



## МОДЕЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АТОМНОГО СТАНДАРТА ЧАСТОТЫ

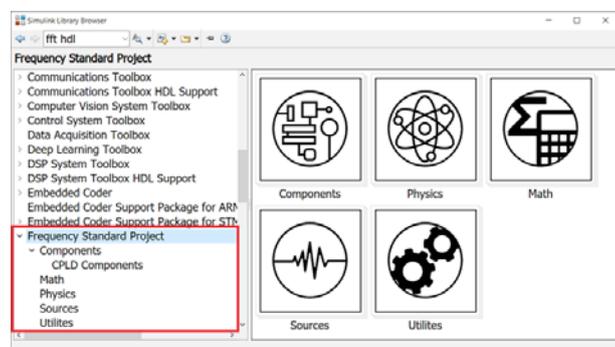
*Инженеры ЦИТМ Экспонента разработали систему управления атомного стандарта частоты для гражданского спутника с помощью создания полной системной модели, генерации С кода и моделирования атомной лучевой трубки (АЛТ).*

*Такой подход сократил сроки проекта в 4-5 раз и позволил передать знания и компетенции команде заказчика для самостоятельной работы с моделью и алгоритмами.*



Стандарт частоты – высокостабильный по частоте источник электромагнитных сигналов (радиодиапазона или оптических).

Стандарты частоты используются в качестве вторичных или рабочих эталонов в метрологических измерениях, а также при производстве высокоточных средств измерений частоты и времени, в радионавигации, радиоастрономии и в других сферах.



**Рис. 1.** Библиотека блоков Frequency Standard Project в Simulink

*«Мы подключились к проекту, когда заказчиком уже были созданы прототипы устройства, но без моделирования не удавалось качественно настроить систему управления. Заказчик обратился к нам, чтобы совместно смоделировать физику атомной трубки и разработать систему управления с последующей реализацией на отечественной элементной базе» –*

*инженерная команда  
ЦИТМ Экспонента*



## Задача

Наличие у заказчика физического прототипа АЛТ позволяло экспериментально оценивать различные варианты системы управления, но такой подход все же не давал ответа на вопрос об оптимальности настроек регуляторов, и подобные проверки требовали модификации существующих или разработки новых дорогостоящих прототипов.

Заказчик рисковал потратить значительную часть времени проекта на написание исполняемого кода неэффективной системы управления, проблемы применения которой могли бы вскрыться только на стадии тестирования устройства.

Тогда было решено пригласить инженеров ЦИТМ Экспонента для разработки системы управления атомного стандарта частоты для гражданского спутника и ее реализации на российской элементной базе.

## Решение

Решением вышеописанных трудностей послужила системная модель устройства, включающая математическую модель АЛТ и модели цифровых алгоритмов управления, а также позволяющая быстро перейти к реализации этих алгоритмов на выбранном вычислителе. А опыт модельно-ориентированного проектирования (МОП) и автоматической генерации кода, накопившийся у ЦИТМ Экспонента за десятки реализованных проектов, гарантировал создание подобной модели в короткие сроки.

Так как инженеры со стороны заказчика лучше понимали физику процессов в цезиевом стандарте частоты, а специалисты Экспоненты – в построении системных моделей, то совместную работу было решено выполнять в формате «Сопровождение проекта».

Первым этапом осуществлялось моделирование основного компонента системы – АЛТ в среде Simulink. Была создана модель, описывающая АЧХ трубки с учетом эффекта Зеемана – расщепления резонансного пика под действием внешнего магнитного поля. Параметры модели АЛТ уточнялись по экспериментальным данным частотной характеристики, снятой с прототипа трубки, как в ручном, так и в автоматическом режиме при помощи инструмента Simulink Design Optimization.

Затем на основе имеющегося прототипа устройства была создана полная системная модель, позволяющая проектировать и тестировать систему управления, а также настраивать ее параметры с учетом шумов и других физических эффектов. Использование среды Simulink и сопутствующих программных пакетов, в купе с лучшими практиками моделирования от ЦИТМ Экспонента, позволило:

- настроить двухконтурную систему управления;
- создать удобный интерфейс управления параметрами моделирования;
- линеаризовать нелинейную модель в нескольких рабочих точках;
- разработать цифровые фильтры, в том числе адаптивный фильтр Калмана, для подавления шумов в контуре обратной связи;
- структурировать все артефакты проекта (модели, скрипты, данные) и подключить их к системе контроля версий Git;
- разработать библиотеку блоков основных компонентов стандарта частоты и протестировать еще несколько системных моделей перспективного варианта устройства.

На завершающем этапе проекта из модели настроенного алгоритма управления был сгенерирован код на языке Си для платы NeuroMatrix производства НТЦ «Модуль» с помощью пакета поддержки РИТМ: Встраиваемые системы для NeuroMatrix. Помимо самого алгоритма на плате также запускался графический интерфейс управления стандартом частоты, сгенерированный из того же пакета поддержки.

