

Разработка автоматической регулировки усиления оптического сигнала в квантовом стандарте частоты на атомах рубидия-87

А.В. Шавшин

Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия
shavshin2107@gmail.com

В.В. Давыдов

Санкт-Петербургский Политехнический университет
Петра Великого
Санкт-Петербург, Россия
ВНИИФ Российской академии наук
Московская область, Россия
davydov_vadim66@mail.ru

Аннотация—Обоснована необходимость разработки новой конструкции автоматической регулировки усиления оптического сигнала для обеспечения стабильности выходных параметров квантового стандарта частоты (КСЧ) на атомах рубидия - 87 при различных внешних условиях его эксплуатации. Особенно это актуально при эксплуатации данного КСЧ в составе подвижных объектов различного назначения. Представлена новая схема автоматической регулировки усиления в оптическом тракте КСЧ на атомах рубидия-87. Подробно рассмотрен усилитель сигнала ошибки, формируемой на фотоприемнике для управления сигналом СВЧ. Представлены экспериментальные исследования метрологических характеристик квантового стандарта частоты на атомах рубидия – 87 с автоматической регулировкой усиления. Подтверждена обоснованность разработанной схемы автоматического усиления для нового стандарта частоты на атомах рубидия - 87.

Ключевые слова— квантовый стандарт частоты, оптический сигнал, автоматическая регулировка усиления, СВЧ-тракт, сигнал ошибки, девиация Аллана.

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время с приходом новых технологий вопрос о точном измерении частоты и времени является наиболее актуальным для различных сфер жизни [1, 2]. Особенно большое внимание уделяется космическим аппаратам, используемым для спутниковой навигации или же зондирования Земли. Квантовые стандарты частоты являются в них одним из основных функциональных блоков, выполняющих синхронизацию спутников друг с другом или синхронизацию спутника с базовыми станциями на Земле. В настоящее время разработано большое число моделей КСЧ для космического применения. Одним из них является квантовый стандарт частоты на атомах рубидия – 87.

Эти стандарты частоты используются в системах ГЛОНАСС и GPS в качестве синхронизирующих генераторов, а также на подвижных объектах в земной атмосфере. В каждой области существуют свои требования к точности получаемых данных. При зондировании Земли точность результатов является одним из главных факторов. Создание кварцевых часов было бы невозможным без сопутствующего развития технологии создания осцилляторов, стандартов частоты и методов синхронизации. Оборудование, используемое в этих сферах деятельности, имеет различные требования к

точности и стабильности частоты задающих генераторов. Выполнение этих требований в спутниковых системах имеет ряд дополнительных трудностей, связанных как с особенностями среды функционирования, так и с автономностью самого объекта. Одним из главных факторов, влияющих на точность при зондировании, являются системные погрешности, вносимые аппаратурой космического комплекса [1]. Это приводит к ошибкам при формировании сигнала с фотоприемника после регистрации оптического излучения. Эти ошибки необходимо устранять.

Одним из элементов их устранения является автоматическая регулировка усиления (АРУ) для рубидиевого стандарта частоты. При изменении температуры окружающей среды или иного внешнего воздействия, выходные характеристика стандарта частоты без системы АРУ претерпевают изменения, от которых необходимо избавляться. Модернизация конструкции КСЧ на атомах рубидия – 87 и изменение условий его эксплуатации требует разработки новых систем АРУ.

2. КВАНТОВЫЙ СТАНДАРТ ЧАСТОТЫ НА АТОМАХ РУБИДИЯ – 87 И СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОЙ РЕГУЛИРОВКИ УСИЛЕНИЯ

За последние годы конструкция КСЧ на атомах рубидия – 87 не претерпела существенных изменений по принципу построения функциональных блоков [2]. На рис. 1 представлена структурная схема КСЧ на атомах рубидия – 87. Система автоматической регулировки усиления расположена в преобразователе частоты. Принцип работы, которого устроен следующим образом: с кварцевого генератора поступает сигнал 5 МГц на два кольца ФАПЧ, первое настроено на 100 МГц, второе на 6,8 ГГц. Также параллельно сигнал с кварцевого генератора подаётся на синтезатор частоты, настроенный на частоту 34,5 МГц. Частота сигнала, с которого выходит не постоянная, а с периодической амплитудной модуляцией. Далее эти два сигнала смешиваются, получая на выходе сигнал с точной частотой 6,834 ГГц, который поступает на систему АРУ, предназначенной для стабилизации уровня сигнала на одном уровне. После прохождения АРУ, сигнал поступает на аттенуатор, необходимый для конечной корректировки уровня сигнала на выходе. После этого выходной сигнал поступает на квантовый дискриминатор, формирующий

сигнал ошибки, который необходим для корректировки работы кварцевого генератора.

