

МОДУЛЬНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПРИБОРОВ ДЛЯ ИМИТАТОРОВ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИГНАЛОВ

**Красненко С.С., Пичкалев А.В., Гребенников А.В.
Научный руководитель – профессор Кашкин В.Б.**

*ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика
М.Ф. Решетнёва», г. Железногорск*

Позиционирование объектов навигационными спутниками не ограничивается поверхностью Земли и околоземным пространством. Также необходимо точное определение местонахождения для космических аппаратов (КА), находящихся на геостационарных и высокоэллиптических орбитах. Ввиду того, что навигационное поле для КА, находящегося на орбите выше 5000 км, распадается на локальные сигналы, применение обычных навигационных приемников невозможно. Это послужило причиной для разработки специальной аппаратуры радионавигации (АРН) для геостационарных и высокоэллиптических КА. Для ее проверки и отладки необходима контрольно-испытательная аппаратура (КИА), в состав которой должен входить имитатор радионавигационных сигналов (ИРНС), эмулирующий функционирование АРН на соответствующей орбите.

На сегодняшний день существуют различные имитаторы радионавигационных сигналов. Серийные ИРНС формируют навигационный сигнал для приемников, находящихся в навигационном поле на высоте не более 100 км. Это не дает возможность использовать их для отладки и испытаний орбитальной АРН. Необходима разработка специального ИРНС, возможность перепрограммирования которого позволяет широко использовать его для разных типов летательных и космических аппаратов.

Способность ИРНС формировать требуемый набор сигналов навигационных космических аппаратов (НКА), обеспечиваемые диапазон, дискретность и погрешность управления параметрами формируемого сигнала должны проверяться при метрологической аттестации (сертификации) аппаратуры на финальном этапе ее разработки, а также при поверке ИРНС в процессе изготовления и ввода в эксплуатацию, а также периодической поверке в ходе эксплуатации. Для метрологической сертификации и поверки ИРНС необходимо специальное измерительное оборудование.

На сегодняшний день измерительное оборудование серийно не выпускается и общепринятых методик метрологической аттестации ИРНС не существует. И для поверки ИРНС используют приемники, прошедшие проверку на работоспособность на специализированном геодезическом пункте с известными координатами, а также косвенные методы измерения ВЧ-параметров. Так же, для выявления грубых ошибок, проводят для ИРНС тестовые проверки.

Цель тестовой проверки ИРНС – убедиться в его исправности в части способности формировать сигналы и обеспечивать управление параметрами формируемых сигналов от внешней ЭВМ. Такая проверка производится регулярно в процессе эксплуатации ИРНС с целью контроля его работоспособности, а также при проявлении сбоев, несоответствий в работе испытуемого образца приемника с целью проверки того, не является ли причиной сбоев испытуемого образца неисправность самой контрольно-испытательной аппаратуры. При проведении тестовых проверок не ставится задача

контроля метрологических характеристик ИРНС, возможно лишь выявление существенных («грубых») ошибок при формировании сигналов НКА. Полагается, что если ИРНС в целом исправен (успешно проходит тестовую проверку), то на протяжении межповерочного интервала его метрологические характеристики должны соответствовать установленным нормам.

Параметры, которые необходимо проверить и аттестовать у ИРНС, исходят из параметров, проверяемых в приемной аппаратуре:

- Случайные погрешности измерения задержки навигационных сигналов.
- Случайные погрешности измерения несущих частот (доплеровского сдвига частоты).
- Разности систематических погрешностей измерения задержек навигационных сигналов на разных частотах (и модулированных разными псевдослучайными последовательностями).
- Разности систематических погрешностей измерения задержек навигационных сигналов в разных каналах.
- Систематическая погрешность измерения задержки навигационного сигнала.

Для проверки этих параметров в приемной аппаратуре ФГУП «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск) разработало компаратор специальных сигналов (КСС) МРК-111. Принцип работы КСС заключается в суммировании сигналов метки времени, ВЧ-сигнала и частоты опорного генератора, с дальнейшей их общей обработкой. Здесь предлагается суммировать сигналы сразу же с выходов ИРНС, для того чтобы избежать внесения задержек при раздельной обработке сигналов (перенос сигналов в одну частотную область). Далее, после суммирования общий сигнал подается на аналогово-цифровой преобразователь, в результате чего происходит преобразование частоты за счет наложения спектров при преобразовании. В результате сигналы из полосы от 0 до ~2 ГГц в аналоговом сигнале на входе АЦП оказываются в полосе от 0 до $F_{\text{тактАЦП}}/2$ в цифровом сигнале на выходе АЦП.

