

06.3; 07

© 1991

ШИРОКОПОЛОСНЫЙ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИЙ  
СВИП-ГЕНЕРАТОРВ.Т. П о т а п о в, А.М. М а м е д о в,  
Д.А. С е д ы х, С.В. Ш а т а л и н

В настоящее время существует потребность в высокочастотных модуляторах света, совместимых со световодами как для тестирования устройств волоконно-оптических линий связи, так и для построения пассивных мультиплексных сетей волоконно-оптических датчиков [1].

Оригинальный принцип построения высокочастотного модулятора был предложен недавно [2] в результате исследований эффекта Керра: в режиме перемодуляции наблюдались изменения интенсивности света с частотами более, чем в 100 раз превышающими частоту задающего электрического сигнала. Это происходило вследствие того, что за один период модуляции многократно реализовывались условия просветления ячейки Керра. Таким образом снижались требования к частоте задающего генератора, в то же время осуществлялся режим свипирования оптического сигнала: частота модуляции интенсивности света изменялась в течение периода изменения электрического сигнала.

В данной работе реализован свип-генератор на основе волоконно-оптического фазового модулятора (ВФМ), в котором фаза распространяющегося излучения изменяется за счет растяжения световода, намотанного на пьезокерамический цилиндр при приложении к последнему напряжения [3]. Такое техническое решение обладает естественной совместимостью с одномодовыми волоконно-оптическими устройствами и большей технологичностью в сравнении с ячейкой Керра.

Используя механический резонанс ВФМ на звуковых частотах, легко обеспечить высокий индекс гармонической фазовой модуляции, который в нашем случае составлял около  $10^5$  рад. В спектре такого сигнала существуют высокие (до  $10^5$ ) гармоники частоты модуляции, которые могут быть преобразованы в амплитудные биения при интерференции с опорной световой волной. Временная зависимость интенсивности света на выходе интерферометра при этом аналогична имеющей место при колебаниях зеркала интерферометра: по мере изменения скорости зеркала изменяется доплеровский сдвиг частоты отраженного луча и, соответственно, частота амплитудных биений на выходе.

**Т е о р и я.** Рассмотрим отражение света от волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо низкого контраста с „глухим“

задним зеркалом. В качестве источника излучения выберем лазер, излучающий две продольные моды: в этом случае частоту межмодовых биений He-Ne лазера  $\Delta\nu \approx 650$  МГц удобно использовать для калибровки свипгенератора. Тогда фототок  $i$  определится интерференцией на фотоприемнике четырех волн

$$i \sim (ra_1 \cos \omega t + ra_2 \cos(\omega t + \Delta\omega t) + a_1 t^2 \cos(\omega t + \varphi) + a_2 t^2 \cos(\omega t + \Delta\omega t + \varphi))^2 \quad (1)$$

Здесь  $r$  и  $t$  — амплитудные коэффициенты отражения и пропускания переднего зеркала,  $a_1, a_2$  — амплитуды продольных мод,  $\varphi$  — набег фазы, угловые скобки обозначают усреднение по времени,  $\omega$  — циклическая частота световой волны,  $\Delta\omega = 2\pi \cdot \Delta\nu$ .

Пусть в интерферометр введен фазовый модулятор, так что  $\varphi = \varphi_m \cos \Omega_m t$ , тогда при условии  $\varphi_m \gg 1$  (1) может быть преобразовано к виду

$$i(t) = G[\Omega(t)] \cdot \left[ A \cos \int_0^t \Omega(t) dt + B \cos \int_0^t [\Omega t \pm \Delta\omega] dt \right], \quad (2)$$

