

СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ ПУЛЬСАЦИЙ В КОЛЬЦЕВОМ ВОЛОКОННОМ ЛАЗЕРЕ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРФЕРОМЕТРА МАХА — ЦЕНДЕРА *

✉ А. В. Судьин¹, И. А. Волков¹, С. Н. Ушаков^{1,2}, А. В. Спириин¹, К. Н. Нищев¹

¹ Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева, Саранск, Россия

² Институт общей физики им. А. М. Прохорова РАН, Москва, Россия

✉ alexsandr.sudin1999@mail.ru

Исследование и разработка волоконных лазерных источников с высокой частотой повторения импульсов актуальны для применения в направлениях высокоскоростной оптической связи, спектроскопии и прецизионного оптического отбора проб. Одним из методов достижения частоты повторения импульсов в ГГц- и ТГц-диапазонах является получение гармонической синхронизации мод высокого порядка в лазерах с коротким резонатором. Однако этот метод может приводить к появлению разнообразных коротко- и длиннопериодических пульсаций [1]. Одним из способов стабилизации частоты повторения импульсов является добавление высокоселективного частотного фильтра внутрь резонатора, например интерферометра Фабри — Перо, Жире — Турнуа или Маха — Цендера [2]. В данной работе проведено исследование стабилизации частоты пульсаций в кольцевом волоконном лазерном источнике с помощью интерферометра Маха — Цендера.

Схема кольцевого волоконного лазерного источника представлена на рис. 1. Она состоит из источника накачки (ЛД) и резонатора, в котором активной средой является иттербиевое волокно с двойной оболочкой (YDF), а с помощью изолятора создается однонаправленное излучение. Интерферометр Маха — Цендера в схеме образуется делителем поляризации (ДП), контроллером поляризации (КП2), волокном с ненулевой смещенной дисперсией (NZDSF) и разветвителем 1x2 50/50. Все остальные волокна в резонаторе являются пассивными одномодовыми волокнами (ПВ). Общая длина резонатора равна 46 м, а частота повторения импульсов 4,52 МГц. Различные режимы работы достигаются регулировкой положений контроллеров поляризации КП1 и КП2. Лазерное излучение регистрировалось анализатором оптического спектра Yokogawa AQ6370C и осциллографом GWINSTEK GDS-3000 (500 МГц).

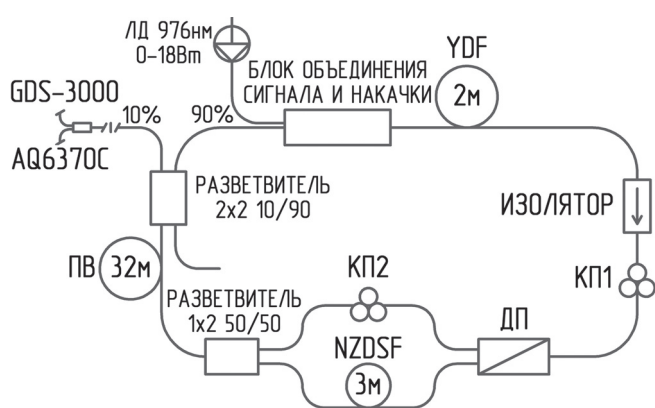


Рис. 1. Схема кольцевого волоконного лазерного источника

Лазерное излучение регистрировалось анализатором оптического спектра Yokogawa AQ6370C и осциллографом GWINSTEK GDS-3000 (500 МГц).

Исходя из наших исследований, в такой схеме волоконного лазерного источника можно выделить два основных режима работы. Выходные характеристики первого режима работы изображены на рис. 2 (а, в, д). Его оптический спектр (см. рис. 2, а) имеет две линии интенсивности на длинах волн 1068 и 1073 нм с полушириной на уровне -3 дБ 0,13 и 0,1 нм соответственно. На осциллограмме в диапазоне

* Исследование выполнено при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

