

Стабилизация системы, усиливающей нелинейности при коллинеарном взаимодействии света с бегущей решеткой показателя преломления

В. С. Герасименко^{1,2}, Н. Д. Герасименко²

¹ Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

² ООО «СМАРТС-Кванттелесом», Санкт-Петербург, Россия

Ранее было продемонстрировано, что при коллинеарном взаимодействии оптической и СВЧ волн на отрезках порядка одного периода СВЧ волны и меньше в спектре выходного света наблюдаются пики не только первых, но и высших порядков. Для увеличения эффективной протяженности области взаимодействия оптическая система была подключена к волоконному кольцу обратной связи. При этом возникла задача минимизации фазовых разрывов обоих типов волн при прохождении возникшей петли. В случае СВЧ сигнала задача была решена без значительных сложностей. Для оптической же волны выяснилось, что влияние внешних факторов приводит к дрейфу условий резонанса с характерными временами порядка десятков секунд. В данной работе рассматриваются методы уменьшения этого влияния.

Ключевые слова: Бегущие решётки показателя преломления, Фазовая модуляция света, Управление светом, Интегральная оптика.

Цитирование: Герасименко, В. С. Стабилизация системы, усиливающей нелинейности при коллинеарном взаимодействии света с бегущей решеткой показателя преломления / В. С. Герасименко, Н. Д. Герасименко // HOLOEXPO 2023: 20-я Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2023. — С. 226–228.

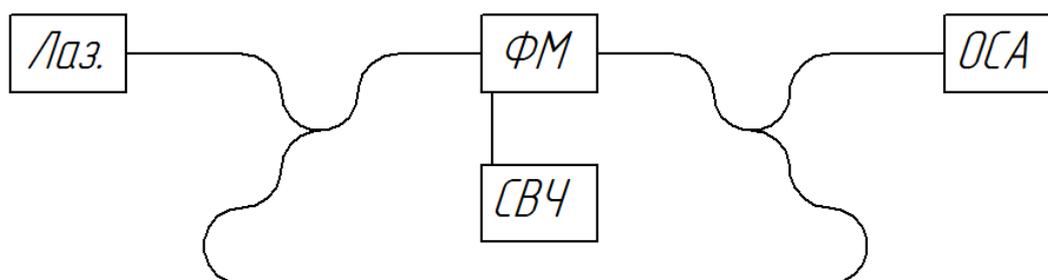
Высокочастотный интегрально-оптический фазовый модулятор представляет собой полосковый световод, размещенный возле СВЧ-волновода — электорда бегущей волны. В случае ниобата лития их взаимное расположение зависит от среза кристалла: Z-срез обеспечивает максимальную эффективность модуляции при нахождении оптического канала под «горячим» электродом копланарной линии, X-срез же — при помещении световода в межэлектродный зазор [1]. При этом следует отметить, что ниобат лития характеризуется линейным электрооптическим эффектом, т. е. бегущая СВЧ волна порождает бегущую решетку показателя преломления с тем же периодом.

При коллинеарном взаимодействии света с бегущей решеткой показателя преломления в описанной схеме происходит, как уже было сказано, фазовая модуляция оптического излучения. Данный процесс сопровождается генерацией боковых частот. При этом с ростом амплитуды показателя преломления бегущей решетки интенсивность переноса энергии с основной частоты в боковые увеличивается, и в некоторый момент в выходном спектре возникают гармоники высших порядков.

Следует отметить, что размеры области взаимодействия света с бегущей решеткой показателя преломления ограничены размерами подложки ниобата лития. С учетом того, что

заготовки интегрально-оптических чипов располагаются обычно не по диагонали подложки, а некоторым квадратным или прямоугольным блоком, состоящим из типовых элементов, и что каждый чип содержит технические области, необходимые для ввода и вывода электромагнитных волн обоих типов, реальная протяженность участка коллинеарного взаимодействия оказывается того же порядка, что и один период СВЧ волны.