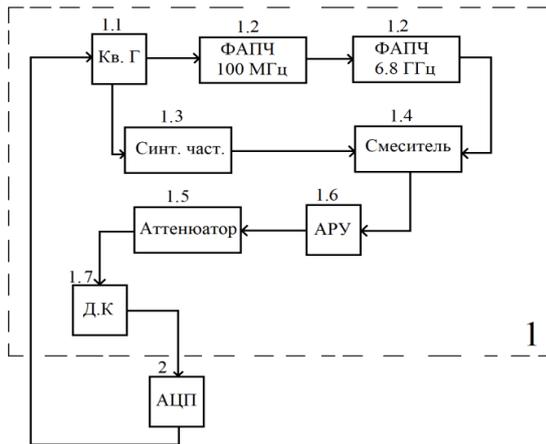


Рис. 1. Структурная схема рубидиевого стандарта частоты: 1 – преобразователь частоты; 1.1 – кварцевый генератор; 1.2 – кольцо фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ); 1.3 – синтезатор частоты; 1.4 – смеситель; 1.5 – аттенуатор; 1.6 – автоматическая регулировка усиления; 1.7 – квантовый дискриминатор; 2 – аналого-цифровой преобразователь (АЦП)

На рис. 2 представлена принципиальная схема разработанной системы АРУ.

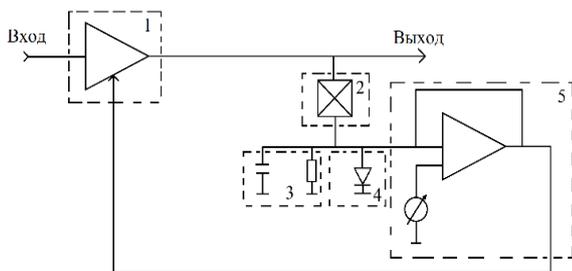


Рис. 2. Схема автоматической регулировки усиления рубидиевого стандарта частоты: 1 – усилитель напряжения СВЧ сигнала на полевом транзисторе; 2 – направленный ответвитель; 3 – фильтр нижних частот; 4 – детекторный диод; 5 – усилитель сигнала «ошибки», для управления питанием полевого транзистора, первого усилителя

На вход системы поступает заведомо ослабленный по напряжению сигнал, поэтому его необходимо будет усилить, чтобы на выходе системы итоговая мощность сигнала была равна 20 мкВт. Для этого будет использован усилитель на полевом транзисторе (1). Далее для формирования сигнала «ошибки» часть сигнала проходит через направленный ответвитель (2) в цепь регулировки питания полевым транзистором первого усилителя, а часть сигнала подаётся на выход системы. Далее будущий сигнал «ошибки» необходимо продетектировать, для получения постоянной составляющей сигнала.

Для этих целей будет использован детекторный СВЧ-диод (4). После детектирования сигнал в разных случаях будет иметь разную амплитуду, поэтому необходимо иметь возможность подстраивать его амплитуду на необходимый для нас уровень. Для этого используется

усилитель сигнала «ошибки» на операционном усилителе (5).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК КВАНТОВОГО СТАНДАРТА ЧАСТОТЫ

В качестве примера в работе приведены результаты исследования характеристик КСЧ в диапазоне изменения температур от $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ в соответствии с возможными техническими условиями эксплуатации прибора.

Опытный образец АРУ был включен в состав конструкции КСЧ, у которого были измерены выходные характеристики. После обработки полученных данных были построены графики зависимости значений дисперсии Аллана $\sigma(\tau)$ от времени τ для модернизированной и предыдущей конструкции КСЧ рис. 3.

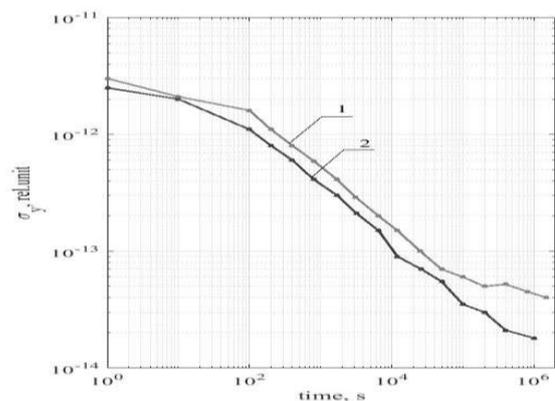


Рис. 3. График зависимости значений дисперсии Аллана от времени с использованием новой системы АРУ (график 2) и ранее используемой (график 1) в КСЧ

Полученные результаты показывают улучшение дисперсии Аллана $\sigma(\tau)$ на 12%. Исследования работы КСЧ проводились в течении 12 суток в температурной камере.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты анализа работы опытного образца показали, что выбранная схема реализации работает корректно и внедрение системы автоматической регулировки усиления улучшает выходные характеристики преобразователя частоты. Система АРУ позволила уменьшить значения дисперсии Аллана на 12%.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Петров, А.А. О возможности применения метода прямого цифрового синтеза при разработке синтезаторов частоты для квантовых стандартов частоты / А.А. Петров, В.В. Давыдов, Н.М. Гребеникова // Радиотехника и электроника. – 2018. – Т. 63, № 11. – С. 1159-1164.
- [2] Риле, Ф. Стандарты частоты: принципы и приложения / Ф. Риле. – М.: Физматлит, 2009. – 511 с.