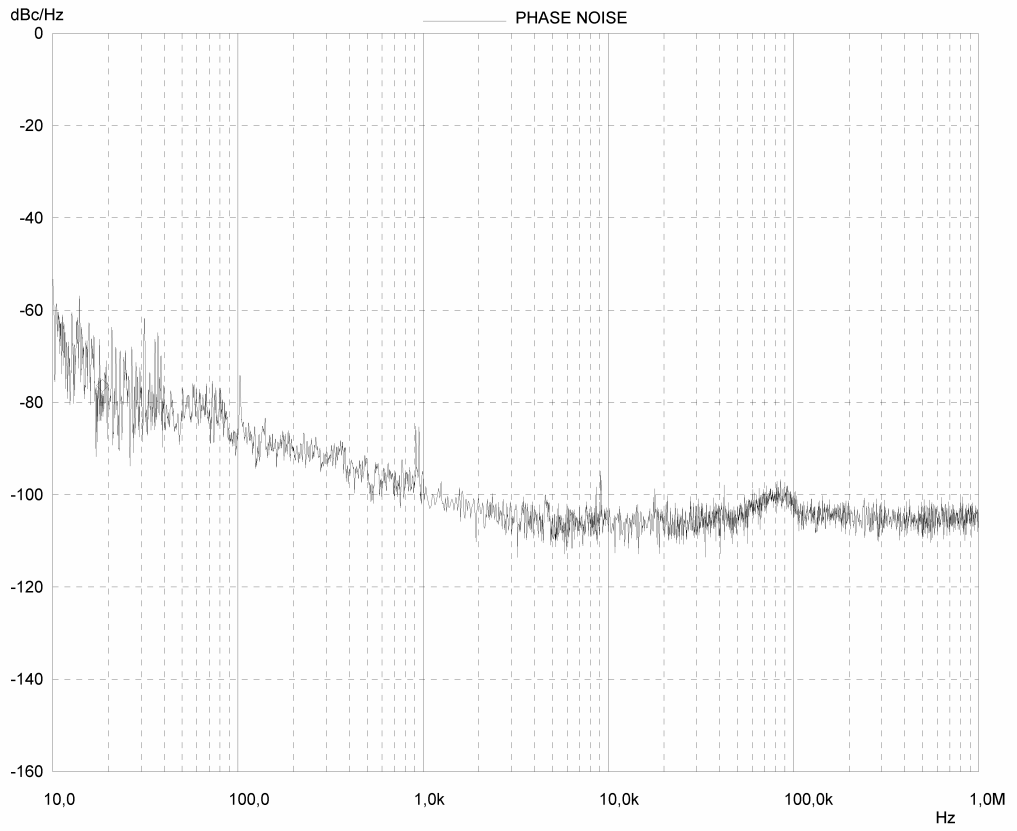


Рис.6

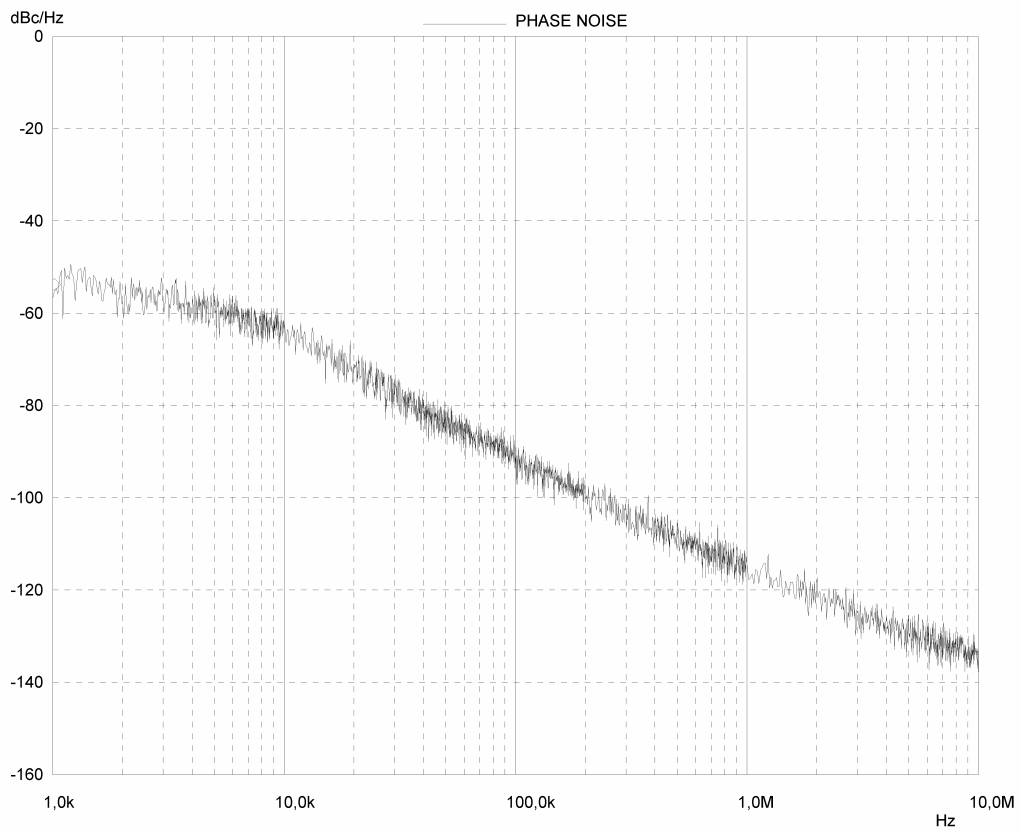


Рис.7

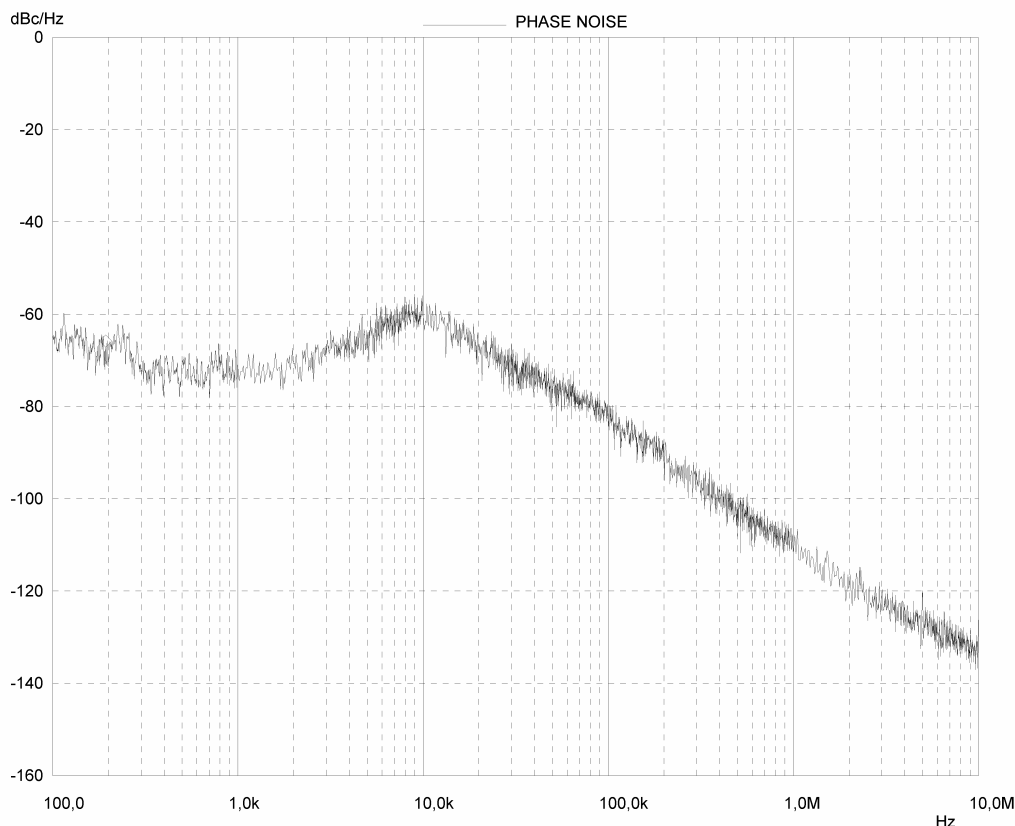


Рис.8

На рис.1 показана зависимость $S(f)$ для гетеродина 11,1ГГц. Гетеродин построен по схеме прямого умножения частоты 308,22МГц высокочастотного кварцевого генератора умножителем частоты высокой кратности на 9 с последующим домножением на 4. Как видно из рис.1, уровень фазовых шумов сигнала гетеродина на малых и средних отстройках от центральной частоты (до единиц килоггерц) весьма низкий, но сложное техническое задание в данной разработке выполнено, что называется, “впритык”. На рис.2,3 представлены зависимости $S(f)$ для аналогичного по построению гетеродина 9,5ГГц с кварцевым генератором 263,96МГц. В этом примере интересно проследить влияние мощности и добротности кварцевого автогенератора на уровень фазовых шумов: в случае рис.2 мощность автогенератора меньше, чем в случае рис.3, зато выше его добротность. Классическим следствием этих условий является более тонкая спектральная линия рис.2 (круто ниспадающая кривая $S(f)$ на рис.2) и более низкий уровень “полочки” кривой фазовых шумов на рис.3. Кроме того, на рис.2 хорошо виден результат недостаточно отфильтрованного напряжения питания. Рис.4,5 описывают фазовые шумы более сложного по кратности умножения (48) и по частоте (13,8ГГц) гетеродина прямого умножения. В гетеродине рис.5 удалось добиться существенно более высоких результатов, чем в гетеродинах, фазовые шумы которых представлены на рис.1-3. Техническое задание на уровень фазовых шумов (-65дБ/Гц) на частоте отстройки 100Гц от частоты 13,8ГГц в данном

