

Калибровка относительной задержки в двухчастотном приемнике радионавигационных сигналов

10, октябрь 2017

Михайлицкий В. П.

УДК: 621.396.621

МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИИ РЭТ, Москва, Россия
baumix39@mail.ru

Введение

При мониторинге двухчастотных радиосигналов, излучаемых навигационными космическими аппаратами (НКА) [1], необходима одновременная калибровка приемного тракта на двух частотах с оценкой относительной временной задержки между каналами L1 и L2. Обычно калибровочные сигналы вводятся в радиочастотный тракт после облучателя. В случае крупноапертурной антенны при вращении антенны и при изменении температуры окружающей среды погрешность измерений зависит от стабильности согласования и электрической длины радиочастотного кабеля снижения. В принципе, калибровка может быть проведена с помощью векторного анализатора цепей или имитатора радионавигационных сигналов (типа Spirient Communications GSS8000). Однако использование таких дорогостоящих приборов не целесообразно и требует разработки методики оперативных измерений в системе мониторинга, включающей процедуру устранения систематических ошибок.

* * *

Для оперативного контроля усиления и относительной временной задержки между каналами L1 и L2 приемного тракта системы мониторинга предлагается использовать генератор гармоник, выходной сигнал которого вводится в радиочастотный тракт после облучателя. Возможно размещение автономного калибровочного устройства такого типа [2] на расстоянии до 5-10 метров от облучателя, в том числе и на поверхности первичного зеркала.

Гармоники обычно генерируются диодом с накоплением заряда (ДНЗ) или туннельным диодом при поступлении на них высокочастотного сигнала. Выходной сигнал генератора гармоник представляет собой временную последовательность узких импульсов амплитудой A и длительностью $\tau < 0.2$ нс. Период этой последовательности равен $T_{оп} = 1/F_{оп}$, где $F_{оп}$ – частота опорного сигнала, подаваемого на ДНЗ. Спектр такого сигнала является

линейчатым спектром, спектральные линии которого отстоят друг от друга на $F_{оп}$. Амплитуда A_n и фаза ϕ_n n -ой гармоники равны

$$A_n = 2A \frac{\tau}{\dot{O}_{ii}} \frac{|\sin X|}{X}, \quad \phi_n = X, \quad \text{где } X = \frac{n\pi\tau}{\dot{O}_{ii}}. \quad (1)$$

При использовании генератора гармоник для одновременной калибровки приемника сигналов ГЛОНАСС в поддиапазонах L1 и L2 необходимо выбрать опорную частоту, значение которой является наибольшим общим делителем для частот этих поддиапазонов. Она равна половине разности этих частот и определяется как $F_{оп} = 178 + 0.0625K$ МГц, где K – номер несущей частоты. Для поддиапазона L1 используется 9-ая гармоника ($n=9$), а для поддиапазона L2 – 7-ая гармоника ($n=7$). При $\tau = 0.2$ нс разность амплитуд этих гармоник составляет величину 0.6 дБ, а фаз – 12.7° . При меньших кратных значениях опорной частоты возникает проблема режекции гармоник, частота которых попадает в полосу пропускания приемного устройства. Для разрежения спектра сигнала генератора гармоник используется знакопеременная временная последовательность узких импульсов, приводящая к подавлению четных гармоник, при этом расстояние между гармониками равно $2F_{оп}$.

Реализация стабильного по характеристикам генератора гармоник с подавлением четных гармоник осуществлена путем жесткого ограничения сигнала опорной частоты с последующим дифференцированием полученного меандра. В разработанном генераторе гармоник применялась микросхема усилителя-ограничителя ONET1191P (фирма Texas Instruments), выход которого нагружен на дифференцирующую цепь с емкостью 0.5 пФ и сопротивлением 50 Ом. Временные и спектральные характеристики его выходного сигнала в режиме немодулированного опорного сигнала частотой 178 МГц представлены на рис. 1. Длительность одиночного импульса по уровню 50% равна 200 пс. Четные гармоники подавлены, поэтому расстояние между гармониками равно 356 МГц. Разность мощностей 9-ой (поддиапазон L1) и 7-ой (поддиапазон L2) гармоник менее 0.2 дБ при выходной мощности каждой гармоники около -43 дБм.

