

УДК 681.7

А. Х. СУЛТАНОВ, И. Л. ВИНОГРАДОВА, А. И. САЛИХОВ**ПОДХОД К КОМПЛЕКСНОМУ МОДЕЛИРОВАНИЮ
ПРОФИЛИРОВАННОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА ТИПА ФАБРИ – ПЕРО,
ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЕ ОПТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ**

Настоящая статья посвящена исследованию возможности создания коммутаторов оптических сигналов, управляемых дополнительно подаваемым оптическим излучением. Предполагается, что управляющее излучение изменяет показатель преломления оптической среды устройства, а с ним и длину волны информационного излучения. Для контроля последней используется многолучевой интерферометр. Проведена краткая оценка технических аспектов построения устройства. Анализ показал, что интерференционный коммутатор принципиально технически реализуем. *Многолучевая интерференция ; оптический переключатель ; смесительный элемент ; нанокристаллический материал*

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня ведущими фирмами-производителями телекоммуникационного оборудования широко представлены образцы оптических компонентов управления световыми информационными потоками. Как правило, это WDM-мультиплексоры, волоконно-оптические переключатели и коммутаторы. Но здесь следует провести разграничение между полностью оптическими компонентами (так называемыми АОН-компонентами) и компонентами, в которых управление световым информационным потоком осуществляется действием электрических, магнитных потенциалов (электрооптические эффекты Керра, Погкельса, Фарадея [1] и т. д.). Например, работа WDM-мультиплексоров основана на дифракционном разделении световых волн разных длин [1], следовательно, эти устройства не требуют дополнительного использования электроники в отличие, например, от моделей реконфигурируемых переключателей. Распространенные модели последних основаны на электрооптическом эффекте смещения показателя преломления в интерферометре Маха – Цендера. Или другой известный пример – оптические изоляторы, использующие эффект магнитного вращения плоскости поляризации проходящей световой волны.

Обязательное наличие электронного узла сужает область использования компонентов, а следовательно – и сетей связи, делая практически обязательной привязку топологических раз-

ветвлений к сетевым узлам. Размещение электронных узлов в условиях повышенного влияния воздействующих факторов, т. е. на линии передачи, например, на ЛЭП, представляет серьезную инженерно-техническую задачу. Даже с учетом выбора места крепления оптоволоконного кабеля к опорам ЛЭП в соответствии с эпюрой напряжений, волоконно-оптические компоненты будут находиться в зоне высокого электрического напряжения – не меньше, чем 5...10 кВ. Под действием такого поля при наличии специальных защитных инженерно-технических мероприятий происходит в определенных пределах изменение свойств даже полностью оптических устройств [2], [3], и т. д., и уж тем более подвергаются воздействию электронные узлы управления.

**1. ПРИНЦИП
ПОСТРОЕНИЯ КОММУТАТОРА
С ИНТЕРФЕРОМЕТРОМ ФАБРИ – ПЕРО**

С целью изучения возможности создания полностью оптических коммутаторов, предлагается использовать физический эффект нелинейной зависимости показателя преломления изотропной прозрачной среды n (без привлечения анизотропии, двулучепреломления, зависимых от внешних электромагнитных полей) от интенсивности входного оптического излучения. Изменение значения n в области смесителя действием управляющего излучения приведет к изменению длины волны информационного излучения. Если смеситель помещен в интерферометр, то присутствие или отсутствие управляющего излучения будет оказывать влияние на

результатирующую интерференционную картину или выходной сигнал интерферометра, рис. 1, *а*. Если такое нелинейное устройство предназначено для выполнения функции ключа, пропускающего информационный сигнал в отсутствие управляющего, и отражающего информационный сигнал обратно при наличии управляющего излучения, то на входном световодном канале (перед входом в устройство) следует разместить оптический изолятор – для предотвращения попадания отраженного информационного излучения к лазеру и другим компонентам. В отношении выбора типа интерферометра предпочтительным является использование многолучевого интерферометра Фабри – Перо (ИФП) в сравнении с двухлучевыми интерференционными устройствами: Маха – Цендера, Майкельсона и т. д. Объяснением может служить как более высокая чувствительность ИФП (прежде всего из-за большого количества интерферирующих лучей), так и помехоустойчивость, что связано с влиянием воздействующего фактора сразу на все лучи, а не на какой-либо один из каналов. Так интерференционный ключ пропускает информационное излучение в отсутствие управляющего сигнала (в области выходного зеркала ИФП имеет место максимум стоячей волны, рис. 1, *б*) и отражает информационное излучение при наличии управляющего сигнала, рис. 1, *в*.