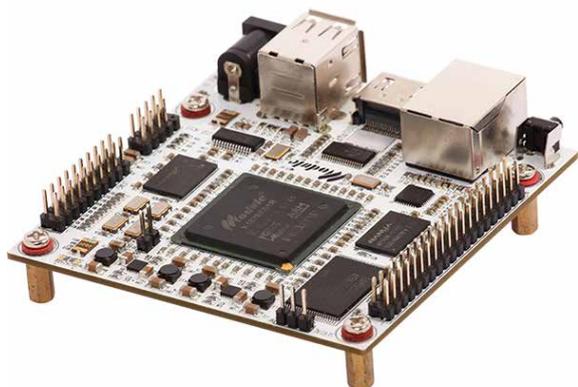


Рис. 2. Отладочная плата NeuroMatrix производства НТЦ «Модуль»

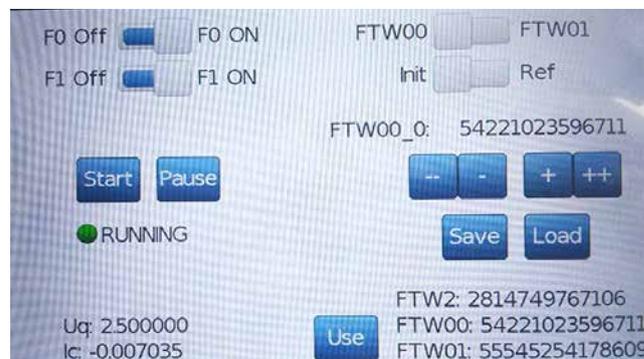


Рис. 3. Графический интерфейс управления стандартом частоты

## Результаты работ

Основным результатом является настроенная и отлаженная по модели **система управления атомного стандарта частоты**. Благодаря построению системной модели удалось оптимально настроить регуляторы и разработать эффективные алгоритмы фильтрации шумов, т. е. решить задачи, которые без моделирования не решаются или решаются ограниченно.

Дополнительно были построены и проанализированы еще несколько вариантов системных моделей, анализ и симуляция которых позволили выявить проблемы проектирования **без создания дорогостоящих прототипов**.

Автоматическая генерация исполняемого кода и графического интерфейса **сэкономила месяцы работы** программистов и позволила быстрее приступить к созданию прототипов на базе платы NeuroMatrix.

Инженеры одного из подразделений заказчика оценили и освоили метод модельно-ориентированного проектирования и планируют расширять его применение в других проектах. Применение МОП на данном проекте позволило добиться результата за 30 рабочих дней, а разработанный проект и **переданные лучшие практики моделирования** от ЦИТМ Экспонента позволили заказчику поддерживать и развивать модель и алгоритмы самостоятельно.

## Используемые технологии:

- Системное моделирование
- Автоматическая генерация кода

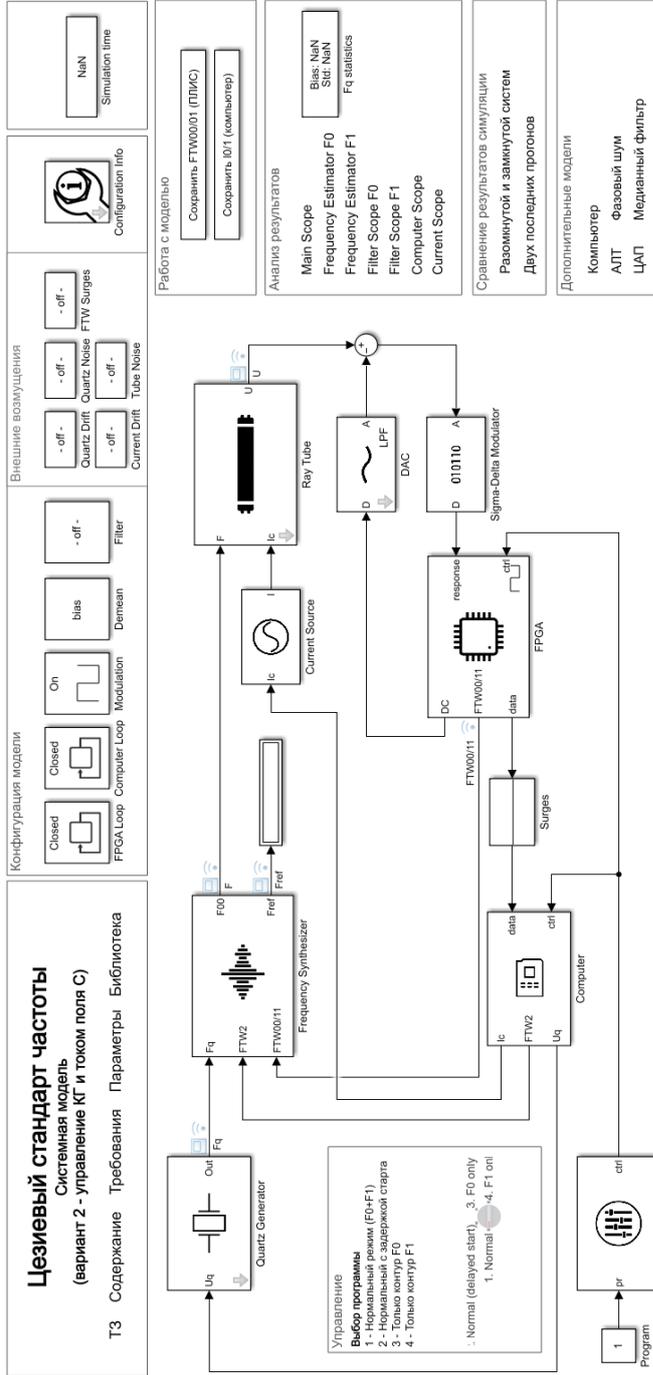


Рис. 4. Системная модель стандарта частоты

Обсудите с нами ваш проект: [info@exponenta.ru](mailto:info@exponenta.ru)