

07

РЕГИСТРАЦИЯ ИНТЕРВАЛОВ СЛЕДОВАНИЯ
ПИКОСЕКУНДНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

А.В. С е л и щ е в, А.С. Щ е р б а к о в

Одним из важных направлений исследований в области оптической обработки информации является построение высокоскоростных цифровых волоконных систем передачи сигналов. Исходя из полученных в последние годы экспериментальных результатов по каналированию оптических солитонов в протяженных одномодовых волоконных световодах с предельно малыми потерями [1, 2], по-видимому, можно ожидать достижения скорости передачи в таких системах, приближающейся к 1 Тбит/с [3], при этом длительность информационных оптических импульсов и период их следования оказываются лежащими в пикосекундном диапазоне. В связи с этим необходимо метрологическое обеспечение высокоскоростных систем, в которых из-за возможного сбоя устройств ввода информации или несинхронности работы блока временного уплотнения возникает задача анализа фрагмента однократной цифровой двоичной посылки сверхкоротких импульсов. Период следования импульсов в цифровых оптических системах в настоящее время ограничен величиной 50 пс, т. к. частота модуляции около 20 ГГц [4] находится близко к наивысшей достигнутой в электрооптических устройствах. Для временного анализа однократной посылки с указанными параметрами стробоскопические приборы не могут быть применены, прямая электронная регистрация пикосекундных интервалов аппаратно нереализуема, целесообразен поиск альтернативного подхода. В данной работе излагаются результаты экспериментального исследования нелинейно-оптического устройства регистрации временных интервалов следования сверхкоротких оптических импульсов.

Измерение временных интервалов в рассматриваемом устройстве основано на формировании кросс-корреляционных откликов оптических сигналов методом пучка второй гармоники [5]. Суть этого метода состоит в переносе информации о сверхкоротких временных интервалах на пространственное распределение интенсивности излучения второй гармоники оптического сигнала. Использование такой техники и позволяет производить измерения однократных посылок пикосекундных импульсов. Оптическая схема устройства регистрации представлена на рис. 1, а. Исследуемое излучение — посылка оптических импульсов, подается на 50%-зеркало 1, разделяется на два пучка и зеркалами 2, 3 через регулируемую линию задержки 4 в одном из каналов направляется на нелинейный кристалл йодата лития 5 под углами, соответствующими фазовому синхронизму для неколлинеарной геометрии генерации второй гармоники. Если ширина взаимодействующих пучков существенно превышает продольный

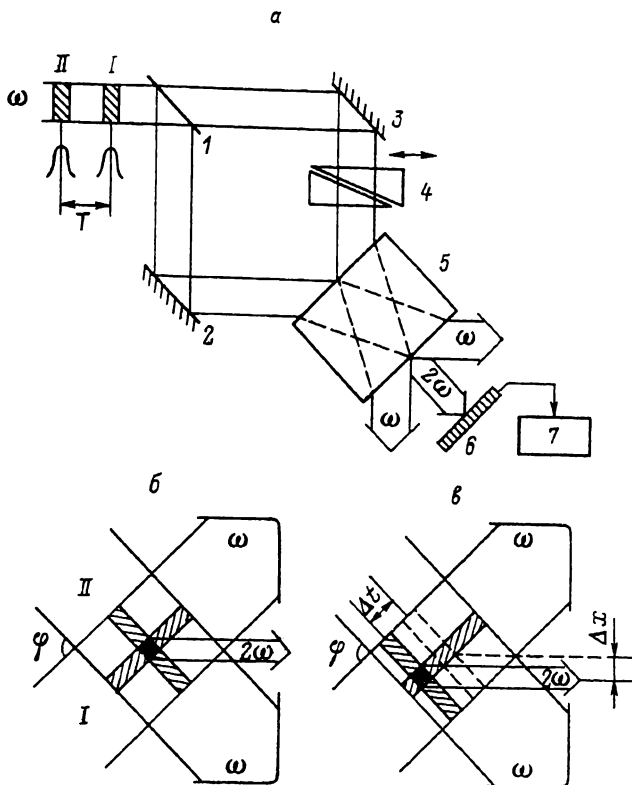


Рис. 1. Принцип функционирования устройства регистрации интервалов следования пикосекундных оптических импульсов: а - оптическая схема устройства, б - взаимодействие импульсов в нелинейном кристалле при $\Delta t = 0$, в - схема взаимодействия импульсов при $\Delta t \neq 0$.