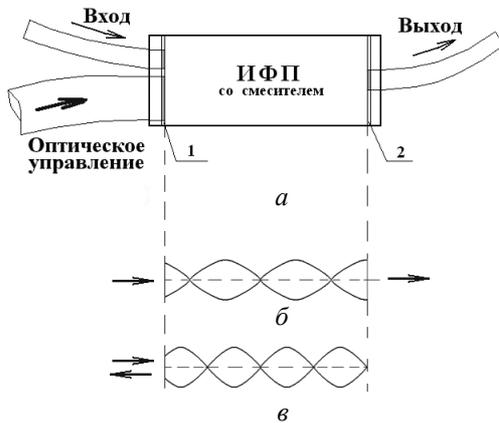


Рис. 1. Иллюстрация принципа действия интерференционного ключа: *а* – информационное излучение проходит в выходной световодный канал, *б* – информационное излучение отражается (1 – входное зеркало ИФП, 2 – выходное зеркало)

Не менее интересным представляется построение переключателя оптических каналов с использованием данного эффекта. Принцип работы интерференционного коммутатора также основан на том, что изменением значения n

можно в окрестности одной и той же пространственной координаты чередовать положение максимумов и минимумов стоячей световой волны, имеющей место в резонаторе Фабри – Перо, рис. 2, *а*. Если подбором технических параметров интерферометра обеспечить одновременное выполнение двух условий для информационного излучения:

- 1) максимум стоячей волны находится в области одного из выходных световодных каналов,
- 2) минимум стоячей волны находится в области второго выходного световодного канала, то информационное излучение будет подаваться в первый выходной канал, рис. 2, *б*. С взаимозаменой положений минимумов и максимумов стоячей волны (действием управляющего излучения) произойдет переключение оптических каналов.

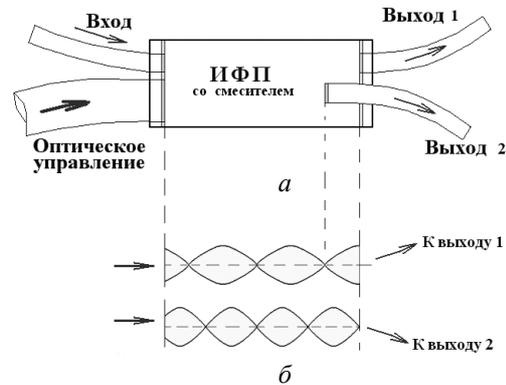


Рис. 2. Иллюстрация принципа действия интерференционного коммутатора: *а* – информационное излучение проходит в первый выходной световодный канал, *б* – информационное излучение проходит во второй выходной канал

2. ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ ИНТЕРФЕРЕНЦИОННЫХ КОММУТАТОРОВ

За привлекательной стороной полностью оптических интерференционных коммутаторов, состоящей как в независимости их работоспособности от состояния поляризации входного излучения, так и в возможности обеспечения малых габаритов устройства, кроется немало сложностей при разработке инженерной концепции их создания.

К методологическим сложностям следует отнести наличие постоянной составляющей в интерференционной картине ИФП, что приведет к аддитивному шуму в смежном канале и снижению динамического диапазона цифрового сигнала, подаваемого в подключаемый канал, а также искажения фронтов импульсов действием

интерференции – из-за chirp-эффекта, свойственного полупроводниковому лазеру, [4]. Не менее значимыми могут оказаться конструкторско-технологические проблемы, стоящие на пути к созданию таких устройств. К ним следует отнести способ изготовления смесителя, обеспечивающего различное расположение торцов выходных световодов относительно входного торца, рис. 2, с учетом требования о минимизации его размеров. Последнее связано с желанием использовать приемлемые мощности управляющего излучения (составляющие порядок до 1 Вт с целью снижения негативного влияния нелинейных оптических эффектов как в подводящем его световоде, так и в смесителе) с одновременным эффективным смещением показателя преломления смесителя, т.е. получением в смесителе высоких оптических интенсивностей.

В отношении постоянной составляющей интерференционной картины Фабри – Перо можно сказать, что ее значение существенно зависит от коэффициентов отражения зеркал ρ , рис. 3. С увеличением ρ до значений 0,8 и выше постоянная составляющая остается меньше 10% от амплитуды максимума [5].

