

Модернизация оптической части квантового стандарта частоты на атомах рубидия-87 для улучшения метрологических характеристик

А.С. Гревцева¹, В.В. Давыдов^{1,2}, В.Ю. Рудь^{2,3}

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251

²Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии, Институтский пр. 5, Большие Вяземы, Россия, 143050

³ФТИ А.Ф. Иоффе, Политехническая 26, Санкт-Петербург, Россия, 194021

Аннотация

Рассмотрены основные недостатки действующей конструкции квантового стандарта частоты на атомах рубидия-87, которая используется в спутниковых навигационных системах. Предложено одно из решений по модернизации оптической части конструкции рубидиевого стандарта частоты. Выполнен расчет выходных параметров для модернизированной конструкции стандарта с учетом введенных дополнительных элементов, включая оптические. Предложена методика проведения экспериментальных исследований основных характеристик квантового стандарта на атомах рубидия-87.

Ключевые слова

Квантовый стандарт частоты, оптическая накачка, оптический переход, стабильность, фазовая автоподстройка частоты резонанса

1. Введение

В современной навигации одной из важных задач является определение точного времени и частоты. Для решения данной задачи глобальные навигационные спутниковые группировки, такие как российский ГЛОНАСС и глобальные системы позиционирования США (GPS) активно используют квантовые стандарты частоты (КСЧ), среди них рубидиевые КСЧ [1, 2].

В настоящее время с развитием радиоэлектронной аппаратуры требования к точности спутниковых систем навигации постоянно повышаются, что делает задачу по их модернизации особенно актуальной [2]. Модернизация стандартов частоты не является исключением, данный процесс включает в себя как изменение габаритов и веса конструкции, так и улучшение их метрологических характеристик. Необходимо отметить, что для КСЧ модернизация может быть проведена не для всей его конструкции, а только для отдельных блоков [1, 2]. В данной работе рассматривается одно из возможных решений по модернизации конструкции квантового стандарта частоты на атомах рубидия-87.

2. Модернизация конструкции рубидиевого стандарта частоты

В отечественных и зарубежных моделях КСЧ на атомах рубидия-87 основные принципы работы остаются неизменными. В основе принципа лежит автоматическая подстройка частоты КГ к значению частоты квантового перехода в оптически ориентированных атомах Rb-87. Для реализации подстройки частоты КГ оптическая ячейка атомного дискриминатора (АД) облучается СВЧ сигналом, частота которого соответствует частоте квантового перехода возбужденных атомов рубидия-87. В применяемых в настоящее время методах формирования СВЧ есть существенный недостаток. В спектре выходного сигнала с частотой 5,313 МГц присутствуют боковые амплитудные составляющие. Наличие боковых составляющих создают

дополнительные оптические сигналы, которые могут привести к возникновению погрешности в установлении значения частоты выходного сигнала рубидиевого стандарта.

В новой конструкции стандарта СВЧ сигнал с частотой 6834,7 МГц предлагается синтезировать с помощью системы двух кольцевой фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ). Схема синтеза представлена на рис. 1.

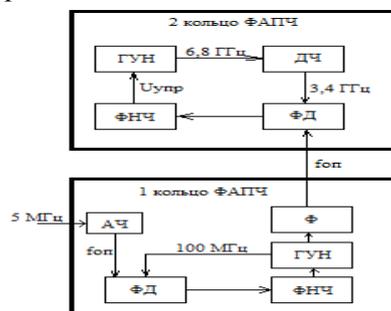


Рисунок 1: Структурная схема двух кольцевой системы ФАПЧ: ГУН – генератор управляемый напряжением; ДЧ – делитель частоты; ФД – фазовый детектор; ФНЧ – фильтр нижних частот; АЧ – аналоговая часть; Ф – фильтр

Основными элементами системы ФАПЧ являются фазовый детектор (ФД), на один из входов которого подается сигнал от генератора, управляемого напряжением (ГУН). Другой вход ФД подключен к источнику опорного сигнала с частотой $f_{оп}$. Фазовый детектор сравнивает сигналы на обоих входах и генерирует сигнал ошибки, который после фильтрации и усиления (при необходимости) подстраивает частоту ГУН. В составе системы ФАПЧ используется также фильтр нижних частот (ФНЧ), включаемый между выходом ФД и входом ГУН и определяющий во многом ее частотные свойства. Сигнал СВЧ синтезируется в два этапа. В первом кольце ФАПЧ происходит подстройка ГУН с выходной частотой 100 МГц, для этого в микросхеме ФД согласно формуле (1) подбираются коэффициенты деления опорной и входной частоты.

$$f_{вых} = \frac{f_{оп} * K}{K_{оп}}, \quad (1)$$

где $f_{оп} = 5$ МГц – частота опорного сигнала, K – коэффициент деления входной частоты, $K_{оп}$ – коэффициент деления опорной частоты, $f_{вых}$ – выходная частота ГУН.

Во втором кольце ФАПЧ аналогично подстраивается ГУН с выходной частотой 6,8 ГГц. Для создания точного значения частоты квантового перехода на финальном этапе дробная составляющая подмешивается к выходному сигналу системы ФАПЧ. При этом необходимый сигнал 6,8347 ГГц сразу поступает на вход АД, СВЧ диод из новой схемы исключается.

3. Заключение

Разработанная конструкция блока КСЧ имеет главное преимущество: более чистый спектр выходного оптического сигнала, поступающего на фотодетектор. Это позволяет снизить погрешность в установлении действительного значения частоты выходного сигнала рубидиевого КСЧ, что улучшает стабильность работы прибора.

4. Литература

- [1] Grevtseva, A.S. Development of neural network for automatic calibration of ultrasonic thickness gauge // A.S. Grevtseva, V.V. Davydov, V.Yu. Rud / Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – Vol. 1697(1). – P. 012079.
- [2] Valov, A. On the need to use the median signal filtering method to improve the metrological characteristics of the rubidium frequency standard during processing and transmitting large data arrays // V. Valov, K. Lukashev / CEUR Workshop Proceedings. – 2020. – Vol. 2667. – P. 102-105.