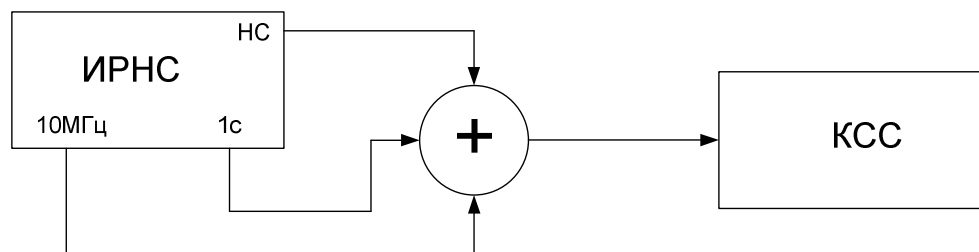


Рисунок 1 – Способ определения задержки НС

Не идеальность формы метки времени (МВ) ИРНС заметно увеличивает погрешность измерения задержки. Уменьшить погрешность измерения задержки можно, используя в качестве шкалы точного отсчета фазу сигнала опорной частоты. При этом значение задержки МВ, полученное по сигналу, должно использоваться как «грубые» измерения, а точные – по фазе опорной частоты ИРНС. Таким образом, предлагается измерять задержку по трем сигналам: ВЧ-сигналу, сигналу опорной частоты и МВ. Вычислив задержку, вносим необходимые поправки в вычислительный блок ИРНС, компенсируя ее.

Так как чувствительность АЦП, на вход которого подана сумма ВЧ-сигнала, МВ и опорной частоты, ограничена, то перед входом АЦП, в случае маломощного НС, необходимо поставить МШУ.

При подключении и ИРНС двух комплектов КСС получим результаты измерений приведенных на один момент времени. Далее результаты вычитаются – при этом

исключается погрешность формирования задержки сигнала в ИНРС. Полученная разность будет представлять собой суммарную погрешность измерения задержки двумя комплектами КСС, исходя из которой можно вычислить погрешность измерения одного прибора.

При проверке систематической погрешности КСС необходимо убедиться в отсутствии ошибок в алгоритмах вычисления задержки, реализованных в цифровой части КСС. Для решения данной задачи предлагается использовать искусственно сформированные тестовые наборы выборок, имитирующие поток выборок с выхода АЦП. Такие массивы выборок могут подаваться на вход блока цифровой обработки сигнала (БЦОС) по цифровому каналу передачи данных и обрабатываться в БЦОС аналогично выборкам с выхода АЦП. Сравнивая полученный результат, с вычисленными математически, можно выявить ошибки алгоритма обработки навигационных сигналов (НС) БЦОС компаратора.

КСС обеспечивает определение погрешностей параметров радионавигационных сигналов космических радионавигационных систем ГЛОНАСС и GPS, сформированных источниками (имитаторами) радионавигационных сигналов различного типа. В опытном образце МРК-111 ФГУП «НПП «Радиосвязь» (г. Красноярск) реализовало и имитационный прибор. Идея совместной реализации приемника и имитатора радионавигационных сигналов в одном приборе весьма перспективна и интересна как для решения проблем метрологии и аттестации навигационных приемников и имитаторов, так и для их испытаний. Поэтому она взята за основу при разработке аппаратуры проверки НС и ИРНС для КИА орбитальной АРН.

При построении КСС МРК-111 используется вычислительная система на базе IP-ядра MicroBlaze. В ПЛИС также реализуются корреляторы, генераторы ПСП и гармонических опорных сигналов, перестраиваемых по частоте и фазе. Для разработки ИРНС/АПНС КИА АРН предполагается использовать модуль генератора-оцифровщика с ПЛИС PXIe-5641R (совместно с преобразователями частоты вверх PXI-5610 и вниз PXI-5600) компании National Instruments, в который переносится отлаженное на опытном макете МРК-111 IP-ядро и адаптируемые под модуль корреляторы и генераторы.

PXIe-5641R легко программируется в среде LabVIEW FPGA, что значительно упрощает разработку приложений. В LabVIEW можно выбрать вид кодирования сигналов, определить необходимый тип модуляции или демодуляции, внедрить собственные методы анализа, а также сконфигурировать удобный интерфейс и визуализацию измеренных данных, пользуясь различными библиотеками.

Таким образом, модульность реализации имитатора радионавигационных сигналов со встроенным контролем их параметров позволит решить не только проблемы испытаний принципиально новой орбитальной АРН и аттестации их КИА, но и практически в любой момент воспроизводить имитационное и метрологическое оборудование для них путем программирования серийных модулей в среде LabVIEW.