

Макет ретранслятора сигналов глобальных навигационных спутниковых систем

Д. А. Леконцев, В. И. Малышкин, В. И. Мельничук
Военно-космическая академия имени А. Ф. Можайского
kuvalda13@mail.ru

Аннотация. The principles of construction and a generalized block diagram of a repeater using signals from global navigation satellite systems are considered in the article. A prototype of the repeater is presented and options for its application are considered. The case of relaying the signals of global navigation satellite systems in the L1 band is described.

Ключевые слова: Global Navigation Satellite Systems; signal repeater; immunity resistance to jamming of Navigation User Equipment

I. ВВЕДЕНИЕ

Развитие глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) в настоящее время идет по пути создания средств функциональных дополнений (СФД), как космического, так и наземного базирования. Основной причиной этому является широкое использование услуг на основе навигационно-временных определений (НВО), которые требуют точной информации о местоположении пользователя как на открытой местности, так и в локальном районе, в том числе в сложных условиях (неудовлетворительное значение геометрического фактора и т.п.). Наиболее известным и распространенным видом СФД являются дифференциальные подсистемы (ДПС), а также псевдоспутники – неподвижные источники навигационных сигналов, по структуре и параметрам аналогичные сигналам навигационных космических аппаратов (НКА). На открытой местности сигналы ГНСС эффективно обеспечивают решение навигационной задачи, однако в сложных городских условиях невозможно предоставить достоверную информацию о местоположении из-за ослабления сигнала на 20–30 дБ внутри помещений или строительных застроек.

В помещениях были предложены различные методы НВО, основанные на ультразвуке, ИК диапазоне, *Bluetooth*, *Wi-Fi*, распознавании изображений, инерциальной навигации, псевдоспутниках [1]. По сравнению с остальными методами псевдоспутниковая система имеет относительно большую зону покрытия (до 50 км) и более точное решение для НВО (по фазе несущего колебания) с 4–5 передатчиками. Если в псевдоспутниковой системе используются специально разработанные сигналы подобные сигналам ГНСС, то можно использовать приемник ГНСС с небольшими изменениями встроенного программного обеспечения. Примером построения такой системы является разработанная в настоящее время

альтернативная навигационная система определения местоположения США – *Locata* [2].

II. ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЕТРАНСЛЯТОРА НАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

Более простым из предложенных решений является метод ретрансляции данных без обработки измеряемых параметров. Подобные системы относятся к псевдоспутниковым и востребованы как для проведения лабораторных исследований и отладки НАП, так и для навигации объектов по сигналам ГНСС внутри помещения.

Техническая реализация предложенного макета состоит: в приеме сигналов навигационных космических аппаратов на внешнюю антенну, усилении и повторном излучении антенной ретранслятора сигналов в выбранном частотном диапазоне на открытой местности и внутри помещений; в совместном использовании имитатора сигналов ГНСС ГЛОНАСС СН-3803М и ретранслятора для формирования ложного навигационного поля, последующей цифровой обработке сигналов на инженерном образце отладочного комплекта B1065U1 и исследовании помехоустойчивости НАП. Варианты использования макета ретранслятора представлены на рис. 1.

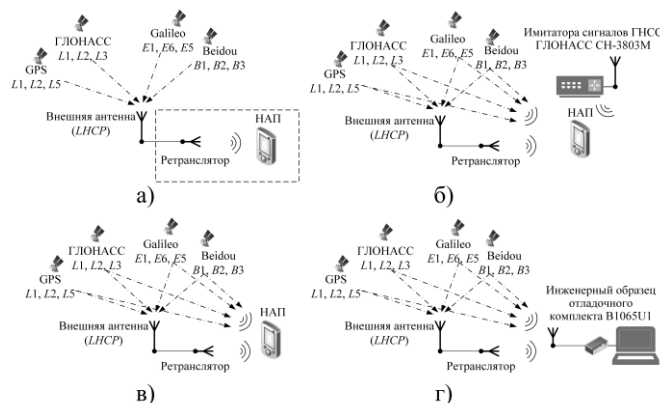


Рис. 1. Варианты использования макета ретранслятора ГНСС

При использовании схемы на открытой местности сигналы с выхода ретранслятора можно рассматривать как навигационные сигналы с преднамеренно введенной временной задержкой т.е. преднамеренную имитационную помеху на типовую НАП [3]. При этом сигналы на входе НАП формируются в результате аддитивной смеси

сигналов ретранслятора и излучаемых сигналов НКА. В зависимости от типа антенны, используемой в ретрансляторе, можно выбирать диапазон частот переизлучаемых сигналов. На рис. 2 и 3 представлены макет ретранслятора ГНСС с согласованной антенной диапазона L1 (1600,995 МГц) и его обобщенная структурная схема соответственно.

