

Зависимость порога модовой нестабильности в эрбиевом волоконном усилителе от мощности основного и встречного сигналов.

П.В. Пую, М.В. Зеленова, В.А. Тыртышный

ООО НТО «ИРЭ-Полнос»

Эффект модовой нестабильности (МН) возникает при превышении критического уровня мощности выходного излучения волоконного усилителя. Его суть заключается в перекачке энергии из основной моды LP₀₁ в высшую LP₁₁ сердцевины активного волокна [1]. Данное явление сопровождается резким ухудшением качества выходного пучка и ограничивает среднюю мощность одномодового излучения [2]. Поиск способов борьбы с этим эффектом является актуальной задачей, и всестороннее изучение МН может в этом помочь.

Наибольшие мощности выходного излучения достигаются в волоконных лазерах и усилителях на основе иттербиевых активных световодов. Существует большое количество публикаций, посвященных экспериментальному исследованию МН в лазерах и усилителях на основе иттербиевых активных волокон, большая часть которых посвящена получению рекордно-высоких порогов. Однако в последние годы появились работы о исследовании характерного поведения усилителя в этом режиме. При МН наблюдаются колебания интенсивности основной моды с частотой несколько кГц [3]. По мере увеличения мощности накачки частота колебаний растет. Повышение сигнала на входе усилителя ведет к возрастанию порога. Так же исследования показали, что наличие обратных отражений наоборот существенно снижает порог МН [4]. Таким образом, на модовую нестабильность влияют оптические сигналы, поступающие в усилитель с обеих сторон.

В волоконных усилителях, работающих в спектральной области 1,55 мкм, используются активные световоды легированные эрбием и иттербием [5]. Их выходная мощность существенно ниже и ограничивается в первую очередь тепловыми и нелинейными эффектами, связанными с поглощением излучения возбужденными ионами эрбия, система уровней которого заметно сложнее, чем у иттербия. В некоторых случаях, в первую очередь при усилении одночастотного сигнала, в этих волокнах так же наблюдается модовая нестабильность. В настоящей работе проведено исследование этого эффекта в волоконном усилителе одночастотного излучения с длиной волны 1560 нм.

Для получения одночастотного излучения применяется лазерный диод с распределенной обратной связью (DFB-лазер). Для регулировки мощности входного сигнала излучение DFB-лазера дополнительно усиливается. Благодаря не высокой оптической мощности в предварительном усилителе не наблюдалась МН.

Волоконный усилитель состоит из неодномодового активного световода с сердцевиной, легированной ионами эрбия и иттербия, к которому с двух сторон приварены пассивные одномодовые волокна. Одномодовое волокно позволяет возбуждать основную моду активного волокна и фильтровать излучение высших мод на выходе. Ввод излучения диода накачки в усилитель осуществляется через многомодовое волокно. Рассеяние моды LP₁₁ при МН регистрируется фотодиодом, подключенным к осциллографу. Изолятор предохраняет источник входного сигнала от излучения усилителя. Коэффициент обратных отражений изменялся варьированием угла косоугольного скола выходного волокна. Часть обратно отраженного сигнала ответвлялась в измеритель мощности. Мощность выходного излучения измерялась с косоугольного скола.

В отсутствие МН наблюдается линейная зависимость мощности выходного сигнала от накачки усилителя. Дифференциальная эффективность составляет 28%. МН не наблюдается при мощности накачки менее 10 Вт. При достижении порога МН прекращается рост мощности выходного сигнала (см. рис. 2). Как показано на рис.3 сигнал с фотодиода быстро растет и начинает колебаться. Увеличение мощности накачки с 12 до 26 Вт повышает частоту колебаний с 2 до 3 кГц.

Показано, что в иттербий-эрбиевых усилителях так же проявляется эффект МН. Как и в случае иттербиевых усилителей порог МН схожим образом зависит от коэффициента обратных отражений и мощности входного сигнала.