размер области локализации сверхкоротких импульсов, то местоположение области взаимодействия и положение энергетического максимума в пространственном распределении поля второй гармоники определяются временем прихода импульсов в кристалл. Несмотря на то что такая схема использует корреляционный способ формирования откликов, она обеспечивает измерение интервалов следования непосредственно во временной шкале.

Выделим для детального рассмотрения пару импульсов из последовательности пикосекундных информационных сигналов с периодом следования T , представляющей собой однократную цифровую двоичную посылку. Положим далее, что длительность импульсов τ удовлетворяет возникающему в практической ситуации условию $\tau \ll T$. Если в схеме (рис. 1, а) выбрать время задержки t_3 регулируемой линии 4 равным T , то динамика прохождения пары импульсов через устройство регистрации будет определяться нали-

чем двух каналов распространения: „быстрого“ – через зеркало 2, и „медленного“, содержащего зеркало 3 и линию задержки 4. Одна часть импульса I (рис. 1, а), проходя по „быстрому“ каналу, покидает кристалл без преобразования. Вторая его часть оказывается в кристалле на время t_3 позже первой, но одновременно с первой частью импульса II, прошедшего по „быстрому“ каналу. В результате их взаимодействия в центре области перекрытия входных пучков, имеющих несущую частоту ω , в нелинейном кристалле (рис. 1, б) возникает пучок второй гармоники. Задержанная в „медленном“ канале часть импульса II не преобразуется. Если теперь в последовательности информационных импульсов произошел временной сдвиг, то интервал между импульсами пары, на которой имеет место сбой, T_1 будет отличен от T . Место встречи взаимодействующих частей импульсов I и II в кристалле, связанное со сдвигом $\Delta t = T - T_1$, изменится, например, как показано на рис. 1, в. Из геометрии построения рис. 1, в видно, что отклонение Δx точки энергетического максимума от среднего положения, соответствующего одновременному приходу взаимодействующих частей импульсов на кристалл, связано со сдвигом Δt :

$$\Delta t = \frac{2n}{c} \Delta x \cdot \sin \frac{\varphi}{2},$$

где n – показатель преломления кристалла, φ – угол фазового синхронизма, c – скорость света. Учитывая, что в солитонных системах как символу „1“, так и символу „0“ соответствуют информационные импульсы с амплитудами, отличными от нуля [6], а для анализа временных интервалов в данной схеме существенны лишь положения энергетических максимумов корреляционных откликов, проведенное рассмотрение в полной мере поясняет принцип функционирования устройства. Пространственное распределение поля второй гармоники фиксируется линейным фотоприемником 6 (рис. 1, а) и обрабатывается специализированным процессором 7, вычисляющим местоположение энергетических максимумов корреляционных откликов и сдвиг Δt . Использование в устройстве кристалла йодата лития размером 25x25x8 мм позволяет измерять временные сдвиги Δt в пределах ± 40 пс. Точность измерений определяется характеристиками линейного фотоприемника; применение фотодетектора типа ЛФ-1024/25, имеющего на апертуре 25 мм 1024 светочувствительных элементов, обеспечивает точность измерения временных интервалов ± 0.4 пс.

В процессе исследования устройства регистрации интервалов следования сверхкоротких импульсов проводилась экспериментальная проверка принципа функционирования и оценка диапазона измерения. В эксперименте использовался источник одиночных сверхкоротких импульсов длительностью $T = 5.2$ пс на длине волны 1.06 мкм, а сбой периода следования информационных импульсов в цифровой посылке имитировался линией задержки. На рис. 2, а представлена денситограмма корреляционной функции сверхкоротких импульсов,

