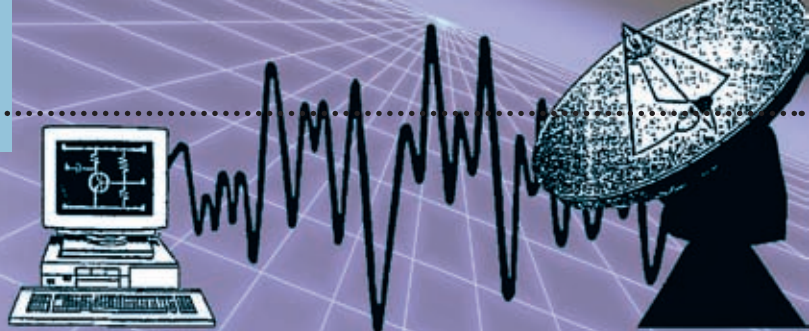


СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО КОМПЛЕКСА



Радиоэлектронные средства измерений (СИ) являются основой для разработки, производства и эксплуатации перспективных высокотехнологичных радиоэлектронных систем, приборов и электронной компонентной базы радиоэлектроники. НИИПИ "Кварц" (Нижний Новгород) разрабатывает и производит СИ, предназначенные для метрологического обеспечения радиоэлектронных средств, которые выпускаются в рамках приоритетных национальных проектов – государственной программы вооружения, федеральных целевых программ, в первую очередь ГЛОНАСС. О том, каковы основные достижения в создании современных радиоэлектронных СИ и направления их развития, рассказывается в этой статье.

Анализ современных потребностей науки и техники, а также сферы обороноспособности и безопасности страны позволяет сформулировать главные направления развития в области создания современных средств метрологического обеспечения, которые применяются в разработке, производстве и эксплуатации радиоэлектронных средств (РЭС). Это развитие эталонной базы, создание эталонных и рабочих средств измерений, развитие автоматизированных контрольно-диагностических и метрологических комплексов.

РАЗВИТИЕ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ

В данном направлении актуальной задачей является увеличение точности квантовых стандартов частоты до $2 \cdot 10^{-16}$. Такая точность требуется в современных системах мобильной связи, вычислительной технике, космической связи, навигации. Необходима также аппаратура для жестких, в том числе бортовых, условий эксплуатации с повышенным в 1,5–2 раза ресурсом действия. Это позволит поднять на качественно новый уровень современные спутниковые навигационные и связные системы.

Создание квантовых стандартов частоты – наукоемкое направление, которое включает в себя специальные виды

А. Черногубов, к.т.н.

оптической и вакуумной технологии, требует применения различных изотопов чистых и сверхчистых материалов. НИИПИ "Кварц" имеет большой практический опыт и научный потенциал в этой области, а также промышленную технологическую базу по выпуску данной аппаратуры.

Рекордные для квантовых стандартов частоты характеристики точности – нестабильность частоты до $7 \cdot 10^{-16}$ за сутки – имеет активный водородный стандарт частоты Ч1-75А (рис.1) (в экспортном исполнении). Он является основой государственной системы обеспечения единого времени, а также центральных синхронизаторов навигационной системы ГЛОНАСС. Характеристики точности пассивного водородного стандарта частоты Ч1-76 (рис.2) несколько хуже, но при этом он обладает значительно меньшими массой и габаритами, что позволяет его транспортировать и, следовательно, разрабатывать транспортируемые меры частоты и времени.

Рубидиевые квантовые стандарты частоты (рис.3) при сравнительно невысоких метрологических характеристиках (нестабильность частоты до 10^{-12} в сутки) значительно меньше и дешевле водородных стандартов. Их с успехом можно применять в качестве опорных генераторов связных систем, а также выполнять с их помощью поверку рабочих средств измерений невысокого класса точности по частоте.

Два типа приемников-компараторов – ЧК7-54 и ЧК7-56 (рис. 4) – имеют, помимо традиционной для частотных компараторов функции сличения двух внешних частот, функцию сравнения с частотной шкалой космических навигационных систем (КНС) ГЛОНАСС/GPS. При построении поверочных



Рис. 1. Активный водородный стандарт частоты Ч1-75А



Рис.2. Пассивный водородный стандарт частоты Ч1-76А

комплексов данная функция позволяет в ряде случаев исключить из состава комплекса квантовый стандарт частоты и использовать в качестве эталона сигнал ГЛОНАСС/GPS.

