УДК 621.39
DOI: 10.62955/0135-3748-2026-458
ORCID: 0009-0001-9874-4176

ОЦЕНКА ВНУТРЕННЕЙ ВРЕМЕННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ ДИСЦИПЛИНИРОВАННОГО ОСЦИЛЛЯТОРА В GNSS-МОДУЛЯХ U-BLOX NEO-M8T

А.С. Прядунец[1], К.М. Васильев[1], Р.В. Васильев[1], И.Д. Ткачев[1], А.С. Полетаев[2]

[1]Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения
Российской академии наук, Иркутск, Россия,
pryadunetas@iszf.irk.ru, vasilevkm@iszf.irk.ru, roman_vasilyev@iszf.irk.ru
[2]Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия, sardaukar9@yandex.ru

EVALUATION OF INTERNAL TIME STABILITY OF DISCIPLINED OSCILLATOR IN U-BLOX NEO-M8T GNSS MODULES

A.S. Pryadunets[1], K.M. Vasiliev[1], R.V. Vasilyev[1], I.D. Tkachev[1], A.S. Poletaev[2]

[1]Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia,
pryadunetas@iszf.irk.ru, vasilevkm@iszf.irk.ru, roman_vasilyev@iszf.irk.ru
[2]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia, sardaukar9@yandex.ru

Аннотация. В работе проведено исследование временной задержки сигнала дисциплинированного осциллятора относительно PPS (Pulse Per Second) сигнала GNSS-приемников u-blox NEO-M8T. Экспериментальные данные получены с использованием испытательного стенда на базе логического анализатора Saleae и макетной платы с единым источником питания. В качестве критерия оценки точности выступало временное смещение сигналов дисциплинированных осцилляторов приемников относительно их собственных PPS-сигналов в ходе непрерывной 20-часовой работы модулей в режиме стационарного позиционирования (Survey-In). Полученные результаты позволяют оценить величину фазового джиттера и стабильность синхронизации исследуемых модулей.

Ключевые слова: GNSS-приемник, u-blox NEO-M8T, временная синхронизация, дисциплинированный осциллятор.

Abstract. This paper presents an investigation into the time delay of the signal from a disciplined oscillator relative to the PPS (Pulse Per Second) signal of u-blox NEO-M8T GNSS receivers. Experimental data were obtained using a test bench based on a Saleae logic analyzer and a breadboard with a common power supply. The accuracy assessment criterion was the temporal offset of signals from the receivers' disciplined oscillators relative to their own PPS signals during 20 hours of continuous operation in stationary positioning mode (Survey-In). The results obtained allow us to evaluate phase jitter magnitude and the synchronization stability of the modules under study.

Keywords: GNSS receiver, u-blox NEO-M8T, time synchronization, disciplined oscillator.

ВВЕДЕНИЕ

Временная синхронизация является критически важной задачей в системах распределенного сбора данных, координатно-временном обеспечении и современных телекоммуникациях. В частности, жесткие требования к синхронизации предъявляются к базовым станциям сотовой связи (GSM/LTE/5G), где рассинхронизация шкал времени соседних вышек даже на несколько микросекунд приводит к сбоям при передаче пакетов данных и обрывам связи. Для решения этих задач широко применяются дисциплинированные по GNSS кварцевые или рубидиевые генераторы, однако их относительно высокая стоимость ограничивает их повсеместное применение в распределенных системах с большим количеством удаленных изолированных станций. Экономически обоснованной альтернативой является использование доступных GNSS-приемников с термокомпенсированным кварцевым генератором (TCXO) и встроенной цифровой конфигурируемой системой синтеза частоты (DDS). Однако на практике точность выходных сигналов дисциплинированного осциллятора подвержена кратковременным флуктуациям (джиттеру), обусловленным как аппаратным разрешением внутренних систем модуля, так и внешними факторами приема спутникового сигнала. Использование GNSS-приемников blox NEO-M8T в активно развивающейся локальной грозопеленгационной сети ИСЗФ СО РАН потребовало анализа точности работы вышеописанных систем [Ткачев и др., 2025]. Целью данной работы является экспериментальная оценка стабильности внутренних задержек сигнала GNSS-дисциплинированного осциллятора относительно PPS-сигналов в навигационных модулях u-blox NEO-M8T при использовании экономически доступных антенн.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

Для проведения измерений был разработан испытательный стенд, включающий в себя:

1. Три GNSS-модуля u-blox NEO-M8T, работающих в режиме стационарного позиционирования (Survey-In) для минимизации погрешности расчета собственных координат. Встроенные дисциплинированные осцилляторы модулей были настроены на генерацию опорной частоты 200 кГц.
2. Логический анализатор Saleae, осуществляющий дискретизацию на частоте 1 МГц и запись фронтов PPS-сигналов, а также сигналов дисциплинированных осцилляторов.