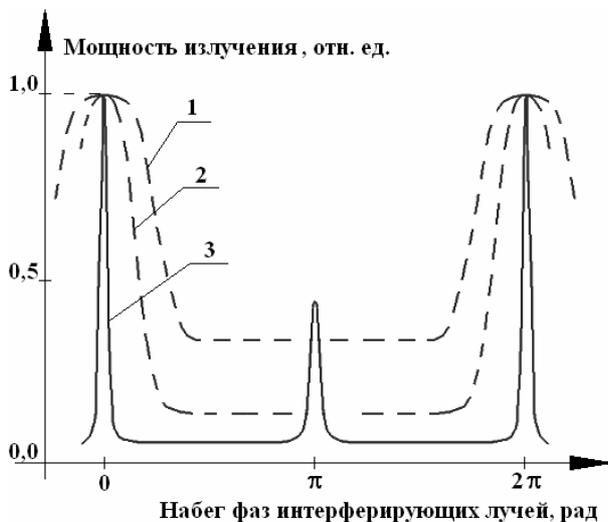


Рис. 3. Иллюстрация зависимости передаточной функции многолучевого интерферометра от набега фаз интерферирующих лучей для различных значений ρ : 1 – $\rho_{\text{ИФП}} = 0,6$; 2 – $\rho_{\text{ИФП}} = 0,8$; 3 – двухрезонаторный многолучевой интерферометр с коэффициентом отражения – $\rho_{\text{ДИФП}} = 0,8$, [6]

В отношении эффекта изменения длины волны полупроводникового лазера при модуляции его тока накачки $I(t)$ будут иметь место искажения формы импульсного сигнала, рис. 4. Но в [5] показано, что искажения относятся только к фронтам импульсов и зависят от параметров интерферометра.

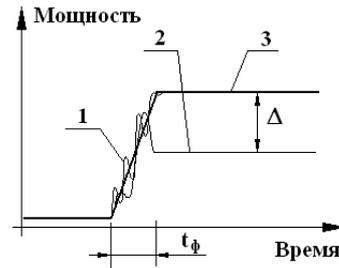


Рис. 4. Иллюстрация искажений формы цифрового импульса действием многолучевой интерференции: t_ϕ – длительность фронта реального трапециевидального импульса, 1 и 2 – искаженные импульсы, 1 – интерферометр к моменту окончания t_ϕ остался в районе прежней рабочей точки, 2 – положение рабочей точки интерферометра изменилось, появилась отраженная волна с амплитудой Δ ; 3 – неискаженный импульс

Если длина волны излучения лазера меняется по закону:

$$\lambda = \lambda_0 + \frac{\partial \lambda}{\partial I} \cdot I(t) = \lambda_0 + \Delta \lambda, \quad (1)$$

и $\Delta \lambda$ не превосходит 0,1...0,5 % от λ_0 , что имеет место для большинства современных полупроводниковых лазеров, то изменение результирующего набега фаз лучей в ИФП:

$$\delta(\lambda) = \frac{4\pi n h}{\lambda}, \quad (2)$$

$$|\Delta \delta(\Delta \lambda)| = \frac{4\pi n h}{\lambda^2} \Delta \lambda = \delta \frac{\Delta \lambda}{\lambda_0},$$

где h – база ИФП (расстояние между зеркалами), также останется меньше 1%. Для ИФП с $\rho \cong 0,8$ или ДИФП с $\rho \cong 0,7...0,8$ передача как цифрового импульса, так и паузы будет соответствовать требуемой рабочей точке интерферометра. На качество приема искаженные фронты влияния практически не окажут как в связи с применением помехоустойчивых методов обработки сигнала в приемнике, так и по причине использования в современных сетевых приемниках устройств срабатывания, принимающих решение по факту превышения энергии (а не мощности) принятого сигнала (импульса) над установленным пороговым значением. Искаженные фронты приводят к переформированию поступающей энергии во времени, но не к ее изменению при условии малого влияния $\Delta \lambda$ на $\delta(\lambda)$, что в данных устройствах является обязательным.

Оценим характерный радиус смесителя, представляющего собой область резонатора Фабри–Перо (по рис. 1 и рис. 2). Коэффициент преломления n , зависящий от интенсивности

управляющего излучения $I_{упр}$, можно представить [4]:

$$n = n_0 + \tilde{n} \cdot 2I_{упр} \bar{Z}, \quad (3)$$

где \tilde{n} – нелинейная составляющая показателя преломления, в зависимости от свойств среды может быть как положительной, так и отрицательной величиной; для кварцевых стекол положительна и приблизительно равна $10^{-15} \text{ м}^2/\text{В}^2$ и имеет слабую зависимость от частоты света ω в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне; \bar{Z} – волновое сопротивление среды (направляющей структуры).

