

Волоконный фемтосекундный лазер с управлением фазой между несущей и огибающей

Н.Н.Головин¹, Н.И.Дмитриева¹, К.М. Сабакарь, А.К.Дмитриев^{1,2,*}

¹ Новосибирский государственный технический университет

² Институт лазерной физики СО РАН

*alexander_dmitriev@ngs.ru

DOI:10.31868/RFL2018.160-161

При получении аттосекундных импульсов существенное влияние имеет сдвиг фазы между огибающей и несущей [1]. Использование лазера-гетеродина, частота которого совпадала с низкочастотной, а его вторая гармоника – с высокочастотной областью спектра излучения фемтосекундного лазера позволило устранить сдвиг его частотной гребенки [2]. Это же удалось достичь при использовании акустооптического модулятора [3]. Вместе с тем была продемонстрирована возможность измерения сдвига гребенки частот лазеров с самосинхронизацией мод с произвольной шириной спектра излучения по смещению полос пропускания интерферометра Фабри-Перо, однако достигнутая погрешность измерения составила величину 10^{-2} от частоты повторения [4]. Во всех вышеописанных случаях сдвиг фазы между огибающей и несущей имеет произвольную величину.

В настоящей работе предложен метод реализации фемтосекундного излучения без сдвига частотной гребенки в отсутствие лазера-гетеродина при генерации синтезированной последовательности импульсов с требуемой разностью фаз между несущей и огибающей.

При стабилизации частоты повторения и сдвига гребенки частот по стандарту частоты радиодиапазона спектр излучения лазера представляет собой набор эквидистантно расположенных частот, интервал между которыми равен частоте повторения импульсов f при сдвиге частотной гребенки лазера Δ

$$\nu_m = mf + \Delta, \quad (1)$$

где целое положительное число m – номер моды.

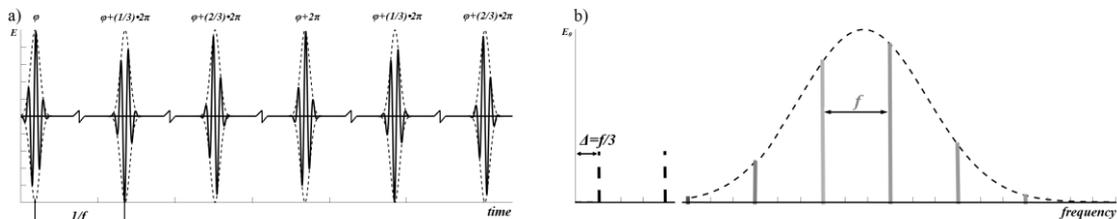


Рис. 1. Последовательность фемтосекундных импульсов (а) и их спектр излучения (б).

На рис. 1а представлена временная последовательность фемтосекундных импульсов при сдвиге частотной гребенки $\Delta=f/3$. Длительность импульсов τ ограничена спектральной шириной фемтосекундного излучения ω , а число оптических колебаний в импульсе определяется отношением длительности импульсов τ к периоду световых колебаний $1/\nu_0$.

Можно показать, что при выполнении соотношения:

$$k/q=f/\Delta, \quad (2)$$

где k и q – целые числа, при выделении из излучения фемтосекундного лазера каждого k -ого импульса при соблюдении соотношения (2) получается периодическая последовательность идентичных импульсов на частоте повторения.

$$F=f/k \quad (3)$$

При этом сдвиг синтезированной гребенки будет равен нулю, так что спектр излучения представляет набор частот

$$\nu_p=jF, \quad (4)$$

где j - целое положительное число, а число составляющих спектра в k раз больше по сравнению с излучением на выходе фемтосекундного лазера при неизменной ширине спектра.

Минимальные значения временного, а также пространственного интервала между импульсами в синтезированной последовательности реализуется при $k=3$, когда $\delta=\pm 1/3$. На рис. 2а изображено распространение таких фемтосекундных импульсов.

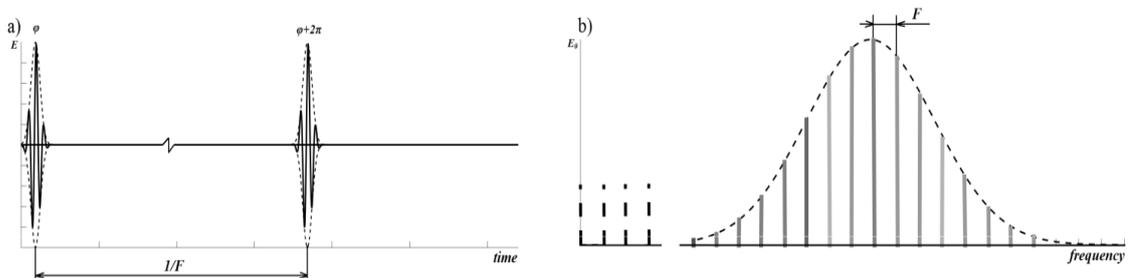


Рис. 2. Периодическая последовательность синтезированных фемтосекундных импульсов (а) и их спектр излучения (б).

Отметим, что в этом случае будет иметь место произвольный сдвиг фазы несущей относительно огибающей.

Из всех возможных последовательностей импульсов сдвиг фазы несущей относительно огибающей может селективно с дискретностью $2\pi/k$ от минимального значения $\varphi_{\min} \leq 2\pi/k$ до 2π .

Эксперименты были выполнены с помощью волоконного фемтосекундного лазера MenloSystems FC1500-250WG с частотой повторения импульсов $f = 250$ МГц. Эта частота синхронизировалась с частотой 10 МГц прецизионного генератора StanfordSG384. Этот же генератор мог задавать сдвиг гребенки на различных частотах F . Максимальное значение частоты F составляло 62.5 МГц. Сигнал на частоте F через фазовращатель поступал на импульсный генератор, который управлял модулятором интенсивности, на выходе которого синтезировалась последовательность идентичных фемтосекундных импульсов с частотой повторения F . Фазовращатель позволял выделять последовательность импульсов с заданной разностью фаз между несущей и огибающей.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания №3.6835.2017/8.9 и гранта РФФИ № 18-02-00316.

Литература

- [1] Bohan A.D., Antoine P., et al., Phys. Rev. Lett. **81**, 1837 (1998)/
- [2] Udem Th., Reichert J. et al. Phys. Rev. Lett., **82**, 3568 (1999).
- [3] David J. Jones, Scott A. Diddams, et al., Science, **82** 635 (2000).
- [4] Баснак Д.В., Бикмухаметов К.А., и др., Квантовая электроника, т.42(1), 71, (2012)