

Перспективная технология создания когерентной РТС на основе синтезаторов частот

Г.Л. Павлов, С.М. Казарян

Рассматривается технология создания когерентной радиотехнической системы (РТС) на основе синтезаторов частот (СЧ) с двукратным преобразованием по частоте и одним опорным генератором. Разработана модель РТС. Проведено моделирование. Получены результаты, отвечающие требованиям реального приёмника.

Ключевые слова: синтезатор частот, когерентность, радиотехническая система.

1. Введение

В настоящее время наиболее часто используются синтезаторы частот на основе систем фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Возможность создания недорогих и простых в использовании устройств ФАПЧ позволило применить их как в синтезаторах частот, так и в устройствах декодирования, демодуляции, умножения частоты и т.д. Вследствие этого оптимизация петли фазовой автоподстройки частоты становится актуальной задачей.

2. Основная часть

Для обеспечения истинной когерентности РТС (рис. 1) все формируемые в приёмопередающем модуле (ППМ) частоты используют одну опорную частоту. Эту опорную частоту формирует стабильный генератор и с заданными фазовыми ошибками подаёт на делитель сигнала; делитель сигнала распределяет опорный сигнал на три синтезатора частоты. Первый из них (СЧ1) формирует сигнал на несущей частоте f_0 . Сигнал несущей частоты модулируется (М) стробирующим импульсом, затем сигнал последовательно усиливается в предварительном усилителе (У 1) и усилителе мощности (УМ). С выхода усилителя мощности сигнал поступает на циркулятор (Ц), фазовый коммутатор (ФК) и далее в антенну (А). Отражённый от цели сигнал поступает на вход антенны, через фазовый коммутатор и циркулятор на вход маломощного усилителя (МШУ). С выхода МШУ сигнал поступает на первый смеситель (СМ1). Гетеродинный сигнал первого смесителя формируется вторым синтезатором частоты (СЧ2). Опорный сигнал на СЧ 2 поступает от делителя сигнала и является когерентным излученному. Сигнал первой промежуточной частоты $f_{пч1}$ усиливается усилителем промежуточной частоты (УПЧ 1) и преобразуется на промежуточную частоту $f_{пч2}$ во втором смесителе СМ2. Гетеродинный сигнал этого смесителя формируется синтезатором частоты СЧ 3 и также когерентен излученному. После усиления в усилителе промежуточной частоты УПЧ 2 принятый сигнал поступает на вход аналого-цифровой преобразователя (АЦП).

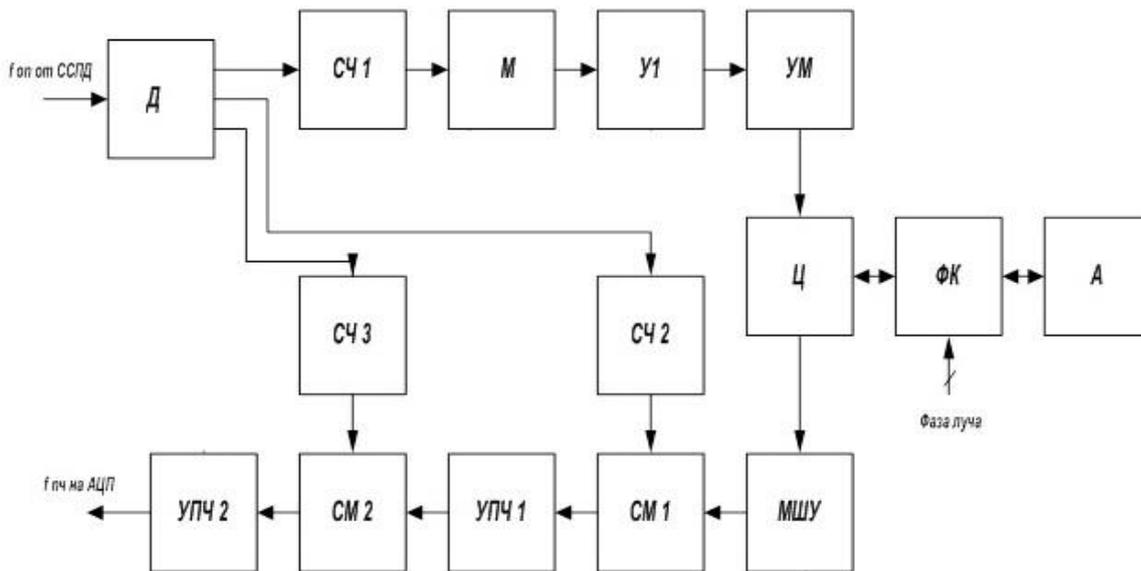


Рис. 1. Структурная схема РТС
(ССПД – система синхронизации и передачи данных)

Известно [1], что при когерентном накоплении фазовый шум приводит к проигрышу по мощности $Q = \exp(\sigma^2)$, который составляет 1.1; 1.2 и 1.5 при $\sigma = 0.309$; 0.427 и 0.637 рад. Следовательно, допустимы случайные изменения фазы порядка половины радиана (30°) за время когерентного накопления.

