

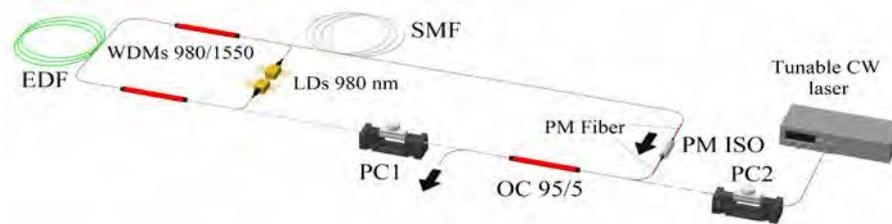
# ВОЛОКОННЫЙ ЛАЗЕР С ГАРМОНИЧЕСКОЙ СИНХРОНИЗАЦИЕЙ МОД И ТОЧНОЙ НАСТРОЙКОЙ ЧАСТОТЫ СЛЕДОВАНИЯ ИМПУЛЬСОВ

Рибенек В.А., Столяров Д.А., Коробко Д.А.

Ульяновский государственный университет

Лазерные генераторы импульсных последовательностей с высокой частотой следования (более 1 ГГц) широко востребованы как в научных, так и технологических приложениях, например, в радиофотонике, спектроскопии и телекоммуникациях. Волоконные лазеры в этой области представляют собой крайне привлекательную альтернативу полупроводниковым и твердотельным лазерам с точки зрения удобства вывода излучения, качества выходного пучка, простоты изготовления и гибкости в настройке. Излучение ГГц импульсных последовательностей волоконными лазерами возможно только в многоимпульсном режиме, так называемой, гармонической синхронизации мод (ГСМ), при котором множество импульсов равномерно распределено по резонатору.

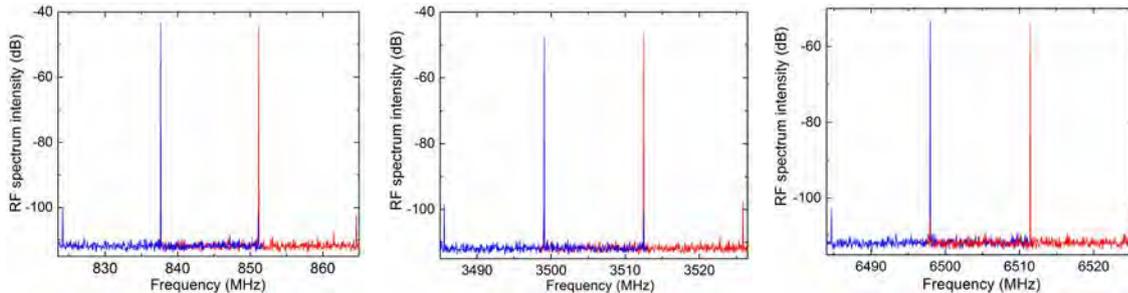
Важной задачей технологии ГСМ лазеров является точная настройка частоты следования импульсов [1]. Ее решение повышает интерес к волоконным лазерам со стороны ряда прикладных задач, например высокоточной спектроскопии. В большинстве известных ГСМ лазеров для перестройки частоты следования используется изменение уровня накачки, причем частота следования изменяется с накачкой ступенчато. Скачки частоты следования при увеличении и снижении накачки происходят при различных ее уровнях, соответствуя эффектам гистерезиса, характерным для солитонных лазеров [2]. Размер этих скачков, особенно в мульти-ГГц диапазоне, имеет порядок сотен МГц. Таким образом при перестройке порядок гармоник, на которой осуществляется синхронизация мод, скачкообразно изменяется на десятки, что затрудняет точную регулировку частоты повторения. В данной работе нами рассмотрен способ точной подстройки частоты следования волоконного ГСМ-лазера, заключающийся в применении внешнего непрерывного источника (с шириной линии ~100 кГц), перестраиваемого в широком диапазоне длин волн. Схема эксперимента представлена на рис. 1.



**Рис. 1. Схема волоконного лазера. EDF – волокно, легированное Er, PC – контроллер поляризации, PM ISO – поляризационно-чувствительный изолятор, OC – выходной ответвитель, LDs – диоды накачки. Перестраиваемый непрерывный лазер подключается при необходимости точной настройки частоты следования выходных импульсов**

В режиме многоимпульсной генерации регулировкой контроллера поляризации PC1 достаточно легко осуществить ГСМ, при которой частота следования импульсов кратна фундаментальной. Максимально достигнутая частота следования составила 6.75 ГГц. При определенных уровнях накачки следует отметить скачки частоты следования, отвечающие малым изменениям накачки. Каждый из таких скачков соответствует появлению десятков новых импульсов в резонаторе лазера при этом, естественно, энергия отдельного импульса падает. Для точной настройки частоты следования импульсов в нашем эксперименте был использован внешний непрерывный лазер «Yenista T100», перестраиваемый по частоте. Ширина линии лазера ~ 100 кГц, а его максимальная выходная мощность составляет около 5 мВт. Лазер подключается к резонатору через выходной 5/95 ответвитель, состояние поляризации его излучения при вводе в резонатор контролируется посредством контроллера PC2. Эксперимент показывает, что инжекция внешнего излучения может оказывать воздействие на частоту следования импульсов кольцевого лазера, причем изменения частоты следования фиксируются лишь в том случае, когда длина волны внешнего CW источника

находится в пределах некоторых узких полос. Ширина полос возрастает с увеличением мощности СВ источника и достигает  $\sim 1$  нм при его максимальной выходной мощности ( $\sim 5$  мВт). При попадании длины волны внешнего СВ источника в пределы обозначенных полос радиочастотный (РЧ) спектр лазера с основным пиком, соответствующим частоте следования импульсов, испытывает возмущения. Главный результат эксперимента состоит в том, что при помощи контроллера поляризации РС2 перемещением основного пика, а, следовательно, и частотой следования импульсов можно управлять с максимальной точностью, равной фундаментальной частоте  $f_T$  (рис. 2). Отметим сохранение высокого качества импульсной последовательности – после перестройки уровень подавления межмодового шума (supermode noise) остается неизменным, немного снижаясь с частотой следования  $f_{rep}$ : от  $\sim -57$  dB на  $f_{rep} \approx 330$  MHz до  $\sim -46$  dB на  $f_{rep} \approx 6500$  MHz.



**Рис.2. РЧ спектры лазера до и после перестройки частоты следования импульсов, производимой при помощи регулировки поляризации внешнего непрерывного лазера. Точность подстройки равна фундаментальной частоте резонатора  $f_T = 13.46$  МГц. Мощность накачки (слева направо) – 290 мВт, 360 мВт, 960 мВт**

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

## Литература

1. Yeh D.H., He W., Pang M., Jiang X., Wong G. & Russell, P.S.J. (2019). *Optics letters*, 44(7), 1580-1583
2. Tang D.Y., Zhao L.M., Zhao B. & Liu A. Q. (2005). *Physical Review A*, 72(4), 043816