Пусть в отсутствии управляющего излучения ИФП настроен на максимум пропускания информационного излучения с длиной волны λ (для наглядности оценки рассматривается интерференционный ключ). Подача управляющего излучения изменяет показатель преломления, и рабочая точка ИФП смещается по его передаточной характеристике, рис. 5. Обозначим для первого случая разность хода лучей δ_1 , для второго – δ_2 . Тогда с учетом выражения для передаточной функции ИФП относительно интенсивности информационного сигнала на выходе $I_{инф}^{вых}$ и ее входного значения $I_{инф}^{вх}$ справедливо следующее [7]:

$$I_{инф,1}^{вых} = I_{инф}^{вых}(\delta_1) = 1 \cdot I_{инф}^{вх} = I_{инф}^{вх} \text{ и}$$

$$I_{инф,2}^{вых} = I_{инф}^{вых}(\delta_2) = \frac{I_{инф}^{вх}}{1 + \frac{4\rho}{(1-\rho)^2} \cdot \sin^2\left(\frac{\delta_2}{2}\right)}. \quad (4)$$

С учетом того, что передаточная функция ИФП имеет постоянную составляющую, согласно [7] равную:

$$I_{инф,min}^{вых} = I_{инф}^{вх} \cdot \left(\frac{1-\rho}{1+\rho}\right)^2, \quad (5)$$

и, кроме того, реализуемое технически наименьшее значение может превосходить $I_{инф,min}^{вых}$ в α раз, то для $I_{инф,2}^{вых}$ можно записать:

$$\frac{I_{инф}^{вых}(\delta_2)}{I_{инф}^{вх}} = \frac{1}{1 + \frac{4\rho}{(1-\rho)^2} \sin^2\left(\frac{\delta_2}{2}\right)} = \alpha \left(\frac{1-\rho}{1+\rho}\right)^2. \quad (6)$$

Из (6) получаем соотношение для $\delta_2/2$:

$$\frac{\delta_2}{2} = \arcsin \sqrt{S},$$

$$S = \left(\frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{1+\rho}{1-\rho} \right)^2 - 1 \right) \cdot \frac{(1-\rho)^2}{4\rho}. \quad (7)$$

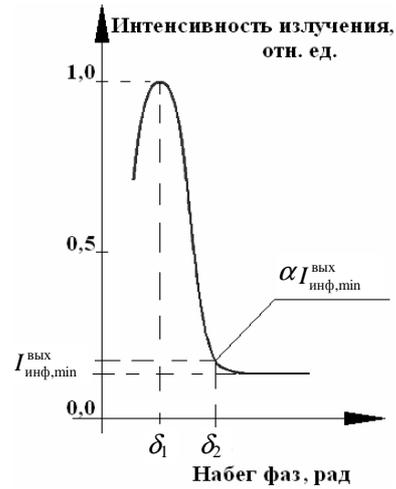


Рис. 5. Иллюстрация смещения рабочей точки ИФП при изменении δ

Заметим, что $\Delta\delta(\Delta n) = \frac{4\pi h}{\lambda} \cdot \Delta n$ и $\Delta\delta = \delta_2 - \delta_1$, с учетом (7) запишем:

$$\frac{2\pi h}{\lambda} \cdot \Delta n = \arcsin \sqrt{S} = \frac{4\pi h}{\lambda} \cdot \hat{n} \cdot \bar{Z} \cdot \frac{P}{\pi r^2}, \quad (8)$$

где r – искомый радиус смесителя, P – мощность (Вт) управляющего излучения, подаваемого в смеситель для смещения рабочей точки ИФП. Выражение (8) представляет собой соотношение между конструктивными параметрами устройства: длиной h и радиусом r смесителя, и мощностью управляющего излучения P .

3. ОБСУЖДЕНИЕ РАЗМЕРОВ И СВОЙСТВ СМЕСИТЕЛЯ

Произведем численную оценку радиуса смесителя для наиболее типичных конструктивных параметров волоконного ИФП, [8, 9]: $h \cong 0,1 \text{ мм}$ – при необходимости выполнения смесителя с меньшей длиной стоимость его изготовления будет существенно увеличиваться; для смесителя с длиной, превосходящей 0,1 мм, начнется заметное негативное влияние конечной когерентности излучения, приводящей к размытию интерференционной картины. Пусть длина волны управляющего излучения составляет 980 нм. Этот выбор обусловлен широким парком мощных полупроводниковых лазеров, обладающих различными эксплуатационно-техническими параметрами, серийно изготавливаемых в России и за рубежом и используемых для накачки световода EDFA [10]. Волновое сопротивление излучению среды смесителя для состоятельности оценки возьмем равным $120\pi \text{ Ом}$. Тогда для $\rho = 0,8$ получаем: $S =$

= 0,90795, и далее для мощности управляющего сигнала в пределах 0,5...1 Вт получаем, что средний радиус смесителя должен составлять 10...24 мкм.

Поясним, что понимается под «средним» радиусом смесителя. По таким техническим причинам, как желание выполнить направляющую структуру внутри ИФП одномодовой, что не привело бы к повышенному влиянию дисперсии с учетом значительной длины оптического пути в интерферометре с учетом переотражений (тем более в ДИФП), увеличить диаметр смесителя в области его торцов – для удобства монтажа входных и выходных световодных каналов, а также для снижения мощности управляющего излучения, предлагается смеситель выполнять в форме тела вращения с зауженной средней частью, рис. 6, по аналогии с [8, 9].

