

Стабилизация волоконного фемтосекундного синтезатора частот по оптическому стандарту частоты на основе одиночного иона иттербия

Н.А. Коляда^{1,*}, В.С. Пивцов^{1,2}, А.С. Дычков¹, С.А. Фарносов¹,
С.А. Кузнецов¹, А.А. Филонов¹, Д.Ю. Примаков¹

¹Институт лазерной физики СО РАН

²Новосибирский государственный технический университет

*E-mail: n.koliada@mail.ru

DOI: 10.31868/RFL2020.75-76

Фемтосекундный синтезатор частот является одной из основных частей фемтосекундных оптических часов (ФОЧ) [1 – 2]. ФОЧ позволяют исследовать фундаментальные физические процессы, измерять частоту переходов атомов и молекул, на их основе разрабатываются системы для увеличения точности спутниковой навигации и т.д. Современные ФОЧ включает в себя три основные части - опорный оптический стандарт частоты, фемтосекундный синтезатор, частоты которого стабилизируются по опорному стандарту и радиоэлектронная система стабилизации. Фемтосекундный синтезатор генерирует эквидистантную частотную гребенку. Каждая частота этой гребенки выражается суммой $f_n = f_o + n \cdot f_{rep}$, где f_o – частота смещения гребенки, f_{rep} – частота повторения импульсов (межмодовая частота), n – целое число [3]. Стабилизировав каким-либо способом две из этих трех частот, можно получить гребенку оптических и радиочастот, каждая компонента которой будет обладать относительной стабильностью опорного оптического стандарта.

В данной работе экспериментально исследовалась возможность прецизионной стабилизации фемтосекундной гребенки оптических частот, генерируемой с помощью фемтосекундного эрбиевого волоконного лазера, по оптическому стандарту частоты на основе одиночного иона иттербия [4]. При этом частота смещения гребенки f_o детектировалась с помощью двухплечевого f - $2f$ интерферометра [5] и стабилизировалась с помощью внerezонаторного акустооптического частотного модулятора (АОЧМ) с волоконными выводами. Данный подход позволил увеличить полосу стабилизации частоты смещения до нескольких десятков кГц. С помощью оптического смесителя была получена частота биений f_b между частотой выходного излучения Yb^+ стандарта (на длине волны 871 нм) и ближайшей к ней удвоенной по частоте компоненты фемтосекундной гребенки (на длине волны 1742 нм). Полученный сигнал биений стабилизировался с помощью внутррезонаторного электрооптического модулятора на основе кристалла КТР [6]. Таким способом были стабилизированы все компоненты фемтосекундной гребенки частот. Преимуществом предложенного метода является то, что обработка высокочастотных возмущений двух сигналов с помощью внутррезонаторного ЭОМ и внerezонаторного АОЧМ практически не влияет друг на друга. Такой подход позволил осуществить стабилизацию фазочастотных возмущений в полосе ~ 200 кГц для f_b с помощью ЭОМ и в полосе ~ 30 кГц f_o с помощью АОЧМ. Полоса обработки с помощью АОЧМ ограничена рабочей полосой радиоэлектронной системы стабилизации и конфигурацией АОЧМ, и может быть увеличена.

Были проведены исследования нестабильности выходных радиочастот волоконного фемтосекундного синтезатора. Для реализации схемы измерения дополнительно к волоконному фемтосекундному синтезатору был использован

фемтосекундный синтезатор на основе Ti:Sa лазера, разработанный ранее в Институте лазерной физики СО РАН. Каждый из синтезаторов стабилизировался по частотам двух различных лазерных систем входящих в состав оптических стандартов на основе одиночного иона иттербия. В обоих синтезаторах детектировался сигнал межмодовых биений на частоте ~ 3 ГГц. С помощью радиочастотного смесителя был получен разностный сигнал на частоте ~ 10 МГц. Полученный разностный сигнал после фильтрации регистрировался с помощью измерителя фазовых шумов MicrosemiTSC-5120A. Данный прибор сравнивает по фазе опорный и исследуемый сигнал. В качестве опорного сигнала использовался сигнал от водородного стандарта пассивного типа (ЗАО «Время-Ч») с частотой 10 МГц. Из полученных данных был рассчитан параметр Аллана, характеризующий суммарную относительную нестабильность двух фемтосекундных синтезаторов. Получены значения близкие к значениям нестабильности лазерных систем оптических стандартов.

Работа была проведена с использованием оборудования ЦКП "Фемтосекундный лазерный комплекс" при ИЛФ СО РАН. Исследования выполнены при финансовой поддержке программы фундаментальных научных исследований СО РАН № П.11.1.

Литература

- [1] S.N. Bagayev, V.I. Denisov et al, *Laser Phys.* **14**, 1367 -1374 (2004)
- [2] S.A. Diddams, Th. Udem et al, *Science* **293**, 825 - 828 (2001)
- [3] H.R. Telle, G. Steinmeyer et al, *Appl. Phys. B* **69**, 327-332 (1999)
- [4] S.V. Chepurov, A.A. Lugovoy et al, *Quantum Electronics* **49**, 412-417 (2019)
- [5] M.C. Stumpf, S. Pekarek et al, *Appl. Phys. B* **99**, 401-408 (2010)
- [6] N.A. Koliada, B.N. Nyushkov et al, *Quantum Electronics* **46**, 1110-1112 (2016)