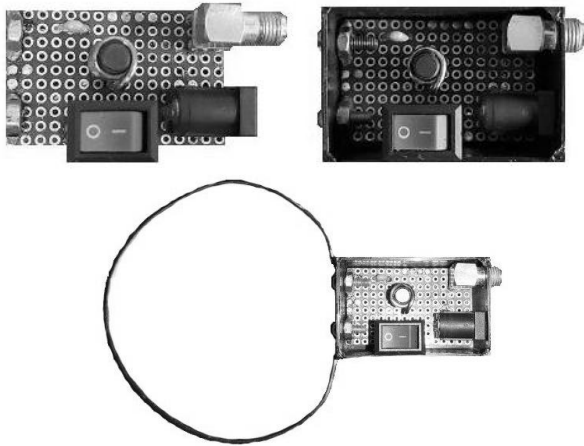


Рис. 2. Макет ретранслятора ГНСС

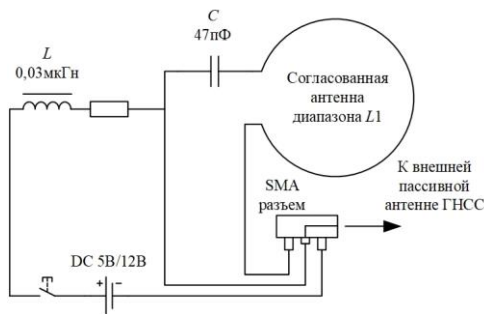


Рис. 3. Обобщенная структурная схема макета ретранслятора ГНСС

Ретранслятор представляет собой последовательный колебательный контур, увеличивающий амплитуду входного напряжения. Амплитуда напряжения в последовательном колебательном контуре прямо пропорциональна его добротности, определяемой по следующей формуле:

$$Q = (\sqrt{L/C})/R$$

где Q – добротность контура, L – индуктивность катушки, C – емкость конденсатора, R – активное сопротивление контура.

Чем выше добротность ретранслятора, тем меньше потери энергии и тем медленнее затухает сигнал т.е. увеличивается дальность его действия. Для усиления сигнала и работы ретранслятора, необходимо перевести его в активный режим, включая кнопку питания 5 В / 12 В (в зависимости от типа внешней антенны). Усиленный сигнал излучается через согласованную антенну ретранслятора и поступает на вход коррелятора НАП.

Таким образом, увеличивается отношение сигнал/шум сигнала ретранслятора, настроенного на заданный частотный диапазон. При таком приеме сигнала необходимо учитывать, что НАП будет определять не своё местоположение в текущий момент времени, а внешней антенны.

Внешняя антенна, принимает сигнал от НКА и передаёт его по кабелю, подключенному к ретранслятору. Ретранслятор усиливает входной сигнал и переизлучает его в L диапазоне. Отношение сигнал/шум на выходе коррелятора НАП определяется мощностью сигнала и шума на входе антенны, ее коэффициентом усиления, шум-фактором входных каскадов приемника и качеством выполнения операции согласованной фильтрации (свертки). Закон изменения задержки во времени в «ложном» сигнале идентичен таковому в истинном, но при этом значения задержаны на величину аппаратной задержки цепей постановщика помех плюс время распространения сигнала от антенны постановщика помех до антенны подавляемого приёмника.

После переизлучения таким типом ретранслятора, сигнал от i -го НКА в шкале времени НАП можно представить в следующем виде [4]

$$S_{\Sigma i}(t) = A_{\Sigma i} G_{\Sigma i}(t - \hat{\tau}_{\Sigma i}) G_{\Sigma i}(t - \hat{\tau}_{\Sigma i}) \cos(\omega_{\Sigma i} t + \hat{\phi}_{\Sigma i}(t))$$

где $A_{\Sigma i}$ – амплитуда ретранслированного сигнала i -го НКА; $G_{\Sigma i}$, $G_{\Sigma i}$ – текущее значение символов дальномерного кода и служебной информации (СИ) соответственно; $\hat{\tau}_{\Sigma i}$ – оценка суммарной псевдозадержки; $\omega_{\Sigma i}$ и $\hat{\phi}_{\Sigma i}$ – несущая частота и оценка псевдофазы ретранслированного сигнала.