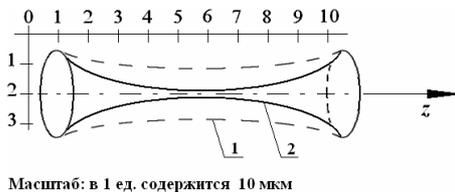


Рис. 6. Примерный вид смесителя, представляющего собой область резонатора Фабри – Перо. Кривые 1 и 2 характеризуют различные виды профиля в зависимости от требуемого наименьшего радиуса: 1 – направляющая структура многомодовая, 2 – одномодовая

Для исследования вопроса о параметрах профиля показателя преломления смесителя, а также наличия/отсутствия зеркального покрытия (с коэффициентом отражения $0 < \rho^* < 1$), наносимого продольно на профиль, представим амплитуду поля узкого пучка внутри рабочей области (в границах от $z = 0$ до $z = h$) в виде:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{1}{2} \hat{p} \cdot [\psi(x, \mathbf{r}) \cdot \exp(-j\beta z) + \text{к.с.}] \quad (9)$$

\hat{p} – единичный вектор поляризации поля; $r^2 = x^2 + y^2$; x и y – поперечные координаты; β – коэффициент распространения моды; $\beta = n \cdot k_0 = n(\omega, x, y, z) \cdot \omega_0 / c$, к.с. – комплексно-сопряженная величина. Задачу можно разделить на два случая:

1) $\psi(x, \mathbf{r})$ – медленно меняющаяся по сравнению с $\exp(-j\beta z)$ функция z ;

2) функция $\psi(x, \mathbf{r})$ – существенно изменяющаяся по сравнению с $\exp(-j\beta z)$.

В первом случае появляется возможность

пренебречь слагаемым $\frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2}$, появляющимся

при подстановке соотношения (9) в волновое уравнение, ответственное за динамический характер системы, во втором случае – нет. В [4] при решении задачи определения амплитуды поля внутри оптоволоконной направляющей структуры (световодной линии) рассматривается первый случай – случай слабой нелинейности при условии слабых направляющих свойств, и соотношение (9) представлено в виде: $E = \psi(x, y, z) \cdot \exp(-j\beta_0 z)$, $\beta_0 = n_0 \cdot \omega_0 / c$. В рассматриваемой задаче предполагается, что из-за наличия профиля $n(\omega, x, y, z)$ происходит изменение коэффициента распространения волны при отражении от профиля, которое при «зеркальном» профиле нельзя считать слабым. Если профиль не является зеркальным, то в поперечном направлении смеситель можно рассматривать как направляющую среду, подобную оптоволокну, а в продольном направлении следует задать $n(\omega, z)$. Чтобы упростить оценку амплитуды поля, полученного в результате суммирования всевозможных отраженных лучей в ИФП с $n(\omega, z)$, предложено процесс отражения от зеркала рассматривать как частичное разделение на проходящую (через зеркало) и отраженную волны, а к фазе отраженного пучка добавлять 180° после прохождения расстояния h , равное базе ИФП. Количество пучков взять равным эффективному количеству интерферирующих лучей [7]. Тогда с учетом коэффициентов пропускания σ и отражения ρ зеркала амплитуда отраженного луча составит $\sqrt{\sigma} \cdot \sqrt{\rho} \cdot E(h)$, где $E(h)$ – амплитуда излучения, дошедшего до зеркала. Следовательно, суммарная амплитуда поля в смесителе без учета поперечных переотражений от профиля, представима в виде:

$$\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \frac{\sigma \cdot \mathbf{E}_0(\mathbf{r}, t)}{1 - \rho \cdot e^{j\delta}} \quad \text{и} \quad \delta = \frac{4\pi \cdot n \cdot h}{\lambda} + \delta_1 + \delta_2, \quad (10)$$

где δ_1 и δ_2 – скачки фаз на зеркалах, связанные с отражением излучения от среды, оптически более плотной, в среду, оптически менее плотную, либо наоборот (направление изменения n). На рис. 7 представлен результат компьютерного моделирования соотношения (10). Видно, что в центре ИФП поле становится более однородным, и выраженная интерференционная картина пропадает. При увеличении характерной длины зауженной части смесителя в случае сохранения одномодового режима распространения, указанная область «однородности» также увеличивается. С уменьшением глубины профиля при

достаточно большим¹ радиусе зеркала поле в смесителе становится многомодовым.