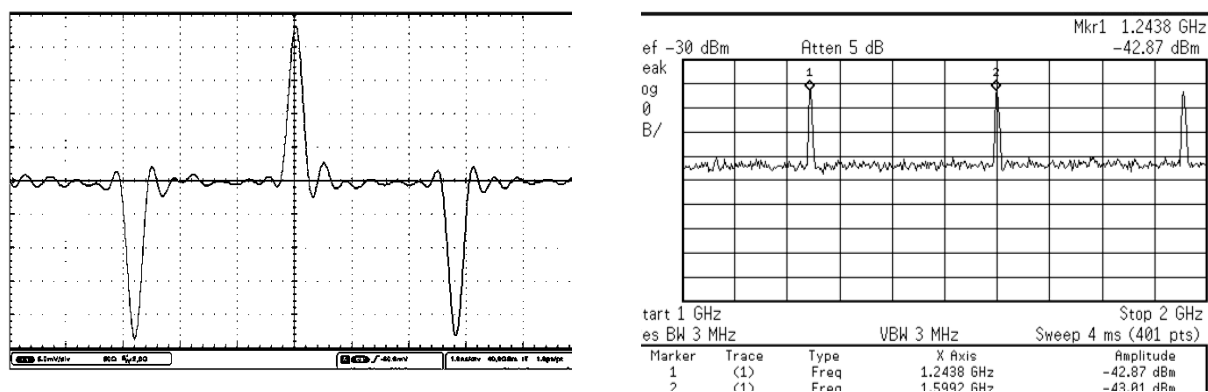


Рис. 1. Временные и спектральные зависимости на выходе генератора гармоник при опорном сигнале 178 МГц

Режим немодулированного опорного сигнала удобен для измерения временной задержки в широкополосных устройствах в виде отрезков линий передач и усилителей с полосой 1- 3 ГГц. В случае частотно-избирательных четырехполосников типа полосно-пропускающих фильтров на поддиапазоны частот L1 и L2 возникает эффект ударного возбуждения, в результате чего не удастся определить задержку в силу неоднозначности выходных синусоидальных сигналов. В качестве примера на рисунке 2 представлены осциллограммы сигналов на выходе дуплексера поддиапазонов L1 и L2, синхронизированные выходным сигналом генератора гармоник. Видно, что за период положительных импульсов генератора гармоник укладывается соответственно 7 и 9 периодов сигналов частотой L2 и L1, однако определить задержку не представляется возможным.

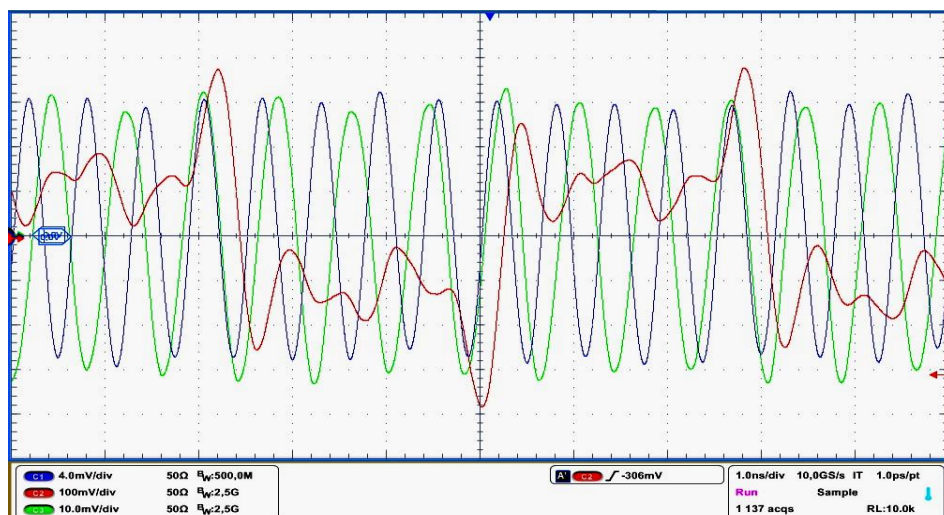


Рис. 2. Осциллограммы сигналов на выходе дуплексера L1 и L2

Известный способ устранения такой неоднозначности – расширение спектра гармоник за счет частотной (фазовой) модуляции сигнала опорной частоты, в том числе и модуляцией псевдослучайной последовательностью (ПСП) соответствующего кода. Для оценки идентичности спектров 7-ой и 9-ой гармоник опорного сигнала он подвергался бинарной фазовой манипуляции кодом ПСП с тактовой частотой 5 МГц. На рисунке 3 представлены усредненные спектры 7-ой и 9-ой гармоник, практически не отличающиеся друг от друга.