Оценка суммарной псевдозадержки сигнала НКА после ретрансляции (без учета постоянной задержки в аппаратуре ретранслятора, может быть записана как [5, 6]

$$\begin{aligned} \hat{\tau}_{\Sigma i}(t) &= \tau_{\Sigma i} + \delta_{\Sigma i}(t) = \tau_{\Sigma i}(t - \tau_p) + \tau_p(t) + \delta_{\Sigma i}(t) = \\ &= (R_p(t - \tau_p) + R_p(t) + \delta_{\Sigma i}(t))/c = \\ &= (\|\mathbf{x}_p - \mathbf{x}_{\text{НКА}i}(t - \tau_{\Sigma i})\| + \|\mathbf{x}_{\text{НАП}p}(t - \tau_p) - \mathbf{x}_p\| + \delta_{\Sigma i}(t))/c \end{aligned}$$

где $\tau_{\Sigma i}$, R_p – задержка сигнала и истинная дальность от i -го НКА до ретранслятора соответственно; $\mathbf{x}_p$, $\mathbf{x}_{\text{НКА}i}$ – векторы координат ретранслятора и i -го НКА соответственно; τ_p , R_p – задержка сигнала и истинная дальность от ретранслятора до НАП соответственно; $\delta_{\Sigma i}$ – значение относительного смещения ШВ и $\mathbf{x}_{\text{НАП}p}$ – вектор координат НАП в момент приема ретранслированного сигнала НКА.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрен вариант построения ретранслятора сигналов НКА. Предлагается использование ретранслятора без обработки сигнала, т.е. как устройство, осуществляющее прием, преобразование и передачу

потребителю сигналов НКА с полным сохранением их спектра. Что позволит повысить достоверность и точность НВО по сигналам ГНСС в сложных условиях за счет приема сигналов неподвижным ретранслятором, а также получить с помощью ретранслятора, установленного на борту подвижного объекта, информацию о текущих координатах и параметрах движения носителя.

Таким образом, вариант СФД на основе макета ретранслятора, обеспечивает те же преимущества, что и псевдоспутник, а именно: снижает среднее значение геометрического фактора навигационного сеанса погрешности определения высоты; повышает надежность НВО и продолжительность навигационных сеансов при ограниченной орбитальной группировке НКА; решает проблему затенения НКА. Проведенный анализ показал, что применение ретранслятора сигналов позволяет потребителям круглосуточно проводить навигационные определения в локальных районах при снижении количества используемых НКА до одного, а также повысить точность НВО за счет использования режимов относительных измерений и дифференциальной коррекции до 1 м (СКО) по каждой из координат.

Разработанный макет ретранслятора ГНСС предлагается использовать для создания комплекса средств по исследованию помехоустойчивости НАП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Rui Xu, Wu Chen, Ying Xu and Shengyue Ji / A New Indoor Positioning System Architecture Using GPS Signals // *Sensors* 2015, 15, 10074–10087.
- [2] Barnes J, Rizos C, Wang J, Small D, Voight G, and Gambale N (2003a) / High precision indoor and outdoor positioning using *LocataLites* / 2003 Int. Symp. on GPS/GNSS, Tokyo, Japan, 15-18 November 2003.
- [3] Функционирование навигационной аппаратуры потребителей в условиях воздействия помех / В.С.Бахолдин, Д.А. Гаврилов, В.А.Добриков, В.Ф. Иванов, А.С. Кошкарлов, А.Б. Симонов, Е.А. Ткачев // Труды института прикладной астрономии РАН. 2013. № 27. С. 525–529.
- [4] ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. 4-е изд., перераб и доп. М.: Радиотехника, 2010. 800 с.
- [5] Алешкин А.П., Бахолдин В.С., Гаврилов Д.А., Леконцев Д.А. Обработка сигналов спутниковых навигационных систем с квадратурным уплотнением и частотным разделением // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2016. Т. 59. № 4. С. 261–267.
- [6] Харисов В.Н., Пудловский В.Б., Оганесян А.А. Одноэтапные алгоритмы для улучшения характеристик навигационных определений в СРНС // Радиотехника. 2008. № 7. С. 13–18.