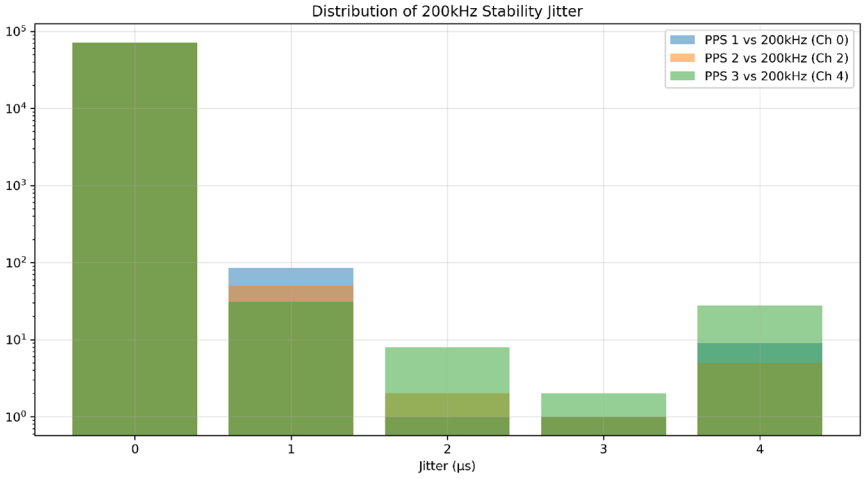

Рис. 1. Распределение задержек сигнала дисциплинированного осциллятора (200 кГц) относительно собственного PPS-сигнала для трех независимых модулей (Ch 0 — модуль № 1, Ch 2 — модуль № 2, Ch 4 — модуль № 3).

3. Макетную плату с общим источником питания для исключения влияния нестабильности по питания на джиттер сигналов.

4. Навигационные антенны двух типов:

— для модулей № 1 (Ch 0) и № 3 (Ch 4) использовались многосистемные антенны не идентифицированного производителя, рабочими частотами: 1575.42 , 1561 , 1602 МГц, обеспечивающие прием сигналов GPS, GLONASS и BeiDou;

— для модуля № 2 (Ch 2) использовалась односистемная антенна без идентификации производителя, с рабочей частотой 1575.42 МГц, настроенная на прием сигналов GPS L1.

Сбор данных осуществлялся непрерывно в течение 20 ч. В качестве исследуемой величины фиксировалась задержка фронтов дисциплинированного сигнала каждого из трех приемников относительно опорных PPS-сигналов соответствующих им GNSS-модулей. Из-за частоты дискретизации 1 МГц погрешность измерения была ограничена шагом 1 мкс, что является пороговым значением для оценки высокочастотного джиттера.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На основе собранного массива данных было построено распределение стабильности джиттера (задержки) на частоте 200 кГц (рис. 1). Поскольку объем выборки велик, а распределение имеет ярко выраженный пик, вертикальная ось графика представлена в логарифмическом масштабе для наглядного отображения редких флуктуаций (выбросов).

Анализ гистограммы показывает, что для всех трех каналов подавляющее большинство измерений (более 10^4 событий) сосредоточено в области нулевого смещения, что говорит о высокой внутренней стабильности сигналов в пределах шага дискретизации (1 мкс). Однако на модуле № 3 наблюдаются единичные флуктуации величиной от 2 до 4 мкс, тогда как на модулях № 1 и № 2 подобные задержки отсутствуют. Это может указывать на индивидуальные аппаратные особенности конкретного модуля или локальные условия приема сигнала его антенной. Также стоит учитывать, что входные компараторы анализатора имеют фиксированные пороги срабатывания: уровень логического нуля ≈ 0.6 В и уровень логической единицы ≈ 1.2 В. Из-за очень малого гистерезиса (зоны нечувствительности) система чувствительна к качеству фронтов сигнала и может вносить дополнительный измеренный джиттер при наличии шума или пологих фронтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного 20-часового эксперимента стабильность работы дисциплинированных осцилляторов в GNSS-модулях u-blox NEO-M8T. Основной массив значений взаимного джиттера стабильно укладывается в микросекундный диапазон (в пределах шага дискретизации измерительного стенда). Зафиксированные единичные задержки до 4 мкс (в частности, в модуле № 3) могут быть обусловлены спецификой работы внутренних алгоритмов фильтрации навигационного решения приемника, а также использованием различных типов приемных антенн (многосистемной и односистемной GPS L1). Полученные характеристики позволяют рекомендовать данные модули для использования в локальных измерительных сетях ИСЗФ СО РАН с микросекундными требованиями к временной синхронизации.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России (субсидия № 075-ГЗ/Ц3569/278)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ткачев И.Д., Васильев Р.В., Зоркальцева О.С., и др. Экспериментальная распределенная сеть ОНЧ-приемников для мониторинга грозовой активности на Байкальской природной территории // Солнечно-земная физика. 2025. Т. 11, № 2. С. 112–123. DOI: 10.12737/szf-112202510. URL: https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82557925 (дата обращения: 27.05.2026).