

Усиление нелинейностей при коллинеарном взаимодействии света с бегущей решеткой показателя преломления

В. С. Герасименко, Н. Д. Герасименко

Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Продемонстрированное на прошлой конференции эффективное коллинеарное взаимодействие оптической и СВЧ волн было возможно наблюдать только на коротком отрезке. Это было обусловлено целым рядом причин, доложенных тогда же. В данной работе для решения этой проблемы было предложено увеличить эффективную область взаимодействия за счет добавления к системе волоконной петли обратной связи. Так как для максимально эффективного взаимодействия необходимо, чтобы при каждом проходе через устройство для коллинеарного взаимодействия оптическая и электрическая волны взаимодействовали без фазовых разрывов, мы добавили к устройству емкостный электрод, чтобы получить возможность настройки оптической длины кольца обратной связи.

Ключевые слова: Бегущие решётки показателя преломления, СВЧ фазовая модуляция света, Дифракционные оптические элементы.

Цитирование: Герасименко, В. С. Усиление нелинейностей при коллинеарном взаимодействии света с бегущей решеткой показателя преломления / ВВ. С. Герасименко, Н. Д. Герасименко // НОЛОЕХРО 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 353–356.

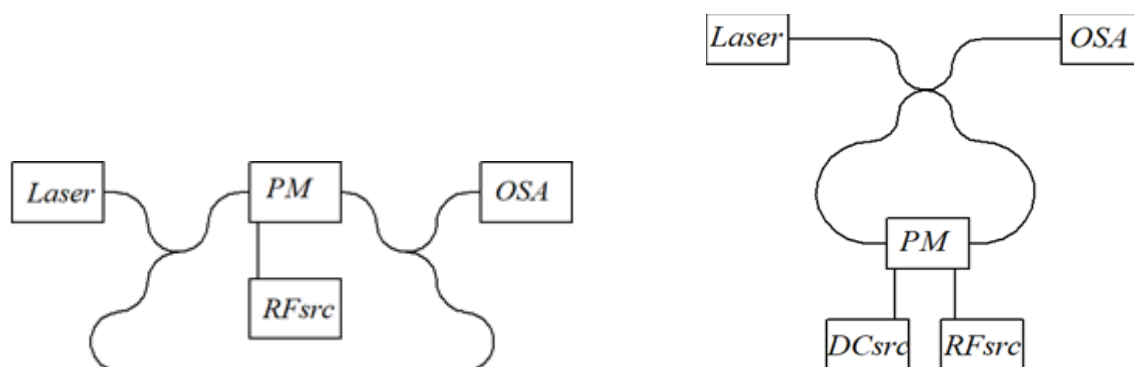
Амплитудно-фазовое управление когерентным светом позволяет создавать фазовые и амплитудные модуляторы с большой полосой пропускания. Такие модуляторы необходимы для многих систем классической и квантовой связи.

Одна из возможных реализаций – использование связки волноводов и электродов бегущей волны [1]. Подложка обычно изготавливается из материала, обладающего электрооптическим эффектом, например, ниобата лития [2]. Прикладывание электрического поля к электродам создает между ними бегущую волну электрического поля, что приводит к модуляции фазы оптической волны. Для управления амплитудой волновода должны располагаться по принципу интерферометра Маха-Цендера. Для более эффективного коллинеарного взаимодействия на высоких частотах необходимо использовать электроды бегущей волны с показателем преломления, близким к показателю преломления оптического волновода.

Мы провели серию экспериментов с модуляторами собственного производства, целью которых было усилить нелинейности добавлением обратной связи. В них использовался лазер с длиной волны 1550 нм, шириной спектральной линии менее 1 МГц и выходной мощностью до 2 мВт, оптический анализатор спектра и волоконно-оптические разветвители и объединители (рис. 1а).

Общая длина петли обратной связи составила около 6 метров. Эксперименты проводились с разветвителем 10/90. Возвратная мощность 90% продемонстрировала сильные резонансные эффекты в системе (рис. 2). В то же время использование стандартного фазового

модулятора показало, что выходной спектр достаточно нестабилен. Представленные здесь графики – результат усреднения по приблизительно 20 отсчетам.



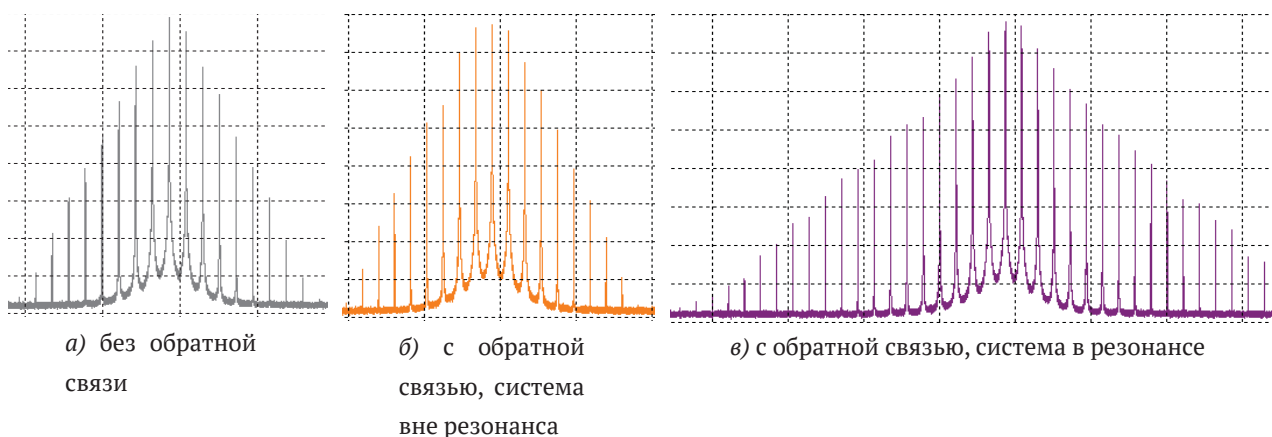
Laser – лазерный источник, source, PM – электро-оптический фазовый модулятор, OSA – спектроанализатор,