Еще одно уникальное для России оборудование – автоматизированное рабочее место (АРМ), предназначенное для поверки навигационной аппаратуры систем ГЛОНАСС/GPS (рис.5). Данной аппаратурой оснащают метрологические части ВС РФ и организации Ростехрегулирования. Это направление чрезвычайно перспективно, поскольку навигационные приемники становятся все более популярными.



Рис.5. АРМ для поверки навигационной аппаратуры потребителей спутниковых радионавигационных систем ГЛОНАСС/GPS

Однако, несмотря на существенные успехи в этой области, к настоящему времени технологическая база морально и физически устарела. Выпускаемые квантовые стандарты частоты достигли теоретически предельных характеристик для существующего уровня технологического развития. В 2007 году завершена разработка частотно-временной аппаратуры с практически предельными характеристиками (рис.7–10).



Рис.3. Стандарт частоты рубидиевый Ч1-83

Существующие базовые технологии создания квантовых стандартов частоты позволяют производить аппаратуру не только для "тепличных" лабораторных условий, но и работающую в открытом космосе. Примером тому является бортовой рубидиевый эталон (рис.6) со сроком службы около 15 лет, который разрабатывается в настоящее время в рамках проекта "Единая командная система". Сейчас идет подготовка к его летным испытаниям.

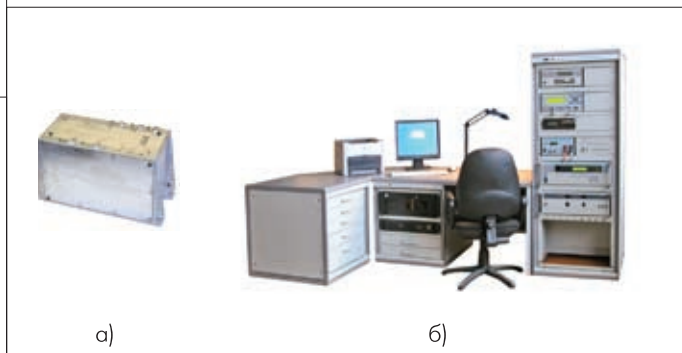


Рис.6. Бортовой эталон частоты (а) и автоматизированная система его контроля и поверки (б)

Дальнейшее развитие технологической базы для квантовых стандартов частоты требует незамедлительного внедрения инноваций в области оптической технологии и цифровой техники.

Другой важнейшей задачей является создание пассивного водородного стандарта частоты (ПВСЧ) спутникового базирования для отечественной КНС ГЛОНАСС. В рамках проекта ГЛОНАСС-К необходимо улучшить точностные



Рис.4. Приемники-компараторы ЧК7-54 (а) и ЧК7-56 (б)



Рис.7. Активный водородный стандарт частоты и времени Ч1-90



Рис.8. Пассивный водородный стандарт частоты и времени Ч1-90



Рис.9. Измеритель временных интервалов ИА-11



Рис.10. Усилитель высокочастотный распределительный УЗ-43

характеристики бортового синхронизирующего устройства (БСУ), а также увеличить срок его службы до 12 лет. Похожие задачи решаются в рамках европейского проекта Galileo. Сейчас БСУ строятся на основе цезиевых либо рубидиевых стандартов частоты, у которых нестабильность частоты больше, чем у ПВСЧ. Разработка бортового ПВСЧ и его использование в БСУ позволит превзойти параметры GPS (нестабильность частоты $(5-10) \cdot 10^{-14}$ в сутки) и достичь точной нестабильности БСУ $1 \cdot 10^{-14} - 7,5 \cdot 10^{-15}$.

СОЗДАНИЕ ЭТАЛОННЫХ И РАБОЧИХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Еще одно ключевое направление развития СИ – создание отечественного парка эталонных и рабочих средств измерений в диапазоне частот до 178 ГГц с перспективой расширения до 256 ГГц. Они необходимы для систем высоко-



Рис.11. СВЧ-устройства: а) – полосно-пропускающий фильтр с ЖИГ-перестройкой, б) – нагрузка согласованная фиксированная, в) – гармонический смеситель

точного оружия, систем передачи информации и теоретических исследований в области ядерной физики и физики ионосферы.

