

[8] Белых С.Ф., Векслер В.И., Евтухов Р.Н.  
В сб.: Вторичная ионная и ионно-фотонная эмиссия. Харьков, 1983, с. 158-160.

Институт электроники  
им. У.А. Арифова АН УзССР,  
Ташкент

Поступило в Редакцию  
26 июля 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 1  
07; 08; 12

12 января 1989 г.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ ПРИ РАБОТЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ

О.В. Горбачев, А.П. Горчаков,  
А.П. Жилинский, О.И. Котов,  
В.М. Николаев, В.Н. Филиппов

Акустические преобразователи для фазовой модуляции оптического излучения непосредственно в волоконном световоде (ВС) обладают высокой эффективностью, небольшими габаритами и возможностью монтажа без разрушения ВС [1, 2]. Однако к настоящему времени в литературе практически не затронут вопрос об искажениях, сопутствующих работе таких модуляторов. В единственной работе, посвященной этому вопросу [3], экспериментально обнаружено, что при повышении напряжения модулирующего сигнала на пьезо-керамике появляется искажение спектра сигнала и нелинейная зависимость фазовой девиации.

Цель настоящей работы - выяснение основных причин, приводящих к возникновению субгармоник и хаотических колебаний при работе волоконно-оптических фазовых модуляторов, и исследование влияния конфигурации расположения ВС вне модулятора на эффективность его работы. Эксперименты ставились по схеме, аналогичной используемой в работе [3]. Отличие состояло в двух моментах:

- для регистрации величины фазовой девиации когерентного излучения и амплитуды удлинения ВС применялась схема интерферометра Фабри-Перо, в котором на диафрагмированном фотоприемнике смешивались два луча света, прошедшего ВС 1 и 3 раза;
- мы контролировали форму оптического волокна вне модулятора. Излучение лазера вводилось в волоконный световод с диаметром оболочки из плавленого кварца 125 мкм. Акустические колебания в основном возбуждались пьезокерамикой типа ЦТБС-3 с размерами 100x11x18 мм на резонансной частоте 17 кГц.

До последнего времени не учитывалось, что ВС обладает упругими свойствами и растяжение либо сжатие в области контакта его с акустическим преобразователем вызывает распространение упругих колебаний по волокну в обе стороны от него. Поэтому результирующая

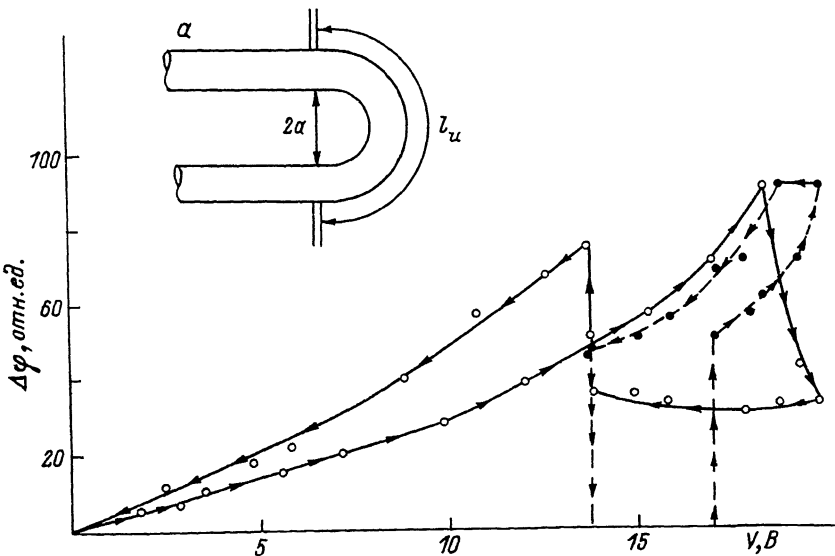


Рис. 1. Зависимость фазовой девиации от амплитуды напряжения на пьезокерамике. ○ - для основной частоты  $\omega$ , ● - для субгармоники  $\frac{\omega}{2}$ .

фаза когерентного излучения, прошедшего световод, должна зависеть от характера формирования акустических волн слева и справа от центра модулятора, их коэффициента затухания в ВС и конфигурации расположения волокна. Изменение конфигурации в эксперименте осуществлялось изгибом ВС между преобразователем и подвижным прижимом. При этом обеспечивался симметричный изогнутый участок ВС длиной  $l_u$  и расстоянием между фиксаторами  $2\alpha$  (см. рис. 1, а). Весь ВС (около 1.5 метра) размещался в одной плоскости так, чтобы радиусы остальных изгибов были максимально большими. Пространственный коэффициент затухания звука в ВС измерялся слабовозмущающим цилиндрическим датчиком с длиной порядка миллиметра, величина сигнала которого не зависит от условий монтажа.

Экспериментально были исследованы условия распространения упругих колебаний по волокну. Пространственный коэффициент затухания бегущей акустической волны в прямом ВС оказался равен  $0.82 \text{ м}^{-1}$ . Изгиб волокна приводил к возникновению стоячей волны. Для заданной частоты имеется определенный критический радиус кривизны ВС  $a_k \sim \frac{\lambda}{4}$  (где  $\lambda$  - длина звуковой волны), начиная с которого отражение становится эффективным. Коэффициент бегучести квазистоячей волны между излучателем и изгибом оказался равным 0.29; добротность  $\sim 10$ .