RFsrc – модулируемый СВЧ-источник, DCsrc – источник постоянного тока

а) схема первой экспериментальной установки:

б) схема второй экспериментальной установки:

Рис. 1. Схемы экспериментальных установок



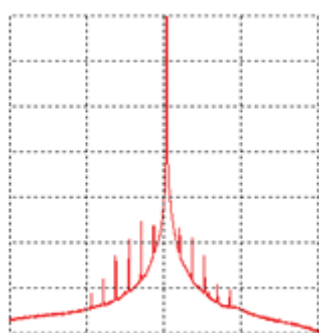
а) без обратной связи

б) с обратной связью, система вне резонанса

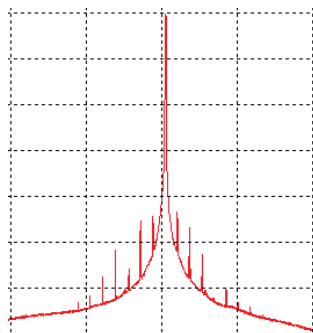
в) с обратной связью, система в резонансе

Рис. 2. Выходной спектр

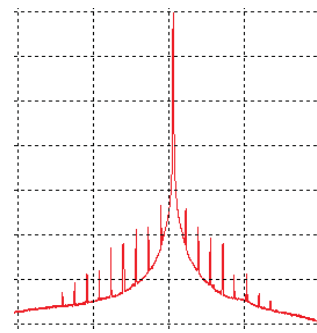
Ключевыми отличиями амплитудного и фазового электрооптических модуляторов являются топология оптических волноводов (интерферометр Маха-Цендера и линия соответственно) и наличие в амплитудном модуляторе дополнительного емкостного электрода (для регулировки длин плеч интерферометра). Это позволило сделать фазовый модулятор с возможностью тонкой подстройки эффективной длины петли обратной связи. Помимо замены штатного фазового модулятора на специализированный в схеме новых опытов (рис. 1б) мы заменили систему разветвитель-объединитель на одинарный разветвитель с коэффициентом деления 1/99. В результате пик лазерного излучения (нулевая гармоника) в выходном спектре выше первого порядка примерно на 40 дБ. Пики более высоких порядков (рис. 3) стали не так хорошо различимы спектроанализатором, как в первой серии экспериментов. Эти графики приведены без усреднения.



а) нерезонансные условия



б) только электрический резонанс



в) электрический и оптический резонанс

Рис. 3. Примеры выходных спектров

Несмотря на особенности работы спектроанализатора, эксперимент показал ожидаемые результаты. После волоконного кольца получался выходной спектр определенной ширины, который менялся при каждом измерении из-за отсутствия обоих резонансов. При достижении электрического резонанса порядок высшей генерируемой гармоники увеличивался, однако без усреднения можно было наблюдать, как растут и уменьшаются те или иные пики при каждом новом измерении. Наконец, при попадании в окрестность оптического резонанса еще имело место небольшое уширение спектра, но главное, что сам спектр приобретал относительно устойчивую форму. Нестабильность условия оптического резонанса является результатом тепловых эффектов, однако эти эффекты достаточно медленные, поэтому несколько последовательных измерений мало отличаются друг от друга.

Список источников

- [1] **Wooten E.L.** A review of lithium niobate modulators for fiber-optic communication systems / E.L. Wooten, K. M. Kissa, et al. // IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. — 2000. — Vol 6. — № 1. — P. 69–82.
- [2] **Yariv A.** Introduction to Optical Electronics; 2nd ed., — New York: Holt, Rinehart and Winston, 1976. — pp. 438.

Amplification of nonlinearities in the collinear interaction of light with a traveling refractive index grating

V. S. Gerasimenko, N. D. Gerasimenko

ITMO University, Saint-Petersburg, Russia

The effective collinear interaction of optical and microwave waves demonstrated at the last conference could only be observed over a short length. This was due to a number of reasons reported at the same time. In this work, to solve this problem, it was proposed to increase the effective interaction area by adding a fiber feedback loop to the system. Since for the most effective interaction it is necessary that at each pass through the collinear interaction device, the optical and

electric waves interact without phase discontinuities, we added a capacitive electrode to the system in order to be able to adjust the optical length of the feedback loop.

Keywords: Refractive index moving gratings, Microwave phase modulation of light, Diffractive optical elements.