где введены выражения для мгновенной частоты  $\Omega(t) = \varphi_m \Omega_m \sin \Omega_m t$  и амплитуд биений  $A = rt^2 (a_1^2 + a_2^2)$ ;  $B = rt^2 a_1 a_2$ . В качестве коэффициента пропорциональности выступает спектральный отклик фотоприемника на мгновенной частоте  $G[\Omega(t)]$ , постоянная составляющая фототока для простоты отброшена, т.е. предполагаем, что  $G(0) = 0$ . В режиме одномодовой генерации лазера  $a_2 = 0$  и  $B = 0$ , соответственно, фотоприемник находится под действием амплитудно-модулированной световой волны, частота модуляции которой периодически меняется от 0 до  $\Omega_{max} = \varphi_m \Omega_m$ . В моменты времени, для которых справедливо соотношение  $\Omega_m t \ll 1$  наблюдается линейная модуляция частоты, и огибающая фототока  $\overline{i(t)}$  в этом случае равна

$$\overline{i(t)} \approx \frac{A}{2} G(\Omega_{max} \Omega_m t). \quad (3)$$

Выражение (3) представляет практический интерес для задачи определения АЧХ фотоприемных структур: на экране осциллографа в качестве огибающей фототока непосредственно визуализируется частотный отклик фотоприемника, причем соотношение временного и частотного масштаба задается диапазоном девиации частоты  $\Omega_{max}$ .

Для калибровки свип-генератора более удобен двухмодовый режим генерации лазера  $a_1 = a_2$  и  $B \neq 0$ . В этом случае фотоприемник регистрирует биения не только вблизи нулевой частоты, но и еще в моменты  $t$ , для которых  $\Omega(t) = \Delta\omega$ . Таким образом, легко определить диапазон девиации частоты

$$\Omega_{max} = \frac{\Delta\omega}{\sin \Omega_m t}. \quad (4)$$

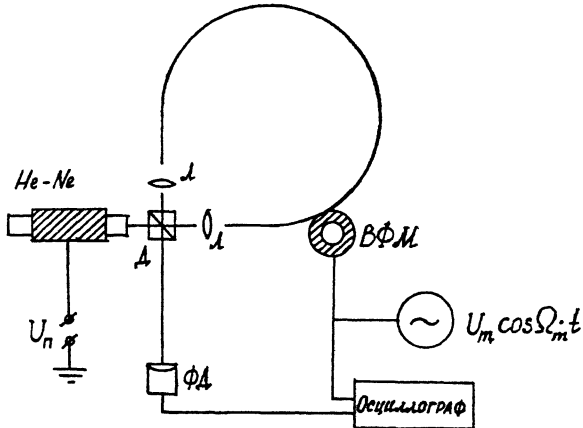


Рис. 1. Схема экспериментальной установки. ФД - фотодиод, Л - линза, Д - длинный кубик.

**Эксперимент.** Источником излучения в эксперименте являлся He-Ne лазер ЛГН-207 ( $\lambda = 0.63$  мкм). По сравнению с серийной модификацией в нашем макете была предусмотрена возможность перестройки частоты резонатора относительно контура усиления, что позволяло осуществлять переключение лазера с двухмодового на одномодовый режим излучения. В качестве интерферометрической схемы была выбрана конфигурация низкоконтрастного волоконно-оптического интерферометра Фабри-Перо (см. рис. 1), в которой наиболее просто управлять коэффициентом отражения и пропускания. Оптический выход интерферометра был подключен с помощью многомодового световода к фотоприемной схеме, находящейся вблизи регистрирующего осциллографа.

ВФМ, включенный в контур интерферометра, представлял собой 100 м анизотропного одномодового световода, намотанного в 7 слоев виток к витку на пьезокерамический цилиндр с внешним диаметром  $\approx 3.3$  см. Переменное напряжение с амплитудой 200 В и частотой 25.9 кГц, равной резонансной частоте пьезокерамического модулятора, подавалось на обкладки пьезокерамики.

Когда лазер находился в одномодовом режиме генерации, мы наблюдали (см. рис. 2, а) возникновение биений фототока дважды за период модуляции, как и следует из (2) при  $a_2 = 0$ , т.е.  $V = 0$ . При этом огибающая фототока в соответствии с (3) определялась АЧХ фотодиода (ФД) с полосой  $\approx 100$  МГц. При переключении лазера в двухмодовый режим генерации на осциллограмме возникали симметричные выбросы (см. рис. 2, б), описываемые вторым членом в (2) и соответствующие частоте  $\Delta\nu = 650$  МГц межмодовых биений.

