

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФАЗОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ ДЛЯ ОПОРНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ СВЧ ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ ФАПЧ

Воронцов А.А., группа ТКС-06мн

Руководитель проф. каф. АТ Воронцов А.Г.

Современные тенденции роста требований к каналам связи, входящим в состав телекоммуникационных систем, обуславливают проблему использования все более высокочастотных участков СВЧ диапазона. Любая система передачи сигналов требует в своем составе опорный источник колебаний, обладающий высокой стабильностью. Для частот выше 30–35 ГГц проблема создания такого источника стоит достаточно остро. Одним из наиболее перспективных, с точки зрения обеспечения долговременной и кратковременной стабильности, способов решения данной проблемы, является использование системы ФАПЧ в составе гетеродина [1]. Такой гетеродин содержит низкочастотный опорный генератор на основе ФАПЧ с делителями, а так же линейку умножителей частоты до необходимого значения. Это позволяет перенести высокую стабильность ВЧ генераторов в СВЧ диапазон.

Важнейшим звеном ФАПЧ, от которого зависит качество выходного сигнала, является фазовый детектор петли ФАПЧ. Необходимо отметить, что формирование стабильного высокочастотного сигнала с использованием опорного генератора низкой частоты предполагает использование в схеме делителей частоты, которые наиболее просто реализуются на основе счетчиков импульсов. Соответственно, выходные сигналы таких делителей являются дискретными и, поэтому, в данной работе рассмотрены фазовые детекторы, работающие с дискретными сигналами.

Как простейший фазовый детектор для дискретных сигналов может быть использовано логическое устройство «исключающее ИЛИ» [1]. В соответствии с логикой его работы, при действии на его входах двух сигналов с одинаковой

частотой, скважностью, равной двум и неизменной разности фаз, на его выходе будет последовательность импульсов с постоянной длительностью, равной разности фаз сигналов на входах, и частотой, равной частоте входных сигналов. После фильтрации сигнала фильтром низких частот получим сигнал управления — постоянную составляющую. При нарушении частотного равенства разность фаз сигналов на входе элемента «исключающее ИЛИ» будет изменяться, и, соответственно, изменятся длительность и частота импульсов на выходе фазового детектора. Это приведет к изменению постоянной составляющей сигнала управления на выходе ФНЧ, что вызовет перенастройку системы ФАПЧ и восстановление равенства частот, но при другом значении разности фаз. Зависимость напряжения на выходе фильтра от разности фаз выходных сигналов детектора линейна в промежутке от 0 до π .

Рассмотренный фазовый детектор имеет ряд недостатков, в частности, его нормальная работа возможна при скважности импульсов, равной двум. При использовании счетчиков импульсов в качестве делителей частоты, скважность импульсов на выходе не равна двум, т.к. в качестве выходных используются сигналы переполнения счетчика. При работе с такими сигналами зона захвата фазового детектора на элементе «исключающее ИЛИ» значительно уменьшается. Поэтому для обеспечения нормальной работы такого ФД необходимо обеспечить подачу на его входы сигналов со скважностью 2, что усложнит техническую реализацию устройства.

Как видим, работа с физическими уровнями сигналов сопряжена с некоторыми неудобствами в рамках рассматриваемой структуры гетеродина. Для того чтобы избежать усложнения схем формирования входных сигналов фазового детектора, можно работать с фронтами входных сигналов. Для этих целей может быть использован фазовый детектор на JK-триггерах, работающих по фронту импульсов на входах [1, 2]. Такие детекторы позволяют сравнивать фазы входных сигналов в диапазоне от 0 до 2π , что в два раза больше, чем у детектора на элементе «исключающее ИЛИ». При постоянной разности фаз

входных сигналов, на выходе такого детектора появляются импульсы, длительность которых равна длительности периода времени между фронтами входных импульсов, что соответствует разности фаз входных сигналов.

Применение рассмотренных фазовых детекторов для создания источников опорных колебаний ограничено тем, что даже после момента захвата на выходе фильтра присутствуют пульсации. Они связаны с работой детекторов — на их выходах присутствуют импульсы, пропорциональные по длительности разности фаз входных сигналов. Эти пульсации приводят к паразитной фазовой модуляции сигнала ГУН, который является выходным сигналом гетеродина. Данное явление приводит к размыванию спектральной линии сигнала ГУН, т.е. к увеличению уровня фазовых шумов выходного сигнала гетеродина.

Для улучшения шумовых характеристик гетеродинов на основе ФАПЧ можно применить фазочастотные детекторы (ФЧД) с третьим высокоимпедансным состоянием [1, 2]. Фазочастотные детекторы чувствительны как к разности фаз, так и к разности частот входных сигналов. При больших разностях частот сигналов ФЧД выдают напряжение управления, сближающее частоты. Когда частоты сигналов равны, на выходе фильтра присутствует напряжение управления, необходимое для поддержания данного равенства. После этого включается механизм фазового детектирования — фазы сигналов сравниваются и на выходе ФД появляются импульсы, длительности которых пропорциональны разности фаз входных сигналов. К выходному сигналу фильтра добавляется постоянная составляющая, которая уменьшает разность фаз сигналов на входах детектора. В момент времени, когда фазы входных сигналов сравниваются, фазо-частотный детектор переводит свой выход в высокоимпедансное состояние, что эквивалентно отключению ФД от схемы фильтра. При возникновении дисбаланса фаз входных сигналов, фазовый детектор вырабатывает импульсы для его устранения и снова отключается (рис. 1).

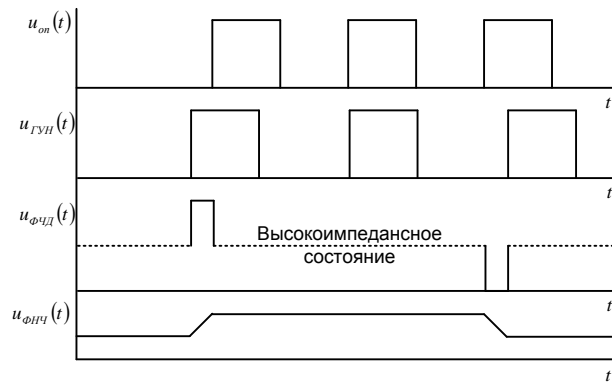


Рисунок 1 — Временные диаграммы работы ФЧД с третьим состоянием

Как видим, фазочастотный детектор задействован в схеме не постоянно, а только в случае неравенства фаз сигналов на его входе. При отключенном фазовом детекторе на выходе фильтра отсутствуют какие-либо пульсации, а значит и паразитная фазовая модуляция. Это наилучшим образом отвечает требованиям, которые ставятся к опорным генераторам в составе каналов связи. Их характеристики изменяются за длительные промежутки времени (например, из-за изменения погодных условий) и система подстройки может быть задействована редко. Отключение же системы позволит улучшить спектральные характеристики выходного сигнала. Однако схема подобного фазового детектора требует более детального анализа на предмет устойчивости. Так же требуется подбор оптимальной схемы фильтра для получения наилучших характеристик выходного сигнала. Это является направлением дальнейших исследований в данной области.

Перечень ссылок

1. Ulrich L. Rohde. Microwave and wireless synthesizers. Theory and design. John Wiley & Sons, Inc. 1997.
2. Л.Белов. Опорные генераторы /Электронный ресурс. Способ доступа: URL: www.electronics.ru/514.html.