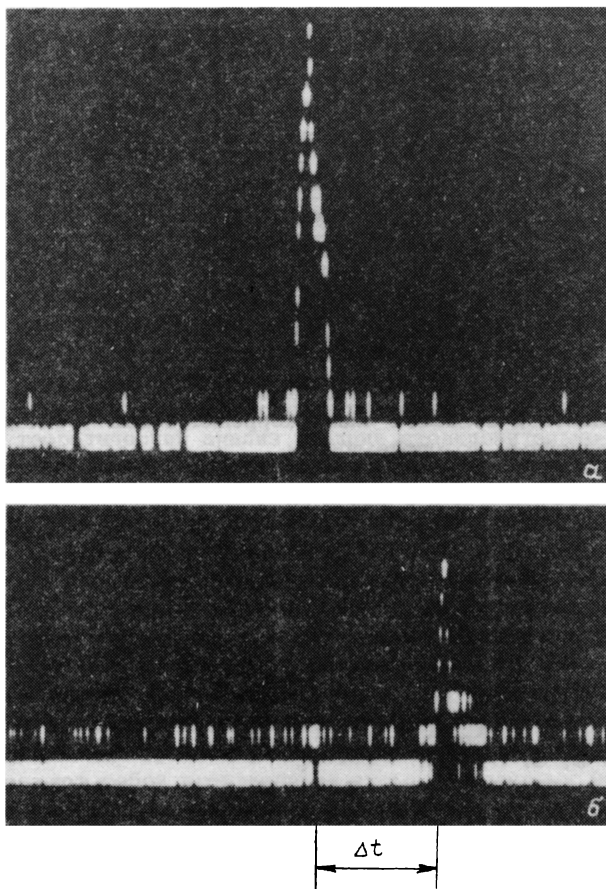


Рис. 2. Денситограммы корреляционных функций сверхкоротких импульсов: а - $\Delta t = 0$, б - $\Delta t = 38.2 \pm 0.4$ пс.

пришедших на нелинейный кристалл при полной балансировке каналов устройства регистрации, что соответствует реперному отклику в отсутствие временных сдвигов: $\Delta t = 0$. При этом генерация второй гармоники происходит в центре области перекрытия взаимодействующих пучков в кристалле: $\Delta x = 0$, а интенсивность энергетического максимума сигнала на линейном фотоприемнике наибольшая. Денси-

тограмма на рис. 2, б иллюстрирует результат взаимодействия двух импульсов, пришедших на кристалл при изменении интервала следования на величину, близкую к предельной для данного кристалла $\Delta t = 38.2 \pm 0.4$ пс. Снижение интенсивности корреляционного отклика во втором случае обусловлено пропорциональным сдвигу Δt уменьшением длины взаимодействия световых пучков в нелинейном кристалле.

Таким образом, разработано и исследовано устройство регистрации интервалов следования сверхкоротких оптических импульсов, которое можно рассматривать как индикатор временного сдвига информационного потока, выполняющий не только контрольную, но и измерительную функции при скорости передачи 10^{10} бит/с и выше. Оно позволяет с пикосекундной точностью решить задачу временного анализа фрагмента однократной двоичной посылки в высокоскоростной цифровой оптической системе, использующий сверхкороткие солитонные информационные импульсы. Необходимо отметить, что описанное устройство вполне работоспособно и при $2\tau \leq T$, когда достигается максимальная пропускная способность цифровой волоконно-оптической системы. В этом случае лишь несколько усложнится функциональная программа специализированного процессора в связи с обработкой большего числа корреляционных откликов, фиксируемых линейным фотоприемником.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] M o l l e n a u e r L.F., S t o l e n R.H., G o r d o n J.P. // Phys. Rev. Lett. 1980. V. 45. N 13. P. 1095-1098.
- [2] П е т р у н ь к и н В.Ю., С е л и щ е в А.В., Ш е р б а к о в А.С. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1988. Т. 52. № 2. С. 364-368.
- [3] Х а с э г а в а А., К о м а д а Ю. // ТИИЭР. 1981. Т. 69. № 9. С. 57-63.
- [4] W a n g S.Y., L i n S.H., H o u n d Y.M. // Appl. Phys. Lett. 1987. V. 51. N 2. P. 83-85.
- [5] А р а к е л я н С.А., Г ю з а л я н Р.Н., С о г о м о н я н С.Б. // Изв. АН СССР. Сер. физ. 1984. Т. 48. № 3. С. 569-572.
- [6] С ы с у е в В.М., Ш е р б а к о в А.С. Тез. докл. Всес. научно-технической конф. „Проектирование радиоэлектронных устройств на диэлектрических волноводах и резонаторах“. Тбилиси, 25-27 октября 1988 г. Тбилиси: Госуниверситет, 1988. С. 295-296.

Ленинградский
политехнический
институт
им. М.И. Калинина

Поступило в Редакцию
28 июня 1989 г.