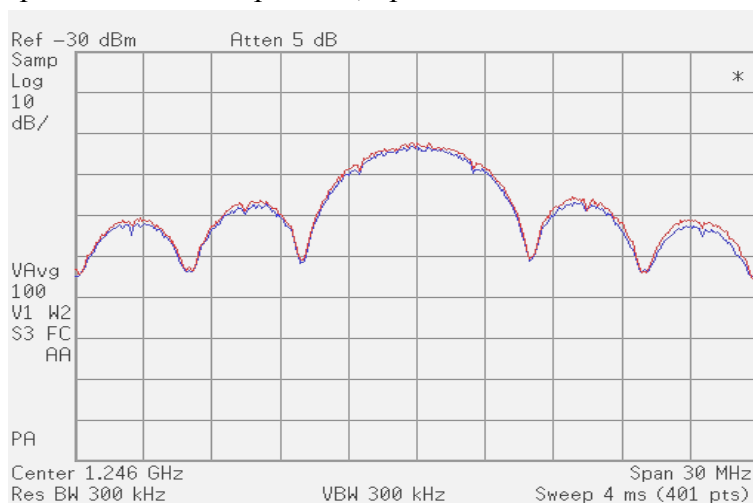


Рис. 3. Совмещенные спектры 7-ой и 9-ой гармоник фазоманипулированного опорного сигнала 178 МГц

С помощью разработанного генератора гармоник, опорная частота которого была подвергнута бинарной фазовой манипуляции кодом СТ ГЛОНАСС, осуществлялась одновременное измерение разности задержек в двухчастотном приемном тракте универсального комплекса мониторинга радионавигационных сигналов НКА ГНСС ГЛОНАСС. Комплекс состоял из:

- полноповоротной крупноапертурной антенны диаметром 12 м с широкополосным облучателем L-диапазона;
- аналогового двухчастотного радиотракта с малошумящим усилителем на входе;
- многоканального цифрового регистратора, позволяющего одновременно запоминать оцифрованные радионавигационные сигналы в частотных поддиапазонах L1 и L2.

Регистрация осуществляется на интервале не более 10 секунд. Дальнейшая обработка массива полученных данных проводится на компьютере по разработанной программе. Оценка разности задержек между частотными каналами L1 и L2 была равна 0.025 нс при среднеквадратическом отклонении 0.02 нс при калибровочном сигнале с номером несущей $K=0$. В случае крайних несущих частот $K=6$ и $K=-7$ разность задержек составила величину 0.03 нс и 0.07 нс соответственно при одинаковой погрешности измерения 0.02 нс.

Заключение

Таким образом, рассмотрен вариант оперативной калибровки двухчастотных приемников радионавигационных сигналов с помощью генератора гармоник, опорная частота которого равна половине разности частот поддиапазонов L1 и L2. Для одновременной калибровки межканальной разности временных задержек приемного тракта, содержащего полосно-пропускающие фильтры, сигнал опорной частоты подвергался бинарной фазовой манипуляции ПСП. Показана идентичность спектров 7-ой и 9-ой гармоник фазоманипулированного опорного сигнала, частота которых соответственно совпадает с частотами поддиапазонов L2 и L1. Предложенный вариант оперативной калибровки с помощью генератора гармоник использовался в системе мониторинга радионавигационных сигналов НКА ГНСС ГЛОНАСС. Калибровка осуществлялась в течение 10 с: выходной сигнал приемника подвергался оцифровке, записывался в цифровом регистраторе и далее обрабатывался согласно разработанной программе. Погрешность измерения относительной задержки между сигналами поддиапазонов L1 и L2 в используемом двухчастотном приемнике не превышала 0.02 нс.

Список литературы

- [1]. Власов И.Б., Михайлицкий В.П., Рыжов В.С. Калибровка радиотракта радиотелескопа РТ-7,5 при мониторинге сигналов навигационных космических аппаратов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2014. № 6. С. 96-107
- [2]. Comb Generator Emitter 01. // York EMC Service (YES). Test instrumentation Range Brochure. Режим доступа: <http://www.yorkemc.com/products/cge01/> (дата обращения: 10.10.2017)