ВЫБОР ЗАДАЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ТАКТОВЫХ СИГНАЛОВ С СИНХРОНИЗАЦИЕЙ ПО ИМПУЛЬСАМ 1 pps

ДМИТРИЙ ФЕДОРОВ, инженер-разработчик

Статья посвящена вопросам, связанным с выбором задающего генератора при формировании тактовых сигналов с использованием сетей внешней синхронизации от импульсов 1 pps GPS/GNSS-приемников или иных источников. Эти вопросы возникают при разработке узлов опорных и тактовых частот в базовых станциях LTE и 5G NR. Существенную роль играет краткосрочная стабильность генераторов, характеризуемая девиацией Аллана, причем, необходимо знать ее величину при больших временных параметрах порядка сотен секунд. Приведены результаты тестов доступных термостатированных генераторов (ОСХО) с использованием анализатора фазового шума Rohde&Schwarz FSPN в области малых расстроек (< 1 Гц), т. е. в области медленного фазового шума.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ЭВРИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ ЗАДАЮЩЕГО ГЕНЕРАТОРА

Рассмотрим общую структуру системы формирования тактовых сигналов с синхронизацией по импульсам 1 pps от GPS/GNSS-приемников или иных источников (например, от устройств, работающих с протоколом PTP IEEE1588v2). Она показана на рисунке 1. Схема реализует принцип фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ) с петлей обратной связи, однако в устройствах формирования тактовых сигналов она имеет свои особенности, которые мы рассмотрим далее. Подобную схему можно реализовать, например, в продвинутых устройствах формирования на основе микросхем AD9545 от Analog Devices [1] или 8V19N850 от Renesas [2], работающих с опорными источниками REF 1 pps (1 Гц). Элементы ФАПЧ в этих микросхемах выполнены с использованием цифровых логических узлов.

Импульсы синхронизации REF 1 pps поступают на вход фазового детектора вместе с сигналом сравнения петли ФАПЧ. Выходной сигнал фазового детектора проходит через петлевой фильтр и используется для подстройки делителя («цифрового ГУН»), участвующего вместе с выходными делителями в формировании заданной частоты, а также сигнала в петле ФАПЧ. На вход подстраиваемого делителя также поступает сигнал с задающего генератора, проблеме выбора которого и посвящена эта статья. На схеме также показан умножитель частоты задающего генератора, который может использоваться для получения удобной сетки формируемых частот. Для обеспечения работы схемы в случае временного пропадания синхронизующих импульсов 1 pps (в т. н. режиме holdover) и поддержания требуемой стабильности выходной частоты в этом режиме задающий генератор следует выбирать термостатированным (ОСХО).

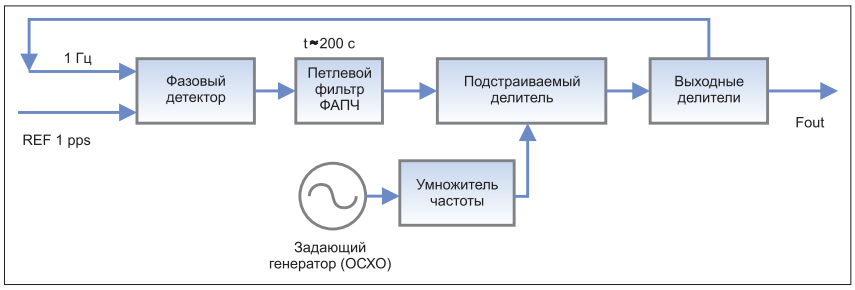

Рис. 1. **Упрощенная схема формирования опорных и тактовых частот с ФАПЧ**

Точность секундных меток 1 pps у современных GPS/GNSS приемников – около 10 нс СКЗ [3], разброс периода каждой из них полагается случайным и независимым. Для оценок также будем полагать разброс точности меток с запасом до 30 нс, чтобы охватить по возможности другие источники синхронизующих импульсов 1 pps. Если относительная точность их периода $\Delta T/T = 30$ нс/1 с $= 3{\cdot}10^{-8}$, то относительная точность выходной частоты ФАПЧ после «привязки» к таким секундным меткам или, другими словами, стабильность частоты $y = \Delta f/f = -\Delta T/T$ та же, т. е. $3{\cdot}10^{-8}$. Ее недостаточно для обеспечения качества тактового сигнала устройств стандарта CPRI (Common Public Radio Interface), используемых в базовых станциях 4G/5G, где стабильность $y = \Delta f/f$ не должна быть менее $2{\cdot}10^{-9}$ [4]. Джиттер синхронизующих импульсов 1 pps оказывается, таким образом, недопустимо большим.

Полагается, что частота среза петлевого фильтра допускает возможность настройки. При определенной полосе пропускания фильтра схема ФАПЧ может работать с эффектом «очистки джиттера» (jitter cleaner). Этот эффект можно использовать для улучшения стабильности. Он проявляет себя, если ширину петлевого фильтра в схеме рисунке 1 выбрать узкой, и чем уже она, тем точнее значение выходной частоты. В нашем случае следует выбирать