Существует множество способов по снижению фазового шума: выбор параметров цепи фильтрации, выбор полосы синхронизации, в которой удерживается фазовая синхронизация, введение встроенных дополнительных резонаторов, использование умножителей с дробно-переменным значением коэффициента кратности N (т.н. fractional- N синтезатор) и т.д.

В данном устройстве использовался способ с применением fractional- N умножителей.

С ростом N фазовый шум ФАПЧ-синтезатора с цифровыми делителями частоты увеличивается на $20 \log(N)$ дБ. Для примера, при коэффициенте умножения 30000 (типичное значение для синтезаторов, используемых в приёмопередатчиках сотовых систем с частотой разделения каналов 30кГц) шум фазового детектора увеличится на ~ 90 дБ. Следовательно, желательно увеличить частоту f на входе частотно-фазового детектора, чтобы коэффициент N был достаточно мал. Но при целочисленном N частота f не может быть более шага перестройки частоты, поэтому N обычно фиксировано и достаточно велико. Для решения этой проблемы и вводится fractional- N синтезатор.

Конечно, нельзя непосредственно реализовать дробный коэффициент умножения. Для этого коэффициент умножителя в цепи обратной связи должен «переключаться» между значениями N и $N+1$ так, чтобы на некотором интервале средний коэффициент N^* был дробным. Пусть период усреднения составляет F тактов сигнала с опорной частотой f . Тогда, чтобы получить дробный коэффициент N^* , на K тактах коэффициент умножения должен быть равен $N+1$ и на остальных $F-K$ равен N , при этом F и K должны быть выбраны таким образом, чтобы

$$N^* = \{(N+1)K + N(F-K)\} / F = N + K / F.$$

Это реализуется аппаратно следующим образом. Вводится дополнительный элемент – аккумулятор, который на каждом такте f увеличивает своё содержимое на K/F – дробную часть N^* . Когда его содержимое принимает значение «1» или более, он выдаёт сигнал переполнения, по которому коэффициент делителя в цепи обратной связи изменяется с N на $N+1$. Технически аккумулятор представляет собой программируемый счётчик.

Недостаток метода N -fractional синтезатора – высокий уровень фазового дрожания, который приводит к появлению паразитной составляющей на частоте f/F . Во избежание этого, были предприняты действия по уменьшению полосы пропускания в цепи обратной связи.

Также предполагается в дальнейшем увеличить период регулярности переключений умножителя частоты или ввести специальный корректор, который с целью стохастизации переключений псевдослучайным образом нарушает регулярность циклов переключения.

Кроме того, была произведена работа с целью уменьшения фазового шума генератора опорного сигнала.

Проведено имитационное моделирование функционирования РТС в САПР SystemVue компании Keysight.

Начальные условия моделирования следующие:

- длительность зондирующего импульса 50 нс;
- частота повторения импульсов 25 кГц;
- время когерентного накопления 8 мс;
- цель точечная.

При моделировании изменялся фазовый шум гетеродинов, выполненных на синтезаторах частот. Контрольным параметром выступает значение отклика согласованного фильтра.

На рис. 2 показан отклик согласованного фильтра при значении фазового шума, равного минус 110 дБн/ Гц.

На рис. 3 показан отклик согласованного фильтра при значении фазового шума, равного минус 90 дБн/ Гц.

На рис. 4 показан отклик согласованного фильтра при значении фазового шума, равного минус 70 дБн/ Гц.