Расчет максимального изменения мгновенной частоты свип-генератора, проведенный в соответствии с (4) дал 2 ГГц. Любопыт-

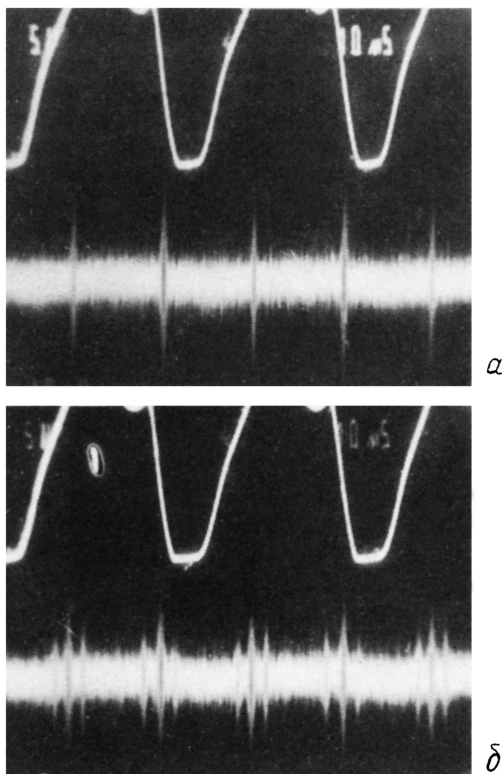


Рис. 2. Осциллограммы отклика фотоприемника. а – в режиме одномодовой генерации лазера, б – в режиме двухмодовой генерации лазера.

но заметить, что скорость изменения оптического пути при этом достигала 1.5 км/с.

В заключение проанализируем возможность увеличения диапазона девиации частоты свип-генератора. С одной стороны, фазовая модуляция достигается путем растяжения световода и в принципе ее величина ограничена его прочностью. Однако это ограничение позволяет для 1 км световода достичь диапазона девиации 1 ТГц, т.к. для этого требуется удлинение всего на 0,2% – безопасное с точки зрения вероятности обрыва световода [4]. Более существенным является ограничение, связанное с мощностью рассеиваемой ВФМ. В модели демпфированного гармонического осциллятора с массой  $m$  и добротностью  $Q$  рассеиваемая мощность  $P = mx_0^2 \Omega_m^3 / 2Q$ , где  $x_0$  – амплитуда колебаний, которая в нашем случае связана с индексом модуляции через число витков  $N$ :  $\varphi_m = 4\pi^2 x_0 N / \lambda$  [3], тогда

$$\Omega_{\max} = \frac{4\pi^2 N}{\lambda} \sqrt{\frac{2PQ}{\pi m \Omega_m}} \quad (5)$$

В нашем случае потребовалась мощность  $P = 8$  Вт, чтобы обеспечить девиацию частоты, равную 2 ГГц при  $N = 10^3$ ,  $Q = 25$ ,  $m = 40$  г. Для дальнейшего увеличения диапазона девиации необходимо использовать более добротные механические резонаторы и увеличивать количество витков световода. Таким образом, нам представляется вероятным поднять предельную частоту до 100 ГГц.

#### С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] D a k i n P. // J. Phys. Sci. Instr. 1987. V. 20. P. 954-967.
- [2] Д а р з н е к С.А., Т о д у а П.А., Ш е с т а к о в а Е.Ф. // Оптика и спектроскопия. 1984. Т. 56. В. 6. С. 1093-1098.
- [3] D a v i s D., K i n g s l e y S. // Electr. Lett. 1974. V. 10. P. 21-22.
- [4] B e r t h o l d s A., D a n d l i k e r R. // J. Lightwave Tech. 1987. V. LT-5. N 7. P. 895-900.

Поступило в Редакцию  
17 мая 1991 г.