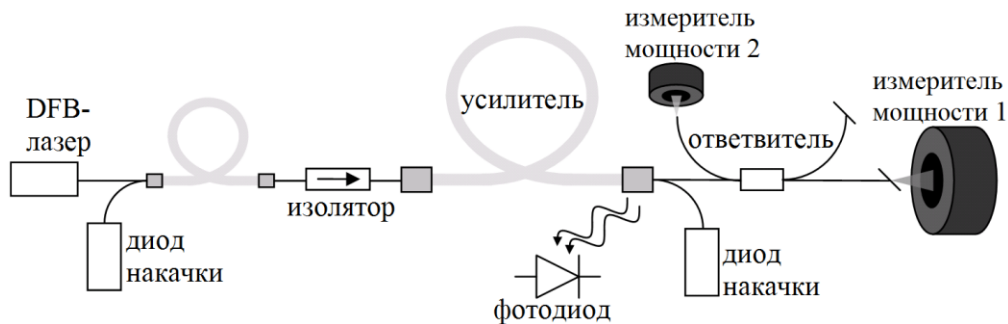


Рис.1. Блок-схема экспериментальной установки

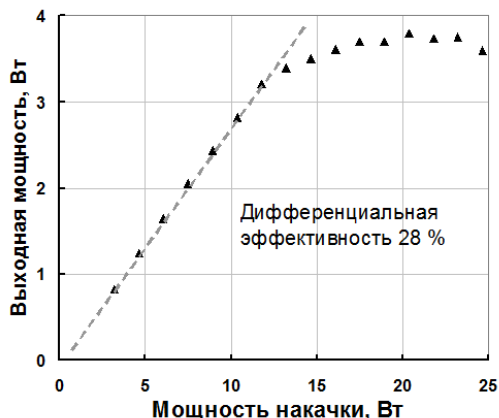


Рис.2. Зависимость выходной мощности от накачки.

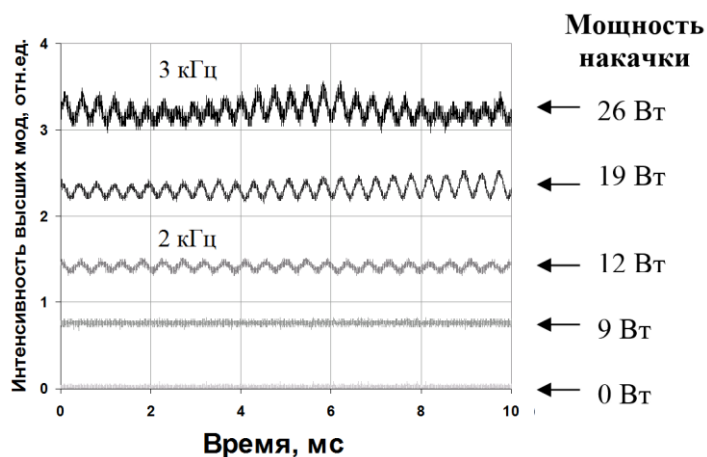


Рис.3. Интенсивность высших мод при разных уровнях накачки.

Литература

1. A. V. Smith and J. J. Smith. Mode instability in high power fiber amplifiers // Opt. Express. 2011 V. 19(11). PP. 10180–10192.
2. T. Eidam, C. Wirth, C. Jauregui, F. Stutzki, F. Jansen, H.-J. Otto, O. Schmidt, T. Schreiber, J. Limpert, and A. Tünnermann. Experimental observations of the threshold-like onset of mode instabilities in high power fiber amplifiers // Opt. Express. 2011. V. 19(14). PP. 13218–13224.
3. M. Kuznetsov, O. Vershinin, V. Tyrtshnyy, and O. Antipov. Low-threshold mode instability in Yb³⁺-doped few-mode fiber amplifiers // Opt. Express. 2014. V. 22. PP. 29714–29725.
4. Oleg Antipov, Maxim Kuznetsov, Dmitriy Alekseev, and Valentin Tyrtshnyy. Influence of a backward reflection on low-threshold mode instability in Yb³⁺-doped few-mode fiber amplifiers // Opt. Express. 2016. V. 24. PP. 14871–14879.