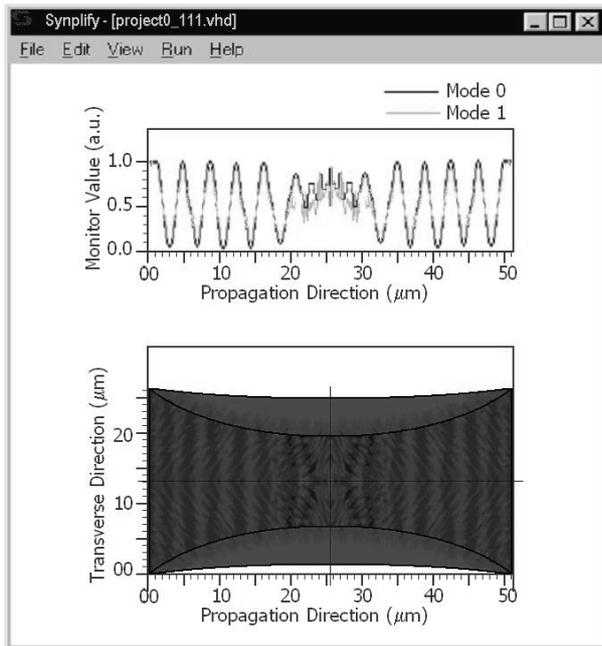


Рис. 7. Результаты компьютерного моделирования решения вида (10). Кривые, обозначенные mode 0 и mode 1 связаны с ортогонально поляризованными модами в резонаторе

Если, не меняя радиуса зеркала, увеличить глубину профиля, поле в смесителе вновь получается одномодовым, и лишь в области торцов обладает характерным «изгибом» гребней стоячей волны, рис. 7. Следовательно, данная математическая модель позволяет оптимизировать профиль ИФП, что обеспечивает ей практическую значимость.

Альтернативным методом, обеспечивающим определение амплитуды поля в смесителе, является метод встречных продольных волн (для $\rho \approx 0,2$ и меньше) с амплитудами A_f и A_b :

$$\tilde{E}(\omega, \mathbf{r}, z) = \tilde{\mathbf{F}}(\mathbf{r}) \cdot \exp(-j\beta_{\text{эфф}}^{(r)} r) \times [\tilde{A}_f(z, \omega) \cdot \exp(j\beta_h z) + \tilde{A}_b(z, \omega) \cdot \exp(-j\beta_h z)] \quad (11^2)$$

где F – функция поперечного распределения поля, β_k – коэффициенты распространения продольных интерферирующих волн, $\beta_{\text{эфф}}^{(r)}$ – эффективный коэффициент распространения поперечных мод; или в виде конических волн (для $\rho > 0,3$):

$$\tilde{E}(\omega, \mathbf{r}, z) = [\tilde{\mathbf{F}}_+(\mathbf{r}) \cdot \exp(j\beta_r r) + \tilde{\mathbf{F}}_-(\mathbf{r}) \cdot \exp(-j\beta_r r)] \times [\tilde{A}_f(z, \omega) \cdot \exp(j\beta_h z) + \tilde{A}_b(z, \omega) \cdot \exp(-j\beta_h z)] \quad (12)$$

¹ Обеспечивающем режим подведения более одной моды к ИФП.

² Символ «волна» означает Фурье-образ.

В (12) β_r – коэффициенты распространения поперечных интерферирующих волн.

Компьютерное моделирование соотношений (11) и (12) показало, что как для «мелких» (рис. 8, а), так и «глубоких» профилей (рис. 8, б) при значительных ρ^* появляются области «пустот» (разреженности) поля.

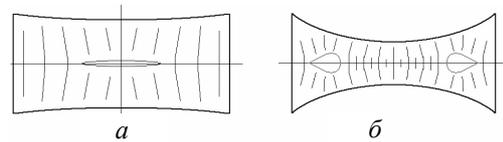


Рис. 8. Иллюстрация модели поля в смесителе: а – «мелкий профиль», б – «глубокий профиль», счет проведен для $\rho^* = 0,65$; погрешность счета не превышает 2,5 %

Положение и количество областей «пустот» зависит от глубины профиля и его отражающих свойств. Подбором данных параметров можно нивелировать указанные области, получив тем самым одномодовый зеркальный смеситель с равномерным распределением поля.