© А. В. Судьин, И. А. Волков, С. Н. Ушаков, А. В. Спириин, К. Н. Нищев, 2024

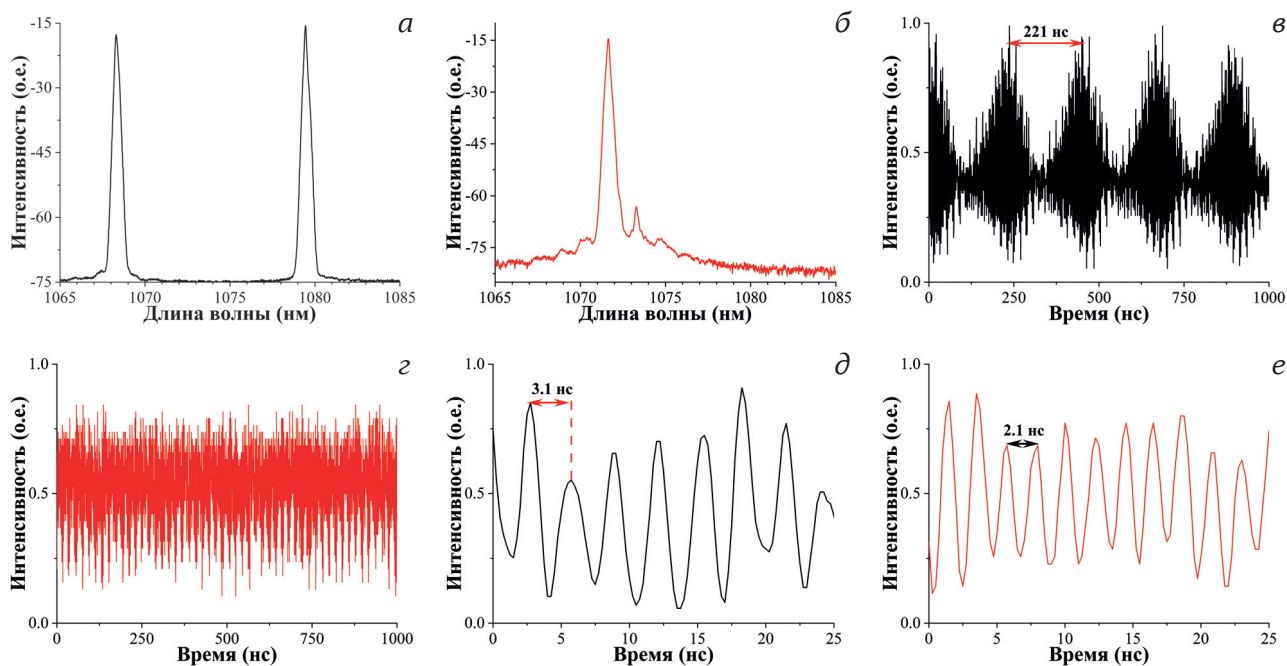


Рис. 2. Оптические спектры (а, б), осциллограммы в диапазоне 1 мкс (в, г) и 25 нс (д, е) для первого и второго типов режимов работы кольцевого волоконного лазера соответственно

1 мкс (см. рис. 2, в) видны модуляции с периодом повторения между ними 221 нс. Этот период соответствует одному обходу резонатора, что может говорить о наличии частичной синхронизации мод в этом случае. При этом на осциллограмме в диапазоне 25 нс (см. рис. 2, д), также видны модуляции интенсивности. Однако их период повторения равен 3,1 нс, что в 70 раз меньше периода обхода резонатора. Частота повторения импульсов в этом случае 322,58 МГц.

Для второго режима характерен оптический спектр (см. рис. 2, б) с центральной длиной волны 1072 нм с полушириной на уровне -3 дБ 0,12 нм. Основным отличием этого режима от первого является то, что на осциллограмме в диапазоне 1 мкс (рис. 2, г) не наблюдается модуляций интенсивности с периодом обхода резонатора. В этом случае период высокочастотных модуляций укоротился до 2,1 нс. Частота повторения импульсов в этом случае равна 476,16 МГц. Эти режимы в определенной степени коррелируют с гармонической синхронизацией мод и соответствуют 71-й и 105-й гармонике. При этом они обладают самозапуском и могут поддерживаться в течение длительного времени. В отличие от пассивной гармонической синхронизации мод, при которой может наблюдаться значительный джиттер между импульсами, введение в кольцевой резонатор интерферометра Маха — Цандера детерминирует его собственными частотами.

В работе был продемонстрирован способ стабилизации частоты пульсаций в кольцевом волоконном лазерном источнике с помощью интерферометра Маха — Цандера. Выявлено два основных режима работы такой схемы волоконного лазера: 1) гармоническая синхронизация мод на 71-й гармонике с модуляцией амплитуды частотой обхода резонатора; 2) гармоническая синхронизация мод на 105-й гармонике.

Литература

1. Soto-Crespo J. M., Grapinet M., Grelu P., Akhmediev N. Bifurcations and multiple-period soliton pulsations in a passively mode-locked fiber laser // Phys. Rev. E. 2004. Vol. 70. P. 066612.
2. Fodil R. S., Amrani F., Yang C. et al. Adjustable high-repetition-rate pulse trains in a passively-mode-locked fiber laser // Phys. Rev. A. 2016. Vol. 94. P. 013813.