

Солитонный волоконный лазер с гармонической синхронизацией мод: эффект резонансной инъекции излучения и особенности его применения для подавления межмодового шума и тонкой настройки частоты следования импульсов

В.А. Рибенек^{1*}, П.А. Итрин¹, Д.А. Коробко¹, А.А. Фотиади^{1,2}

¹Ульяновский государственный университет

²Университет г. Монс, Бельгия

*E-mail address: ribl98@mail.ru

DOI:10.31868/RFL.2022.56-57

В последнее десятилетие благодаря перспективам применения в генераторах оптических гребенок и телекоммуникационных системах интенсивно развиваются лазерные импульсные источники с частотой следования импульсов (ЧСИ) до десятков ГГц. Волоконные лазеры, оперирующие в режиме гармонической синхронизации мод (ГСМ), при котором множество импульсов равномерно распределено по резонатору представляют собой крайне привлекательную альтернативу полупроводниковым и твердотельным лазерам с точки зрения удобства вывода излучения, качества выходного пучка, простоты изготовления и гибкости в настройке.

Основным недостатком волоконных ГСМ-лазеров являются шумовые отклонения амплитуды импульса и межимпульсного расстояния от среднего значения – амплитудный и временной джиттер, значительно превосходящий джиттер лазеров на фундаментальной ЧСИ. Величина джиттера ГСМ-лазера напрямую связана с уровнем супермодового шума. Подавление последнего соответствует стабилизации импульсной последовательности, т.е. ее приближению к идеальному периодическому сигналу. Еще одной важной задачей технологии ГСМ лазеров является тонкая настройка ЧСИ. В большинстве известных ГСМ лазеров для перестройки ЧСИ используется изменение уровня накачки, при этом ЧСИ изменяется с накачкой ступенчато, со скачками порядка сотен МГц, затрудняя точную регулировку. Устранение указанных недостатков значительно расширит прикладной потенциал волоконных ГСМ-лазеров, в частности, в контексте применения в высокоточных системах спектроскопии.

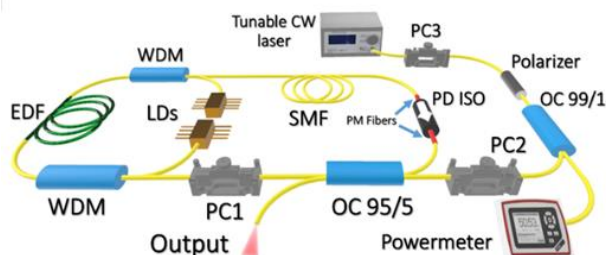


Рис. 1. Схема волоконного лазера. EDF – волокно, легированное Er, PC – контроллер поляризации, PM ISO – поляризационно-чувствительный изолятор, OC – выходной ответвитель, LDs – диоды накачки.

В данной работе рассмотрен универсальный метод решения задач подавления супермодового шума и точной настройки ЧСИ солитонного ГСМ-

лазера, связанный с применением инъекции в резонатор излучения внешнего узкополосного лазера. Схема эксперимента представлена на рис. 1.

В ходе работ нами экспериментально зафиксирован эффект подавления супермодового шума в кольцевом волоконном солитонном ГСМ-лазере при инъекции внешней непрерывной (CW) компоненты. Условием реализации эффекта является спектральная близость инжектируемой CW-компоненты и солитонного пика Келли, приводящая к синхронизации фаз между непрерывным фоном и солитонами [1]. Посредством предложенного метода подавления супермодового шума временной джиттер волоконных HML лазеров может быть снижен до уровня, сравнимого с джиттером лазеров, оперирующих на фундаментальной ЧСИ (рис.2).

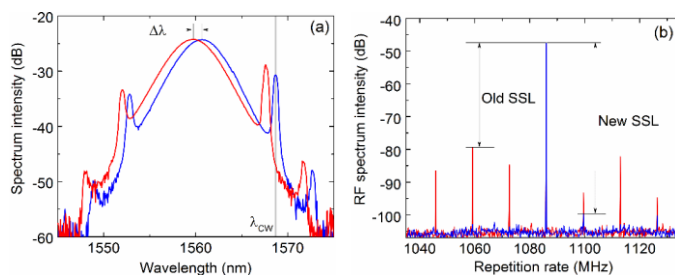


Рис.2. Оптический (а) и РЧ (б) спектры ГСМ лазера с ЧСИ=1.084 ГГц до (красные) и после (синие линии) инъекции внешнего непрерывного лазера.

Также в данной конфигурации продемонстрирован метод точной настройки ЧСИ [2]. Эффект демонстрирует сильную резонансную зависимость от длины волны непрерывного лазера и наблюдается в пределах двух узкополосных спектральных окон, окружающих центральную длину волны HML-лазера. Переключение ЧСИ, индуцированное CW-инжекцией, не влияет на рабочие характеристики лазера – энергию импульса, уровень супермодового шума и тд. При постепенном увеличении мощности инжектируемого непрерывного излучения ЧСИ изменяется с элементарным шагом один за другим (рис.3). Этот процесс можно остановить в любой момент, отключив инъекцию, при этом ГСМ-лазер продолжает генерацию с ЧСИ, соответствующей последнему переходу. Как мы полагаем, полученные результаты дают важное представление о динамических особенностях волоконных ГСМ лазеров и могут послужить основой для их оптимизации и расширения сферы их приложений.

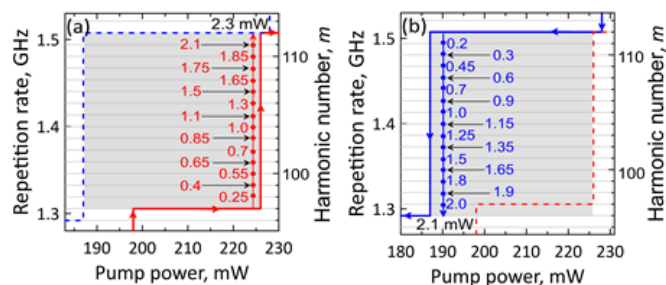


Рис.3. Точная пошаговая настройка от 97-й до 112-й (а) и от 112-й до 96-й (б) гармоник, обеспечиваемая постепенным увеличением мощности инжектируемого непрерывного излучения.

Работа поддержана РФФИ (проект 19-72-10037) и Министерством Высшего образования и науки РФ (проект 075-15-2021-581).

Литература

- [1] D.A. Korobko, V.A. Ribenek, D.A. Stoliarov, et al., *Optics Express*, **30**(10), 17243-17258 (2022).
 [2] V. A.Ribenek, D.A Stoliarov, D.A.Korobko, et al., *Optics Letters*, **46**(22), 5687-5690 (2021).