Далее остановимся на таком техническом аспекте, как повышенное влияние паразитных нелинейных оптических эффектов в смесителе, принимая во внимание его зауженную часть. Наиболее значимым эффектом, имеющем место в оптических кварцевых материалах, является вынужденное рассеяние Мандельштама-Бриллюэна (ВРМБ), представляющего собой рассеяние падающей световой волны (в данном случае как информационного, так и управляющего излучений) на гиперзвуковой волне, появляющейся в материале под действием падающего света – из-за эффекта электрострикции [7]. Так как кварц – электрострикционный материал, то ВРМБ является наиболее значимым эффектом и, вообще говоря, уже начинает заметно проявляться на интенсивностях, необходимых для создания требуемого нелинейного режима преломления в смесителе. Тем не менее, проводимые в настоящее время работы, направленные на исследование оптических свойств прозрачного кварца в нанокристаллическом состоянии [11, 12 и др.], показали, что наноструктурный кварц, рис. 9, а–в обладает пониженным действием ВРМБ из-за его повышенной твердости и одновременно пластичности, что вообще присуще наноструктурным материалам [13, 14] такого рода, а в данном случае оказывает демпфирующее действие на гиперзвуковую волну. В этой связи исполнение смесителя из такого материала по-

зволит уменьшить действие ВРМБ и реализовать требуемый нелинейный режим преломления.

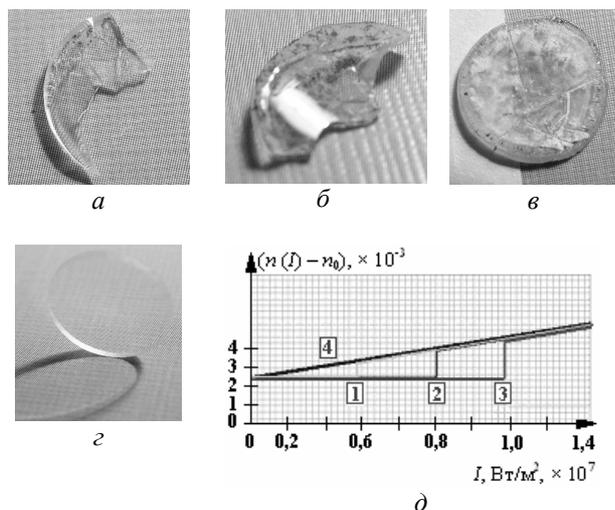


Рис. 9. Иллюстрация образцов (*a–z*), применяемых для изготовления смесителя и изменения их показателя преломления под действием интенсивного оптического излучения (*d*): 1, 2 и 3 – соответствуют нанокристаллическим образцам *a–в* соответственно; 4 – изначально крупнозернистому образцу *z*. Образцы *a*, *b* и *в* отличаются режимами изготовления и содержат 55%, 70% и 94% наноструктурных образований соответственно

Кроме того, исследование нелинейного преломления в подобного рода материалах показало, что имеет место отличная от известной (см., например, [4]) нелинейная зависимость показателя преломления. Выявлен скачкообразный характер [15] нелинейной составляющей, рис. 9, *d*, связанный, по-видимому, с наличием уширенных неравновесных межзеренных границ [13, 14], что позволяет рассматривать нанокристаллический смеситель как фотонный кристалл, обладающий, возможно, как «запрещенными» состояниями, так и повышенным действием некоторых видов оптических нелинейностей.

Следовательно, снижение влияния паразитных нелинейных эффектов на передаваемый цифровой сигнал можно обеспечить уменьшением мощности сигнала управления, подбором технических характеристик интерференционного коммутатора и применением нанокристаллического кварца при его изготовлении.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в результате исследования возможности построения коммутаторов оптических сигналов, управляемых оптическим излучением, выявлено следующее. Представляется

технически реализуемым построение таких устройств с использованием эффекта нелинейной зависимости показателя преломления оптической среды от интенсивности управляющего излучения. Причем для контроля результирующей длины волны излучения в среде можно использовать многолучевой интерферометр – ввиду его высокой чувствительности к изменению фазового набега лучей. К достоинствам следует отнести высокую скорость переключения, независимость работоспособности от состояния поляризации излучения, малогабаритность конструкции, в которой соответствующим подбором технических параметров можно исключить какое-либо преобразование мод излучения (направляющая структура везде может оставаться одномодовой). Среди недостатков наиболее значимыми являются наличие постоянной составляющей в интерференционной картине, высокая трудоемкость изготовления устройства и искажение действием нелинейных оптических эффектов и интерференции передаваемого цифрового сигнала. Тем не менее, предварительная оценка показала наличие возможности частичной компенсации недостатков устройства путем применения ряда инженерно-технических мероприятий. В частности, идея об использовании многолучевого интерференционного компонента в системах цифровых телекоммуникаций для реализации требуемых функциональных характеристик с учетом вносимых им искажений в цифровой сигнал в данном случае не является пионерской, а является развитием ранее полученных результатов [8, 9, 16 и др.], следовательно, может быть признана технически приемлемой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Убайдуллаев, Р. Р. Волоконно-оптические сети / Р. Р. Убайдуллаев. М. : Эко-Трендз, 2000. 267 с.
2. Бурдин, В. А. Стойкость оптических волокон к действию электрических разрядов / В. А. Бурдин, О. П. Головина, А. А. Платонов // Тез. докл. Российской научн.-техн. конф. проф.-преп. и инж.-техн. состава. Самара : ПИИРС, 1996. С. 62.
3. Бурдин, В. А. Модель воздействия импульсных электромагнитных полей на оптические кабели связи для подземной и воздушной прокладки / В. А. Бурдин, О. П. Головина, А. А. Платонов // Тез. докл. I Поволжской научн.-техн. конф. по проблемам двойного применения. Самара, 1995. С. 94.
4. Agrawal, G. P. Nonlinear fiber optics / G. P. Agrawal. Boston : Academic Press, 2000. P. 458.
5. Виноградова, И. Л. Статистический подход к описанию интерферометров Фабри–Перо как элементов многолучевой интерференции в линиях связи / И. Л. Виноградова, А. Х. Султанов // Радиотехника.