Для увеличения эффективной длины области взаимодействия было решено использовать оптоволоконную петлю обратной связи (Рис. 1). Выяснилось, что похожая оптическая система теоретически была рассмотрена достаточно давно, единственным отличием было добавление в петлю обратной связи усилителя [2]. При этом сами авторы отмечали, что усилитель будет вносить свои шумы и искажения в итоговый спектр, но для их задачи (генерации оптических частотных гребенок) это было приемлемо с количественно оцененной точностью. Кроме того, в предложенной модели условия неразрывности фаз волн обоих типов при прохождении петли обратной связи считались достигнутыми сразу. Физического же проведения такого эксперимента ранее найти не удалось [3].



Лаз. — лазерный источник с оптическим изолятором, СВЧ — источник СВЧ волны, порождающей бегущую решетку показателей преломления, ФМ — фазовый модулятор, ОСА — оптический спектроанализатор, Y-делитель и объединитель не подписаны, оптические FC/APC коннекторы опущены.

Рис. 1. Схема системы увеличения

В процессе реального эксперимента получилось достаточно быстро подобрать условие, обеспечивающее отсутствие существенных фазовых разрывов для бегущей решетки показателя преломления, т. е. создать ситуацию, когда за время, пока свет проходит по петле обратной связи от выхода области взаимодействия к ее входу, фаза бегущей СВЧ волны на выходе так же успевает совпасть с фазой на входе. В силу относительно большой длины СВЧ волны тепловые и иные паразитные эффекты, изменяющие оптическую длину волоконного кольца, почти не смещают собственные частоты петли обратной связи. Для достижения аналогичных условий для оптической волны была предпринята попытка использовать фазовый модулятор с дополнительным емкостным электродом, аналогичным тому, который используется в амплитудных модуляторах для управления рабочей точкой[4]. Как показала практика, длина оптической волны в масштабах волоконного кольца настолько мала, что при размещении оптических элементов на открытом столе малейшие колебания температуры воздуха приводят к смещению «резонансных» условий.

С помощью умеренной пассивной теплоизоляции получилось увеличить время стабильности оптической согласованности фаз. От улучшенной пассивной и активной ожидаются еще лучшие результаты.

Список источников

- [1] **Петров В. М.** Широкополосные интегрально-оптические модуляторы: достижения и перспективы развития / В. М. Петров, П. М. Агрузов, В. В. Лебедев, И. В. Ильичев, А. В. Шамрай // Успехи физических наук. – 2021. – Т. 191. – №. 7. – С. 760-780.
- [2] **Но К. Р.** Optical frequency comb generator using phase modulation in amplified circulating loop / К. Р. Но, J. M. Kahn // IEEE Photonics Technology Letters. – 1993. – Vol. 5. – №. 6. – P. 721-725.
- [3] **Петров В. М.** Генерация оптических частотных гармоник для систем квантовых коммуникаций на боковых частотах / В. М. Петров, А. В. Шамрай, И. В. Ильичев, Н. Д. Герасименко, В. С. Герасименко, П. М. Агрузов, В. В. Лебедев // Фотоника. – 2020. – Т. 14. – №. 7. – С. 570-585.
- [4] **Петров В.М.** Отечественные СВЧ интегрально-оптические модуляторы для квантовых коммуникаций / В. М. Петров, А. В. Шамрай, И. В. Ильичев, П. М. Агрузов, В. В. Лебедев, Н. Д. Герасименко, В. С. Герасименко // Фотоника [Photonics Russia] – 2020. – Т. 14. – № 5. – С. 414-423.

Stabilization of a system that enhances nonlinearities in the collinear interaction of light with a refractive index traveling grating

V. S. Gerasimenko^{1,2}, N. D. Gerasimenko²

¹ ITMO University, Saint Petersburg, Russia

² Quanttelecom LLC, Saint Petersburg, Russia

Previously it was demonstrated, that peaks of not only first, but also higher orders are observed in the output light spectrum during collinear interaction of optical and radio frequency waves in an area with length of one microwave wave period or less. To increase the interaction areas effective length, the optical system was connected to a fiber feedback ring. In this case, the phase discontinuities of both types of waves during the passage of the resulting loop must be minimized. The problem was solved without significant difficulties for radio frequency waves. For an optical wave, it turned out that the influence of external factors leads to a drift of resonance conditions with typical times of tens of seconds. This paper discusses methods to reduce this influence.

Keywords: Refractive index traveling gratings, Light phase modulation, Light control, Integrated optics.