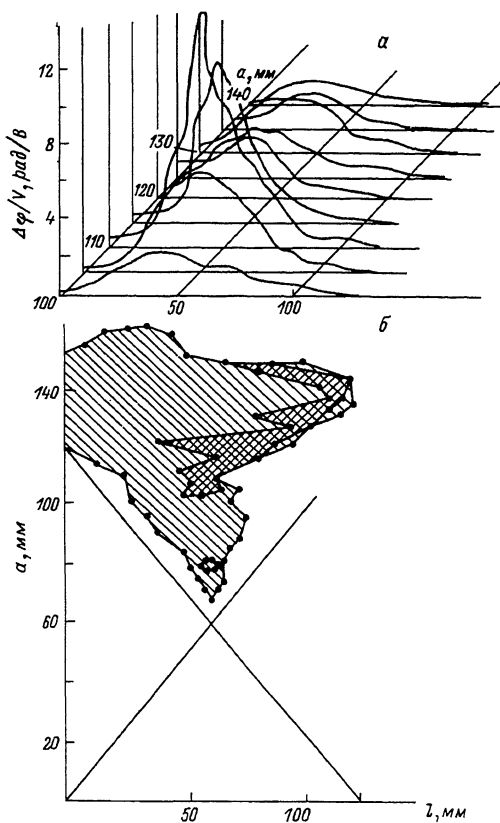


Рис. 2. а - эффективность фазовой модуляции в зависимости от параметров изгиба ВС для основной частоты  $\omega$ ; б - область существования субгармонических колебаний (заштрихована) и хаотических колебаний (двойная штриховка).

Таким образом, в волоконно-оптических устройствах, содержащих модулятор фазы или поляризации и имеющих изгибы оптического волокна, возможно резонансное усиление колебаний, т.е. существенный рост амплитуды механических напряжений. При этом может возникнуть нелинейная связь между амплитудой механических напряжений и продольными деформациями оптического волокна. Информацию о такой нелинейности несет зависимость фазовой девиации ( $\Delta\varphi$ ) когерентного излучения от амплитуды напряжения ( $V$ ), подводимого к пьезокерамике [4]. Считая связь между фазовой девиацией когерентного излучения и продольной деформацией волокна [4], а также между напряжением, подводимым к пьезокерамике и ее удлинением [3], линейной из кривых, иллюстрируемых рис. 1 можно оценить значение квазиупругой силы в волокне. Из рис. 1 видно, что фазовая девиация в изогнутом волокне нелинейно зависит

от амплитуды приложенного к пьезокерамике напряжения. Она аппроксимируется полиномом третьей степени:  $F = ax + bx^2 + cx^3$ . В такой системе возможен переход к хаотическим колебаниям путем последовательности бифуркаций удвоения периода, что согласуется с данными [5] и с нашими результатами. Однако наши эксперименты показали, что появление, либо отсутствие субгармонических или хаотических колебаний определяется в значительной мере конфигурацией расположения волокна. Экспериментальные результаты иллюстрируют рис. 2, а, где приведена зависимость эффективности фазовой модуляции ( $\frac{\Delta\varphi}{V}$ ) от параметров изгиба ВС. На рисунке видно, что изменяя крутизну изгиба можно добиться оптимальной эффективности фазовой модуляции. Вместе с тем возникновение субгармонических колебаний зависит от геометрической конфигурации ВС. На рис. 2, б заштрихованная область соответствует форме изгиба, при которой наблюдаются субгармонические колебания. Из рисунка видно, что при фиксированной амплитуде механических колебаний ВС, меняя параметры акустического резонатора, можно менять коэффициент усиления колебаний в резонаторе, и, таким образом, характер нелинейной возвращающей силы. При этом появление субгармоник происходит лишь для определенных форм витка ВС, кривизна которых коррелирует с радиусом, соответствующим началу эффективного отражения от изгиба. Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о том, что на отрезке ВС между модулятором и изгибом возникает добротный акустический резонатор и нелинейные колебания ВС в таком резонаторе определяют условия существования субгармонических и хаотических колебаний.

## Л и т е р а т у р а

- [1] J a c k s o n D.A., J o n e s J.D.C. // Optica. 1986. V. 33. N 12. P. 1469-1503.
- [2] D e P a u l a R.P., M o o r e E. // Review of allfiber phase and polarization SPIE. 1984. V. 478. P. 3-11.
- [3] Z e r v a s M.N., Y o u n g q u i s t R.C. Subharmonics, chaos and hysteresis in piezoelectric fibre-optic phase modulators OFS2 86. 1986. P.343-346.
- [4] K o n g s l e y S.A., D a i r e s D.E.N. Use of optical fibres as instrumentation transducers Proc. CLEOS'76 - San Diego, Usa, 25-27 May 1976. P. 38.
- [5] Н е й м а р к Ю.И., Л а н д а П.С. // Успехи физических наук. 1978. Т. 125. № 1. С. 123-168.

Московский  
электротехнический  
институт связи

Поступило в Редакцию  
20 октября 1988 г.