2000. № 1. С. 45–49.

6. **Виноградова, И. Л.** Характеристики двухрезонаторного интерферометра Фабри-Перо / И. Л. Виноградова // Радиотехника. 2002. № 6. С. 33–37.

7. **Матвеев, А. Н.** Оптика : учеб. пособие для физ. спец. вузов / А. Н. Матвеев. М. : Высшая школа, 1985. 351 с.

8. **Тухватуллин Р. А.** А.с. 1697035 СССР, МКИ⁵ G 02 В 6/28. Волоконно-оптический разветвитель / Р. А. Тухватуллин, Л. Е. Виноградова, И. Л. Виноградова, С. П. Ржевский, Бюлл. № 45. 1991.

9. **Тухватуллин Р. А.** А.с. СССР № 1760494, МКИ⁵ G 02 В 6/28 Волоконно-оптический разветвитель / Р. А. Тухватуллин, И. Л. Виноградова, Л. Е. Виноградова. Бюлл. № 33. 1992.

10. **Лощенко, А. А.** Лазеры накачки для усилителя EDFA на сегменте волоконно-оптической линии связи / А. А. Лощенко, И. Л. Виноградова // Проблемы техники и технологии телекоммуникаций : сб. докл. 5-й междунар. науч.-техн. конф. Самара, ПГАТИ, 2004. С. 34–38.

11. **Султанов, А. Х.** Исследование влияния нелинейных оптических эффектов в мелкозернистых стеклах на передаваемый импульсный сигнал / А. Х. Султанов, И. А. Шарифгалиев, В. И. Канаков, И. Л. Виноградова // Вестник УГАТУ. 2004. № 1. С. 24–31.

12. **Султанов, А. Х.** Нелинейные оптические эффекты в волоконно-оптических компонентах, построенных на основе деформированных стекол / А. Х. Султанов, В. И. Канаков, И. Л. Виноградова // Инфокоммуникационные технологии. 2003. № 2. С. 47–52.

13. **Гусев, А. И.** Поликристаллические материалы / А. И. Гусев, А. А. Ремпель. М. : Физ.-мат. лит., 2001. 224 с.

14. **Валиев, Р. З.** Наноструктурные материалы, полученные интенсивной пластической деформацией / Р. З. Валиев, И. В. Александров. М. : Логос, 2000. 346 с.

15. **Султанов, А. Х.** Нелинейный волоконно-оптический переключатель / А. Х. Султанов, И. Л. Виноградова, А. И. Салихов // Вестник УГАТУ. 2008. Т. 10 № 1. С. 205–217.

16. **Султанов, А. Х.** Волоконно-оптический уси-

литель / А. Х. Султанов, Т. Я. Якубов, И. Л. Виноградова. Патент РФ № 2203502 от 25 апреля 2001 г., зарегистрирован в Гос. реестре изобретений 27.04.2003 г.

ОБ АВТОРАХ

Султанов Альберт Ханович проф., зав. кафедрой телекоммуникац. систем. Дипл. инженер по многоканал. электросвязи (Новосибирск. электротехн. ин-т связи, 1973). Д-р техн. наук (УГАТУ, 1996). Иссл. в обл. телекоммуникац. систем, опто-электронных аэрокосмических систем.



Виноградова Ирина Леонидовна, преп. каф. телекоммуникац. систем. Дипл. инженер (УГАТУ, 1992). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. оптики, волоконно-оптической связи, теории передачи и обработки сигналов.



Салихов Айдар Илдарович, асс. каф. телекоммуникац. систем. Дипл. инж. по многоканальным телекоммуникац. системам (УГАТУ, 2004). Иссл. в обл. оптики, волоконно-оптических сетей, оптической коммутации.