случае “превышено” на -15дБ/Гц . На этих рисунках прослеживается то же влияние добротности и мощности автогенератора, что и на рис.2,3, а на рис.4 – несколько меньшее влияние пульсаций напряжения источников питания, чем на рис.2. Гетеродин $10,22\text{ГГц}$ рис.6 интересен еще более тонкой спектральной линией, чем гетеродин рис.5. На рис.7,8 показаны кривые $S(f)$ гетеродинов $9,36\text{ГГц}$ и $15,83\text{ГГц}$, построенных на синтезаторах частоты $2,34\text{ГГц}$ и $5,28\text{ГГц}$ с кольцами ФАПЧ. Для получения номинальных частот гетеродинов выходные частоты синтезаторов были домножены на кратности 4 и 3 соответственно. Несмотря на использование в случае рис.8 синтезатора PSA 5300A с весьма неплохими параметрами, результаты по фазовым шумам гетеродина $15,83\text{ГГц}$ на частотах отстройки до сотен килогерц значительно уступают результатам гетеродина $13,8\text{ГГц}$ (рис.5) и начинают превосходить их лишь с частоты отстройки 1МГц .

Выводы

К сожалению, возможности анализатора спектра FSIQ40 и приложения FS-K4 не позволили измерить спектральные плотности мощности фазовых шумов самих кварцевых генераторов из-за недостаточно глубокого “дна” собственных шумов прибора. Однако порядка двух сотен просмотренных результатов по фазовым шумам различных гетеродинов с разными выходными частотами кварцевых генераторов позволяют сделать вывод о перспективных возможностях разработанных в ОАО “Радиофизика” гетеродинах X и Ku диапазонов с высокочастотными кварцевыми генераторами в качестве опорных.. При этом тематические требования по расширению интервалов когерентности, то есть по снижению уровня фазовых шумов как на малых, так и на больших частотных отстройках от центральных частот сигналов РЛС, а, следовательно, частот гетеродинов заставляют отраслевых разработчиков искать новые решения в области создания спектрально чистых источников опорных колебаний с низким уровнем фазовых шумов. Одним из таких решений может быть построение блок-схемы гетеродина как последовательности генераторов, управляемых напряжением (ГУН) и охваченных кольцами ФАПЧ. Наиболее высокочастотный ГУН должен работать на выходной частоте гетеродина, при этом обеспечивается максимально низкая “полочка” белого шума, не подвергнутого операции подъема шумов на $20\lg N$, где N – кратность умножения частоты. Сигнал этого ГУНа должен подстраиваться с помощью петли ФАПЧ под сигнал высокочастотного (порядка 1ГГц) кварцевого генератора, который, в свою очередь, охвачен петлей ФАПЧ в паре с низкочастотным прецизионным кварцевым генератором, обладающим наиболее тонкой спектральной линией и наименьшими фликкер-шумами ($2,5\text{--}4\text{МГц}$) [5].

Литература

1. *Очков Д.С., Силаев Е.А., Формальнов И.С.* Влияние значения частоты опорного сигнала на величину паразитного набега фазы кварцованного гетеродина. – Радиотехника (Журнал в журнале), 2007, №10.
2. *Очков Д.С., Силаев Е.А., Формальнов И.С.* Оценка интервалов когерентности радиотрактов РЛС. Радиотехника (Журнал в журнале), 2006, №4.
3. *Молчанов Е.Г., Очков Д.С., Силаев Е.А., Формальнов И.С., Чубаров Д.В.* Источники сигнала СВЧ диапазона с низким уровнем фазовых шумов для систем радиолокации и связи. – Радиотехника (Журнал в журнале), 2006, №10.
4. *Кобельков Г.П., Курикша В.А., Левитан Б.А., Очков Д.С., Соловьев Г.К., Толкачев А.А., Топчиев С.А., Фарбер В.Е.* Создание РЛС радиовидения в миллиметровом диапазоне длин волн. – Радиотехника (Журнал в журнале), 2006, №10.
5. *Романюк В.А., Силаев Е.А.* Формирование опорных СВЧ колебаний с помощью кварцевых генераторов с кольцами фазовой автоподстройки частоты. – Радиотехника (Журнал в журнале), 2007, №10.