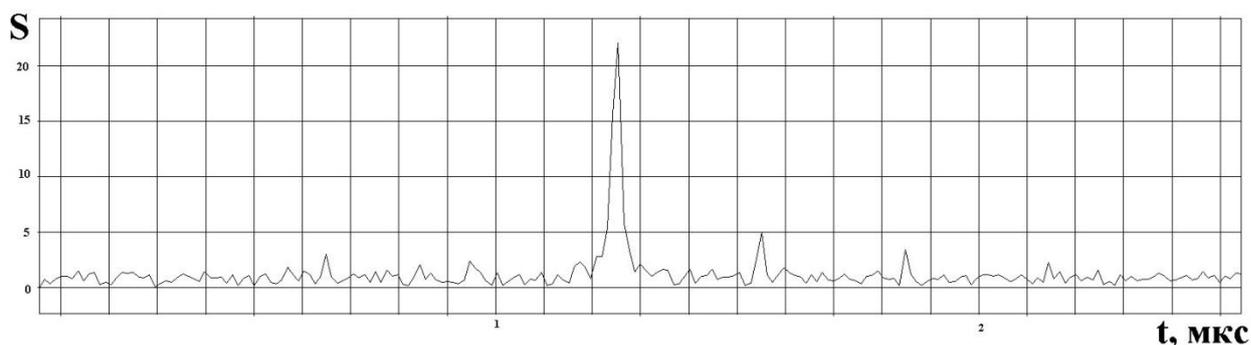


Рис. 2

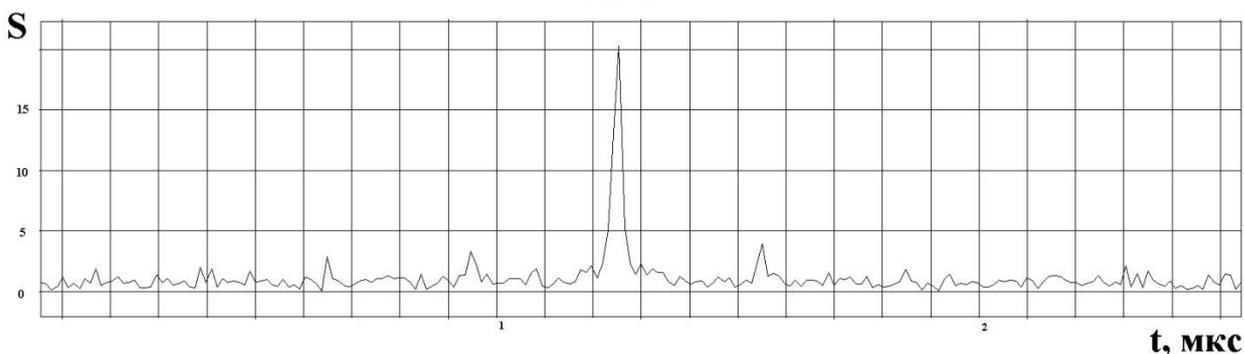


Рис. 3

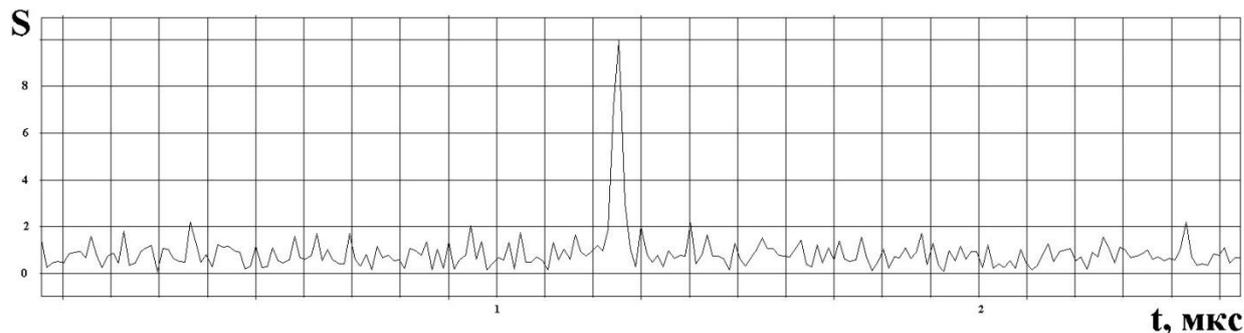


Рис. 4

Результаты моделирования показывают, что:

- при увеличении фазового шума на 20 дБ отклик согласованного фильтра уменьшается в 1.25 раза;
- при увеличении фазового шума на 40 дБ отклик согласованного фильтра уменьшается в 2.5 раза.

4. Заключение

В результате проведённого имитационного моделирования получено, что при увеличении фазового шума уменьшается отклик согласованного фильтра при когерентном накоплении. Необходимо сделать вывод, что при построении когерентной РТС необходимо применять синтезаторы частот с фазовым шумом порядка минус 110 дБн/Гц. Для того чтобы не ухудшить параметры синтезатора частот, необходимо применять опорный генератор с фазовым шумом не хуже 110 дБн/Гц.

Литература

1. *Лезин Ю.С.* Введение в теорию и технику радиотехнических систем: Учеб. Пособие для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 280с.
2. *Бакулев П.А., Степин В.М.* Методы и устройства селекции движущихся целей. – М.: Радио и связь, 1986. – 288с.
3. *Черняк В.С.* Многопозиционная радиолокация. М., Радио и связь, 1993, 416с.
4. *Grant H. Riedl.* Advanced research into moving target imaging using multistatic radar.-Naval postgraduate school, California, 2009. – 45с.

Статья поступила в редакцию 23.03.2015

Павлов Григорий Львович

к.т.н, доцент кафедры СМ-5 «Автономные информационные и управляющие системы» МГТУ им. Н.Э.Баумана (г. Москва, Госпитальный пер., д. 10), тел. (499)263-67-53, e-mail: wave@sm.bmstu.ru

Казарян Саркис Манукович

к.т.н, инженер НИИСМ МГТУ им. Н.Э.Баумана (г. Москва, Госпитальный пер., д. 10), тел. (499)263-67-53, e-mail: wave@sm.bmstu.ru

Advanced technology of creating a coherent radio system based on frequency synthesizers within multistate system

Gregory L. Pavlov, Sarkis M. Ghazaryan

In this paper, the technology of creating a coherent radio system based on frequency synthesizers with double transformation frequency and a reference oscillator is considered.

Keywords: frequency synthesizer, coherence, radio system.