В последние 10–15 лет в индустриально развитых странах интенсивно осваивают диапазон миллиметровых (мм) волн. Это обусловлено преимуществами мм-волн, которые особенно ярко проявляются в системах связи, навигации и радиолокации. Речь идет о малых размерах антенн, высокой направленности распространения волн, возможности обнаружения объектов малых размеров, скрытности систем связи, значительной помехозащищенности. Электронные приборы и схемы мм-диапазона волн более компактны, чем аналогичные системы сантиметрового диапазона, что очень важно для применения в бортовой и переносной аппаратуре. Техника, работающая в мм-диапазоне, все активнее применяется не только для решения оборонных задач, но и в различных областях мирной экономики: в гражданской авиации, наземном транспорте, связи, медицине, экологии.

Для метрологического обеспечения разработок радиотехнических систем мм-диапазона волн необходимо сформировать парк радиоизмерительной аппаратуры (РИА). В конце 80-х годов прошлого века в СССР действовала государственная программа по ускоренному освоению диапазона миллиметровых волн. К ее реализации был подключен ряд крупных НИИ. С распадом СССР в последние 15 лет работы в этой области в РФ были практически остановлены.

Первоочередными задачами в области разработки радиотехнических систем и РИА мм-диапазона волн можно назвать разработку и опережающий выпуск современной элементной базы – широкой номенклатуры СВЧ-устройств (рис.11), а также разработку на основе СВЧ-устройств перспективной номенклатуры РИА мм-диапазона длин волн.

В настоящее время на предприятиях радиоизмерительной отрасли разрабатывают новое поколение РИА мм-диапазона (головной исполнитель – ФГУП "ННИПИ "Кварц").

РАЗВИТИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОНТРОЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ И МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Как известно, на радиоизмерения приходится от 40 до 60% трудозатрат при производстве продукции. При эксплуатации же радиоэлектронных систем вооружения и военной техники (ВВТ) в войсках затраты на измерения составляют до 70% времени, отводимого на техническое обслуживание и ремонт ВВТ. Поэтому вопрос автоматизации контроля технических характеристик радиоэлектронных средств ВВТ весьма актуален. В этом смысле хорошие результаты применения продемонстрировала магистрально-модульная контрольно-измерительная аппаратура на основе шины VXI (рис.12). С помощью универсальных модульных контрольно-измерительных систем проверяется на соответствие техни-



ческим характеристикам более 900 блоков, которые используются в авиационной промышленности.

В течение ряда лет предприятиями радиоизмерительного профиля (ННИПИ "Кварц", ООО "Информтест", КБ "Квазар") проводятся работы по созданию модульной контрольно-измерительной аппаратуры (МКИА) на основе VXI. Сегодня данная продукция принята на вооружение и определена в качестве базовой для создания систем контроля технических параметров образцов ВВТ.

Автоматизированные системы обеспечивают контроль и диагностику параметров узлов и блоков изделий С300, входят в состав автоматизированного комплекса метрологического обслуживания космических средств.

Весьма эффективна также автоматизированная информационная система (АИС) на базе VXI для контроля параметров импульсных альтиметров (рис.13). Если ранее проверка технического состояния альтиметра занимала несколько суток и предполагала серию его включений/выключений, что, помимо временных затрат, существенно сказывалось на техническом ресурсе альтиметра, то с применением данной системы время проверки занимает меньше 5 мин.

Широкий ассортимент измерительных модулей в продукции ННИПИ "Кварц" позволяет в течение сравнительно короткого времени создавать и поставлять АИС для различных объектов. Например, в автоматизированном режиме можно контролировать параметры элементов фазированных антенных решеток (ФАР), входящих в состав РЛС. При большом числе элементов ФАР это дает значительный экономический эффект.



Рис. 12. Магистрально-модульная контрольно-измерительная аппаратура на основе шины VXI



Рис. 13. Автоматизированная система контроля параметров импульсных альтиметров (на базе шины VXI)



Рис. 14. Групповой хранитель частоты и времени Ч0-111



Рис. 15. Фрагмент комплекса метрологического обеспечения космических средств

Реализация гибкой перестраиваемой архитектуры комплексов на основе шины VXI обеспечивает высокие показатели надежности и точности, а также адаптацию комплекса под контроль конкретных устройств с дистанционным управлением из единого центра.

Созданные и развиваемые подходы к построению АИС вполне универсальны и позволяют комплектовать АИС приборами различного типа. В качестве примеров можно привести групповой хранитель частоты и времени Ч0-111, который является основой системы синхронизации отечественной КНС ГЛОНАСС (рис.14), и автоматизированный комплекс метрологического обеспечения повышенной автономности, разработанный для космических войск (рис.15).

Таким образом, ННИПИ "Кварц" предлагает эффективные решения во всех основных направлениях развития средств измерений для радиоэлектронного комплекса России.

